

# DE ESCORRENTÍA DIFUSA A CONCENTRADA, FACTORES, PROCESOS, Y UN CAMINO HACIA LA TRANSICIÓN

JOAQUIN BARRIENTOS

PHILLIP MARQUEZ

## Resumen

El objetivo de esta investigación es comprender en profundidad los procesos y variables que influyen en el fenómeno de la escorrentía, con el fin de dar respuesta a una interrogante científica mediante experimentación e indagación sobre el tema. Esta investigación está basada en fines pedagógicos y tiene como propósito ser implementada posteriormente en las aulas, facilitando así una mejor comprensión de los(as) estudiantes sobre este proceso hidrológico crucial y su impacto en el medio ambiente.

**Palabras clave:** Escorrentía, Precipitación, Grado de inclinación.

## 1. Introducción

A grandes rasgos, la escorrentía se refiere a la parte de la lluvia que, en lugar de infiltrarse en el suelo, se desplaza sobre la

superficie del terreno hasta llegar a un cauce fluvial. Este fenómeno, también conocido como escorrentía superficial, es un componente crucial en la predicción de crecidas de ríos y está compuesto principalmente por agua pluvial.

El motivo de estudiar el proceso de escorrentía en esta investigación es determinar la distancia en la que la escorrentía pasa de ser difusa a concentrada, además de hacer hincapié en los procesos y factores que influyen en esta transición.

## 2. Marco teórico

Como parte del ciclo hidrológico, la escorrentía, es aquella agua lluvia que por efecto de la gravedad y de la saturación de los suelos comienza a escurrir por la superficie. Este proceso depende de múltiples factores dentro de los que se encuentran la permeabilidad del suelo, la intensidad de la precipitación, el grado de inclinación de la superficie, la vegetación que se encuentra en el lugar, así como también la humedad del ambiente. Sin embargo, esta indagación se reduce a dos variables explícitas en la pregunta de indagación: ¿De qué manera el grado de intensidad de una precipitación influye sobre la escorrentía difusa y/o concentrada?

Con el propósito de dar respuesta a esta pregunta y lograr una comprensión del proceso de escorrentía se proponen distintos objetivos.

### 2.1 Objetivo general

El objetivo general de esta investigación es establecer la relación que hay en el grado

de intensidad de una precipitación sobre el grado de una escorrentía difusa o concentrada.

## 2.2 Objetivos específicos

Para alcanzar el objetivo principal de esta investigación, se plantean varios objetivos específicos que permitirán una comprensión más detallada y precisa del fenómeno de la escorrentía y su relación con las precipitaciones. Estos objetivos incluyen:

- Revisar el estado del arte sobre las técnicas de medición de escorrentía, así como de las de precipitación.
- Implementar una metodología de análisis para medir el proceso de transición de escorrentía difusa a concentrada.
- Establecer relaciones entre los resultados del estudio de precipitaciones y la escorrentía
- Hacer comparaciones cuantitativas entre las distintas intensidades de precipitación.

## 2.3 Desarrollo de conceptos claves

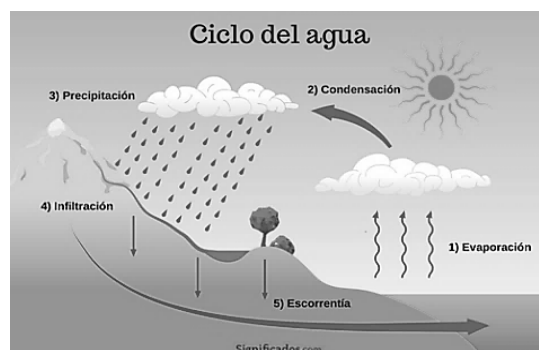
Cada ciencia, así como cada campo de estudio, tiene una base conceptual, de la cual surgen todos sus conocimientos. En el caso de la hidrología, términos como precipitación, escorrentía y ciclo del agua, resultan de vital importancia para una mejor comprensión del estudio de las aguas.

La revisión teórica realizada permite adquirir un conocimiento base acerca del concepto de escorrentía, y comprender lo que se ha planteado y expuesto sobre este proceso hídrico.

Para lograr una rica bibliografía se consultaron tanto libros como artículos, los cuales fueron trabajados de manera deductiva, partiendo de conceptos y procesos más generales como el ciclo hidrológico. A continuación, para una mejor comprensión de esta investigación, se detallarán los conceptos claves trabajados dentro del fenómeno de estudio.

Epistemológicamente, la hidrología procede del griego \*hydor\* (agua) y \*logos\* (tratado). Según la Real Academia Española, es “la parte de las ciencias naturales que trata de las aguas” (Azagra & Hevia, 1996). Los estudios sobre la naturaleza se abordan de forma holística, ya que la hidrología se nutre de diversas ciencias como la geología, química y fisiología vegetal. Este campo también trata las propiedades químicas y físicas del agua en todas sus fases, así como su interacción con los seres vivos a través del ciclo hidrológico.

Figura 1. Representación gráfica del ciclo del agua.



Fuente: Google Imágenes.

Se entiende por Ciclo hidrológico a la sucesión de procesos, que tienen como principal fenómeno de estudio la circulación del agua en sus diferentes etapas y estados. A causa de la evaporación directa, a la transpiración de las plantas y animales y por la sublimación, el agua asciende hacia la atmósfera en forma de vapor y regresa a

la superficie terrestre en su forma líquida y sólida completando así el ciclo de agua. Respecto a esta última fase cuando el agua toca la superficie terrestre es que da inicio al fenómeno de escorrentía.

- Escorrentía: Flujo de agua desde los continentes hacia los mares u océanos mediante dos vías: el flujo de las corrientes superficiales y el flujo de las aguas de saturación; es también un término empleado en el balance hídrico del ciclo del agua. En un sentido más restrictivo, la escorrentía simplemente se refiere al flujo de agua superficial, la que circula por encima del terreno, y la que circula encauzada en las corrientes. (Strahler; 2000)
- Escorrentía Difusa: Discurre sin canalizar en forma de película de pocos milímetros. En función de la cantidad de agua que circula, puede formar pequeñas corrientes o una extensa lámina. (Azagra; Hevia, 1996)
- Escorrentía Concentrada: Discurre canalizada por zonas deprimidas respecto a la pendiente general, recogiendo agua procedente de la escorrentía difusa y el agua subterránea, y formando corrientes de agua más o menos estables. Estas corrientes de agua se denominan arroyos o ríos. (Azagra; Hevia, 1996)

## **2.4 Factores que afectan la escorrentía en una cuenca**

Los factores que influyen en la escorrentía en una cuenca son diversos y se pueden categorizar principalmente en dos grupos: factores climáticos y factores fisiográficos.

### **2.4.1 Factores climáticos**

- Precipitación: forma (lluvia, granizo, nieve, etc.), intensidad, duración, distribución en el tiempo, distribución en el área, precipitaciones anteriores, humedad del suelo.
- Intercepción: tipo de vegetación, composición, edad y densidad de los estratos, estación del año y magnitud de la tormenta.
- Evaporación: temperatura, viento, presión atmosférica, naturaleza y forma de la superficie de evaporación.
- Transpiración: temperatura, radiación solar, viento, humedad y clase de vegetación.

### **2.4.2 Factores fisiográficos**

- Características de la cuenca: geométricas, tamaño, forma, pendiente, orientación y dirección.
- Físicas: uso y cobertura de la tierra, condiciones de infiltración, tipo del suelo, condiciones geológicas como permeabilidad y capacidad de formaciones de aguas subterráneas, condiciones topográficas como presencia de lagos, pantanos y drenajes artificiales.
- Características del canal y capacidad de transporte: tamaño, forma, pendiente, rugosidad, longitud y tributarios.
- Capacidad de almacenamiento: curvas de remanso.
- Intensidad: Cantidad de agua que cae en superficie durante la unidad de tiempo en un lugar determinado. Se suele medir en mm/h (o sea litros por metro cuadrado en 1 hora) (Strahler; 1969, 1989).

Figura 2. Intensidad de la lluvia por el Instituto nacional de meteorología de España.

Intensidad de lluvia	Acumulación en 1h
DEBIL	menos de 2 mm
MODERADA	entre 2.1 y 15 mm
FUERTE	entre 15.1 y 30 mm
MUY FUERTE	entre 30.1 y 60 mm
TORRENCIAL	más de 60 mm

Fuente: Elaboración propia.

- Precipitación: El agua de precipitación se dispersa sobre la tierra de varias maneras. La mayor parte es temporalmente retenida en el suelo cerca de donde cae y posteriormente es devuelta a la atmósfera por la evaporación y la transpiración de las plantas. Una porción de las aguas encuentra el modo de desplazarse sobre la superficie del suelo hasta las corrientes naturales mientras que una última parte del agua precipitada penetra el interior del suelo para llegar a ser parte de las aguas subterráneas. Bajo la Influencia de la gravedad tanto las corrientes superficiales como las subterráneas circulan por las depresiones hasta descargar en el océano, También parte de estas aguas regresan a la atmósfera por la evaporación y la transpiración antes de llegar al océano. (Escobar; 1986)

## 2.5 Estudios similares

Con el propósito de recopilar antecedentes, fuentes, experiencias, y de esta manera formular ideas nuevas, se llevó a cabo una indagación en diferentes textos acerca de la temática. En este sentido, gran parte de estos, se basan en el estudio de alta magnitud, los cuales requieren de gran cantidad de tiempo y espacio. Según algunos autores consultados, dentro de sus

conclusiones y resultados, señalan que, al aumentar el tamaño de la superficie productora de la escorrentía, es más complejo analizar y dar respuesta al proceso hidrológico debido a la escala en que estos ocurren, haciendo más difícil distinguir los efectos de esta y los factores que interactuaron en la producción de escorrentía (Barbancho; Schnabel; Bolinches. 1996). De esta misma forma, los autores recomiendan una medición del fenómeno de estudio a largo plazo, ya que, esto proporciona una perspectiva del proceso con mayor exactitud. (Iroumé; 1992).

Dentro de los estudios consultados se rescataron algunas generalidades importantes para fundamentar la investigación. La precipitación en una zona determinada es el resultado de una serie de factores influyentes. La latitud, por ejemplo, afecta la cantidad de precipitación, disminuyendo con el aumento de la latitud debido a la disminución de la temperatura y la humedad atmosférica. La proximidad a fuentes de humedad, como mares y lagos, aumenta la probabilidad de lluvias. La presencia de montañas también juega un papel crucial; el ascenso orográfico favorece la precipitación, resultando en precipitaciones más intensas en las laderas expuestas a los vientos y mínimas en las laderas opuestas.

En cuanto al suelo, la escorrentía es menor en suelos arenosos y mayor en suelos compactos. La vegetación influye positivamente al disminuir la escorrentía, ya que detiene su desplazamiento y permite la infiltración debido al tiempo en que el agua permanece en la superficie. La precipitación, por su parte, tiene una influencia directa en la escorrentía; aunque se podría pensar que una gran cantidad de lluvia de alta intensidad aumenta el nivel de

agua retenida en el suelo, esto depende del coeficiente de infiltración del suelo. Finalmente, la fauna y la orientación también influyen en la escorrentía, estando estos factores relacionados con los anteriormente mencionados (Azagra y Hevia, 1996).

Por otra parte, una gran cantidad de investigadores ha intentado desarrollar relaciones de precipitación - escorrentía, y a partir de esto que se puedan aplicar a cualquier región o cuenca bajo cualquier serie de condiciones. Sin embargo, estos métodos deben ser utilizados con extrema precaución debido a la variabilidad de los factores que afectan a la evaluación de la escorrentía a partir de un volumen conocido de precipitación.

En base a la indagación teórica y al estudio de múltiples experimentos realizados, la mayoría de los cuales se llevaron a cabo en terrenos de grandes extensiones, con material e instrumentos especializados y durante largos periodos de tiempo, se ha identificado una laguna en la investigación existente. La transición de escorrentía difusa a concentrada es un tema poco estudiado. A partir de esta observación, se plantea la siguiente hipótesis con el objetivo de aportar a esta temática específica: "A mayor inclinación y mayor la intensidad de precipitación, la escorrentía pasaría de difusa a concentrada en menor tiempo".

Teniendo entonces ya, la hipótesis planteada, ésta será el hilo conductor que dará dirección a los siguientes apartados.

### **3. Metodología**

El objetivo general de esta investigación es comprobar que a mayor grado de inclinación e intensidad de precipitación

más rápido es el proceso en que la escorrentía pasa de difusa a concentrada. Para ello, se realizó un experimento en el que se buscó medir a qué distancia el agua logra pasar de escorrentía difusa a escorrentía concentrada.

Las variables que se pondrán a prueba son dos, la intensidad de la precipitación, así como el grado de inclinación de una superficie. En este sentido se simularán 3 intensidades de precipitación alta (20 mm/s) media (10 mm/s) y baja (5 mm/s), la intensidad en este caso no dependerá de la cantidad de agua que se vierta en cada botella (cada intento se realiza con 250ml de agua) sino que, de los agujeros que se les perforan en cada una. Para el grado de inclinación, se le cambiará la posición a una tabla de madera ubicándola en 5,10, 15, 20 y 25 grados de inclinación.

Para la obtención de una mayor exactitud en los resultados, se repitió 3 veces cada tipo de precipitación a cada grado de inclinación.

#### **3.1 Materiales e instrumentos para realizar el experimento**

Para este experimento se generaron condiciones de laboratorio, poniendo a prueba las variables que se mencionaron en el apartado anterior, con los siguientes materiales:

- Un clavo de una pulgada.
- Un clavo de 0,7 pulgada.
- 3 botellas plásticas de litro y medio.
- Una tabla de madera de 50 cm de largo y 30 cm de ancho.
- 12 L de agua.
- 18 kg de limo seco.
- Cinta métrica.
- Un lápiz y un cuaderno.

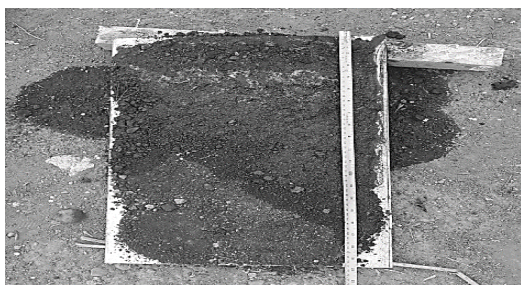
- Un celular (para registro audiovisual)

### 3.2 Procedimiento

A continuación, se describen los pasos y el equipo utilizado para simular diferentes intensidades de precipitación y evaluar su impacto en el proceso de escorrentía. El procedimiento detalla cómo se prepararon los materiales, cómo se configuraron los dispositivos de medición y las técnicas empleadas para garantizar la precisión y validez de los datos.

1. Reunidos todos los materiales, se procedió a realizar perforaciones en las botellas para simular las distintas intensidades de lluvia (5, 10 y 20 mm/s). Para simular la baja intensidad, se hicieron 10 agujeros con un clavo de 0.7 pulgadas; para la intensidad intermedia, se perforaron 15 agujeros con un clavo de una pulgada; y para la alta intensidad, se realizaron 24 agujeros con el clavo de una pulgada. Cada botella también se dejó con una abertura para introducir el agua.
2. Se preparó la plataforma colocando una tabla de madera sobre otro trozo de manera que se estabilizara en los grados de inclinación requeridos. Esta inclinación se verificó utilizando un nivel para asegurar que la tabla cumpliera con los grados establecidos.

Figura 3. Imagen del experimento transición de escorrentía a 5 grados de inclinación.



Fuente: Elaboración propia.

3. Con la plataforma lista, se procedió a cubrir la tabla con aproximadamente 400 grs de limo seco, asegurándose de que la distribución fuera uniforme para simular adecuadamente las condiciones del terreno.
4. Se vertió sobre una de las botellas 250 ml de agua, que cayó desde el extremo más inclinado de la tabla. Una vez que el agua terminó de caer, se utilizó una cinta métrica para medir la distancia a la cual la escorrentía pasó de difusa a concentrada. Estos datos fueron registrados en una tabla utilizando lápiz y cuaderno.

Este procedimiento se repitió tres veces para cada nivel de inclinación y para cada grado de intensidad de precipitación, sumando un total de 45 muestras. Además de las mediciones, se realizó un registro audiovisual de cada ejecución para su posterior análisis, permitiendo una revisión detallada y la posibilidad de identificar cualquier variable no considerada inicialmente. Esta documentación adicional facilitó una comprensión más profunda de los resultados obtenidos y permitió validar la consistencia y precisión del experimento.

Figura 4. Imagen del experimento con intensidad media a 20 grados de inclinación.



Fuente: Elaboración propia.

#### 4. Resultados

Para obtener resultados más específicos, se replicó cada simulación tres veces para cada grado de inclinación y cada nivel de precipitación, sumando un total de 45 repeticiones.

La realización del experimento permitió desarrollar concepciones sobre las expectativas y evaluar la hipótesis a partir de los datos obtenidos. Para cuantificar los resultados de las mediciones, se diseñó una tabla (Tabla 1) que presenta los datos de manera estructurada. En la sección horizontal de la tabla se registran los cinco grados de inclinación, mientras que en la sección vertical se muestran los tres niveles de intensidad de precipitación.

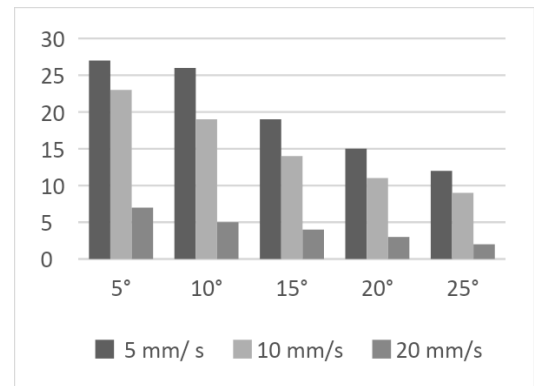
Tabla 1. Tabulación de los datos recolectados.

Grado inclinación		Intensidad de precipitación		
		5mm	10 mm	20 mm
5°	1*	25	21	9
	2*	27	24	6
	3*	25	23	8
10°	1*	23	17	7
	2*	26	21	7
	3*	25	18	8
15°	1*	18	14	4
	2*	17	16	5
	3*	20	13	5
20°	1*	13	11	5
	2*	17	9	5
	3*	15	12	4
25°	1*	12	9	2
	2*	14	8	2
	3*	10	9	2

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que en cada una de las 3 simulaciones de los niveles de inclinación y de grado de precipitación, una constante de cifras, sin variar significativamente. Ejemplo: 25° X 5 mm/s, los resultados solo varían 4 cifras.

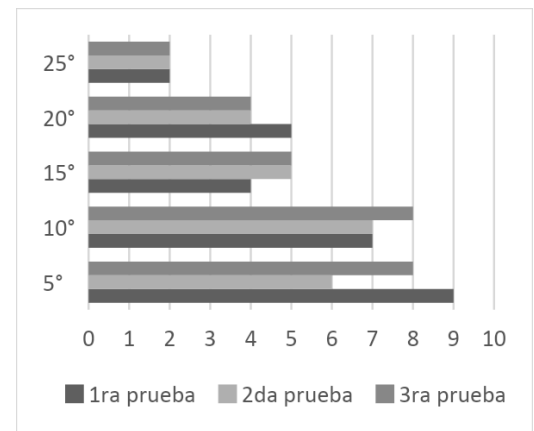
Gráfico 1. Transición promedio de escorrentía difusa a concentrada.



Fuente: Elaboración propia.

En el eje horizontal del gráfico se observan los grados de inclinación y en el eje vertical se encuentran representados los centímetros.

Gráfico 2. Escorrentía con grado de precipitación Alta.

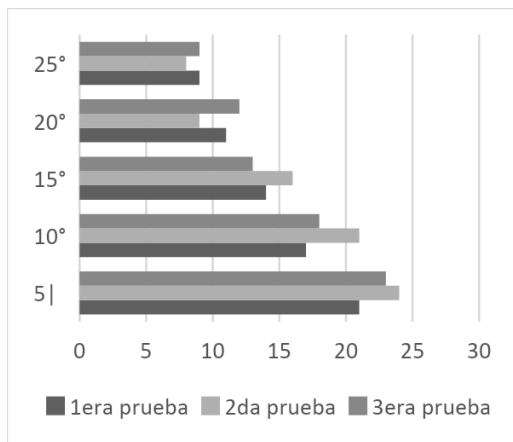


Fuente: Elaboración propia.

En el eje horizontal del gráfico se observan los grados de inclinación desde los 5° hasta los 25° los que fueron medidos en la misma plataforma a distinto grado de pendiente. Por otra parte, en el eje vertical se encuentra la distancia representada en

centímetros que demoró en pasar de escorrentía difusa a concentrada.

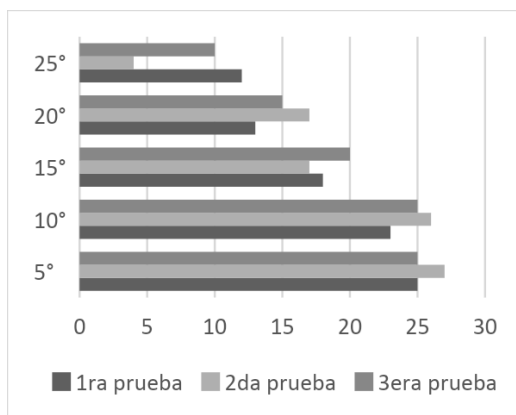
Gráfico 3. Escorrentía con grado de precipitación media.



Fuente: Elaboración propia.

En el eje horizontal del gráfico se observan los grados de inclinación de forma ascendente y en el eje vertical se encuentran representados los cm., siendo a 4 cms. la distancia más corta donde se pasa de escorrentía difusa y concentrada desde que se deja caer el agua.

Gráfico 4. Escorrentía con grado de precipitación baja.



Fuente: Elaboración propia

En el eje horizontal del gráfico se observan los grados de inclinación de forma

ascendente y en el eje vertical se encuentran representados los centímetros, la distancia que tardó el agua en cada intento de pasar de escorrentía difusa a concentrada. Se puede apreciar que a 25° de inclinación es cuando más rápido pasa de escorrentía difusa a concentrada siendo a los 4 centímetros la medida donde ocurre esta transición.

## 5. Discusión

### 5.1 Explicación de los resultados

Los resultados obtenidos permitieron realizar una comparación, en primer lugar, de manera amplia sobre el comportamiento de la escorrentía en relación con la intensidad de las precipitaciones y el grado de inclinación de la superficie. Esto permitió contrastar los resultados esperados y comprobar la hipótesis planteada. En segundo lugar, se identificaron los rasgos más importantes que influyeron en estos resultados, proporcionando una comprensión más detallada de los factores que afectan la transición de la escorrentía de difusa a concentrada.

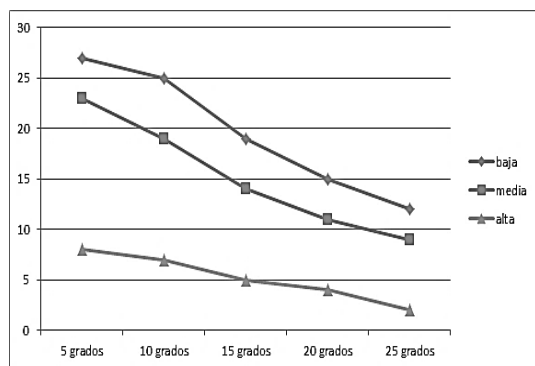
Como se planteó al principio de esta investigación, la hipótesis se basó en dos factores centrales: la inclinación del terreno y el grado de precipitación. Según la hipótesis, a mayor inclinación y mayor intensidad de precipitación, la escorrentía pasaría de difusa a concentrada en menor tiempo. Estos factores combinados se esperaban tener un impacto significativo en la formación y comportamiento de la escorrentía, proporcionando una comprensión clara de cómo las variables interactúan en condiciones de campo.



Luego de realizar las simulaciones y obtener los resultados, sin un mayor análisis de estos, se puede inferir que los resultados obtenidos no son muy diferentes a los esperados.

Se esperaba que la primera simulación (5° de inclinación + precipitación de intensidad baja) obtuviera una gran cantidad de escorrentía difusa y en su seno se convirtiera en concentrada, llegando a la extensión máxima de 40 cm para convertirse en escorrentía concentrada. En la última simulación (25° de inclinación + precipitación de intensidad alta) no se superaron los 5 cm de escorrentía difusa antes de convertirse en concentrada. Este comportamiento indica que la mayor inclinación y la precipitación intensa aceleran la transición de escorrentía difusa a concentrada.

Gráfico 5. Promedio de los resultados.



Fuente: Elaboración propia.

En la primera simulación, destacada en rojo, la escorrentía difusa alcanzó los 25 cm. con un promedio de 25,6 cm entre las tres repeticiones, y en la última simulación destacada en azul, la escorrentía se concentra a los 2 cm y siendo el promedio de las tres repeticiones. Esto conforme de manera contundente nuestras expectativas para el experimento y de igual manera confirma nuestra hipótesis.

Posterior al análisis de los datos, comparar los resultados, graficarlos y tabularlos, se concluye que el grado de inclinación es el factor más influyente en la escorrentía. Esto se puede observar en la tabla de resultados expuesta en el apartado anterior. Se observa que las dos primeras columnas de inclinación (5°/10°), los resultados con respecto a los grados de intensidad no varían de manera significativa, se mantienen dentro de los resultados esperados. Pero al llegar a la tercera columna, ya se observa una disminución considerable de los resultados, y en las dos últimas columnas, los resultados presentan una gran disminución en las cifras, lo cual no se esperaba, como se mencionaba anteriormente, se consideraba que la primera simulación y la última tendría una gran variación, pero en este caso las simulaciones pares tuvieron los mismos resultados. De estos resultados se infiere que entre estos dos factores el más influyente es el grado de inclinación.

Es importante recalcar la importancia en la de las distintas variables que configuran las escorrentías, ya que, como se dijo anteriormente, al ser parte de los sistemas de la geografía física y la hidrología, estos están condicionados bajo una multitud de agentes que configuran en estos sistemas.

Como ya se ha mencionado anteriormente, para realizar el experimento se aislaron variables. Sin embargo, en el proceso de la escorrentía en la naturaleza, no existe tal tipo de aislación. La permeabilidad del suelo y la humedad que éste retenga son factores determinantes para la cantidad de agua que se infiltra en la tierra. Otros factores incluyen la humedad atmosférica, la vegetación presente en el terreno, y si este se encuentra a sotavento o barlovento, lo cual determina si recibe humedad del mar.

Asimismo, la forma en que caen las precipitaciones (lluvia, granizo, nieve), su intensidad y duración, y la distribución en el área son factores cruciales. Las precipitaciones anteriores, la edad y densidad de los estratos, la estación del año, la evaporación del suelo, la temperatura, el viento, la presión atmosférica, la naturaleza y forma de la superficie de evaporación también influyen significativamente. Todos estos factores afectan la exposición del terreno a la radiación solar y, por ende, su comportamiento en relación con la escorrentía.

## **5.2 Discusión de los resultados (el aporte de la indagación para el estado del arte)**

Al ser este experimento una indagación con fines pedagógicos más que científicos, cabe preguntarse si realmente aporta al estado del arte. En este sentido, la pregunta que motivó la investigación, "¿de qué manera el grado de intensidad de una precipitación influye sobre la escorrentía difusa y/o concentrada?", ya ha sido respondida por otros autores. Además, al trabajar con conceptos específicos, el estudio acota su alcance y deja de lado otras variables y conceptos importantes. Esto reduce la generalidad de los resultados, aunque proporciona un valioso ejercicio educativo y una comprensión más profunda de los procesos involucrados.

Por otra parte, al realizar el marco teórico de esta indagación, los documentos consultados eran a escala mayor, es decir median terrenos de proporciones elevadas en comparación al área de estudio de esta investigación. De igual manera los textos y trabajos eran de carácter netamente científico, en donde había todo un equipo técnico detrás del proyecto (lo que conlleva

instrumentos especializados) y de la misma forma eran investigaciones a la largo plazo, dada esta situación no se puede notar un real aporte, ya que, los trabajos son a distintas escalas, sin embargo, esto puede resultar una dicotomía, ya que, si bien por una parte no son las mismas escalas otra causa de hecho de no aportar, es el hecho de que nuestro marco teórico es muy reducido y por ende, no permite dar una mirada mucho más global a la temática de la escorrentía, desde esta perspectiva nuestra indagación más que aportar al estado del arte es un aporte de tipo más personal en que aprendimos a desarrollar un trabajo de investigación y también llevarlo a la práctica.

En este contexto, si se considera el futuro como docentes, también se puede optar por la indagación científica como un enfoque pedagógico. Con este enfoque, se lograría desarrollar y abarcar la ciencia para los estudiantes, al mismo tiempo que se fomentarían habilidades específicas como el pensamiento crítico y la lectura científica. Además, se promovería una disposición a involucrarse en asuntos relacionados con la ciencia.

## **5.3 Discusión la metodología (dificultades y mejoras del procedimiento)**

### **5.3.1 Dificultades**

Estudiar y experimentar condiciones de carácter más bien físicas requirió la generación de condiciones de laboratorio para llevarlo a cabo. En este sentido, uno de los principales inconvenientes fue "escoger y definir la metodología" para poder gestar estas condiciones. Al indagar en el estado del arte sobre esta temática, se

observó que la mayoría de los experimentos realizados en relación con la escorrentía se llevaban a cabo a escalas mayores, lo que implicaba el uso de herramientas y material especializado, así como un uso del tiempo a largo plazo. Bajo estas condiciones, el desarrollo de los experimentos para este grupo de estudiantes representó una dificultad al intentar extrapolar los procedimientos llevados a cabo por otros investigadores.

En este contexto la metodología final se seleccionó con la orientación y consejos del profesor a cargo. Ahora bien, a la hora de poner en práctica dicha metodología, también fueron surgiendo algunos inconvenientes. Por ejemplo, al verter el agua sobre la plataforma, había veces que ésta escurría hacia los lados, saliéndose de los márgenes, y por ende, interfiriendo en la medición final de escorrentía.

Otra de las dificultades de la metodología surgieron al momento de elegir con que hacer los agujeros en la botella, ya que, la idea era poder simular de la forma más parecida posible a lo que es la lluvia en la realidad, por lo que, se optó por hacer los orificios con un clavo de 0,7 pulgadas para la intensidad baja y media y uno de 1 pulgada para generar la precipitación de intensidad alta.

Por otra parte, a la hora de posicionar la tierra sobre la plataforma a medida que se incrementa el grado de inclinación, específicamente en los 25 grados, esta tendía a caer, pero en pequeñas porciones por efecto de la gravedad. Sin embargo, estas dificultades no representaron un mayor obstáculo para realizar el experimento y con ello responder la pregunta de indagación.

### 5.3.2 Mejoras del procedimiento

Como se menciona en el apartado anterior con respecto a las dificultades, para poder llevar a cabo un experimento como este, es necesario aislar todas las variables, esto implica que durante las primeras simulaciones si una de las variables es demasiado abierta a múltiples resultados, se debe desestructurar, cambiar y comenzar nuevamente, todo esto es parte del proceso de mejora de un experimento.

Otro de los puntos a mejorar de este experimento es el tiempo que requiere, ya que para esta ocasión, y respecto a su intención de carácter pedagógico, el experimento no llevo más de 2 días en prepararse y ser realizado, dentro de esto lo que más requirió tiempo fue la selección de los materiales, buscar una ubicación adecuada y preparar todo lo necesario para realizar las simulaciones, las cuales solo llevaron un cuarto de todo el tiempo en ser realizadas.

Cabe destacar que este experimento ayuda en gran medida a poder analizar procesos de escorrentía en cualquiera de sus grados, ya que, no existía bibliografía u otros experimentos que ayudarán en su diseño, ya que, los estudios sobre escorrentía son en gran magnitud, de espacio y tiempo. Asimismo, se destaca que esta indagación deja las bases para poder seguir mejorando y diseñar un experimento en menor escala y de menor tiempo de trabajo.

Otro punto que se debe mejorar, son las muestras. Se recomienda que, mientras más grandes sean, más fácil será analizarlas. Esto es relevante en caso de que el experimento no se realice a una mayor escala, pero sí con una extensión de tiempo más prolongada, para obtener muestras mucho más precisas.

## 6. Conclusiones

### 6.1 Aprendizajes obtenidos por la indagación (conceptual procedimental actitudinal)

Este proyecto comenzó con la entrega de una temática a investigar que era desconocida para el equipo investigador. En el transcurso de la conformación de este trabajo, se lograron aprender conceptos como el de escorrentía y los procesos asociados a ella. Además, al colaborar con otro equipo en su proyecto de investigación, se constató que la escorrentía es más común de lo que parece y que está presente e interviene de diferentes maneras en la naturaleza, específicamente a través del ciclo hidrológico.

A lo largo de este proyecto de investigación, el equipo adquirió conocimiento sobre cómo redactar un informe de tipo científico. Es fundamental que un informe de esta naturaleza cuente con un sólido marco teórico (estado del arte), ya que este proporciona el cuerpo del documento e interactúa con cada una de sus secciones. Además, se destacó que la metodología de la indagación científica fomenta una lectura más crítica tanto de los documentos como de la realidad circundante.

En el caso de la escorrentía, se observó que este fenómeno está más cercano de lo que parece, como cuando llueve en una ciudad y el agua corre libremente hasta los drenajes pluviales y, finalmente, a los cuerpos de agua. Este proceso, aunque simple, es una manifestación de la escorrentía. En algunos países, se ha avanzado en el estudio de cómo manejar y controlar las aguas de escorrentía para

preservar la calidad del agua en cauces naturales o cuencas hidrográficas.

### 6.2 Interpretación de fenómenos geográficos a escala global

El objetivo de esta investigación era la comprensión del proceso de escorrentía y dentro de todas y cada una de las etapas de este trabajo, fue necesario una ardua investigación y recopilación de otras investigaciones, diccionarios de geografía, libros sobre hidrología, botánica y geología, entre otros, para poder comprender los procesos que engloban la escorrentía, los niveles de precipitación y los grados de inclinación, ya que, cada vez surgían nuevas dudas e interrogantes. De la misma forma, con la adquisición de estos nuevos conocimientos, se fueron comprendiendo otros procesos, como la relación de la escorrentía en la fenomenología mundial, y como está es el principal componente del aumento de caudales de ríos, así como la de las inundaciones.

Lo anterior, se debe a todos los fenómenos que están relacionados con el proceso de escorrentía y cómo estos mismos son los que la pueden modificar y obtener diferentes resultados, como el tipo de superficie, los niveles de vegetación existente, el nivel de lluvia y el tipo de precipitación y el tiempo que dure, la humedad existente en el suelo, estación del año, la evaporación, temperatura, viento, presión atmosférica, radiación solar, entre otros. Todos estos factores explican porqué es tan variado este proceso en las diferentes partes del globo, ya que, cada lugar tiene diferentes características como las mencionadas anteriormente, quizás estas características se puedan encontrar en dos lugares diferentes, pero solo hace

falta que una variable sea distinta para que los resultados cambien.

Otra de las interpretaciones que surgen sobre la escorrentía, es la de las cuestiones ambientales asociadas con esta, son los impactos sobre el agua superficial, subterránea y del suelo, debido al transporte de contaminantes a estos sistemas, estas consecuencias se traducen en riesgos para la salud humana, perturbaciones del ecosistema e impacto estético sobre los recursos de agua. Entre los contaminantes que crean el mayor impacto, sobre las aguas superficiales que provienen de la escorrentía, están las sustancias derivadas del petróleo, los herbicidas y los fertilizantes. Cuando las aguas superficiales son usadas como abastecimientos de agua potable, pueden quedar comprometidas en cuanto a riesgos para la salud y estética del agua potable. Las aguas superficiales contaminadas también pueden cambiar los procesos metabólicos de las especies acuáticas. De igual manera la escorrentía es afectada por otro fenómeno provocado por la humanidad, y que explica el porqué del aumento de inundaciones y porque la disminución de precipitaciones en zonas del globo están ocurriendo en mayor intensidad pero en menor tiempo. El calentamiento global, está provocando el aumento de la escorrentía en diferentes partes de globo, las precipitaciones ocurren en un menor tiempo, pero en un muy alto nivel de intensidad, lo cual provoca que el agua no logre infiltrarse y ser almacenada en reservas de agua subterránea, provocando el aumento de los caudales de los ríos, y produciendo en algunos casos aluviones.

Algunos ejemplos de los efectos de la escorrentía, son los que ocurren en la zona de Osorno, en los campos de cultivo. Estos

son utilizados para el cultivo de vegetales, berries, trigo, entre otros, son constantemente rociados con químicos, los cuales, luego de que llueve, son desplazados por la escorrentía llevando consigo los químicos, y luego llegan hasta los caudales o se infiltran en las reservas de agua subterránea. Otro ejemplo es lo que pasa en la misma ciudad de Osorno, debido a que esta zona está demarcada por la gran precipitación, en las épocas de mayor lluvia, entre los meses de abril a septiembre, hasta precipitaciones que llegan desde los 100 mm hasta las 210 mm, la tierra se empapa de agua hasta que no infiltra más y el agua se escurre por las calles, el sistema de alcantarillado colapsa, esto se debe a que el agua se escurre por la superficie, arrastrando consigo sedimentos y otros materiales los cuales tapan y bloquean los desagües y alcantarillados.

Un segundo ejemplo, que incluye múltiples factores, como humanos y naturales que se sumaron y produjeron una catástrofe, fue lo ocurrido en diciembre de 2018 en la Villa Santa Lucia, ubicada en la comuna de Chaitén, Región de Los Lagos. El aluvión ocurrido en la zona, fue causado por dos días de intensa lluvia (122 mm; datos de Onemi) los cuales no se esperaban para esa fecha, y que produjeron la saturación del suelo en muy rápido tiempo y el derretimiento de la nieve, lo que dio paso al deslizamiento de tierra y roca muy grande de una ladera muy alta, del cerro ubicado junto a la ciudad, a todo esto se le sumó que las laderas del cerro habían sido ocupados para la plantación forestal, esto provocó que todo el material desprendido no fuera frenado y llegará hasta la ciudad ubicada en una zona de depósito aluvial. Todos estos factores provocaron esta catástrofe donde se perdieron 21 vidas.

## 7. Bibliografía

- Análisis comparativo del comportamiento de la escorrentía de tres microcuencas andinas con diferente régimen de precipitación y cobertura vegetal; Maskana. *Revista Científica*.(2017).
- Aparicio, F. (1997). *Fundamentos de hidrología de superficie* (303 pp.). Ed. Limusa, Balderas, México.
- Ceballos Barbancho, A., Schnabel, S., & Cerda i Bolinches, A. (1996). El efecto de la escala sobre los procesos de escorrentía superficial.
- Cristián Henríquez, Gerardo Azócar, Mauricio Aguayo. (2006). Cambio de uso del suelo y escorrentía superficial: aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles, VIII Región del Biobío, Chile. *scielo*, 36, 1.
- Estalrich, E., Hernández, A. J., Aranda, L., & Pastor, J. (1997). Estudio de factores edáficos relacionados con la erosión y escorrentía en taludes de fuerte pendiente; ensayos de revegetación. *Edafología*, 2, 161-167.
- Fernanda J. Gaspari Gabriela E. Senisterra ,Raúl M. Marlats. (2007). Relación precipitación - escorrentía y número de curva bajo diferentes condiciones de uso del suelo.. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, N°1, 23.
- Geografía física. Strahler. Strahler, A. N., & Strahler, A. H. (1969). *Geografía física*. Padova, Piccin.
- Houston, J. (2001). La precipitación torrencial del año 2000 en Quebrada Chacarilla y el cálculo de recarga al acuífero Pampa Tamarugal, norte de Chile. *Revista geológica de Chile*, 28(2), 163-177.
- LÓPEZ CADENAS DE LLANO F.; BLANCO CRIADO M. (1968) Aspectos cualitativos y cuantitativos de la erosión hídrica y del transporte y depósito de materiales, I.F.I.E., pp. 187, Madrid.
- Martínez de Azagra, A., & Navarro Hevia, J. (1996). *Hidrología forestal, el ciclo hidrológico*. Secretariado de Publicaciones, Universidad de Valladolid.
- Peláez, J. R. T. (1978). *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Servicio de Publicaciones.
- Puigdefábregas, J., Solé, A., Lázaro, R., & Nicolau, J. M. (1992). Factores que controlan la escorrentía en una zona semiárida sobre micaesquistos. // *Reunión Nacional de Geomorfología*, 117-127.
- Roberto Pizarro Tapia, Marcela Tapia Cornejo, Leonardo Román Arellano, Cristián Jordán Díaz, César Farías Daza. (2006). Coeficientes de escorrentía instantáneos para la cuenca del río Tutuvén, VII Región del Maule, Chile. *scielo*, 27.
- Sala Sanjaume, M., & Batalla Villanueva, R. J. (1996). *Teoría y métodos en Geografía Física*. Editorial Síntesis. Madrid.
- Santos, M., & Maurel, J. B. (1990). *Por una geografía nueva*.
- Vide, J. M. (1989). Precipitaciones torrenciales en España. *Norba. Revista de geografía*, (6), 63-70.