

REVISTA CIENTÍFICA
YACHAQ

Caracterización ambiental de la cuenca de San Idelfonso en Trujillo, Perú

Environmental characterization of the San Idelfonso watershed in Trujillo, Peru



Geise Macedo dos Santos¹

Vania Elisabete Schneider²

Taison Anderson Bortolin³

Gisele Cemin⁴

Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul-Brazil

Janet Edith Gonzáles Valdivia⁵

Universidad Católica de Trujillo-Perú

Recibido: 25/11/2021

Aceptado: 11/03/2022

RESUMEN

Pensando en América en la época de la colonización, debido al desconocimiento de la historia de las áreas, los asentamientos humanos no siempre fueron posicionados adecuadamente. La omisión de la variable ambiental tiene efectos negativos hasta el día de hoy. Este es el caso del distrito de Trujillo en Perú, donde el desarrollo urbano

1 ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8217-3607>

2 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3599-7352>

3 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0905-5684>

4 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1274-8000>

5 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4207-1320>

se realizó sobre el cauce de un río intermitente, que provoca la inundación de la zona urbana cuando este se activa. Con el apoyo de las geotecnologías se puede comprender la dinámica de la región y modelar las soluciones para minimizar el problema. El mapeo de los datos históricos de precipitaciones, la geología, el relieve del terreno, la evolución del uso y la cobertura de la tierra son datos que representan las principales características ambientales concernientes a la problemática de la cuenca de San Idelfonso. La caracterización de la cuenca indica una gran variación de altitud en el área de formación del flujo y los grandes declives en la misma área, lo que contribuye a la generación de flujo acelerado. En el área de formación del flujo hay granodiorita, un material de elevada fragmentación que contribuye al arrastre del material de la cuenca para el área de inundación urbana. El nivel freático tiene una gran variación, saturando rápidamente la cuenca y la contribución del uso y cobertura de la tierra es representada por la zona urbanizada. Las características ambientales analizadas en la cuenca de San Idelfonso traducen de forma clara el comportamiento de inundaciones en la cuenca, contribuyendo de forma directa a estas.

Palabras clave: Cuenca intermitente; El Niño; Inundaciones; Distrito de Trujillo.

ABSTRACT

Thinking of America at the time of colonization, due to disregard of the history of the areas, human settlements were not always adequately positioned. The omission of the environmental variable has negative effects to this day. This is the case of the district of Trujillo in Peru, where the urban development was carried out on the course of an intermittent river, which causes the flooding of the urban area when activated. With the support of geotechnologies, it is possible to understand the dynamics of the region and model solutions to minimize the problem. The mapping of historical data on rainfall, geology, terrain relief, evolution of land use and cover are data representing the main environmental characteristics relevant to the problem of the San Idelfonso watershed. The characterization of the basin indicates a large variation in altitude in the flow formation area and large slopes in the same area, which contributes to the generation of accelerated flow. In the flow formation area there is granodiorite, a highly fragmented material that contributes to the carryover of material from the basin to the urban flood area. The groundwater has a great variation, rapidly saturating in the basin and the contribution of land use and coverage is represented by the urbanized area. The environmental characteristics analyzed in the San Idelfonso watershed clearly translate

the behavior of floods in the basin, contributing directly to them.

Key words: Intermittent basin; El Niño; Mapping.

INTRODUCCIÓN

Las motivaciones para establecer espacialmente una comunidad pueden ser diversas. Pensando en América de la época de la colonización, los colonizadores buscaron el mantenimiento del territorio y posicionamiento estratégico para su defensa y movimiento de carga por vía marítima. Principalmente, debido al desconocimiento de la historia de las áreas, el posicionamiento de las ciudades no siempre fue el más adecuado. La omisión de la variable ambiental tiene efectos negativos hasta el día de hoy. Este es el caso del distrito de Trujillo en Perú, donde el desarrollo urbano se realizó sobre el cauce de un río intermitente que, al activarse en eventos de elevada precipitación, provoca además de la avalancha de escombros, la inundación de la zona urbana. Las consecuencias alcanzan no solo el nivel ambiental, sino también económico y social.

Esa condición climática de Trujillo está íntimamente asociada al fenómeno de El Niño. Las aguas del Pacífico se calientan, cambiando la temperatura y la humedad de las regiones tropicales. Este fenómeno actúa en intensidades

que varían de moderadas a muy fuertes, donde se han registrado ya 115 eventos entre 1525 y 1987 (NUNES, 2015). En América del Sur, según Quinn et al. (1978), al analizar los registros de eventos de El Niño ocurridos desde el siglo XVI, hubo 46 eventos de alta y muy alta magnitud. La frecuencia de eventos, que en el siglo XX rondaba los 10 a 12 años entre eventos de gran escala, en siglos anteriores presentó una variación irregular, en un intervalo de 5 a 20 años entre eventos fuertes y muy fuertes. Hocquenghem y Ortlieb (1992) y Hamilton y García (1986) señalan que Perú fue afectado por 24 eventos de El Niño fuertes y muy fuertes entre los siglos XVI y XX. Se encontró que la frecuencia de ocurrencia de fuertes eventos de El Niño aumentó después del siglo XVII.

Una de las consecuencias de los eventos de intensa precipitación provocada por el fenómeno El Niño son las inundaciones. Solo entre 2001 y 2010 la Defensa Civil Peruana (INDECI, 2010) registró 10 inundaciones de gran magnitud en el país, que afectaron a miles de personas.

En las regiones costeras rodeadas de cordilleras, las inundaciones ocurren debido al rápido flujo de agua desde estas montañas, formando ríos intermitentes que llegan a los centros urbanos. En los eventos de intensas lluvias ocurridas en 1998 y 2017, la provincia de

Trujillo se inundó como consecuencia de la activación de la Quebrada de San Idelfonso. En 1998 como consecuencia de las intensas lluvias, arrastraron material rocoso de la montaña y residuos sólidos, siendo que la rotura de un dique entre la montaña y la ciudad provocó la inundación del centro urbano, dañando más de 2.400 viviendas. En ese momento, la profundidad del agua ha alcanzado 1,5 metros en los hogares (CAF, 2000). En 2017 se volvió a romper un dique, ubicado en la Quebrada San Idelfonso, en un evento que duró 8 días y se produjo la formación de 7 huaicos, que son los flujos superficiales generados por la precipitación, que transportan material sólido junto con el agua (ALLCCA; SALES, 2018).

Si bien el problema de las inundaciones es recurrente en el país, no existe una legislación específica para las inundaciones. La Ley N° 26821, que regula el uso de los recursos naturales, no proporciona información específica para el uso de cuencas hidrográficas o quebradas. A pesar de eso, el Art. 11 menciona la Zonificación Ecológico-Económica (ZEE) y la necesidad de resolver los conflictos de uso, en el Art. 15 (PCM, 1997). De manera similar a la Ley N° 28611 de 2005 (PCM, 2005), titulada Ley General del Medio Ambiente, que introduce la Política Nacional de Medio Ambiente y Gestión Ambiental y Ordenamiento Territorial Ambiental, tampoco brinda información específica para cuencas

hidrográficas, quebradas o áreas pequeñas. La propuesta de zonificación en la provincia de Trujillo, a su vez, señala el área de los principales cursos de agua intermitentes en la Quebrada San Idelfonso y parte de su zona de inundación como zona de tratamiento especial por la peligrosidad que representa. En la descripción del área en sí, se indica la necesidad de una evaluación específica para mitigar los efectos de las inundaciones en la comunidad allí ubicada (MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE TRUJILLO, 2012).

Aunque se sabe de antemano que se esperan respuestas rápidas a las precipitaciones, la cuenca San Idelfonso tiene poca información técnica sobre su comportamiento. Aranda et al. (2014) describe el intento de mitigar los efectos de las precipitaciones en Trujillo modificando los canales naturales y la modelación hidráulica de la respuesta de estas estructuras ante altas lluvias, concluyendo que estas no son suficientes para evitar el desbroce del río. Por tanto, son necesarias otras alternativas para minimizar el avance del flujo de agua y escombros. Alonso et al. (2013) propone descargar el caudal de la Quebrada San Idelfonso sobre el río Moche o la ejecución de una red de aguas pluviales en el centro urbano de Trujillo. Estas situaciones tampoco presentan datos técnicos sobre la efectividad de estas intervenciones.

Actualmente, es posible pensar en am-
norar las consecuencias de estos even-
tos. Con el apoyo de las geotecnologías
se puede comprender la dinámica de
la región y modelar las soluciones para
minimizar el problema. El geoproce-
samiento, por ejemplo, es un conjunto
de técnicas, métodos y herramientas
que utiliza técnicas matemáticas y com-
putacionales para el tratamiento de la
información geográfica, influyendo y
proporcionando el análisis de los recur-
sos naturales, transporte, comunicacio-
nes, energía, planificación urbana, en-
tre otros (IBRAHIN, 2014).

Así, este trabajo tiene como objetivo la
caracterización ambiental de la cuenca
de San Idelfonso con vistas a la com-
prensión de su influencia frente a las
inundaciones en Trujillo por intermedio
de geoprocesamiento.

MÉTODO

Para el desarrollo de este trabajo fueron
creados mapas de localización, hipso-
metría, pendiente, geología, uso y co-
bertura de la tierra y calificados datos de
precipitación. Los datos geológicos se
obtuvieron en el Instituto Geológico,
Minero y Metalúrgico (INGEMMET),
los cuales se cruzaron con el área de in-
terés para la identificación de las clases
existentes en la cuenca, operación rea-
lizada en el software ArcGIS. Se buscó
información descriptiva sobre las clases
geológicas en otras bases bibliográficas.

Los datos del SRTM se utilizaron para
la elaboración de los mapas de relieve
mediante el recorte del área de inter-
és y la reclasificación de datos. Para el
mapa de hipsometría y la generación
del pendiente fue utilizado el software
Idrisi, ambos mapas presentados en el
software ArcGIS. El mapa de pendiente
consiste en el cálculo de la pendiente
teniendo como base la superficie del
SRTM y posterior clasificación con base
en las clases encontradas en los mapas
locales, como el mapa de pendientes
de Cajamarca y Puno (EQUIPO ZEE,
2012). Para la elaboración del mapa
de hipsometría la clasificación utilizó
como dato de entrada la superficie de
SRTM (30 metros rectificado) y el ran-
go de las clases fue de 50 metros.

Los datos históricos de precipitación
disponibles para el departamento de La
Libertad se utilizaron - los del Servicio
Nacional de Meteorología e Hidrología
del Perú (SENAMHI), que tiene datos de
precipitación desde 1963 para el departa-
mento de La Libertad. Se evaluaron
datos de precipitación media y máxima
anual y mensual, además de los datos
de estacionariedad. Las evaluaciones se
realizaron para las estaciones de Sinsi-
cap y de Laredo.

Para la evolución del uso del suelo y la
cobertura de la tierra en el área de estu-
dio, fueron utilizadas imágenes de los
satélites de la serie Landsat, de 30 me-
tros de píxel, disponibles para la región

desde 1975 a través del Servicio Geológico de Estados Unidos. Los mapas fueron elaborados para los años 1975, 1998 (antes y después del evento extremo), 2017 (antes y después del evento extremo) y 2020. La elección de imágenes implicó en la disponibilidad de imágenes de calidad, o sea, con baja presencia de nubes y en la fecha más antigua posible para evaluar el cambio del uso y cobertura del suelo. Se incluyeron los años en los que ocurrieron eventos de precipitación importantes, para los cuales se evaluaron los cambios antes y después del evento. Los mapas se elaboraron utilizando el software SIG Idrisi Selva. La fitogeografía de la región, obtenida en MINAM (2018) fue agregada al mapa para mejorar la calidad del mapeo. La clasificación de las imágenes se realizó mediante el algoritmo de clasificación no supervisado Isoclust. De esta forma se identificaron las clases de agricultura, bosque, desierto costero, elevación costera, hidrografía, humedal costero, mata andina y zona urbanizada.

RESULTADOS

CARACTERIZACIÓN DE LA PROVINCIA DE TRUJILLO Y LA CUENCA DE SAN IDELFONSO

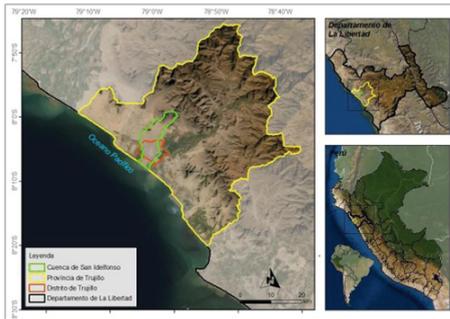
La provincia de Trujillo forma parte del Departamento de La Libertad, Perú (Figura 1). Dentro de la provincia de Trujillo se destaca también el Distrito de Trujillo, donde los españoles

se asentaron en 1535 (FEIJOO, 1763) y es duramente golpeado por los huai-cos formados en los eventos de intensa precipitación. La quebrada San Idelfonso tiene un área de 12.19 kilómetros cuadrados, en forma semicircular, y juntamente con el área llana de la bacía, suma 74,78 km² en total. Se espera una rápida respuesta a la precipitación, en forma de descargas repentinas (ARANDA et al., 2014). La quebrada se ubica en los distritos de Florencia de Mora y El Porvenir. Posteriormente a la salida de la montaña, su caudal atraviesa zonas de depósitos aluviales llegando al área urbana de El Porvenir, donde su cauce ya está urbanizado (ARANDA et al., 2014). Cabe destacar que la cuenca está ubicada en la zona de la montaña, con el desagüe de aguas arriba de la zona urbanizada. Tras el exutorio de montaña hay la planicie de inundación de la cuenca, que llega hasta el centro urbano de Trujillo desembocando al océano.

Es de destacar que, en los eventos de activación de las quebradas, no solo el agua llega al centro urbano de Trujillo, sino también fragmentos de roca y suelo de la montaña y residuos sólidos depositados en el camino del río. Además, se debe considerar el nivel freático en la cuenca, que según Quiroz Moreno y Mostacero-León (2020) observaron que varían de 9 metros bajo tierra a 10 centímetros bajo tierra. Esto puede variar en un solo día hasta 3,90 metros debido a la presión atmosférica. De un día para otro durante la temporada de

lluvias, la variación alcanzó hasta 6,40 metros, con una precipitación de 11 mm responsable por el aumento de 20 cm del nivel freático.

Figura 1. Localización de Trujillo y de la cuenca de San Idelfonso



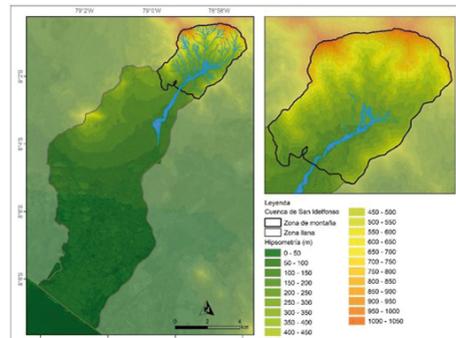
Fuente: los autores.

RELIEVE DE LA CUENCA DE SAN IDELFONSO

Por lo que toca al relieve de la cuenca (Figura 2), varía desde el nivel del mar (0 m) hasta los 1030 metros de altura, considerando el punto más alto de la cuenca. Teniendo en cuenta el exutorio de la zona de montaña de la cuenca, la variación es de 860 metros, siendo 170 metros de altitud en el exutorio de la zona de montaña, la zona de formación del flujo, y 1030 metros en el punto más alto de la cuenca. Desde el exutorio de la zona de montaña hay un aumento gradual de altitud que indica también el aumento de pendiente. La pendiente de la cuenca de San Idelfonso (Figura 3) indica en las áreas de la planicie de

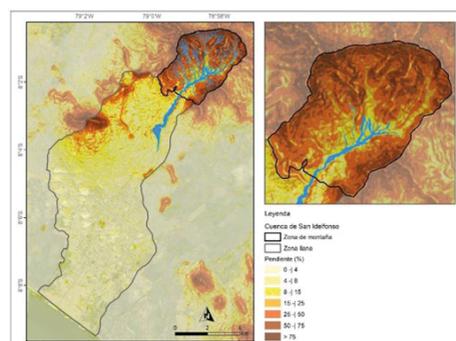
inundación de la cuenca (zona llana), pendientes de 0 a un 8%. Así, las pendientes más altas se encuentran en la zona de montaña, especialmente en las zonas de mayor altitud. En el cauce del río dentro de la zona de montaña y en sus ramificaciones, las pendientes son más bajas, indicando los puntos de acúmulo de agua y su dirección de desplazamiento.

Figura 2. Hipsometría de la cuenca de San Idelfonso



Fuente: los autores.

Figura 3. Pendiente de la cuenca de San Idelfonso



Fuente: los autores.

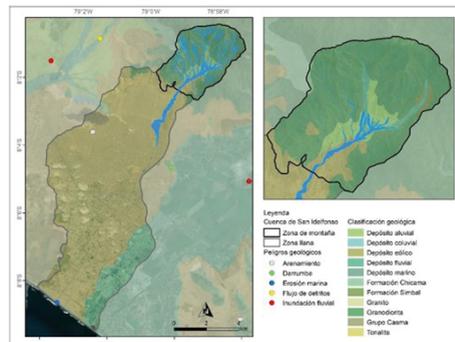
GEOLOGÍA DE LA CUENCA DE SAN IDELFONSO

Varias clases geológicas se encuentran en la cuenca de Trujillo, especialmente en áreas cercanas al océano y están relacionadas con los recursos hídricos, con depósitos, aluviales, eólicos y fluviales. Estos depósitos están asociados con áreas más bajas (Figura 4). Estos materiales depositados provienen de las regiones más altas, clasificadas como grupos y formaciones rocosas. Las descripciones de las clases geológicas presentes en la cuenca de San Idelfonso están disponibles en la Tabla 1. En el cauce intermitente se encuentran depósitos aluviales y fluviales. Las formaciones rocosas de Chicama y Simbal están ubicadas en áreas pequeñas tanto en la zona llana como en la zona de montaña. La zona de montaña está compuesta de granodiorita en todo su canal.

Uno de los estudios realizados por INGEMMET (2017) apuntó a la identificación de peligros geológicos en la provincia de Trujillo asociados a movimientos de masa del tipo de escombros (agua), inundaciones y erosión fluvial y activación de lechos eólicos, esto solo en 2017. Los eventos fueron el resultado de lluvias intensas causadas por el evento de El Niño. Se identificó la morfología del área, el sustrato altamente meteorizado y los depósitos eólicos en las laderas que proporcionaron material para el arrastre. Además del estudio de

la situación específica de 2017, la Figura 4 muestra otros peligros asociados a la geología. En la provincia de Trujillo se identifican 40 puntos con riesgo de flujo de escombros. En general, destaca la asociación de puntos de riesgo con los recursos hídricos, sean ellos perennes o intermitentes.

Figura 4. Clasificación geológica de la cuenca de San Idelfonso



Fuente: los autores.

Tabla 1. Descripción y cuantificación de la clasificación geológica de la cuenca de San Idelfonso

Unidad	Código	Descripción
Depósito aluvial	Qh-al	Formación en el período Holoceno - los depósitos aluviales son acumulaciones de grava, arena, limo y arcilla con clastos subangulares a angulares de diferentes composiciones. Están formadas por extensas llanuras aluviales y terrazas (altas y medias) a diferentes niveles sobre los principales valles y afluentes principales. Estos son depósitos semiconsolidados. Estos depósitos, generalmente corresponden a una mezcla heterogénea de gravas y arenas, redondeadas a subredondeadas y sedimentos que varían de buena a buena selección, y presentan diferentes niveles y estratos que muestran actividad fluvial dinámica y su permeabilidad es media a alta. Existe la posibilidad de deslizamientos de tierra.
Depósito coluvial	Q-cl	Los depósitos coluviales se reconocen por su geometría y por ser producto de deslizamientos de tierra, movimientos complejos. Su fuente se encuentra junto a la deposición. Están formados por un material generalmente grueso, de naturaleza homogénea, heterométrica, mezclado con materiales finos como arena y arcilla. Pueden mostrar cierta consolidación dependiendo de la matriz que los rodea. Su distribución ocurre normalmente al pie de pendientes; constituyen talud de escombros; se encuentran en las laderas de los valles y al pie de escarpados barrancos
Depósito eólico	Q-eo	Formación en el período Holoceno - los depósitos de viento son acumulaciones de arena suelta distribuida en llanuras costeras y pampas y laderas bajas, que penetran progresivamente hacia el continente. Son susceptibles a la dinámica del viento, que provoca dunas y bancos de arena. Su composición es de arena de cuarzo.
Depósito fluvial	Q-fl	Son acumulaciones de grava, arena, limo y arcilla transportadas por el cauce de los ríos y arroyos. Los depósitos fluviales consisten en materiales ubicados en el lecho de ríos y arroyos, terrazas bajas inundadas y llanuras aluviales. Son depósitos heterométricos formados por guijarros, crestas y gravas sub-redondeadas en una matriz arenosa o limosa, mezcla de lentes arenosos y arenosos. Se trata de depósitos no consolidados, de alta permeabilidad. Y son susceptibles a la erosión de los ríos y las inundaciones periódicas.
Depósito marino	Q-ma	Formados en el período del Holoceno, los depósitos marinos se encuentran a lo largo de la costa o la línea costera, formando bahías o playas estrechas. Generalmente, se componen de arenas semiconsolidadas de espesor muy fino. Son susceptibles a la erosión marina.

Unidad	Código	Descripción
Formación Chicama	Js-ch	Consiste en una serie sedimentaria espesa compuesta principalmente por lutitas pizarrosas, lutitas arenosas y horizontes ocasionales de arenisca intercalados con diques y umbrales de andesita y diabasa, así como pequeños cuerpos de granodiorita. Por su baja resistencia a los agentes atmosféricos, esta formación tiene un relieve de formas topográficas suaves, con pequeños cerros formados por lutitas y areniscas compactadas.
Formación Simbal	Js-si	Formación en la era mesozoica, la Formación Simbal está compuesta por secuencias gruesas de lutitas gris oscuro, intercaladas con capas delgadas de areniscas gris verdosas.
Granito	Ks-bc- gr	El granito es una roca intrusiva muy común en el medio continental, se ubica en las últimas etapas durante la diferenciación magmática. Está compuesto de cuarzo, plagioclasa y feldespato alcalino de grano grande. Sus afloramientos tienen un relieve moderado a fuerte. Es susceptible a la ocurrencia de deslizamientos de tierra, deslizamientos de flujo de escombros y erosión similar a barrancos.
Granodiorita	KsP-gd	Tiene predominio de cuarzo y plagioclasa, pero con cierto contenido de feldespato alcalino. Es una roca muy común en el medio continental, pertenece a los granitoides, se ubica en la parte final de la diferenciación magmática. Sus afloramientos tienen un relieve de moderado a muy fuerte. Tienen una alta susceptibilidad a la ocurrencia de escombros o corrientes de agua, erosión en pendientes, caída de rocas, deslizamientos y movimientos complejos.
Grupo Casma	Ki-c	Corresponde a una secuencia de rocas volcánicas (derrames y piroclásticos de composición andesítica) con intercalaciones de sedimentos (lutitas, areniscas y escasos lechos de piedra caliza).
Tonalita	P-bc/c- tn	Es una roca intrusiva con un alto contenido de cuarzo y plagioclasa y poca aparición de feldespatos alcalinos. La textura es equigranular (medio). La pendiente de los afloramientos varían de moderados a muy fuertes.

Fuente: adaptado de Huarache et al. (2002), Ingemmet (2012, 2017), Museo Virtual de Geología(2020).

PRECIPITACIÓN

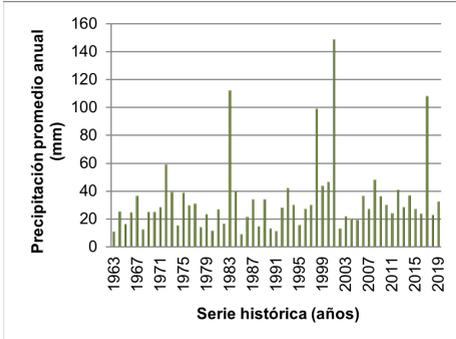
La estación pluviométrica con una larga serie de datos, más cercana a la cuenca de San Idelfonsoes la estación Sinsicap, ubicada a 30 kilómetros de la cuenca, avanzando hacia el interior. La estación registra datos diarios desde septiembre de 1963, continuamente sin fallas anuales y pocas fallas mensuales.

En la precipitación anual total y la precipitación anual promedio para la serie histórica (Figura 5), se identificaron los mismos picos, en los años 1983, 1998, 2001 y 2017, los eventos de 1998 y 2017 coincidiendo con registros de eventos generadores de huaicos y consecuentes inundaciones en el área urbanizada de Trujillo. Estos eventos se pueden clasificar como Meganiños, que son eventos de El Niño que provocan precipitaciones por encima del promedio de las ya altas precipitaciones que ocurren en los eventos de El Niño, y estos, en promedio, ocurrieron en un intervalo de unos 38 años (FELICES, 2011), que se ha reducido en los últimos años, con 4 eventos de esta magnitud en un intervalo de 34 años.

Mientras que el promedio anual registrado es de 34mm, en los años Meganiño se registraron promedios entre 99 y 148mm de precipitación. Considerando la precipitación máxima, el valor promedio es de 400mm anuales, registrándose totales anuales entre 1192

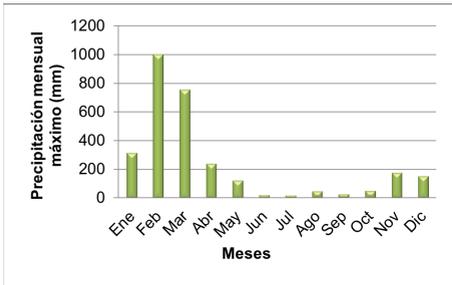
y 1786mm en los años 1983, 1998, 2001 y 2017. El comportamiento de la precipitación promedio mensual indica el período de enero a abril como históricamente el más húmedo, alcanzando promedios mensuales de 110 mm, período de ocurrencia de eventos extremos en 1998 y 2017 (febrero y marzo). Entre tanto el período de mayo a diciembre no supera los promedios de 20mm mensuales, siendo el mes de julio el de menor precipitación, con un promedio de 1mm mensual durante la serie histórica. Los máximos mensuales muestran el mes de febrero como el mayor valor de precipitación registrado, correspondiente al Meganiño registrado en 2001, con 1004mm en el mes (Figura 5). La curva de variación de la precipitación máxima mensual se comporta de la misma manera que la curva promedio mensual, con los meses entre abril y diciembre presentando menor precipitación, especialmente el mes de julio, no superando una precipitación máxima de 18mm entre 1963 y 2019.

Figura 5. Precipitación promedio anual - Sinsicap



Fuente: o autor.

Figura 6. Precipitación mensual máximo - Sinsicap



Fuente: o autor.

Otro dato relevante es evaluar la frecuencia con la que se producen las precipitaciones, con el fin de explicar que, mensualmente la mayor frecuencia de ocurrencia de precipitaciones no suele superar los 100mm mensuales. Y anualmente, la mayor parte de las precipitaciones alcanzó de 100 a 600mm, especialmente en el rango de 200 y 400mm. Es importante señalar que la tendencia indica que la recta ascenden-

te muestra que a pesar de que los resultados muestran patrones específicos de variación a lo largo del año, se identifica el aumento de los niveles de precipitación a lo largo del tiempo. Esto indica la probabilidad de mayores volúmenes de precipitación en eventos futuros.

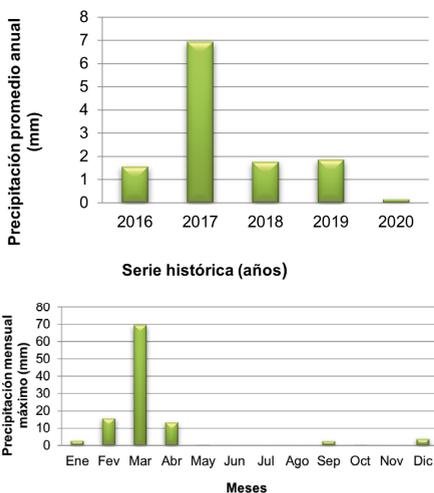
La distancia entre el área de estudio y la estación de Sinsicap y la diferencia de altitud y ecosistemas hace que existan diferencias entre los niveles de precipitación que llegan directamente a la zona de la quebrada de San Idelfonso. Aun teniendo una serie corta (2016-2021) existente para la estación Laredo, en Trujillo (Figura 7), es importante considerar este dato, especialmente para evaluar el evento que ocurrió en marzo de 2017.

Para la precipitación total anual se observó que, como se esperaba, dentro del período de datos disponibles para la estación, el año 2017 presenta la precipitación más alta, tanto total como promedio. Sin embargo, el rango de valores es mucho menor que los datos del Sinsicap. En la estación de Laredo, los máximos están en el rango de 90 mm para los máximos y 8 mm para el promedio anual, mientras que para el mismo período (2016-2019), en la estación de Sinsicap, los máximos anuales alcanzaron los 1300mm y los promedios anuales 108mm. En cuanto a la precipitación máxima mensual, en la estación de Laredo el mes de marzo tiene tanto

los promedios más altos (14mm) como los máximos más altos (69,6mm). Para el mismo período, la estación Sinsicap también señaló el mes de marzo como los valores de precipitación mensual promedio y máxima mensual más altos, con valores de 236mm y 758mm, respectivamente.

Luego se señala que considerando los datos de la estación Laredo en Trujillo, más cercana a la cuenca de San Idelfonso, un evento de aproximadamente 70 mm de precipitación registrado en marzo de 2017 fue suficiente para provocar inundaciones, escombros y arrastre de residuos y las consiguientes pérdidas económicas que se produjeron en el evento.

Figura 7. Precipitación promedio anual y mensual máximo - Laredo



Fuente: o autor.

EVOLUCIÓN DEL USO Y COBERTURA DE LA TIERRA EN LA CUENCA DE SAN IDELFONSO

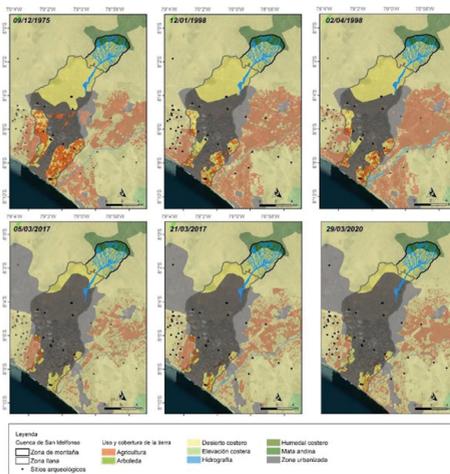
Los mapas de uso y cobertura del suelo basados en las imágenes de los satélites de la serie Landsat y la fitogeografía de la provincia de Trujillo, con las áreas calculadas para la cuenca de San Idelfonso, muestran las mayores variaciones en las clases de agricultura y zona urbanizada (Figura 5). Todavía hay cambios temporales antes y después de los eventos de El Niño en 1998 y 2017 en la hidrografía.

Desde 1975, con el primer mapa disponible, ya se observa la tendencia de ocupación del valle del río Moche con agricultura, además, la zona urbanizada ya consolidada se encuentra en la zona llana de la cuenca de San Idelfonso. En los mapas de 1998, lo más destacado es la clase de hidrografía, que muestra la condición del río Moche antes del evento de precipitación extrema que ocurrió en febrero de 1998 y aproximadamente 2 meses después, que aún se observa el alto volumen del río Moche. Aunque no pertenece a la cuenca de San Idelfonso, la observación del comportamiento del río Moche indica la gravedad de la situación en términos de recursos hídricos.

Al igual que en 1998, el registro antes y después del evento de precipitación extrema revela el impacto de la precipi-

tación en el caudal del río Moche en el año 2017. En 2020 nuevamente se identifica un aumento del área de agricultura y expansión urbana. En el área de montaña de la cuenca de San Idelfonso, no hubo cambios en el uso y la cobertura de la tierra, sin embargo, a lo largo de los años, la zona llana de la cuenca se ha convertido cada vez más en un área zona de montaña, mismo con el pasar del tiempo, las clases presentes continúan las mismas, sin variaciones, donde la clase de desierto costero ocupa 9,01 km² (73,93%) y la clase de mata andina corresponde a 3,18 km² (26,07%) de la cuenca.

Figura 5. Uso del suelo y cobertura de la tierra en 1975, 1998, 2017 y 2020



Fuente: los autores.

DISCUSIÓN

En situaciones de flujo rápido en la cuenca, se debe considerar la rápida saturación en el nivel freático, especialmente en períodos lluviosos, entonces no es posible adoptar soluciones mitigadoras que consideren la infiltración al suelo para minimizar los impactos del flujo en la zona de montaña.

La información relacionada al relieve de la cuenca, indica que tanto hipsometría como pendiente, presentan la tendencia a generar caudal acelerado en la zona de montaña y desaceleración en la zona llana, generando una gran área afectada por el caudal, compuesta por área urbana.

Con relación a geología, la frágil condición de la cuenca se ve reforzada no solo por la formación de un flujo de agua acelerado debido a su configuración en relieve, sino también por la composición geológica que agrega material fragmentado al flujo, porque la granodiorita, que forma la zona de montaña es altamente susceptible a la generación de flujos de escombros, erosión de taludes, desprendimientos de rocas, deslizamientos de tierra y movimientos complejos.

Relacionado a las precipitaciones, los eventos que se pueden clasificar como Meganiños, son eventos de El Niño que provocan precipitaciones superiores al

promedio, estos en promedio ocurrieron en un intervalo de unos 38 años (FELICES, 2011), el cual se ha reducido en los últimos años, con 4 eventos de esta magnitud en un intervalo de 34 años en los datos de la estación de Sin-sicap. También hay la probabilidad de un aumento en los volúmenes de precipitación en eventos futuros.

Para el uso y cobertura del suelo, las áreas de desierto costero y mata andina en la zona de montaña tienden a permanecer principalmente por el relieve, y la pérdida de áreas naturales no es el problema de conversión del uso y cobertura en la zona de formación del flujo de la cuenca. El problema relacionado con el uso y cobertura de la tierra de la cuenca radica en la ocupación de la zona llana, debido al crecimiento urbano descontrolado, que en los eventos de El Niño reciben los efectos de la activación de las quebradas.

CONCLUSIONES

La cuenca San Idelfonso tiene una situación crítica de inundaciones en eventos extremos. Debido a la gran urbanización que atraviesa la zona llana, bajo la montaña, la solución a este problema es difícil. Además, la formación geológica en material fácilmente fragmentable, el relieve acentuado en la montaña y el nivel freático rápidamente elevado durante las precipitaciones, complican aún más la situación de Trujillo, pues

todas esas características contribuyen todavía más para las inundaciones.

Es importante verificar las características de las otras cuencas hidrográficas que llegan a la zona urbana de Trujillo y a los distritos afectados por las demás quebradas, para evaluar las acciones estructurales que puedan mitigar los efectos de las precipitaciones extremas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allcca, L. C., & Sales, J. C. (2018). Peligros geohidrológicos que ocasionaron daños en la ciudad de Trujillo durante “El Niño Costero”. Taller Internacional Fortalecimiento de capacidades para mitigar los impactos de huaicos en Perú, 31-33.
- Alonso, E. G., Prieto, C., Álvarez, C., Méndez, F., Aguilar, O., & Losada, I. (2013). Análisis de riesgos hidrológicos bajo cambio climático. Aplicación a la ciudad de Trujillo (Perú). Anais de la Jornada de Ingeniería del Agua la Protección Contra los Riesgos Hídricos, Barcelona, España, 3.
- Aranda, R. S. J., Jimenes, G. M., & Mera, S. E. (2014). Análisis del comportamiento hidráulico de las estructuras de encauzamiento

- por activación de la quebrada San Ildefonso. *Pueblo Continente*, 25(1), 79-85.
- CAF - Corporación Andina De Fomento. (2000). *El Fenómeno del Niño 1997-1998 memoria, retos y soluciones*. San Isidro.
- Equipo ZEE (2012). *Pendientes: Ordenamiento territorial de la región Cajamarca - Zonificación Económica y Ecológica*. Cajamarca.
- Feijoo, M. (1763). *Relación descriptiva de la ciudad, y provincia de Truxillo del Perú: con noticias exactas de su estado político, según el Real orden dirigido al excelentísimo señor Virrey conde de Super-Unda*. Madrid: Imprenta Real.
- Felices, A. R. El impacto del fenómeno de El Niño en zonas urbanas. *Revista Ingeniería Civil*, 29-37.
- Hamilton, K., & Garcia, R. R. (1986). El Niño/Southern Oscillation events and their associated midlatitude teleconnections 1531-1841. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 67(11), 1354-1361.
- Hocquenghem, A. M., & Ortlieb, L. (1992). Eventos El Niño y lluvias anormales en la costa del Perú: siglos XVI-XIX. *Bulletin de l'Institut français d'études andines*, 21(1): 197-278.
- Huarache, J., Castillo, J., Reátegui, T. Y, & Pari, H. (2002). Características sedimentológicas del Albierno (Grupo Casma) -valle del río Chillón. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 5(9), 43 – 46.
- Ibrahin, F. I. D. (2014). *Introdução ao Geoprocessamento Ambiental*. Editora Érica/Saraiva. 128p.
- INDECI – Instituto Nacional de Defensa Civil. (2010). *Grandes desastres por inundaciones en el Perú periodo 2001-2010*. Perú.
- INGEMMET – Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. (2017). *Evaluación Geológica de las zonas afectadas por El Niño Costero 2017 en las regiones La Libertad – Cajamarca*. 86 p.
- INGEMMET – Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. (2012). *Riesgo Geológico en la Región La Libertad*. 246 p.
- MINAM - Ministerio del Ambiente. (2019). *Mapa nacional de Ecosistemas del Perú*. Municipalidad Provincial de Trujillo.

- (2012). Plan de Acondicionamiento Territorial de la Provincia de Trujillo, 2012-2021. Trujillo.
- Museo Virtual de Geología. (2020). *Geología en fotos – Museo Natural*.
- Narváez, R. S., Jimenes, G. M, & Mera, S. E. (2014). Análisis del comportamiento hidráulico de las estructuras de encauzamiento por activación de la quebrada San Ildefonso. *Pueblo Continente*, 25(1), 79-85.
- Nunes, L. H. (2015). *Urbanização e desastres naturais*. São Paulo: Oficina de Textos. PCM - Presidencia del Consejo de Ministros. (1997). *Ley n° 26.821 de 26 de junio de 1997: Ley Orgánica para el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales*. Lima.
- PCM - Presidencia del Consejo de Ministros. (2005). *Ley n° 28.611 de 13 de octubre del 2005: Ley General del Ambiente*. Lima.
- Quinn, W. H., Zopf, D. O., Short, K. S., & Kuo Yang, R. T. (1978). Historical trends and statistics of the Southern Oscillation, El Niño, and Indonesian droughts. *Fishery Bulletin*, 76, 663-678.
- Quiroz Moreno, C. E.; Mostacero-Leon, J. (2020). Influencia de la presión atmosférica y temperatura ambiental en el subsuelo de la microcuenca San Ildefonso Trujillo, Perú. *Manglar*, 17(1), 47-53.