



Evaluación de umbrales de precipitación y su correlación con la inestabilidad de laderas en León, Guanajuato

Evaluation of precipitation thresholds and their correlation with slope instability in León, Guanajuato

Norma Liliana Cruz Ortiz , José de Jesús Torres García , Norma Claudia Calderón Rosas 

Dirección de Investigación Aplicada y Desarrollo, CIATEC. Calle Omega #201, Colonia Industrial Delta, León de los Aldama, Guanajuato.

Resumen

Los eventos de precipitación en forma de lluvia pueden desencadenar movimientos de masa en laderas susceptibles. El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) propuso una metodología para el cálculo de periodos de retorno e isoyetas. Para la evaluación de los umbrales en la ciudad de León, Gto. se ha obtenido información oficial de las precipitaciones para calcular periodos de retorno (2 a 100 años) realizando cálculos de los promedios anuales con los cuales se pudieron determinar los umbrales detonantes de la inestabilidad de laderas, posteriormente se realizaron mapas de isoyetas que correlacionadas geoespacialmente con las áreas susceptibles al fenómeno de deslizamientos se pudieron conocer los puntos críticos. Los resultados obtenidos indican que el umbral catalogado como Muy Alto equivale a 170.21 mm, el umbral Alto es de 127.65 mm y el umbral Medio en 85.1 mm. Se considera que al periodo de retorno de 25 a 100 años le corresponde el umbral medio, en el cual es posible que se presente inestabilidad en la modalidad y flujos de lodos principalmente. Con esta información se pueden generar alertas a la población que servirán para minimizar los daños en infraestructuras y a la población.

Palabras clave: umbrales de precipitaciones, León, inestabilidad de laderas.

Abstract

Rainfall events can trigger mass movements on susceptible slopes. The National Center for Disaster Prevention (CENAPRED) proposed a methodology for calculating return periods and isohyetal maps. For the assessment of rainfall thresholds in the city of León, Guanajuato, official precipitation data were obtained to calculate return periods (ranging from 2 to 100 years), generate isohyetal maps, and spatially correlate susceptible areas with landslide-prone zones. The results indicate that the threshold classified as Very High corresponds to 170.21 mm, the High threshold to 127.65 mm, and the Medium threshold to 85.1 mm. It is considered that return periods between 25 and 100 years correspond to the medium threshold, under which slope instability and mainly mudflows may occur. This information can be used to generate alerts for the population, which will help minimize damage to infrastructure and the population.

Keywords: precipitation thresholds, León, slope instability.

Introducción

La relación de la población con los fenómenos naturales suele ser compleja, ya que los asentamientos humanos se determinan en función de los servicios ambientales de la zona habitada, buscando cubrir las necesidades para habitar dicho territorio o que estén en las inmediaciones; lo cual no siempre es factible o posiblemente se presenten algunas limitantes. Esto conlleva a que se tenga que coexistir en condiciones no siempre seguras y uno de esos escenarios son las laderas o terrenos con pendientes pronunciadas, los cuales pueden ser seguras ante fenómenos

como inundaciones; pero inseguras ante lluvias torrenciales que generen deslizamientos de laderas. Es por ello que se debe analizar los componentes desencadenantes de este tipo de eventos catastróficos, siendo una de las cau-

Historial

Manuscrito recibido: 31 de octubre de 2025

Manuscrito aceptado: 19 de abril de 2026

Manuscrito publicado: agosto de 2026

✉ Autor para correspondencia

Norma Liliana Cruz-Ortiz

ncruz@ciatec.m

Como citar

Cruz-Ortiz NL, Torres-García JJ, Calderón-Rosas NC (2026). Evaluación de umbrales de precipitación y su correlación con la inestabilidad de laderas en León, Guanajuato. *Ciencia Nicolaita* 97:164-173. doi:[10.35830/cn.vi97.949](https://doi.org/10.35830/cn.vi97.949)

sas más comunes los procesos de remoción en masa, los cuales se consideran una amenaza a nivel global. Este tipo de procesos impacta de forma negativa a la sociedad, pues ocasiona pérdidas humanas, así como daños a viviendas y a la infraestructura socioeconómica de forma general (Valdés-Fernández *et al.*, 2022). México es uno de los países que se encuentra altamente expuesto a la ocurrencia de este tipo de fenómenos (Díaz *et al.*, 2020).

En la literatura se distinguen tres principales tipos de manifestaciones de inestabilidad de ladera (**Figura 1**. Principales tipos de inestabilidades de laderas. Fuente: Tomado de (CENAPRED, 2014).). Los caídos de rocas o derrumbes, estos actúan por gravedad y normalmente ocurren en pendientes muy pronunciadas, sus principales movimientos son desprendimientos o vuelcos de bloques, el agua funciona principalmente como lubricante para detonar el movimiento. En cuanto a los deslizamientos, son los más conocidos en México y las zonas montañosas, estos pueden ser rotacionales y traslacionales; son conformados por suelos finos y rocas muy intemperizadas en donde el agua es uno de los principales detonadores al saturar el medio granular. Por último, los flujos son movimientos de materiales normalmente altamente saturados y su velocidad depende de esto último, además de que se compone de materiales granulares que dependen de su contexto geológico para ocurrir, como pueden ser lodos, avalanchas de detritos, lahar y creep.

La estabilidad de las laderas está comprometida por factores desencadenantes que pueden ser tanto internos como externos. Las condiciones intrínsecas corresponden a la litología, el intemperismo, la estratigrafía y estructuras geológicas que condicionen su comportamiento mecánico; en tanto que entre los factores externos se identifican los sismos, el vulcanismo, las precipitaciones y las alteraciones antropogénicas (excavaciones, cortes, rellenos, deforestación, cambio de uso de suelo, etc.). La presencia conjunta de estas alteraciones puede dar como resultado la activación de movimientos de masa, que pueden ser desde

pequeños y controlables hasta mortales y catastróficos en términos económicos.

De los factores externos antes mencionados, probablemente el más recurrente es la precipitación, cuya intensidad es posible medir para determinar la cantidad de lluvia mínima necesaria que puede generar deslizamientos en función de los factores internos. En las investigaciones enfocadas al pronóstico de la ocurrencia de los procesos de remoción de masas, la lluvia ha sido uno de los factores detonantes más estudiados (Valdés-Fernández *et al.*, 2022); con base en ello, la determinación de umbrales de precipitación cobra relevancia con el objetivo de enfocar esfuerzos en la identificación de condiciones de precipitaciones mínimas necesarias para detonar deslizamientos.

En el municipio de León, la temporada de lluvias se presenta entre los meses de junio a octubre, con variaciones en función de los fenómenos hidrometeorológicos de gran magnitud. Como factor desencadenante, la temporada de lluvias obliga a que las autoridades deben prestar atención a estos fenómenos. En México se han reportado eventos de grandes dimensiones que en algunos casos han sido letales, los cuales coinciden con la temporada de huracanes tanto del Océano Pacífico como del Golfo de México. En 1997, con el Huracán Paulina en Acapulco se reportaron flujos de bloques de roca ocasionados por las intensas precipitaciones; en tanto que en 1999 en Teziutlán Puebla ocurrieron flujos de lodos, siendo que en ambos casos se reportaron cientos de decesos. Desde entonces, el CENAPRED ha realizado acciones que han permitido incrementar el conocimiento y las labores de prevención; las cuales conforman la base teórica y experimental para la evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento de laderas.

Antecedentes y zona de estudio

En el municipio de León, la presencia y ocurrencia de



Figura 1. Principales tipos de inestabilidades de laderas. Fuente: Tomado de (CENAPRED, 2014).

eventos naturales han formado parte de su historia; es por ello que las autoridades municipales han desarrollado documentos y estudios específicos que han identificado los fenómenos naturales y antropogénicos que puedan causar una afectación a la población y la infraestructura de la ciudad, dentro de los cuales se encuentran los Atlas Municipales de Riesgos (AMR). Se identifica el AMR 2006, donde se evaluaron los fenómenos Hidrometeorológicos (IMPLAN, 2006); además de su actualización en el AMR 2010 (IMPLAN, 2010). En el año 2018 se emitió una nueva actualización mediante el AMR 2018 (IMPLAN, 2018), siendo la versión actual el Estudio de Actualización del Atlas de Riesgo para la Ciudad de León, Guanajuato 2023 (IMPLAN, 2023).

Una de las características físicas del municipio es la fisiografía, la cual se encuentra entre La Mesa Central al norte y el Eje Neovolcánico al sur; lo que genera un contraste entre la geología y la topografía. Se identifica una zonificación geotécnica, donde es notoria la diferencia entre zona del valle y la zona de laderas y/o lomeríos (IMPLAN, 2010). La zona de laderas abarca desde la zona norte hasta el oriente de la ciudad, en contacto con la Sierra de Guanajuato. Respecto a la litología, afloran rocas

del basamento y derrames de lavas de diferentes composiciones, posteriormente se identifican complejos de rocas vulcano sedimentarias con metamorfismo de bajo grado. También se identifican rocas sedimentarias de origen continental (estratificadas), que están coronadas por rocas volcánicas de composición variable. Hacia el centro y sur del valle del territorio municipal, la superficie se cubre con un relleno de sedimentos conformado por depósitos aluviales de centenares de metros, intercalado por cenizas y derrames volcánicos (Edwards, 1956), (Echegoyén, 1978), (Quintero-Legorreta, 1992), (Martínez-Reyes, 1992).

Desde el punto de vista de la geología estructural, el territorio está delimitado por fallas de gran magnitud, como las reportadas en la sierra de Guanajuato, las cuales contrastan con la topografía del Bajío. Una fase de esfuerzos distensivos generaron “La Falla del Bajío”, de tipo normal con orientación NW-SE, las fallas y fracturas más recientes se asocian al emplazamiento y evolución de la Faja Volcánica Transmexicana con conos cineríticos orientados NE-SW que pueden observarse al oeste y noroeste de la ciudad de León. Así mismo, se tiene un alineamiento topográfico marcado como una falla normal inferida en el mapa geológico con rumbo NE-

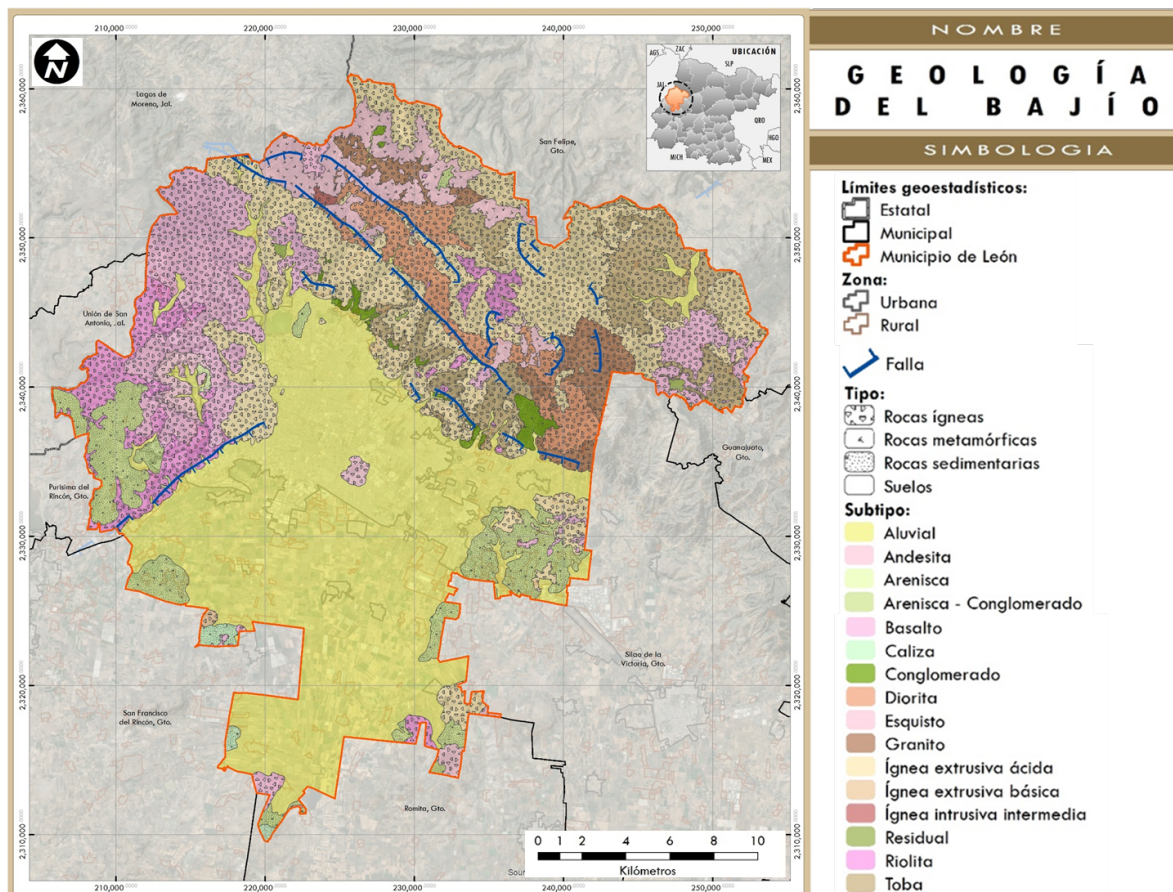


Figura 2. Mapa de geología y fallas en el municipio de León. Fuente: Modificado de (IMPLAN, 2023).

SW (Quintero-Legorreta, 1992). En la **Figura 2**. Mapa de geología y fallas en el municipio de León. Fuente: Modificado de (IMPLAN, 2023). se puede observar la litología presente en el territorio municipal, así como los trazos de las fallas geológicas; la zona del valle se identifica como material aluvial que cubre materiales volcánicos y sedimentarios arrastrados a la parte baja. La zona de laderas se presenta desde la porción oeste – norte – este del territorio municipal.

Metodología

Una de las herramientas que ha apoyado el estudio de los riesgos asociados a los fenómenos geológicos son las Guías Básicas para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos para el Fenómeno Geológico (CENAPRED, 2006). Estos documentos han sido actualizados en dos ocasiones y su última modificación ha sido nombrada “Guía de Contenido Mínimo para la Elaboración del Atlas Nacional de Riesgos” (DOF, 2016). En estos documentos se ha plasmado la metodología para la estimación de la susceptibilidad de la inestabilidad de laderas, entre lo que destaca una guía para trabajo de campo mediante la que se registra información de los factores topográficos, históricos, geotécnicos, geomorfológicos y ambientales; en la cual se evalúan los factores internos y externos de las laderas, pero no así las precipitaciones históricas.

Para el análisis objetivo del presente trabajo, se toma como base la información de campo mediante el formato establecido por CENAPRED, cuyo resultado se somete a un análisis matricial que integre los umbrales de precipitación. La intensidad de estos podría incrementar la susceptibilidad de inestabilidad de las laderas analizadas, en función de la combinación de valores puntuales. Para conocer la cantidad de lluvia mínima necesaria para desencadenar la inestabilidad de laderas en un sitio específico, se ha tomado como base un informe documental titulado “Análisis de umbrales de lluvia en municipios de alta marginación, expuestos a inestabilidad de laderas. Casos de Chiapas y Oaxaca” (CENAPRED, 2021). En este se establece que para la determinación de los umbrales de precipitación, se realiza el análisis de las gráficas de lluvia acumulada y su relación con la ocurrencia de deslizamientos. En la mayoría de los casos se observa que existe una relación entre la lluvia acumulada que produce deslizamientos y el promedio anual de precipitación en una región, siendo esta relación de un valor estimado en 0.244 (CENAPRED, 2021). En 2017 se propusieron nuevos umbrales, con base en el análisis de la información geológica, geomorfológica y

meteorológica de casos documentados entre 1999 y 2013, a fin de implementar un procedimiento semicualitativo para definir umbrales de lluvia que detonan deslizamientos (Tabla 1. Umbrales de lluvia que detonan inestabilidad de laderas por entidad federativa, a partir de casos documentados. Fuente: Tomada de (CENAPRED, 2021).). Para el estado de Guanajuato se estima un promedio anual de 618 mm de precipitación promedio, reportando así los umbrales de lluvia correspondientes únicamente como guía de los valores a obtener localmente.

Se toma como base la cantidad de lluvia pronosticada en 24 h y para identificar los diferentes umbrales se utilizan colores semaforizados para definir posibles escenarios de inestabilidad de laderas (CENAPRED, 2021), una descripción global corresponde a:

- Umbral Medio: color amarillo, pueden presentarse deslizamientos o caídos de roca con volúmenes pequeños y moderados, principalmente en caminos y cortes carreteros.
- Umbral Alto: color anaranjado, el número de deslizamientos o caídos de roca en caminos y cortes carreteros aumenta y es factible que se presente al menos un deslizamiento de dimensión y volumen grande, con daños considerables si sucede en zonas pobladas.
- Umbral Muy Alto: color rojo, indica que al rebasarse este valor; el número de deslizamientos y caídos o derrumbes en cortes carreteros es más numeroso y es factible que pueda suceder más de un deslizamiento de tamaño y volumen considerable.

Para la inestabilidad de laderas, CENAPRED (2021) ha

Tabla 1. Umbrales de lluvia que detonan inestabilidad de laderas por entidad federativa, a partir de casos documentados. Fuente: Tomada de (CENAPRED, 2021).

SEMARNAT 1941-2017 Lluvia promedio por entidad federativa, mm		Umbrales de lluvia		
Zona 9. Norte		Muy Alto (mm)	Alto (mm)	Medio (mm)
Chihuahua	436	106	80	53
Sonora	425	104	78	52
San Luis Potosí	945	231	173	115
Zacatecas	516	126	94	63
Aguascalientes	473	115	87	58
Guanajuato	618	151	113	75

estimado valores de referencia para el estado de Guana-juato; los cuales oscilan desde Muy Alto rango de valor de los umbrales de lluvia para generar con 151 mm, Alto con 113 mm y Medio con 75 mm. Para el caso del municipio de León se obtuvieron los umbrales de acuerdo con los registros históricos de precipitación; obteniendo un valor más cercano al territorio municipal; es por ello que se ha utilizado información a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), además de reportes de las dependencias municipales.

En hidrología aplicada para el análisis de deslizamientos de ladera existen varias funciones de distribución de probabilidad que permiten modelar eventos extremos y procesos acumulativos relacionados con la precipitación y escorrentía, los cuales se describen en la **Tabla 2**.

La función Gumbel pertenece a la familia de distribuciones de valores extremos (EVT) y se aplica principalmente al modelado de máximos anuales de precipitación. Su utilidad radica en estimar niveles de lluvia que, bajo ciertos periodos de retorno, podrían causar deslizamientos. Al modelar eventos raros pero catastróficos, esta función facilita la identificación de umbrales de riesgo y la planificación de estrategias de mitigación, (Wang, Qin, Jin, & Wu, 2015). La función Gamma es frecuentemente empleada en el análisis de precipitaciones acumuladas, ya que en el contexto geotécnico, permite evaluar la influencia de la humedad progresiva en la saturación del suelo, contribuyendo al análisis de estabilidad de laderas bajo condiciones persistentes de lluvia, (Wilks, 2020).

El análisis de eventos extremos en variables climáticas

constituye una herramienta fundamental para la gestión del riesgo. En este contexto, el concepto de periodo de retorno emerge como un indicador clave que permite estimar la frecuencia con que se espera que ocurra un evento en una región determinada. El periodo de retorno (T) se define como el tiempo promedio esperado entre la ocurrencia de dos eventos de magnitud igual o superior a un umbral específico.

Una vez ajustada la función de probabilidad, se determina la probabilidad de excedencia asociada a ciertos niveles de precipitación. A partir de ella, se estima el periodo de retorno mediante la fórmula:

$$T = \frac{1}{P}$$

Donde T corresponde al periodo de retorno, y P la probabilidad de que ocurra un evento en un año determinado (Gutiérrez Lozano *et al.*, 2011).

Como parte del proceso de análisis de información, se obtuvo información de 6 estaciones meteorológicas ubicadas dentro de la zona de estudio, las cuales son la fuente oficial de la CONAGUA (**Tabla 3**). Con los datos proporcionados se elaboraron las isoyetas locales y se procesaron registros de 47 años mediante regresiones matemáticas con diferentes modelos dentro de las que se identificaron como Gumbel o Gamma, dependiendo de sus comportamientos.

Previo al ajuste de las funciones de distribución de probabilidad, las series de precipitación máxima diaria (24 h) fueron sometidas a un proceso de validación estadística para garantizar su idoneidad en el análisis de eventos extremos. La consistencia de los registros se verificó mediante el método de doble masa, comparando los acumulados de cada estación con el promedio de estaciones vecinas para identificar posibles discontinuidades o errores sistemáticos (Chow, 1988). Para evaluar la homogeneidad de las series se aplicó la prueba de Pettitt (Pettitt, 1979), mientras que la presencia de tendencias sistemáticas se analizó mediante la prueba no paramétrica de Mann-Kendall (Mann, 1938; Kendall, 1945), ampliamente empleada en estudios hidrológicos y climáticos. Para asegurar la independencia de los eventos extremos, se seleccionaron los máximos anuales separados por al menos 72 horas y se verificó la ausencia de autocorrelación significativa mediante la prueba de Ljung-Box (Ljung, 1978). Solo las series que cumplieron con estos criterios fueron utilizadas en el ajuste de las distribuciones Gumbel y Gamma.

Si bien la zona de estudio es amplia y la cantidad de estaciones meteorológicas son escasas, en conjunto con una distribución no homogénea dentro del territorio, es importante señalar que la zona de interés en el presente

Tabla 2. Principales funciones de probabilidad aplicadas en hidrología.

Distribución	Aplicación en hidrología	Relevancia en deslizamientos
Gumbel	Valores extremos (máximos)	Modela lluvias intensas que desencadenan deslizamientos
Gamma	Precipitación acumulada	Evalúa saturación progresiva del suelo
Log-Normal	Caudales y precipitaciones	Útil en análisis de escorrentía
Weibull	Duración de eventos	Menos común en deslizamientos
Normal	Procesos simétricos	Limitada por su forma no sesgada
Pearson tipo III	Caudales extremos	Similar a Gamma, pero más flexible
Exponencial	Tiempo entre eventos	Aplicación limitada en este contexto

Fuente: (Buenrostro, 2011).

Tabla 3. Estaciones meteorológicas en el municipio de León.

No.	Clave	Nombre Estación	E	N	Años de datos	Regresión factor R2
1	11162	Comanjilla	242865	2331704	1971 -2017	Gumbel
2	11020	El Palote	220013	2343653	1971 -2017	Gumbel
3	11095	León DGE	219684	2339592	1971 -2017	Gamma
4	11040	Los Castillos	223058	2346094	1971 -2017	Gamma
5	11045	Media Luna	226066	2350165	1971 -2017	Gumbel
6	11049	Nuevo Valle Moreno	248190	2347440	1971 -2017	Gamma

Fuente: (CONAGUA, 2023)

estudio se encuentra en las cercanías de las estaciones, por lo que para el objetivo del proyecto se considera que aportan la información necesaria. Por otro lado, el desarrollo del presente ejercicio contó con información topográfica de alta precisión (datos LiDAR), la cual fue relevante para reducir el sesgo en los análisis hidrológicos y de precipitación. La razón es que la distribución espacial de la lluvia está fuertemente controlada por factores orográficos: altitud, orientación de laderas, vialidades y pendientes, que influyen en la intensidad y cantidad de precipitación.

Cuando los modelos de interpolación utilizan solo la distancia entre estaciones, sin integrar topografía detallada, tienden a generar sobreestimaciones en zonas bajas y subestimaciones en zonas altas. Incorporar datos LiDAR permite obtener modelos digitales de elevación de alta resolución, mejora los métodos de interpolación como el co-kriging o la regresión espacial, al introducir variables predictoras relacionadas con la orografía. Esto se traduce en una representación más realista de la variabilidad espacial de la precipitación y, en consecuencia, en una reducción del sesgo, (Daly *et al.*, 2008).

Resultados y discusión

De acuerdo con datos oficiales para el municipio de León, la precipitación media anual es de 697.6 mm, los vientos dominantes provienen del oeste, la temperatura máxima es de 35.3 °C y la mínima de 0 °C, con una temperatura media anual de 19.2 °C (Municipio de León, 2024).

Conociendo el valor de la precipitación media anual, y aplicando el factor de relación para determinar el Umbral Muy Alto de 0.244 sobre este dato, se obtiene que:

$$697.6 \text{ mm} * 0.244 = 170.21 \text{ mm} = \text{Umbral Muy Alto}$$

Con el valor obtenido para el umbral se calculó al 75% el Umbral Alto, siendo de 127.65 mm y el umbral Medio de 85.1 mm (Tabla 4. Umbrales calculados para León, con

la precipitación media anual). Dado que los umbrales se estiman para precipitaciones acumuladas a 24 horas, los periodos de retorno deben considerar esa misma duración.

Pese a que los valores son distintos respecto a los reportados por CENAPRED (2021), es preferible considerar los valores reales históricos medidos en la zona de estudio y con base en ellos obtener los umbrales más cercanos a lo que puede presentarse para cada tiempo de retorno.

En la **Tabla 5** se muestran las precipitaciones acumuladas en 24 horas para las estaciones meteorológicas que se han tomado para el presente estudio, los periodos de retorno corresponden a lapsos de 2, 5, 10, 25, 5 y 100 años respectivamente; acorde con las recomendaciones descritas en la Guía de CENAPRED para el análisis de las precipitaciones como fenómenos desencadenantes de inestabilidades de laderas.

Para los periodos de retorno más cortos (2 a 5 años), los valores de precipitación acumulada por 24 horas son inferiores al umbral medio de peligro o incluso los 75 mm/h emitidos por CENAPRED, siendo el caso que para el periodo de 10 años donde pudieran presentarse precipitaciones intensas y cortas donde se amplifique el potencial de deslizamiento.

Con base en los valores de las precipitaciones acumuladas, se define que el periodo de retorno que presenta un Umbral “Medio” para la generación de deslizamientos es de 25 años para las estaciones Palote, León, Castillos y Media Luna, mismas que se ubican en la porción nor-poniente del territorio municipal. En contraste, este mismo umbral se presenta en todas las estaciones para los periodos de retorno de 50 y 100 años. Destaca la estación Media

Tabla 4. Umbrales calculados para León, con la precipitación media anual

Umbral	Precipitación en 24 horas
Muy Alto	170.21 mm
Alto	127.65 mm
Medio	85.1 mm

Tabla 5. Precipitaciones acumuladas en 24 horas para cada estación y sus periodos de retorno

No.	Clave	Nombre de la Estación	Precipitación máxima en 24 horas (mm) por periodos de retorno					
			2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
1	11162	Comanjilla	43.50	56.83	65.66	76.82	85.09	93.31
2	11020	El Palote	47.77	63.68	74.22	87.53	97.40	107.20
3	11095	León DGE	56.90	72.48	81.63	92.18	99.44	106.27
4	11040	Los Castillos	54.47	69.80	78.83	89.27	96.46	103.23
5	11045	Media Luna	52.36	68.61	79.37	92.96	103.05	113.06
6	11049	Nuevo Valle Moreno	50.98	63.80	71.28	79.85	85.72	91.24

Fuente: Elaboración propia con información de (CONAGUA, 2023).

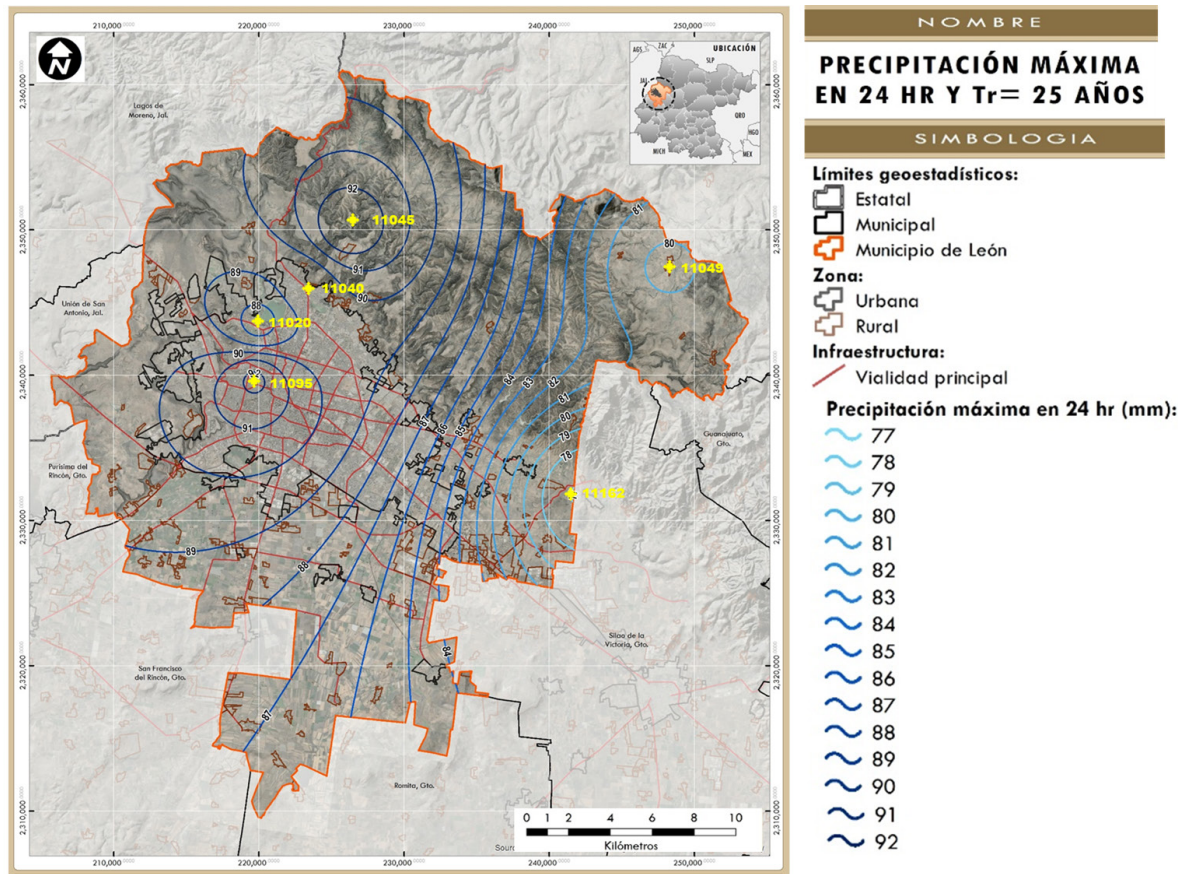


Figura 3. Isoyetas con $Tr = 25$ años en el municipio de León. Fuente: Tomado de (IMPLAN, 2023).

Luna, en la cual se reportan valores más cercanos a un nivel de umbral Alto.

En la **Figura 3**. Isoyetas con $Tr = 25$ años en el municipio de León. Fuente: Tomado de (IMPLAN, 2023). se muestra la distribución de las isoyetas en la zona de laderas que van desde los 90 mm en la zona de Los Castillos y desciende hasta 78 mm en la zona de Duarte. Estos rangos cubren el umbral medio de peligro (85 mm para León), como factor desencadenante con periodo de retorno de 25 años. En la zona geotécnica de Lomeríos, al poniente de la ciudad de León, las zonas de mayor

pendiente están bajo el mismo periodo de retorno con un umbral de peligro medio, lo cual puede desencadenar en flujos de lodo que arrastran material fino pendiente abajo; causando encharcamientos y atascamiento de vehículos.

Como se puede observar en la **Figura 4**, la zona de la estación Media Luna en la Sierra de Lobos, es una de las que presenta mayor precipitación para $Tr=25$, con 92 mm/h; en realidad estará aportando agua a la zona urbana de León sin causar deslizamientos de laderas, en tanto que la intensidad disminuye hacia el sur-oriente de la sierra (77 mm/h) quedando por debajo de los 85 mm/h del umbral

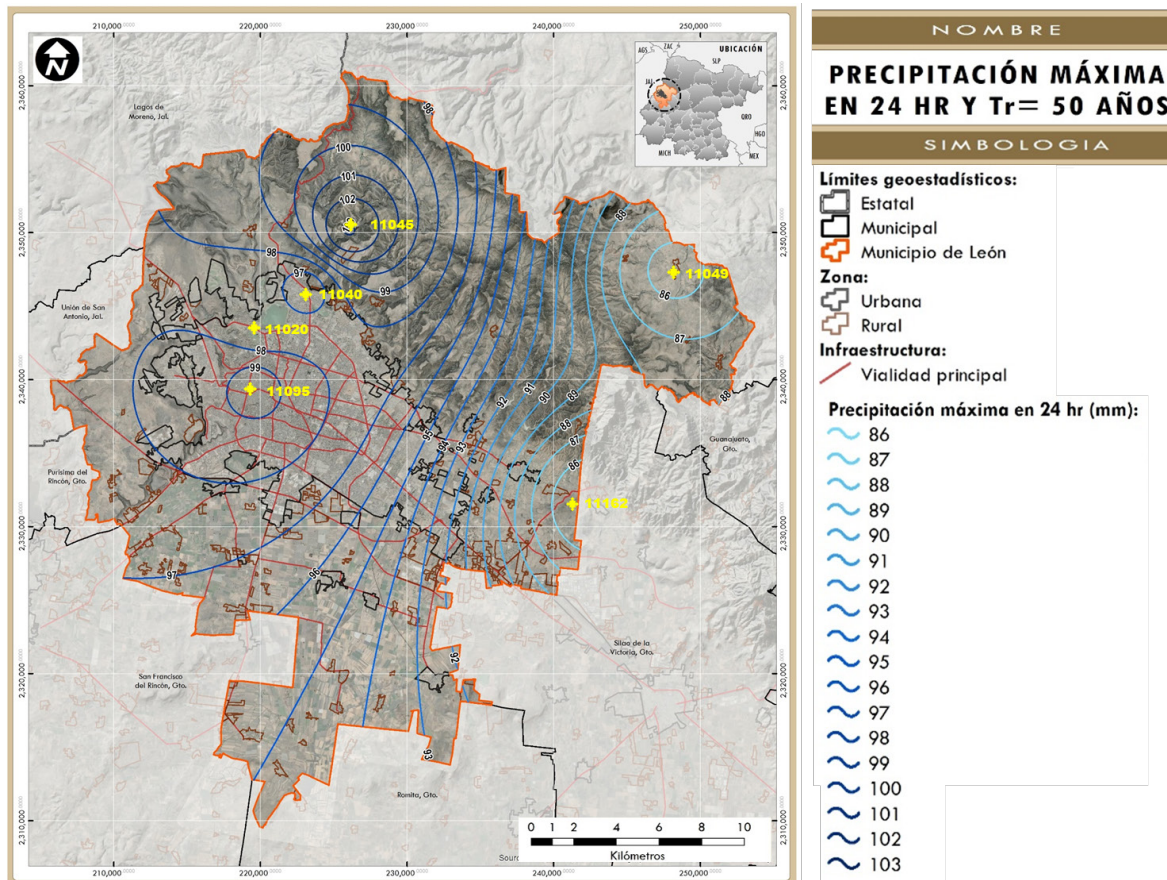


Figura 4. Isoyetas con Tr = 50 años en el municipio de León. Fuente: Tomado de (IMPLAN, 2023).

medio.

En la **Figura 4.** Isoyetas con Tr = 50 años en el municipio de León. Fuente: Tomado de (IMPLAN, 2023). se muestran las isoyetas del periodo de retorno de 50 años, donde la zona de laderas y lomeríos muestra valores de precipitación acumulada cercana a los 100 mm y en la zona norte del territorio municipal (estación 11045), los valores se incrementan; si bien siguen considerándose umbral medio, la zona vulnerable es mayor.

En relación con el periodo de retorno de 100 años, es muy notorio que las isoyetas localizadas al norte del municipio son las que tienen la mayor precipitación y van disminuyendo hacia el Este del municipio (**Figura 5.** Isoyetas con Tr = 100 años en el municipio de León. Fuente: Tomado de (IMPLAN, 2023).), y en menor medida se amplían hacia el Sur; lo que pudiera indicar que la intensidad se generalizaría dentro de la ciudad de León. La cantidad de agua por hora se incrementa sin llegar a ser un umbral alto, siendo la Sierra de Lobos la zona con mayor vulnerabilidad y la zona de transición entre laderas y lomeríos la que además de presentar flujos de lodos y caídos de rocas pueda reflejar deslizamientos mayores.

Conclusiones

Con base en los datos obtenidos de campo y el análisis de valores de precipitación acumulada para 24 horas, es posible concluir que para precipitaciones equivalente a periodos de retorno de 2, 5 y 10 años no se presentarán precipitaciones que pudieran ser desencadenantes de inestabilidades de laderas, en tanto que para los periodos de retorno de 25, 50 y 100 años se identificaron umbrales de peligro de rango medio.

Con base en estos resultados, es recomendable actualizar y validar periódicamente el valor de los umbrales, en la medida de que se disponga de datos más actualizados, así como de más estaciones meteorológicas, tanto de la CONAGUA como de las autoridades estatales y/o municipales, ya que al incrementar el número de estaciones se pueden determinar zonas más puntuales para el análisis de laderas.

Los valores establecidos para los umbrales propuestos constituyen por sí mismos una herramienta de consulta cuya principal función radica en contribuir a la prevención y medición del peligro que pueda ofrecer un evento de lluvias extraordinarias tal como lo son los instrumentos

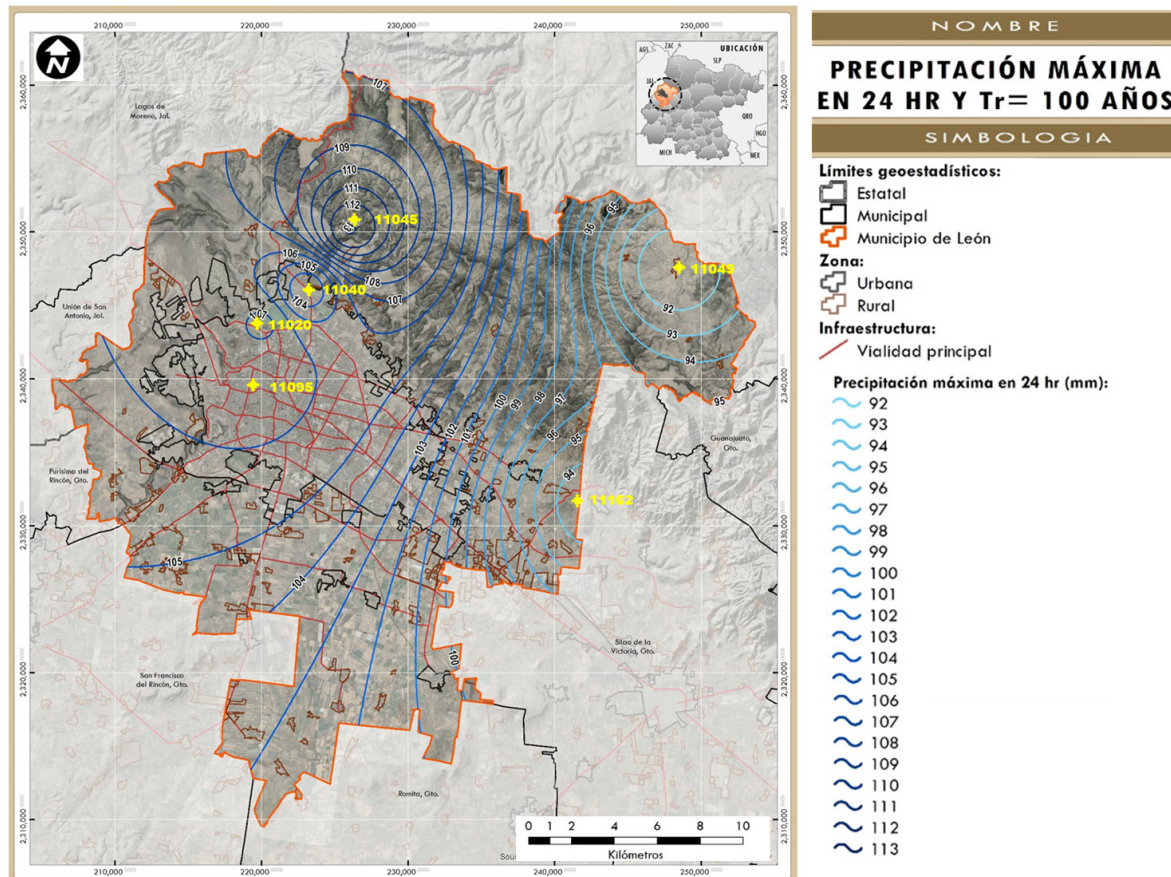


Figura 5. Isoyetas con Tr = 100 años en el municipio de León. Fuente: Tomado de (IMPLAN, 2023).

locales de prevención de riesgos, incluyendo los atlas municipales de riesgos. Es pertinente enfatizar el hecho de que un umbral sea alcanzado no es un indicador inminente de la activación de un proceso de deslizamiento de laderas, ya que también entran en disputa las condiciones intrínsecas imperantes en el sitio, de las cuales en su conjunto dependerá la manifestación o no de un proceso de remoción.

Para el caso particular del municipio de León, es posible relacionar las precipitaciones intensas con la erosión hídrica que se presentan en la zona de Laderas y Lomeríos, en donde cada temporada de lluvias se presenta arrastre de materiales finos pendiente abajo; sin embargo, estas manifestaciones no pueden ser consideradas como procesos de remoción de masas.

Agradecimientos

Los autores agradecen la oportunidad que el IMPLAN León ha brindado al exponer las presentes consideraciones.

Referencias

- Buenrostro NS (2011). Caracterización de eventos extremos de precipitación, empleando distribuciones mezcladas, Grado de Maestría, *Universidad Autónoma de Querétaro*, p. 176, Obtenido de Repositorio: <https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/491/1/RI003602.pdf>
- CENAPRED (2006) Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, ISBN: 970-628-904-6.
- CENAPRED (2014) Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Fenómenos Geológicos. D.F.: CENAPRED.
- CENAPRED (2021). Análisis de umbrales de lluvia en municipios de alta marginación, expuestos a inestabilidad de laderas. Casos de Chiapas y Oaxaca. Ciudad de México: CENAPRED.
- Chow VT, Maidment DR, Mays LW (1988). *Applied hydrology*. McGraw-Hill.
- CONAGUA (2023). Oficio de respuesta de información No. B008-155: Datos de estaciones climatológicas e hidrometeorológicas de la CONAGUA. SMN, Ciudad de México.
- Daly C, Halbleib M, Smith JI, Gibson WP, Doggett MK, Taylor GH, Curtis J, Pasteris PP (2008) Physiographically sensitive mapping of

- climatological temperature and precipitation across the conterminous United States. *International Journal of Climatology* 28(15):2031–2064. doi:10.1002/joc.1688
- DOF (2016). Guía de Contenido Mínimo para la Elaboración del Atlas Nacional de Riesgos, Diario Oficial de la Federación, Obtenido de: http://www.atlasmnacionalderiesgos.gob.mx/descargas/Guia_contenido_minimo2016.pdf.
- Echegoyén S (1978). Yacimientos minerales de la Sierra de Arperos. Consejo de Recursos Naturales, p. 21.
- Edwards J (1956). Estudios sobre algunos de los conglomerados rojos del Terciario Inferior del centro de México. Congreso Geológico Internacional, (pág. 75). México.
- Gutiérrez Lozano J, Vargas Tristán V, Romero Rodríguez M, Plácido de la Cruz J, Aguirre Bortoni M, Silva Espinoza H (2011). *SciELO* https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112011000300003
- IMPLAN (2006). Atlas de Riesgos para el Municipio de León, Guanajuato.
- IMPLAN (2010). Atlas de Riesgos para el Municipio de León, Gto. León, Gto.: Instituto Municipal de Planeación.
- IMPLAN (2018). Atlas de Riesgos del Municipio de León. Etapa II. Fenómeno Geológico, Hidrometeorológico y Sanitario Ecológico. León.
- IMPLAN (2023). Actualización del Atlas de Riesgos del municipio de León 2023. Instituto Municipal de Planeación de León.
- Kendall MG (1995). *Rank correlation methods* (4th ed.). Charles Griffin.
- Ljung GM, Box GEP (1978). On a measure of lack of fit in time series models. *Biometrika* 65(2):297–303. doi:10.1093/biomet/65.2.297
- Mann HB (1945) Nonparametric tests against trend. *Econometrica* 13(3):245–259. doi:10.2307/1907187
- Martínez-Reyes J (1992). Mapa geológico de la Sierra de Guanajuato con resumen de la geología de la Sierra de Guanajuato.
- Municipio de León (2024) Municipio de León. Obtenido de: <https://www.leon.gob.mx/clima.html#:~:text=La%20precipitaci%C3%B3n%20pluvial%20media%20anual,m%C3%ADnima%20de%200%C2%B0C>
- Pettitt AN (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics* 28(2):126–135. <https://doi.org/10.2307/2346729>
- Quintero-Legorreta O (1992). Geología de la región de Comanja, estados de Guanajuato y Jalisco. *Revista del Instituto de Geología* 10:6–25.
- Wang J, Qin S, Jin S, Wu J (2015). Estimation methods review and analysis of offshore extreme wind speeds and wind energy resources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 42:26–42. doi:10.1016/j.rser.2014.09.042
- Wilks DS (2019). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Fourth ed. Elsevier. doi:10.1016/C2017-0-03921-6