

# **Comportamiento de caudales en la microcuenca Santa Inés, Honduras**

**Pedro Andrés Vélez Moscoso**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano  
Honduras**

Noviembre, 2020

ZAMORANO  
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

# **Comportamiento de caudales en la microcuenca Santa Inés, Honduras**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar  
al título de Ingeniero en Ambiente y Desarrollo en el  
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

**Pedro Andrés Vélez Moscoso**

**Zamorano, Honduras**  
Noviembre, 2020

## ÍNDICE GENERAL

Portadilla .....	i
Página de firmas .....	ii
Índice General .....	iii
Índice de Cuadro, Figuras y Anexos .....	iv
Resumen.....	v
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>4</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>7</b>
<b>4. CONCLUSIONES.....</b>	<b>12</b>
<b>5. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>13</b>
<b>6. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>14</b>
<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>16</b>

## ÍNDICE DE CUADRO, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadro	Página
1. Precipitación media bruta en la microcuenca Santa Inés (2020).	10

Figuras	Página
1. Mapa de ubicación de la microcuenca Santa Inés. ....	4
2. Caudales promedio mensuales de la microcuenca Santa Inés (enero 2018 - agosto 2020). ....	8
3. Caudales promedios semanales de la microcuenca Santa Inés (enero 2018 - agosto 2020). ....	8
4. Comparación de caudales promedios semanales (enero 2002- agosto 2020). ....	9
5. Curva de probabilidad de ocurrencia de caudales medios semanales (enero 2002 – agosto 2020). ....	9
6. Mapa de polígonos de Thiessen en la microcuenca Santa Inés. ....	10
7. Precipitación bruta y precipitación neta meses mayo-agosto 2020. ....	11

Anexos	Página
1. Cuadro de resultados precipitación media mes de mayo.....	16
2. Cuadro de resultados precipitación media mes de junio .....	16
3. Cuadro de resultados precipitación media mes de julio .....	16
4. Cuadro de resultados precipitación media mes de agosto .....	17
5. Vertedero rectangular quebrada Santa Inés.....	17
6. Precipitación neta.....	17

## Comportamiento de caudales en la microcuenca Santa Inés, Honduras

Pedro Andrés Vélez Moscoso

**Resumen.** La microcuenca Santa Inés es de gran importancia para la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano (EAP) particularmente por ser una fuente de agua para diferentes usos. El caudal del río ha sido monitoreado desde el año 2018 en el punto de captación de agua de la EAP. El presente estudio consiste en analizar el comportamiento de los caudales de dos periodos diferentes de registro y mediante dos técnicas hidrométricas. Para analizar el comportamiento de los caudales se utilizaron los registros de caudal medidos en el vertedero rectangular en el periodo 2018 al 2020, los cuales se compararon con los datos históricos de 2002 al 2009 medidos por vadeo. Se estimó la curva de probabilidades de ocurrencia de caudales máximos y mínimos y el coeficiente de escorrentía en la microcuenca partir de los caudales y la precipitación media. La precipitación se estimó con el método de polígonos de Thiessen a partir de registros de tres pluviómetros en la microcuenca. El mayor caudal registrado en la microcuenca entre 2002 y 2020 es de 371 L/s con una probabilidad de excedencia cercana al 1%. Debido al método de medición de caudal utilizado, los registros de los años recientes son mayores al promedio histórico. El caudal mínimo con una probabilidad del 97% de ser excedido es de 40.44 L/s. Los meses de mayo, junio, julio y agosto se registró una precipitación de 231, 175, 111 y 79 mm respectivamente. La fracción promedio que generó escorrentía a partir de la precipitación bruta es de un 23% para el periodo analizado.

**Palabras clave:** Aforos, escorrentía, polígonos de Thiessen, precipitación, probabilidad, vertedero.

**Abstract.** The Santa Inés watershed is of great importance for the Zamorano Pan-American Agricultural School, particularly for its supply of water for different uses. The river flow has been monitored since 2018 at the University's water catchment point. The present study consists of analyzing the behavior of the streamflow of two recording periods and using two hydrometric techniques. Flow records from 2018 to 2020, collected in a rectangular weir, were compared to data from 2002 to 2009 collected by wading. To estimate runoff from gross precipitation, the mean precipitation was calculated using the Thiessen polygon method from records of three rain gauges in the watershed. The highest flow recorded between 2002 and 2020 was 371 L/s with an associated probability of exceedance close to 1%. Due to the streamflow method used, records from the recent years are higher than the historic average. The minimum flow rate recorded, with a 97% probability of exceedance, was 40.44 L / s. The months from May to August registered rainfall of 231 mm, 175 mm, 111 mm, and 79 mm, respectively. The average fraction that generated runoff from gross precipitation is 23% for the period analyzed.

**Key words:** Gauge, probability, rainfall, runoff, streamflow, Thiessen polygons, wading.

# 1. INTRODUCCIÓN

La gestión de los recursos hídricos es fundamental para la planeación y el manejo sostenible del medio ambiente. El estudio y conocimiento de la hidrología juega un papel importante para la identificación de reservas hídricas, determinación de demandas y suministros de agua potable (Vargas, Torres y Carrillo, 2019). Un estudio hidrológico aborda el problema de una región a través de una cuenca, debido a que representa la unidad física del área, donde la entrada es un evento de precipitación y la salida es el escurrimiento superficial (Vargas et al., 2019). Los factores que intervienen en este evento son: la cobertura, vegetación, área, tipo de suelo y topografía de la zona.

Centroamérica presenta una mayor vulnerabilidad a los riesgos climáticos y a los desastres naturales debido a su ubicación geográfica dentro de un istmo estrecho, con amplia variabilidad climática. El cambio climático ha aumentado la amenaza de la sequía y de otros eventos meteorológicos extremos que tienen efectos en la producción agrícola y en la seguridad alimentaria de la población (González, 2012). El corredor seco es una ecorregión ubicada en Centroamérica, la cual se extiende por los países de Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua. Honduras es el país con mayor área en el corredor seco (42% del territorio) y abarca 213 municipios (Corrales y Ochoa, 2017). Los pobladores, animales y cultivos sufren el impacto del cambio climático y la pobre gestión de recursos hídricos. Factores como la volatilidad, la pobreza y el acceso a tierras hacen que los eventos climáticos extremos como la sequía pongan en riesgo su seguridad alimentaria (Peralta, Carrazón y Zelaya, 2012).

El agua es considerada un recurso estratégico e integrador para el manejo de cuencas y la reducción de la vulnerabilidad socio ambiental, asociada a la sequía, las inundaciones, los deslizamientos y la contaminación del agua (Cotto, 2010). El entendimiento sobre cómo las actividades antrópicas y naturales influyen en el caudal, permitirá dar un mejor manejo a la cuenca y su aprovechamiento.

El estudio de las fuentes de agua y los procesos hidrológicos en la cuenca es de alta importancia para el diseño de sistemas de abastecimientos de agua para consumo humano y agropecuario (Pech, 2011). Una de las principales limitantes para resolver el abastecimiento de agua en América Central es la poca información disponible para fines de diseño de sistemas de aprovechamiento (Westerberg, Guerrero, Seibert y Beven, 2011). Se conoce que el flujo del agua en una cuenca puede tomar dos rutas, una superficial y la otra subsuperficial (Villón, 2006)

La escorrentía superficial es aquella parte del hidrograma formada por el agua que no infiltra, por ende, escurre sobre la superficie del suelo y forma parte de los caudales que salen de la cuenca (Sánchez, 2011). Una de las formas de analizar la escorrentía es el hidrograma unitario. El hidrograma constituye la base del método más usado en el análisis del proceso lluvia-escorrentía a escala de cuenca, en la predicción de avenidas futuras originadas por aguaceros (Ayuso, Peña y Montesinos, 1994). El concepto de hidrograma unitario, hidrograma de escorrentía directa originado por un volumen de 1 mm de precipitación efectiva uniforme sobre una cuenca durante un período de tiempo especificado. Constituye la base del método más usado en el análisis del proceso lluvia-escorrentía a escala de cuenca, en la predicción de avenidas futuras originadas por aguaceros (Ayuso et al., 1994).

La cuantificación de caudales a través de aforos es una herramienta de gran utilidad para toma de decisiones y planificación hidrológica. Aforar una corriente significa determinar, a través de mediciones, el caudal que pasa por una sección y un momento dado (Villón, 2006). Para estimar el caudal existen métodos directos e indirectos; los primeros se basan en la medición de la velocidad del agua y en la ponderación por cada sección transversal al flujo, los métodos indirectos se basan en medir la altura de escurrimiento y, a través de esta, estimar un caudal. Dentro de estos métodos están los vertederos, las canaletas “Parshall”, estaciones hidrométricas y los basados en la ecuación de velocidad de “Chezy-Manning” (Correa, Ruíz y Rivera, 2008).

La precipitación y la temperatura son consideradas las variables climáticas de mayor importancia, ya que a partir de ellos se logran plantear procesos de planificación de estudios de crecimiento a mediano y largo plazo, además del desarrollo de cultivos y plantas en general (Cifuentes, 2016). Para evaluar la precipitación dentro de un lugar o zona determinada es necesario datos y registros confiables que son recabados mediante pluviómetros o estaciones meteorológicas, que cuentan con los instrumentos necesarios para cumplir esta función. Existen diferentes métodos para la estimación de la precipitación media, estos pueden ser determinísticos o métodos geoestadísticos. Entre estos métodos se pueden destacar los polígonos de Thiessen, las Isoyetas, el “Kriging”, el “CoKriging”, la regresión lineal y las redes neuronales entre otras (Madrid, 2019).

La escorrentía es una parte del ciclo hidrológico la cual abarca desde la caída de la precipitación hasta la descarga del agua a través de las corrientes y la evapotranspiración (Revelo y Tualombo, 2016) los procesos que producen la escorrentía dependen del tiempo de duración desde el inicio de la precipitación anterior y la evapotranspiración durante el tiempo (Maidment, 1992). La precipitación también se encuentra con pérdidas las cuales son: la interceptación, el almacenamiento en depresiones y la infiltración, siendo esta última la pérdida más importante de todos los procesos. La microcuenca Santa Inés ha sido escenario de varios estudios, lo que incluye monitoreos diarios de caudales de forma discontinua. Los diferentes estudios, así como el monitoreo, los ha realizado la EAP desde hace varias décadas. La caracterización hidrológica y el balance hídrico de esta microcuenca son importantes para conocer la distribución del agua que entra y sale en el sistema. De igual forma, la estimación de probabilidad de caudales es útil para determinar cuál es la oferta hídrica segura con la que cuenta la microcuenca. Con base en una curva de probabilidad de caudales, estudios previos reportaron un caudal mínimo de 50 L/s con probabilidad de excedencia en un 100%, lo cual tiene un potencial para abastecer una localidad con una población estimada de 19,000 habitantes (Huezo, 2011).

Otro estudio sobre la proyección de escenarios futuros utilizando el modelo hidrológico “Water Evaluation and Planning System” (WEAP) realizada el año 2016, muestra el comportamiento de la microcuenca en dos posibles escenarios. El primero con caudales constantes y tomando en cuenta las extracciones que realizan la EAP y las comunidades aledañas. El segundo escenario en el estudio considera un incremento de la extracción de las comunidades, la reducción de la precipitación y pérdida de caudal. Con los resultados obtenidos se concluyó que la modelación reportó una sobreestimación moderada de caudal en la quebrada Santa Inés (Cisneros, 2016).

Las estimaciones de caudal, tanto en ríos grandes como de menor escala, son importantes para la gestión adecuada del recurso hídrico. El presente estudio comprende el análisis del comportamiento hidrológico específicamente los caudales para diferentes períodos en la microcuenca Santa Inés. Para ello se plantearon los siguientes objetivos:

- Comparar caudales de los últimos tres años con registros históricos (2002 - 2009) en la microcuenca Santa Inés.
- Estimar la probabilidad de ocurrencia de caudales en la microcuenca a partir de los registros de mediciones.
- Estimar el coeficiente de esorrentía de la microcuenca en el periodo mayo - agosto del 2020.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El estudio se realizó en la microcuenca Santa Inés. Esta se encuentra localizada entre los departamentos de Francisco Morazán y El Paraíso, Honduras. Posee una superficie de 20 km<sup>2</sup> y una altitud mínima y máxima de 755 y 1765 msnm, respectivamente, con un perímetro de 19.08 km, de forma oblonga y con pendiente media de 10% (Huezo, 2011). El uso principal del agua de la microcuenca es de consumo y riego por parte de las comunidades ubicadas dentro y aledañas, así como Zamorano (Figura 1).

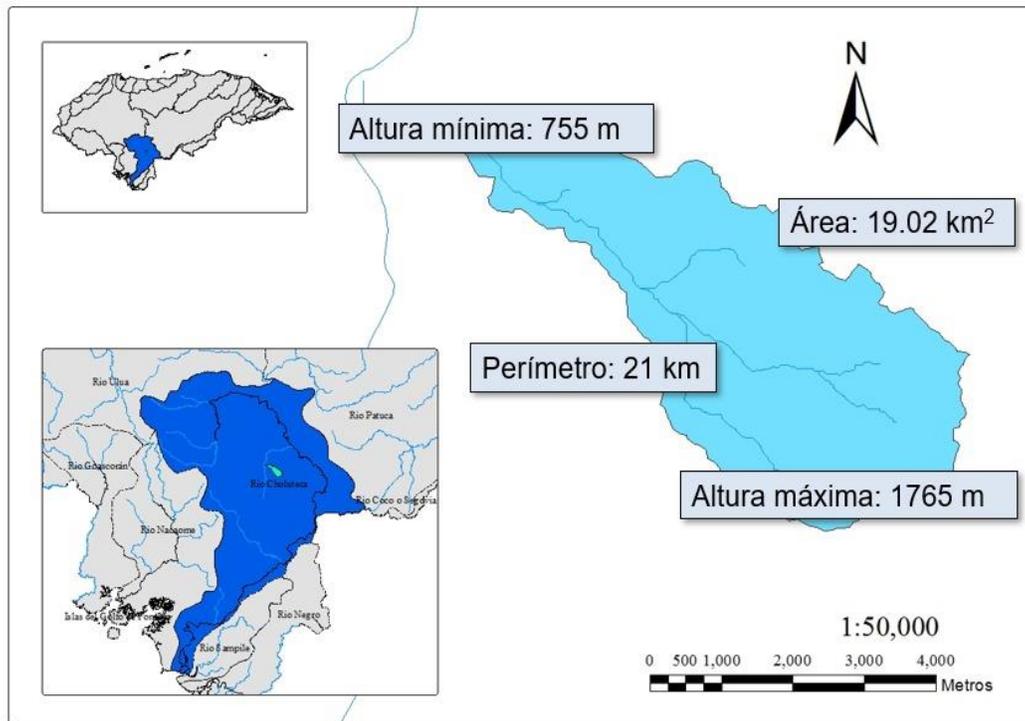


Figura 1. Mapa de ubicación de la microcuenca Santa Inés.

Fuente: (Acosta y Kucharsky, 2012).

### Comparación de caudales actuales con registros históricos

**Registro de Caudales.** Los datos utilizados en este estudio son los de precipitación para períodos específicos de tiempo en tres diferentes puntos de la cuenca. La información de caudales se obtuvo de la base de datos de la EAP. Los registros de caudal se tomaron en el vertedero rectangular de la quebrada Santa Inés que se encuentra en la parte baja de la microcuenca. Para la medición de caudal en vertederos se aplican diferentes ecuaciones dependiendo del tipo de corte de cada vertedero (Chow, 1994). La variable que se toma en cuenta en cada medición es la altura de agua en el punto de medición del vertedero. Para vertederos rectangulares se utiliza la Ecuación 1.

$$Q = K (L - 0.2 H) H^{1.5} \quad [1]$$

Donde:

Q = caudal (m<sup>3</sup>/s)

H = altura del agua en el vertedero en metros (m)

L = largo del corte del vertedero en metros (m)

K = constante que depende del tipo de unidades a utilizar

**Revisión de base de datos de caudales.** Los datos de caudal fueron registrados por personal de varias unidades de la EAP. Los datos registrados comprenden dos periodos, el primero desde 2002 hasta el 2009 y el segundo desde enero de 2018 hasta agosto del 2020. Se revisaron y ordenaron los registros de caudal desde el 2018 hasta el mes de agosto del año 2020. Se realizó una comparación del comportamiento de ambos periodos de registros con datos semanales considerando los datos actuales hasta agosto del 2020. Para realizar esta comparación se utilizó el programa Excel de “Microsoft Office” versión 2016 el cual permitió ordenar y calcular promedios por período. Para una mejor visualización del comportamiento de los caudales en ambos periodos, se construyó la gráfica de líneas. Para construir la gráfica se ordenaron los datos para cada semana enumeradas en orden correlativo desde enero a diciembre todos los años del periodo de análisis.

### **Estimación de probabilidad de ocurrencia de caudales**

**Curva de probabilidad de caudal.** La curva de probabilidad de caudales es una herramienta que se utiliza para poder indicar la distribución de la ocurrencia de niveles de caudales a lo largo del tiempo (Arias y Serna, 2017). Para su construcción se ordenaron de mayor a menor todos los datos semanales históricos de caudal registrados desde 2002 a 2009 y los datos actuales desde enero de 2018 hasta agosto de 2020. Se otorgó un valor ordinal a cada dato y se obtuvo el valor porcentual o probabilidad de ocurrencia mediante la Ecuación 2 (Weibull, 1951)

$$P = 100 (m / (n + 1)) \quad [2]$$

Donde:

P = probabilidad de ocurrencia de un determinado caudal.

m = número del orden del caudal en la secuencia decreciente.

n = total de caudales ordenados en la secuencia

### **Relación de la precipitación y escorrentía en la microcuenca**

**Registro de precipitación.** Los datos de precipitación se registraron desde el mes de mayo hasta agosto del año 2020 de forma simultánea en tres distintos puntos de la microcuenca. Los pluviómetros se instalaron en la zona alta (comunidad El Guayabo) a 1,380 msnm, en la zona media (comunidad Los Lirios) a 1,014 msnm y en la zona baja (Finca Agroecológica) a 777 msnm. La precipitación se midió con pluviómetros HOBO Ware® de balancín, los cuales colectan los datos a través de un registrador electrónico. Los pluviómetros se programaron para registrar datos cada 10 minutos en los tres sitios con una magnitud de 0.2 mm.

**Precipitación media de la microcuenca.** Para el cálculo de la precipitación media de la cuenca se utilizó el método de polígonos de Thiessen (Thiessen, 1911) La definición formal de polígonos de Thiessen se deriva de relaciones topológicas entre puntos en un formato bidimensional. (Mu, 2009). Para la construcción automatizada de los polígonos se utilizó el programa QGIS® versión 3.12.2. Los datos de precipitación utilizados son los registros de los 4 meses de tres pluviómetros ubicados dentro de la microcuenca y la precipitación media se pondera a partir de la fracción del área de cada polígono de Thiessen más cercano al pluviómetro por la precipitación registrada por el mismo.

**Estimación de coeficiente de escurrimiento.** Para conocer la fracción de escurrimiento en un evento de precipitación se separa la parte de la precipitación total que genera escurrimiento. La precipitación bruta se obtuvo de la precipitación media calculada en los polígonos de Thiessen. Para conocer la relación precipitación-caudal, se transformaron los caudales mensuales a lámina de agua en la microcuenca. El área utilizada para la conversión a lámina de agua fue de 13.9 Km<sup>2</sup>. Se calculó la aportación mensual en m<sup>3</sup>, del caudal, para encontrar la lámina de agua se utilizó la aportación encontrada dividido para el área transformado en milímetros. Luego se calculó la diferencia entre la precipitación bruta acumulada mensual y la lámina de los caudales registrados para el mismo mes en la salida de la microcuenca. Finalmente, y con el propósito de tener una mejor visualización de la fracción de escurrimiento generada a partir de la precipitación, se construyó un gráfico de barras con ambas magnitudes mediante la Ecuación 3.

$$CE = Q / P \quad [3]$$

Donde:

CE = coeficiente de escurrimiento.

Q = caudal.

P = precipitación

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Comparación de caudales

**Comportamiento de caudales.** Los datos diarios de caudal instantáneo analizados son del periodo desde enero de 2018 hasta agosto del 2020. El análisis de datos de caudal indica que en la microcuenca Santa Inés en el año 2018, el caudal medio en el punto de captación de agua de Zamorano es de 218 L/s en época lluviosa y de 127 L/s en época seca. Se presentaron máximos en promedios mensuales que llegaron hasta los 400 L/s, esto debido a las tormentas tropicales que ocurrieron el territorio de Centro América el 2018. El año 2019 el caudal promedio en la época de lluvia fue de 130 L/s y en la época seca fue de 94.5 L/s. Esta reducción en comparación con el año 2018 se debe a la prolongación de la época seca conocida como canícula que ocurrió durante los meses de junio a septiembre. El año 2020 presentó un caudal medio en la época lluviosa hasta el mes de agosto de 144.8 L/s y un caudal medio en época seca de 62.9 L/s. Tomando en cuenta el método y la frecuencia de medición de los datos históricos, no se puede afirmar que el caudal aumentó en la microcuenca. Los datos actuales tienen un monitoreo frecuente en comparación con los datos históricos y el método de medición por medio del vertedero es más preciso.

La época seca en la región sur oriente, inicia desde la última semana de noviembre o a inicios de diciembre y finaliza en la segunda semana de mayo. Los periodos húmedos o lluviosos tienen un comportamiento bimodal, el primero ocurre en los meses de mayo, junio y julio y el segundo en los meses de septiembre, octubre y noviembre. El año 2018 se observa un caudal máximo de 413.08 L/s en la postrera por las fuertes lluvias suscitadas en toda la región. El año 2019 se caracterizó por una época seca que se prolongó hasta el mes de septiembre, causando grandes pérdidas a los productores. El año hidrológico 2020 comenzó con caudales medios mensuales bajos tomando en cuenta los dos años anteriores (Figura 2). Previo al inicio de la época seca del año 2020 se midió un caudal 40.44 L/s el cual es el más bajo de todo el periodo de estudio. Con los caudales promedios semanales es más observable el comportamiento de la microcuenca y se aprecia con mayor claridad la época seca del año 2019 (Figura 3).

La base histórica de datos promedios semanales de la microcuenca Santa Inés comprende el período desde 2002 al 2009. El período de registros para la comparación comprende desde enero 2018 hasta agosto del 2020. Al analizar la comparación de los datos de los últimos tres años con la base de datos histórica, se puede observar que existen diferencias en los datos reportados en ambos períodos. Los datos actuales son mayores durante la época seca, esto se debe a una posible subestimación en los datos históricos, debido a que la frecuencia de las mediciones fue una vez por semana. Otro supuesto sobre estas diferencias puede ser por error sistemático en el método de medición con molinete y flotador (Figura 4). Según Cisneros (2016) la microcuenca Santa Inés ha experimentado disminución en la precipitación y aumento en las extracciones en la parte alta en los últimos años. Lo anterior indica que los caudales en el punto de registro, en la parte baja deberían estar disminuyendo paulatinamente en el último período.

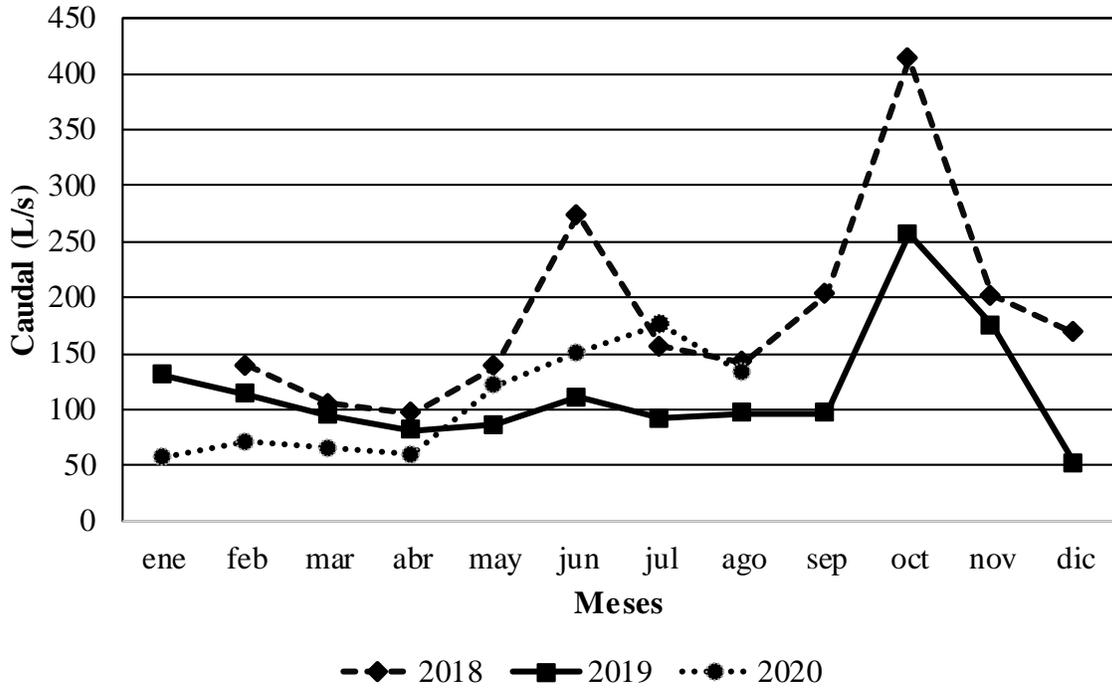


Figura 2. Caudales promedio mensuales de la microcuenca Santa Inés (enero 2018 - agosto 2020).

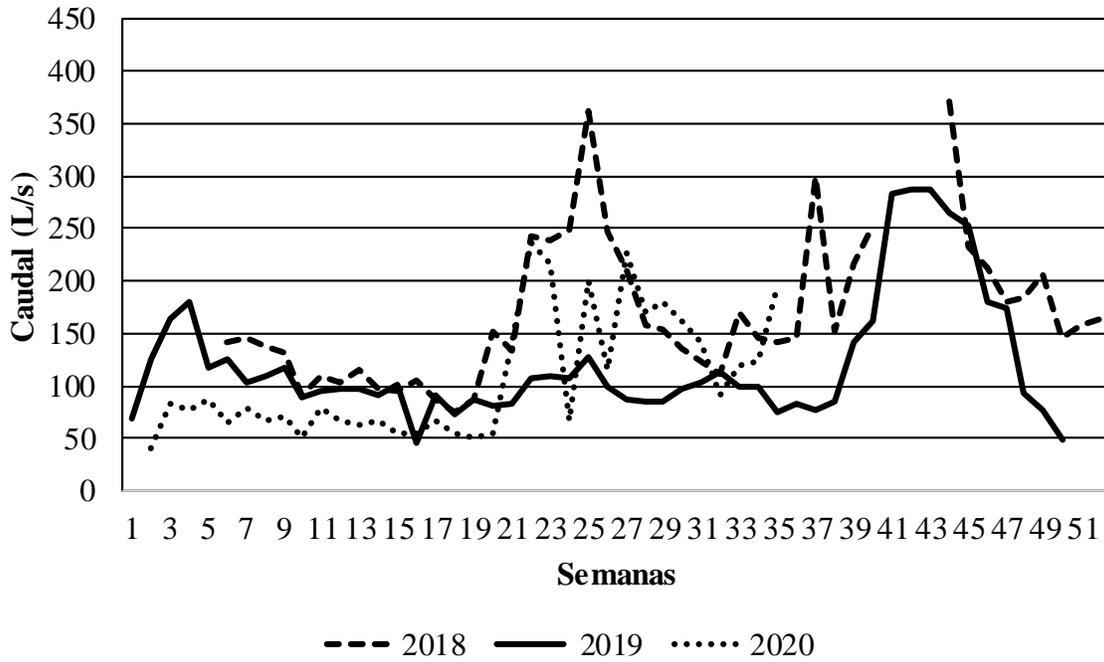


Figura 3. Caudales promedio semanales de la microcuenca Santa Inés (enero 2018 - agosto 2020).

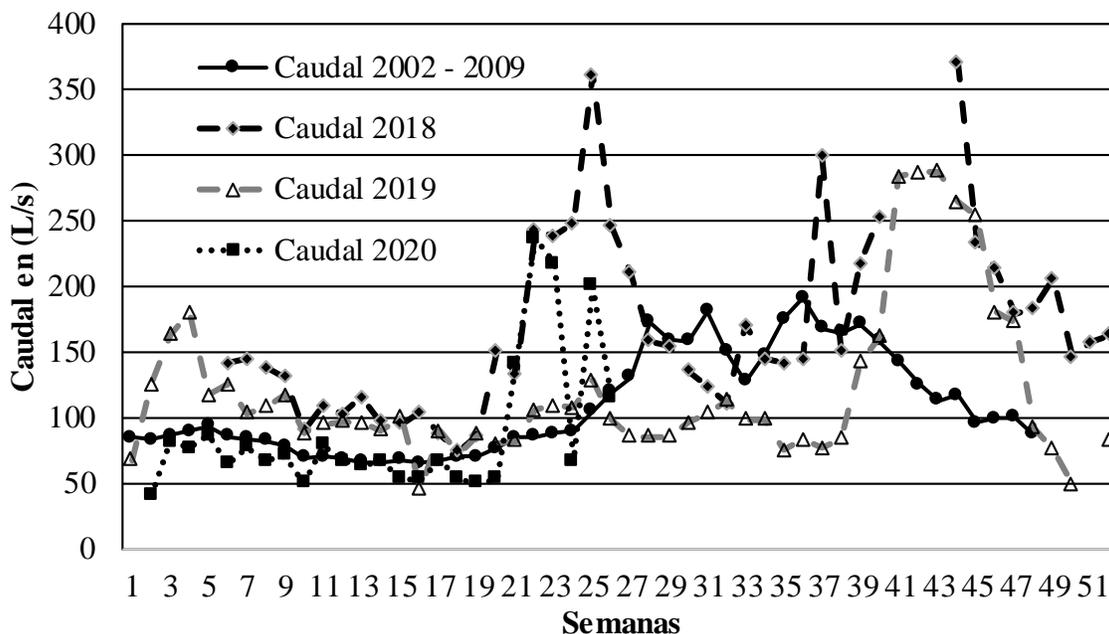


Figura 4. Comparación de caudales promedios semanales (enero 2002- agosto 2020).

#### Probabilidad de ocurrencia de caudales en la microcuenca

El mayor caudal registrado en la microcuenca entre 2002 y 2020 es de 371 L/s con una probabilidad asociada cercana al 1%. El caudal mínimo con una probabilidad del 97% de ser excedido es de 40.44 L/s (Figura 5). Según Huezco (2011), el mayor caudal registrado en la microcuenca es de 300 L/s y un caudal mínimo de 50 L/s tomando en cuenta la precipitación desde mayo de 2010 hasta abril de 2011 y los registros históricos de caudal de 2002 al 2009. La curva de probabilidad revela que la microcuenca tiene suficiente recurso hídrico, el cual se ve afectado por el crecimiento en las extracciones y aumento en las poblaciones. Es necesario tomar medidas para el cuidado y mantenimiento del recurso en el tiempo.

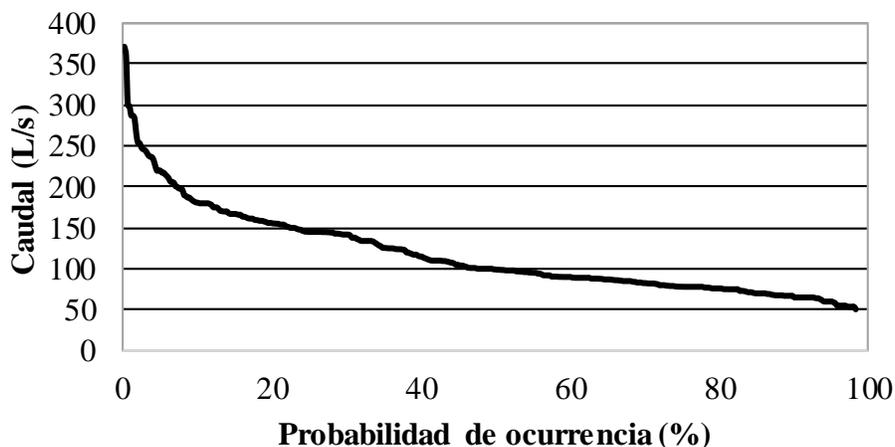


Figura 5. Curva de probabilidad de ocurrencia de caudales medios semanales (enero 2002 – agosto 2020).

## Estimación de coeficiente de escorrentía

**Precipitación media de la cuenca.** Para el análisis precipitación-caudal se tomaron en cuenta solamente los registros de precipitación de los meses de mayo a agosto del año 2020. Lo anterior debido a que en este es el único con datos representativos de la cuenca con tres pluviómetros. Para estimar la precipitación media de la microcuenca se utilizó el método de interpolación según los polígonos de Thiessen (Figura 6).

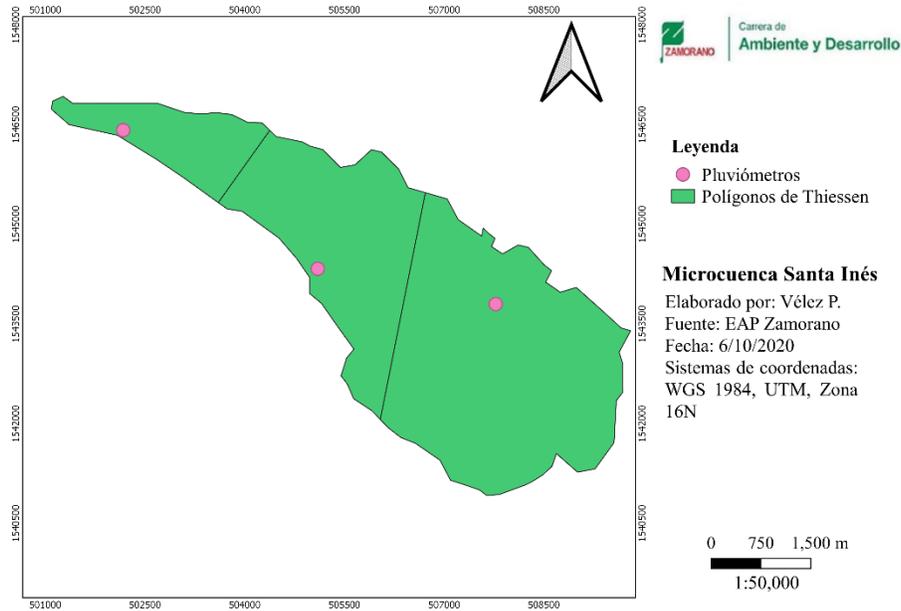


Figura 6. Mapa de polígonos de Thiessen en la microcuenca Santa Inés.

Los resultados de la estimación con este método muestran que en los meses de mayo, junio, julio y agosto se registró una precipitación media en la cuenca de 231.01, 175.44, 111.53 y 79.35 mm respectivamente. La escorrentía a partir de caudales acumulados para cada mes fue de 23.24, 28.01, 33.89 y 25.56 mm respectivamente (Cuadro 1).

Cuadro 1. Precipitación media bruta en la microcuenca Santa Inés (2020).

Mes	Precipitación media (mm)	Escorrentía (mm)
Mayo	231.01	23.24
Junio	175.44	28.01
Julio	111.53	33.89
Agosto	79.35	25.56

**Escorrentía.** La precipitación neta o escorrentía generada en la microcuenca durante el período de 2020 en los meses de mayo a agosto refleja la cantidad de agua que se escurrió en estos meses y que por lo tanto fue la que generó el caudal registrado. En mayo la precipitación fue alta debido al comienzo de la época lluviosa de un año por encima del promedio normal y se ve un escurrimiento menor en comparación con los otros meses por la infiltración del agua y la influencia de la humedad antecedente. Según Revelo y Tualombo (2016) afirman que, al tener un valor alto en el factor de humedad antecedente en el suelo, se tendrá un mayor escurrimiento porque disminuye la capacidad de infiltración. Las primeras lluvias al inicio del período húmedo generan menor escorrentía debido a la alta infiltración, a medida que la época de lluvia avanza, el escurrimiento aumenta gracias a la saturación del suelo (Figura 7).

La microcuenca Santa Inés cuenta con un coeficiente de escorrentía promedio para los meses de mayo a agosto de 2020 de 0.23. En comparación según Pech (2011) con la cuenca La Tigra el año 2011 obtuvo 5.4% de escurrimiento. Pech (2011) también asegura que el caudal de esta cuenca está dominado por las contribuciones de aguas subterráneas y esto demuestra la importancia de la cobertura para el mantener la recarga de los acuíferos. La zona de recarga de Santa Inés presenta baja intervención en términos de área, ya que en ella se encuentran solamente 24 familias productoras y la mayoría de ellas viven en las partes bajas y medias de la microcuenca los cuales ocupan el 16% del área total de la zona de recarga para actividades agrícolas (Montenegro, 2013).

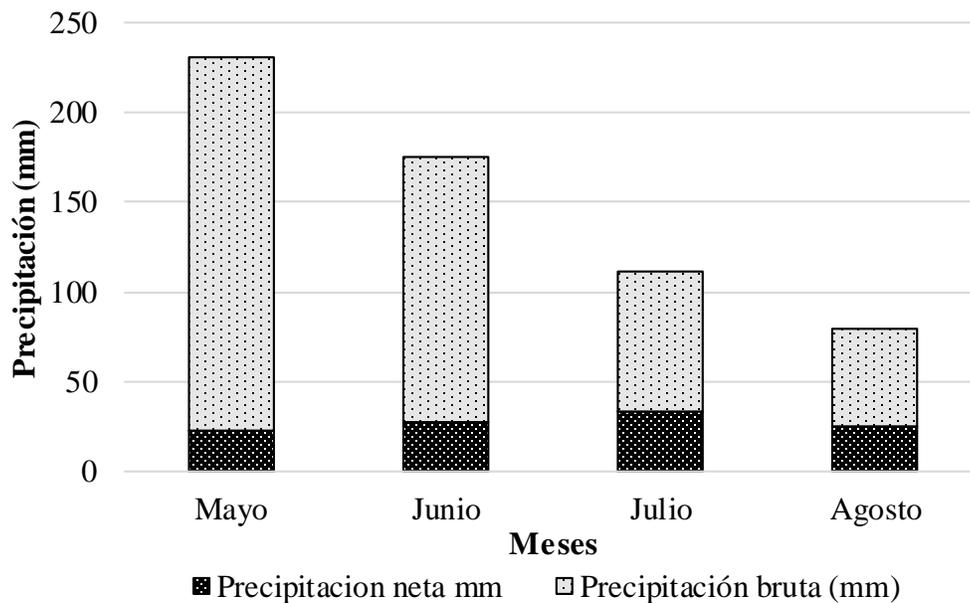


Figura 7. Precipitación bruta y precipitación neta meses mayo-agosto 2020.

## 4. CONCLUSIONES

- Los caudales medios semanales del período 2002-2009 son menores a los registrados en el período 2018-2020. Estudios recientes indican que las extracciones de agua previo al punto de aforo se han incrementado y que la precipitación anual en la zona estuvo por debajo del promedio histórico, por lo que se puede deducir que ocurrió una subestimación de caudales debido al método de medición para el período 2002-2009.
- Según el análisis de probabilidad de ocurrencia de caudales, el mayor caudal instantáneo registrado en la microcuenca entre 2002 y 2020 es de 371 L/s con una probabilidad de excedencia asociada cercana al 1%. El caudal mínimo es de 40.44 L/s con una probabilidad del 97% de ser excedido.
- La fracción de precipitación bruta que se convierte en escorrentía para la época lluviosa (mayo-junio del 2020) es de aproximadamente 23%. Esto refleja condiciones favorables de infiltración en la parte alta y media de la cuenca.

## 5. RECOMENDACIONES

- Dada la importancia estratégica de la microcuenca Santa Inés para provisión de agua a las comunidades vecinas y Zamorano, se debe continuar con el monitoreo diario de caudales en los vertederos para cada tributario. Asimismo, se recomienda continuar con los registros de precipitación en al menos cuatro puntos diferentes en la microcuenca. Ambas mediciones permitirán contar con una base de datos robusta tanto de caudal como de precipitación para apoyar la toma de decisiones futura sobre la demanda y oferta de agua.
- Con el fin de estudiar el comportamiento y la tendencia en los caudales de la microcuenca, es recomendable que las mediciones se realicen con el mismo método (vertedero) y las mismas personas. En caso de que haya cambio de personal, se recomienda entrenar a los responsables de estas mediciones. Lo anterior permitirá realizar análisis históricos y escenarios futuros más confiables.
- Por la importancia de la predicción de caudales a través del análisis de probabilidad con los registros diarios, se recomienda realizar estos análisis de cada año a partir de la base de este estudio.
- Realizar un estudio complementario de precipitación –caudal en periodos más largos de tiempo y años hidrológicos completos e incluir otras variables como la evapotranspiración a partir de los usos y cobertura del suelo y tipo de suelo en la microcuenca.

## 6. LITERATURA CITADA

- Velasquez, A. F. y Kucharsky Lezana, O. A. (2012). Estudio edafológico y de cobertura para la modelación hidrológica con el modelo SWAT de la microcuenca Santa Inés, Honduras. (Tesis de pregrado) Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Arias, S. G. y Serna, L. F. (Junio de 2017). Regionalización de curvas de duración de caudales en el departamento de antioquia-colombia. Revista EIA, 14, 21 - 30.
- Ayuso, J. L., Peña, A. y Montesinos, M. P. (1994). Estimación del hidrograma unitario. Estudio comparativo de cuatro métodos lineales. Ingeniería del agua, 1(2), 21 - 32.
- Chow, V. T. (1994). Hidrología Aplicada. Primera Edición. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.
- Cifuentes, A. (2016). Evaluación de diferentes métodos de interpolación para la variable precipitación en el departamento de Caldas - Colombia. Manizales: Universidad de Manizales.
- Cisneros, Y. (2016). Proyección de escenarios futuros utilizando el modelo hidrológico WEAP en la microcuenca Santa Inés, Honduras. (Tesis de pregrado) Honduras: Escuela Agrícola Panamericana Zamorano.
- Corrales, R. y Ochoa, V. (2017). Teledetección y SIG, herramientas de gestión en la adaptación al cambio climático, cuenca alta del río Goascarán, Honduras. Ciencias Espaciales, 10(1), 177 - 197.
- Correa, C., Ruíz, R. y Rivera, D. (2008). Monitoreo de Caudales en Canales Usando Redes de Sensores Inalámbricas. Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción.
- Cotto, E. (2010). Tarea domiciliaria final del curso bases hidrológicas para el manejo y gestión de cuencas hidrográficas. Costa Rica: CATIE.
- González, A. (2012). Marco Estratégico Regional para la gestión de riesgos climáticos en el sector agrícola del corredor seco centroamericano. Honduras.
- Huezo, L. A. (2011). Caracterización hidrológica y balance hídrico de la microcuenca Santa Inés, Honduras. (Tesis de pregrado) Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Madrid, H. (2019). Estimación de precipitación superficial utilizando cinco métodos como base para la determinación del balance hídrico en la Cuenca media y alta del Mantaro. Huancayo-Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Maidment, D. (1992). Handbook of hidrology. New York: MacGraw-Hill Inc.
- Montenegro, G. L. (2013). Caracterización agrícola de la zona de recarga de la microcuenca Santa Inés, Honduras. (Tesis de pregrado) Honduras: Escuela Agrícola Panamericana Zamorano.
- Mu, L. (2009). Thiessen Polygon. Athens, GA, USA: University of Georgia, .
- Pech, Y. A. (2011). Evaluación de las tasas de escorrentía en dos microcuencas en el Parque Nacional La Tigra. (Tesis de pregrado) Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Peralta, O., Carrazón, J. y Zelaya, C. (2012). Buenas prácticas para la seguridad alimentaria y la gestión de riesgos. Roma, Italia: FAO.

- Revelo, V. E. y Tualombo, R. M. (2016). Escenarios hidrológicos en la cuenca del río Guayllabamba: modelación de crecidas. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Sánchez, J. (2011). Medidas puntuales de permeabilidad. Salamanca: Universidad de Salamanca.
- Thiessen, A. (1911). Precipitation for large areas. *Monthly Weather Review*, 39, 1082-1084.
- Vargas, L., Torres, O. y Carrillo, G. (13 de Junio de 2019). Evaluación del modelo de hidrograma unitario SCS en máximos en cuencas de Norte de Santander. *Respuestas*, 24, 6 - 13.
- Villón, M. (2006). *Hidrología Estadística*. Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Weibull, W. (1951). A Statistical distribution function of wide applicability. *Journal of Applied Mechanics*, 18(3), 293-297.
- Westerberg, I., Guerrero, J. L., Seibert, J. y Beven, K. (2011). Stage-discharge uncertainty derived with a non-stationary rating curve in the Choluteca River, Honduras. *ResearchGate*, 25(4), 603 - 613.

## 7. ANEXOS

**Anexo 1.** Cuadro de resultados precipitación media mes de mayo

<b>Pluviómetros</b>	<b>precipitación (mm)</b>	<b>prep/área</b>
Guayabo	238.25	2599.31
Los Lirios	213.6	1309.37
Finca Agroecológica	243.2	554.50
Total		4463.17
Precipitación media		231.01

**Anexo 2.** Cuadro de resultados precipitación media mes de junio

<b>Pluviómetros</b>	<b>Precipitación (mm)</b>	<b>prep/área</b>
Guayabo	194.818	2125.46
Los Lirios	153.4	940.34
Finca agroecológica	142	323.76
Total		3389.57
Precipitación media		175.44

**Anexo 3.** Cuadro de resultados precipitación media mes de julio

<b>Pluviómetros</b>	<b>Precipitación (mm)</b>	<b>prep/área</b>
Guayabo	132.584	1446.49
Los Lirios	91.6	561.51
Finca agroecológica	64.4	146.83
Total		2154.83
Precipitación media		111.53

**Anexo 4.** Cuadro de resultados precipitación media mes de agosto

<b>Pluviómetros</b>	<b>Precipitación (mm)</b>	<b>prep/área</b>
Guayabo	66.294	723.27
Los Lirios	109.2	669.40
Finca agroecológica	61.6	140.45
Total		1533.11
Precipitación media		79.35

**Anexo 5.** Vertedero rectangular quebrada Santa Inés**Anexo 6.** Precipitación neta

<b>Meses</b>	<b>Caudal Santa Inés 2020 (L/s)</b>	<b>Aportación mensual m<sup>3</sup></b>	<b>Lámina (mm)</b>
Mayo	120.600	323021.7	23.24
Junio	150.220	389357.3	28.01
Julio	175.882	471082.3	33.89
Agosto	132.625	355222.8	25.56