

LA INTENSIDAD DE LA PRECIPITACIÓN EN UNA ESCORRENTÍA DE UNA LADERA CON DIFERENTES PENDIENTES

JUAN PINELA

NICOLAS PARRA

Resumen

El estudio se centra en cómo el grado de intensidad de la precipitación influye en la escorrentía de una ladera con diferentes pendientes. Estudios previos señalan la importancia de los modelos hidrológicos y examina diversos factores que influyen en la escorrentía y precipitación durante eventos catastróficos, como la infiltración, también sobre los efectos de las rodadas de tractores en la escorrentía y erosión de suelos en laderas cultivadas con viñedos, utilizan experimentos de simulación de lluvia para analizar las relaciones entre la escorrentía, el impacto de las gotas de lluvia y el transporte de sedimento en suspensión. Aunque su enfoque está más alejado de nuestra pregunta de investigación, sus hallazgos sobre la escorrentía y el impacto de las precipitaciones nos ayudaron a formular nuestras interrogantes. Se utilizó una metodología cuantitativa en el recinto creacional de Cascada, evaluando una simulación de ladera con diferentes pendientes (20,14°, 29,54°, 36,25°). El experimento se realizó en un suelo sin vegetación midiendo cuánto tardaba la escorrentía provocada por diferentes intensidades de precipitación, en llegar a

su desembocadura, esto fue mediante recursos limitados. Los resultados demostraron que la intensidad de la precipitación y la inclinación de la ladera, influyen significativamente en el tiempo que tarda en escurrir el agua. La falta de artefactos adecuados limitó la precisión de los resultados. La indagación concluyó que la intensidad de la precipitación y el grado de inclinación de una ladera juegan un papel crucial en la escorrentía superficial, entregando un dato tan relevante como el tiempo de llegada de la desembocadura. Desde el punto de vista pedagógico, este tipo de experimentos de indagación científica, aportaron con una metodología la cual hace que los estudiantes a través de aprendizajes previos y teóricos en el aula, puedan aplicarlos en un experimento logrando un aprendizaje significativo.

Palabras clave: escorrentía, precipitación, ladera.

1. Introducción

La escorrentía es un proceso fundamental en el ciclo hidrológico, la escorrentía según Strahler (1989), es el movimiento del agua sobre una superficie siendo el flujo que se transporta desde el continente a mares, océanos o lagos. Este es el resultado de diferentes precipitaciones, tales como la lluvia o nieve, es el agua que fluye directamente por la superficie terrestre hacia diferentes áreas. En esta se encuentran la escorrentía superficial y escorrentía subterránea. La escorrentía superficial es aquella que no se infiltra bajo el suelo, y se da cuando la intensidad de la precipitación excede la capacidad de absorción de la tierra, también puede ser que ya el suelo absorbió alcanzó su máxima capacidad de absorción, y es de esta forma que la escorrentía superficial forma ríos o lagos. La escorrentía subterránea se produce cuando el agua se infiltra en el suelo y fluye a través de las grietas, contribuyendo a la formación

de capas de agua subterránea. Este proceso ocurre cuando la precipitación logra infiltrarse hasta la red de drenaje subterránea, permitiendo la acumulación y el movimiento del agua bajo la superficie terrestre.

Según el Diccionario de la lengua española (2023), la precipitación se define como el agua procedente de la atmósfera que, en forma sólida o líquida, se deposita sobre la superficie terrestre. En climatología y meteorología, este término hace referencia a la manifestación física del agua en diversas formas, como lluvia, nieve, aguanieve o granizo (Strahler, 1989). Estas precipitaciones se originan en las capas inferiores de la atmósfera y llegan hasta la superficie terrestre, desempeñando un papel fundamental en el ciclo del agua.

La distribución de las precipitaciones varía en el espacio y el tiempo, dependiendo de factores como la ubicación geográfica, el relieve del terreno y la estación del año. Su medición permite registrar la cantidad de agua que llega a la superficie y la duración de los periodos de lluvia. Además, la recopilación de estos datos resulta esencial para la planificación y la prevención de riesgos, especialmente en zonas vulnerables a precipitaciones intensas, como las laderas inestables.

La ladera se define como la parte inclinada de un monte o de otra elevación del terreno (Diccionario de la Lengua Española, 2023). En términos geográficos, la ladera es una característica de la morfología de la superficie terrestre y forma parte de los fenómenos del ciclo geográfico. Las laderas son comunes en terrenos accidentados, los cuales se caracterizan por ser desiguales y contar con quebradas, y su grado de inclinación puede variar.

En cuanto a la topografía, la ladera hace referencia a la superficie inclinada que se puede encontrar tanto en terrenos elevados como en terrenos bajos. Las laderas pueden tener una pendiente pronunciada o más suave, dependiendo de la inclinación y de los componentes del terreno que las forman.

Los movimientos de laderas son provocados principalmente por la acción de la gravedad, cuando se rompe el equilibrio de los materiales (rocas, derrubios, tierra) que se deslizan ladera abajo. Estos movimientos están asociados a factores internos, como las propiedades del suelo, las discontinuidades, la inclinación y la altura, y factores externos como las lluvias intensas y prolongadas, los sismos, la actividad volcánica, la erosión y las actividades humanas (Mendoza López, Manuel J., y Domínguez, Morales Leobardo, 2002, citado en Zeitún, 2011). Cuando los materiales que componen la ladera se encuentran en una pendiente, suelen ser más inestables. El clima, uno de los principales factores, tiene un control fundamental sobre la estabilidad de las laderas y los deslizamientos que en ellas se producen. En este trabajo, se aborda cómo las precipitaciones pueden influir en la escorrentía de una ladera, considerando tanto las laderas con pendientes altas como bajas.

Los resultados de nuestra investigación podrían ofrecer una hipótesis sobre cómo el cambio climático podría influir en la intensidad de las precipitaciones en las laderas.

A pesar de estudios como los de Alejandro Triviño Pérez y Sergio Ortiz Rojas (2004), quienes propusieron una metodología para la modelación de la escorrentía superficial, considerando factores como la topografía, la precipitación, la infiltración y la capacidad de almacenamiento del suelo para calcular la escorrentía superficial y

gestionar el riesgo de inundaciones, observamos que aunque el tiempo de escorrentía puede proporcionar información relevante, no aborda adecuadamente la relación entre la pendiente, la intensidad de la precipitación y el tiempo que tarda el agua en escurrir. Este aspecto es crucial para la gestión de riesgos e inundaciones. Además, investigaciones como las de Loaiza y Valentijn (2011) en el "Diario de Gestión y Ambiente" destacan la importancia de los modelos hidrológicos y de los diversos factores que influyen en la escorrentía y la precipitación en eventos catastróficos, como la infiltración, entre otros.

No se puede olvidar el trabajo de Arnáez et al. (2013), en su artículo "Efectos de las Rodadas de Tractores en la Escorrentía y Erosión de Suelos en Laderas Cultivadas con Viñedos", en el cual se destacan los resultados obtenidos a partir de experimentos de simulación de lluvia. Este estudio proporcionó datos sobre las relaciones entre la escorrentía, el impacto de las gotas de lluvia y el transporte de sedimentos en suspensión. Aunque este artículo se encontraba algo distante de la visión inicial que se tenía como pregunta de investigación, fue útil para relacionar los fenómenos de escorrentía, el impacto de las precipitaciones y el transporte de sedimentos. Los resultados obtenidos ayudaron a encaminar las interrogantes que surgieron durante el proceso. A raíz de esto, surgió una nueva interrogante al abordar mayores intensidades de precipitación. Por ello, se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿De qué manera el grado de intensidad de una precipitación influye sobre la escorrentía en una ladera con diferentes pendientes?

Para responder a la pregunta de investigación, fue necesario contar con una herramienta capaz de modelar una ladera con diferentes pendientes y simular la precipitación. Aunque varios de los artículos previamente mencionados

proporcionaron información útil, se consideró que no eran completamente necesarios, ya que se pudo formular una hipótesis rápidamente. Sin embargo, era esencial comprobar dicha hipótesis, por lo que se llevó a cabo un experimento que modeló un relieve y simuló una precipitación de forma práctica y sencilla, lo que permitió obtener resultados de manera eficiente.

El propósito de plantear esta pregunta fue contribuir al conocimiento sobre situaciones de riesgo asociadas a precipitaciones intensas, ya que esto permitirá identificar los factores clave a tener en cuenta en casos de alta intensidad en la precipitación. Este aspecto es particularmente relevante en zonas con grandes laderas y altas pendientes, que son las áreas que requieren mayor precaución.

A menudo, la urbanización se establece en lugares de laderas sin una evaluación adecuada del riesgo o sin plena conciencia de la peligrosidad del lugar. Con este artículo, se busca no solo responder a las preguntas de investigación, sino también ampliar la perspectiva sobre cómo el cambio climático y la urbanización pueden influir en la dinámica de estos fenómenos en el futuro.

2. Metodología

La pregunta de investigación planteada fue: ¿De qué manera el grado de intensidad de una precipitación influye sobre la escorrentía en una ladera con diferentes pendientes? A partir de esto, y con base en el conocimiento previo, se pudo inferir que, ante una mayor precipitación y un mayor grado de inclinación en una pendiente, el agua escurre con mayor velocidad. De manera opuesta, cuando la precipitación es menos intensa y la inclinación de la ladera es menor, el agua escurre a una velocidad

más reducida. Esto indica que la intensidad de la precipitación y la inclinación de la pendiente influyen directamente en el tiempo que tarda el agua en escurrir hasta alcanzar su punto de desembocadura.

Para desarrollar la investigación, se decidió emplear una metodología con un enfoque cuantitativo, dado que la respuesta a la pregunta de investigación requería la recopilación de datos, el uso de técnicas de muestreo, observaciones y mediciones. Todo ello con el propósito de probar la hipótesis a través del análisis de datos cuantitativos obtenidos. Por esta razón, el día 15 de junio, en Cascada, se llevó a cabo la investigación bajo los parámetros establecidos. Se utilizaron instrumentos artesanales que permitieron simular las precipitaciones en una ladera, facilitando así la experimentación y el análisis de los resultados. Luego de analizar la pregunta de investigación, se identificó la necesidad de considerar dos variables: la intensidad de la precipitación y el grado de inclinación de la ladera. Estas variables permitieron obtener distintos tiempos de escorrentía. El procedimiento se llevó a cabo de la siguiente manera:

El primer paso consistió en simular la precipitación. Para ello, se utilizaron dos vasos de 500 ml, perforados en la base, de manera que, al agregar agua con una jeringa, esta cayera simulando la lluvia. Uno de los vasos fue perforado con más orificios que el otro con el propósito de medir diferentes intensidades de precipitación.

Posteriormente, se simuló una ladera como representación de la superficie terrestre. Para ello, se empleó una botella plástica de 2 litros, la cual fue abierta y rellena con tierra de tipo arenosa volcánica utilizando una pala. Luego, la superficie fue aplanada ligeramente, dejando libre la boca de la botella. Para simular la pendiente de la ladera, se utilizaron distintos objetos que permitieron

inclinarse la botella, tras lo cual se calcularon tres diferentes grados de inclinación: 20,14° para la pendiente más baja, 29,54° para la pendiente intermedia y 36,25° para la pendiente más pronunciada. Una vez reunidos los materiales que permitieran simular la intensidad de la precipitación, la ladera y su inclinación, se dio inicio al experimento:

- 1) Paso 1: Inclinarse la botella con tierra.
- 2) Paso 2: Añadir 180 ml de agua a los vasos. Se utilizó cinta adhesiva para cubrir los orificios y evitar que el agua cayera antes de tiempo, asegurando que la precipitación comenzara en el momento adecuado.
- 3) Paso 3: Ubicar el vaso sobre la botella que simulaba la ladera y retirar la cinta adhesiva.
- 4) Paso 4: Medir el tiempo durante el cual el agua precipitaba.

Una vez obtenidos los datos, fue necesario seleccionar una tabla adecuada para su almacenamiento y el cálculo del promedio. Para ello, se organizaron los resultados en tablas correspondientes a los tres grados de inclinación evaluados.

- Caso A: Pendiente Menos inclinada 20,14°
- Caso B: Pendiente Medianamente inclinada 29,54°
- Caso C: Pendiente Altamente inclinada 36,25°

Tabla 1. Tabla utilizada para la tabulación de datos obtenidos.

Precipitación (180 ml)	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	\bar{x}
Baja Precipitación				
Alta Precipitación				

Fuente: Elaboración propia.

Las limitaciones identificadas tras la realización del experimento y la obtención

de los resultados estuvieron relacionadas principalmente con las herramientas utilizadas. Los vasos empleados para simular las precipitaciones no cumplieron de manera óptima con su propósito, debido a que los orificios perforados no resultaron ser los más adecuados. En este sentido, se identificó la necesidad de contar con una herramienta más especializada, como un palo de lluvia. Otra limitación encontrada fue el desgaste de la tierra, ya que no se realizaron cambios en el sustrato a lo largo del experimento, lo que pudo haber afectado los resultados. Asimismo, se presentó una dificultad en la simulación de la ladera, debido a la ausencia de una herramienta más adecuada para representar de manera precisa este componente. Por último, en la simulación de la pendiente, se evidenció la falta de instrumentos especializados, ya que se recurrió a objetos disponibles en el momento. Esto representó un desafío en la precisión del ángulo de inclinación y su impacto en la escorrentía.

volumen de 180 ml de agua. En la primera prueba, el agua tardó 34 segundos y 45 milisegundos en escurrir hasta su desembocadura, mientras que en la segunda y tercera prueba el tiempo registrado fue de 34 segundos. Esto dio como resultado un promedio de 34 segundos y 46 milisegundos, evidenciando que prácticamente no hubo variaciones significativas en el tiempo de escorrentía.

Posteriormente, se realizaron pruebas con una precipitación de mayor intensidad, manteniendo el volumen de 180 ml de agua. En este caso, el tiempo promedio registrado fue de 23 segundos y 67 milisegundos. Se observó una ligera variabilidad entre las pruebas individuales, con tiempos de 23 segundos y 90 milisegundos en la primera medición, y 23 segundos y 1 milisegundo en la tercera. No obstante, debido a la mínima diferencia entre los valores obtenidos, se descartaron posibles fallas en el experimento.

3. Resultados

3.1 Caso A: Pendiente Menos inclinada 20,14°

Tabla 2. Tabulación de datos: Caso A.

Precipitación (180 MI)	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	\bar{x}
Baja Precipitación	34'45"	34'48"	34'46"	34'46"
Alta Precipitación	23'90"	24'10"	23'01"	23'67"

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la pendiente A, correspondiente a la inclinación más baja, se utilizó un ángulo de 20,14°. Las pruebas comenzaron con una precipitación de baja intensidad, manteniendo en todas las mediciones un

3.2 Caso B: Pendiente Mediana 29,54°

Tabla 2. Tabulación de datos: Caso B.

Precipitación (180 MI)	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	\bar{x}
Baja Precipitación	24'10"	24'36"	23'91"	24'12"
Alta Precipitación	19'92"	20'10"	21'01"	20'34"

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la pendiente mediana, con un ángulo de 29,54° y correspondiente al caso B, los resultados obtenidos en condiciones de baja precipitación evidenciaron que los valores se mantuvieron relativamente constantes, con una leve diferencia en la tercera prueba, donde se registró una variación de 19 milisegundos en comparación con la primera prueba y de 45 milisegundos en relación con la segunda. A excepción de estas mínimas diferencias, el tiempo

promedio en que el agua tardó en escurrir fue de 24 segundos y 12 milisegundos. En cuanto a las pruebas realizadas con alta precipitación, los resultados fueron los siguientes: en la primera prueba, el agua tardó 19 segundos y 92 milisegundos; en la segunda prueba, 20 segundos y 10 milisegundos; y en la tercera, 21 segundos y 1 milisegundo.

Se observó que en las tres pruebas hubo un incremento en el tiempo de escurrimiento del agua. A pesar de esta variabilidad, el tiempo promedio registrado en condiciones de alta precipitación fue de 20 segundos y 34 milisegundos, lo que representó una diferencia de 3 segundos y 78 milisegundos en comparación con el promedio de la baja precipitación.

3.3 Caso C: Pendiente Alta 36,25°

Tabla 2. Tabulación de datos: Caso A.

Precipitación (180 Ml)	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	\bar{x}
Baja Precipitación	20'10"	19'22"	18'90"	19'40"
Alta Precipitación	10'90"	13'82"	12'87"	12'53"

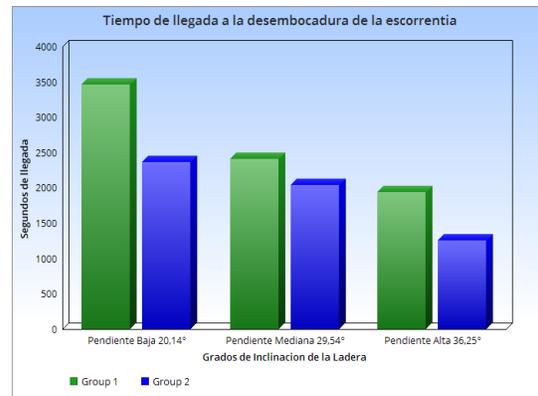
Fuente: Elaboración propia.

En condiciones de baja precipitación, la primera prueba registró un tiempo de 20 segundos y 10 milisegundos, la segunda prueba arrojó 19 segundos y 22 milisegundos, y la tercera prueba obtuvo 18 segundos y 90 milisegundos. A partir de estos resultados, se identificó un patrón de disminución en el tiempo que el agua tardó en escurrir.

El tiempo promedio para la baja precipitación fue de 19 segundos y 40 milisegundos. En condiciones de alta precipitación, los resultados obtenidos fueron los siguientes: en la primera prueba, el agua tardó 10 segundos y 90 milisegundos; en la segunda prueba, 13 segundos y 82 milisegundos; y en la

tercera prueba, 12 segundos y 87 milisegundos. Estos valores sugieren un patrón de incremento en el tiempo de escurrimiento del agua. El tiempo promedio registrado en alta precipitación fue de 12 segundos y 53 milisegundos.

Figura 1. Gráfico del tiempo de llegada a la desembocadura de la escorrentía.



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico presentado, se observa que, en comparación con los resultados de la pendiente de menor inclinación (20,14°), esta presenta un mayor tiempo de escorrentía, alcanzando los 35.000 milisegundos, lo que la convierte en la pendiente con el mayor tiempo de escurrimiento, independientemente de la intensidad de la precipitación. Por otro lado, en el caso de la pendiente de mayor inclinación (36,25°), el gráfico muestra que es la que registró el menor tiempo de escurrimiento hasta su desembocadura.

4. Discusión

Los resultados obtenidos en el experimento refutaron la hipótesis inicial. En el caso de la pendiente A, que corresponde a la menor inclinación, las tres pruebas realizadas arrojaron un promedio de 34 segundos en las pruebas de baja intensidad y 23 segundos con 67 milisegundos en las pruebas de alta intensidad.

En el caso B, correspondiente a la pendiente mediana, el promedio obtenido en la prueba de baja intensidad fue de 24 segundos con 12 milisegundos, mientras que en la prueba de alta intensidad se registró un promedio de 20 segundos con 34 milisegundos. Finalmente, en el caso C, correspondiente a la pendiente alta, el promedio obtenido en la prueba de baja intensidad fue de 19 segundos con 40 milisegundos, y en la prueba de alta intensidad el promedio fue de 12 segundos con 53 milisegundos.

Estos resultados indican que, de acuerdo con la hipótesis planteada, en situaciones de mayor intensidad de precipitación, debido a la mayor producción de agua en un tiempo más corto, el suelo no logra absorber la totalidad del agua, lo que genera una mayor escorrentía superficial. En otras palabras, a mayor intensidad de precipitación, el agua escurre con mayor rapidez hasta su desembocadura. Además, se observó que, a medida que la inclinación de la ladera aumentó, la escorrentía tardó menos tiempo en completarse.

En el caso de precipitaciones de menor intensidad, el suelo logró absorber una mayor cantidad de agua, lo que redujo el volumen de escorrentía superficial. Asimismo, al absorber más agua, la generación de escorrentía tardó más tiempo, prolongando el tiempo requerido para alcanzar la desembocadura. De igual forma, la pendiente de la ladera influyó en los resultados: a mayor inclinación, menor tiempo de escorrentía, mientras que a menor inclinación, el tiempo de escorrentía se extendió, provocando que el agua tardara más en llegar a su punto de desembocadura.

Otros estudios investigativos han abordado temas similares. Por ejemplo, Arnáez et al. (2013), en su artículo "Efectos de las Rodadas de Tractores en la Escorrentía y Erosión de Suelos en Laderas Cultivadas con Viñedos",

presentan una metodología similar en la simulación de la precipitación y su relación con la escorrentía. Sin embargo, a diferencia de dicho estudio, el presente experimento se centró en medir la velocidad de la escorrentía considerando precipitaciones de alta y baja intensidad junto con la inclinación de la pendiente de la ladera.

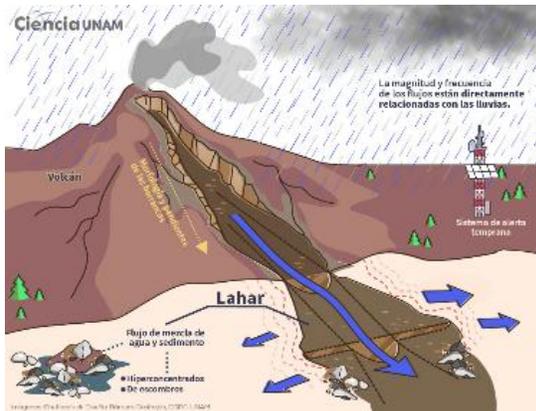
Asimismo, los resultados obtenidos pueden compararse con los de Triviño Pérez y Ortiz Rojas (2004), quienes analizaron los mismos factores, como la inclinación de una ladera y la intensidad de la precipitación, obteniendo resultados similares. Estos estudios respaldan la conclusión de que ambos factores influyen directamente en el tiempo de escorrentía.

No obstante, ambos artículos utilizan metodologías más complejas. En el caso de Triviño Pérez y Ortiz Rojas (2004), su investigación solo presenta una propuesta metodológica, lo que contrasta con el presente experimento, que no solo empleó un cálculo menos complejo, sino que también logró simular un espacio geográfico utilizando instrumentos accesibles.

Los resultados obtenidos permiten aportar información relevante en el contexto de precipitaciones intensas, en las que pueden ocurrir remociones en masa y otros fenómenos geológicos, como los lahares. De acuerdo con Strahler (1989), los lahares son flujos de detritos o barro que contienen materiales volcánicos y son transportados por el agua. Estos pueden originarse por la fusión rápida de nieve o hielo debido al calor de las lavas o flujos piroclásticos durante una erupción volcánica, así como por la erosión y arrastre de depósitos volcánicos no consolidados provocados por lluvias intensas o la ruptura repentina de un lago o laguna.

En un caso hipotético, considerando la inclinación de la ladera de un volcán y el pronóstico de precipitaciones en la zona, sería posible estimar el tiempo que tardaría un lahar en escurrir hasta su desembocadura. Esto permitiría alertar a la población con anticipación, reduciendo el riesgo de daños masivos y otros desastres geológicos.

Imagen 1. Explicación de un lahar.



Fuente: sitiosfuente.info

Imagen 2. Lahar.



Fuente: Elaboración propia.

Otro posible caso en el que se puede aplicar este experimento es en la evaluación de aluviones. Según SENAPRED (2023), los aluviones son flujos de barro en los que el agua transporta diversos materiales por una pendiente. Estos fenómenos tienen la capacidad de recorrer grandes distancias

desde su punto de origen, aumentando su tamaño y velocidad conforme descienden, arrastrando rocas, hojas, ramas, árboles y otros elementos. En Chile, los aluviones suelen generarse en zonas con pendientes pronunciadas y quebradas, especialmente en áreas cordilleranas, durante eventos de lluvias prolongadas acompañadas de una isoterma cero más alta de lo habitual. Dependiendo de las características del terreno afectado, los aluviones pueden causar la pérdida de vidas humanas y daños materiales considerables en viviendas, obras civiles, instalaciones mineras, infraestructuras de riego y telecomunicaciones.

En este contexto, los resultados obtenidos en el presente experimento podrían ser de gran utilidad para prevenir, al menos, la pérdida de vidas humanas. Al igual que en el caso de los lahares, se podría calcular la pendiente del terreno y analizar los pronósticos climáticos para anticipar la ocurrencia de aluviones y organizar evacuaciones. Además, los hallazgos permitirían calcular el tiempo de escorrentía y, en caso de ser necesario, redirigirla hacia otra desembocadura para mitigar los efectos del aluvión.

De igual manera, los hallazgos obtenidos podrían contribuir a la prevención de otros fenómenos como inundaciones, desbordamientos, trombas o avenidas. Si bien estos fenómenos pueden depender de una serie de factores, como el cambio climático, que genera precipitaciones más intensas e impredecibles, los resultados del experimento ofrecen una herramienta para gestionar las escorrentías y prevenir emergencias. En situaciones donde los pronósticos climáticos puedan no ser precisos, la información proporcionada por este estudio podría ser útil para alertar a la población, organizar evacuaciones y minimizar los daños en territorios vulnerables a estos fenómenos.

Sin embargo, cabe mencionar que el experimento se limitó a falta de recursos.

En el caso de realizarse un segundo experimento se recomienda la utilización de un pluviómetro para medir la precipitación, una caja adecuada para simular la ladera, entre otros artefactos.

5. Reflexión

A pesar de los recursos limitados con los que se contó en esta investigación, los resultados obtenidos pueden ser considerados pertinentes para la implementación de medidas de prevención de riesgos y evacuación. Esto se debe a que el estudio proporciona el tiempo estimado en que el agua, o en este caso los flujos como los lahares o aluviones, tardará en llegar a su punto de desembocadura. Al combinar estos datos con el pronóstico de la intensidad de la precipitación y el grado de inclinación de la pendiente de una ladera, es posible prever cuánto tiempo tomará para que estos fenómenos geográficos lleguen a una población o área urbanizada que se encuentre en riesgo.

Un ejemplo que ilustra la relevancia de este tipo de análisis es el ciclo eruptivo del volcán Calbuco, ocurrido en abril-mayo de 2015. Según el Congreso Geológico Chileno (2015), este evento volcánico produjo varios tipos de materiales debido a dos erupciones sub-plinianas, con una columna eruptiva que alcanzó entre 15 y 17,5 kilómetros de altura. Durante este evento, se expulsaron aproximadamente 0,28 km³ de material proximal, lo que resultó en la formación de lahares que causaron daños en viviendas, pisciculturas e infraestructuras viales en las cuencas de los ríos Blanco Sur, Correntoso y Pescado. Este fenómeno afectó a la central de paso Ensenada, destruyéndola debido a los flujos piroclásticos en el río Frío, y obligó al desplazamiento de 6.685 personas, con un costo estimado de reconstrucción de \$3.758.000.000.

Entre las medidas de prevención implementadas en ese evento, se incluyeron mapas simplificados e integrados para evaluar rápidamente las posibles afectaciones y charlas informativas con los miembros de la comunidad. El aporte que puede hacer la investigación actual es que, al considerar la inclinación de las laderas por las que transcurren los lahares y al tomar en cuenta los pronósticos climáticos, se puede calcular con mayor precisión el tiempo que tardarán estos flujos en llegar a las zonas urbanizadas. Esto permitiría a las autoridades informar a la comunidad sobre el tiempo disponible para realizar evacuaciones y así implementar planes de evacuación más efectivos, minimizando riesgos y pérdidas humanas.

Respecto a los resultados del experimento y su relevancia, es importante considerar que la urbanización ha avanzado en lugares inhóspitos, afectando de manera significativa los ecosistemas. En la zona centro-sur de Chile, durante las lluvias de junio de 2024, se produjeron intensas precipitaciones que resultaron en pérdidas dolorosas para los habitantes de la región. Las áreas más afectadas fueron la Región Metropolitana, Valparaíso y O'Higgins. El organismo de prevención y desastre "Senapred" decretó evacuaciones preventivas debido al aumento del nivel de agua de los embalses, el incremento de los caudales y esteros, así como la aceleración de las quebradas y los desbordes de materiales peligrosos.

Este fenómeno se relaciona con la elevación de la isoterma cero, lo que ha provocado precipitaciones en lugares donde normalmente suele nevar. Esto aumenta la escorrentía superficial y los caudales de los ríos, generando desbordamientos y aumentando la probabilidad de aluviones, deslizamientos e inundaciones. En el contexto de este experimento, los hallazgos obtenidos pueden contribuir al conocimiento y a la

toma de decisiones frente a situaciones de riesgo derivadas de fuertes precipitaciones. Esto es especialmente relevante en zonas con laderas de pendientes pronunciadas, donde las precipitaciones tienden a escurrir con mayor velocidad, tal como se reflejan los resultados obtenidos en el experimento. Con esta información, se pueden planificar estrategias de prevención de riesgos en áreas expuestas a estas condiciones peligrosas.

Teniendo en cuenta que los participantes en esta investigación serán futuros docentes, esta experiencia contribuyó a ampliar los conocimientos disciplinarios y las metodologías didácticas de la geografía, las cuales se podrán implementar en el aula. Una de estas metodologías consistió en reconstruir un fenómeno geográfico utilizando herramientas accesibles en el hogar, lo que facilita una comprensión más simple y gráfica de cómo funciona dicho fenómeno. Además, al extrapolar el fenómeno a un espacio geográfico específico de la región, como fue el caso de los lahares de Petrohué, se aportó un conocimiento más profundo sobre la geografía local. Realizar este tipo de actividades fuera del aula de clases resulta fundamental para lograr un aprendizaje significativo, pues permite conectar los aprendizajes previos teóricos con la práctica, propiciando una comprensión más sólida y nueva de los contenidos.

6. Referencias

- Arnáez, J., Ruiz-Flaño, P., Lasanta, T., Ortigosa, L., Llorente, J. A., Pascual, N., & Lana-Renault, N. (2013). Effects of wheel traffic on runoff and soil erosion in slopes cultivated with vineyards. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 38(1), 115-130.
- Bordino, J. (2021). Lahar: qué es y cómo se forma. *ecologiaverde.com*.
<https://www.ecologiaverde.com/lahar-que-es-y-como-se-forma-3639.html>
- Diccionario de la Lengua Española. (s. f.). Ladera. <https://dle.rae.es/precipitación>
- Diccionario de la Lengua Española. (s. f.). Precipitación. <https://dle.rae.es/precipitación>
- Loaiza, J. C., & Valentijn, R. N. (2011). Desarrollo de modelos hidrológicos y modelación de procesos superficiales. Caso de estudio para vertientes de alta montaña. *Gestión y Ambiente*, 14(3), 23-31.
- Mella, M., Moreno, H., Vergés, A., Quiroz, D., Bertin, L., Basulato, D., Bertin, D., & Garrido, N. (2015). Productos volcánicos, impactos y respuesta a la emergencia del ciclo eruptivo abril-mayo (2015) del volcán Calbuco. La Serena, Chile.
- Páez, María Solange, Moreiras, Stella Maris, Brenning, Alexander, & Giambiagi, Laura. (2013). Flujos de detritos y aluviones históricos en la cuenca del río Blanco (32°55'-33°10' y 69°10'-69°25'), Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 70(4), 488-498.
http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-48222013000400004&lng=es&tlng=es.
- Pérez, A. T., & Rojas, S. O. (2004). Methodology for spatially distributed modeling of surface runoff and floodplain's landscape in mediterranean torrential streams. *Investigaciones Geográficas*, (35), 67.
- Sanhueza, A. M. (2024, junio 22). Lluvias en la zona centro-sur de Chile: más de 800 personas aisladas, 1.700 casas dañadas y 74.000 hogares sin electricidad. Ediciones EL PAÍS S.L. <https://elpais.com/chile/2024-06-21/la-zona-centro-sur-de-chile-sufre-un-nuevo-sistema-frontal-hay-mas-de-800-personas-aisladas-y-95-damnificadas.html>
- Strahler, A. N. (1992). *Geología física*. Ediciones Omega, S.A., 1992.
- Strahler, A. N., & Strahler, A. H. (1989). *Geografía Física* (3a ed.). Omega.
- Zeitún, E. L. C. (2011). El concepto de ladera urbana. *Ciencias Espaciales*, 4(1), 41-61.