

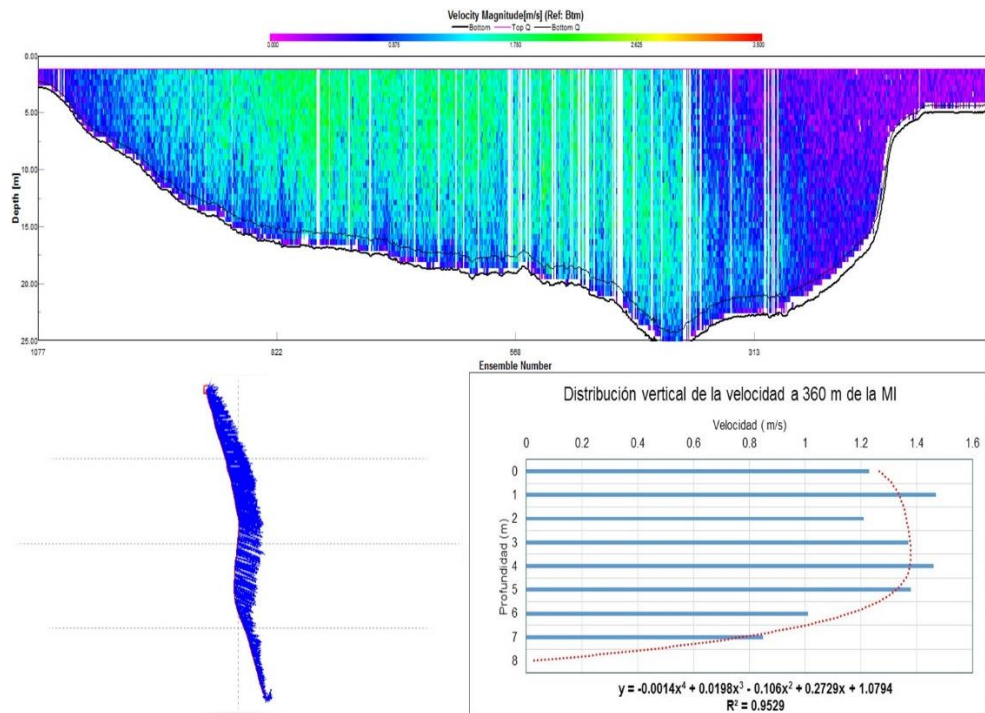


PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Servicio Nacional de Meteorología
e Hidrología - SENAMHI

SENAMHI



CARACTERIZACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL, DE LA HIDRÁULICA FLUVIAL DE LOS RÍOS AMAZÓNICO PERUANOS

CASO: RÍO UCAYALI

Lima – Perú
2018



**Presidenta Ejecutiva del SENAMHI
Dr. Kent Takajachi Guevara**

**Director de Hidrología
Ing. Oscar Felipe Obando**

**Director de Estudio e Investigación Hidrológica
Dr. Waldo Lavado Casimiro**

**Equipo Técnico: Dr. Juan Julio Ordoñez Gálvez
Bach. Miriam Rocío Casaverde Riveros**

Colaboración: Tec. Dula Rebeca Cruzate

Diciembre – 2018

Lima - Perú

CONTENIDO

RESUMEN

I.- INTRODUCCIÓN

- 1.1 *Introducción*
- 1.2 *Realidad problemática*
- 1.3 *Antecedentes*
- 1.4 *Objetivos*

II.- REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

- 2.1 *Marco teórico*
- 2.2 *Marco conceptual*

III.- MATERIALES Y METODOS

- 3.1 *Descripción del área de estudio*
 - a) *Población*
 - b) *Deforestación*
 - c) *Hidrografía*
 - d) *Potencial Hidro energético*
 - e) *Clima*
- 3.2 *Información requerida*
- 3.3 *Metodología*
 - a) *Base de datos*
 - b) *Análisis exploratorio*
 - c) *Análisis de los elementos de la hidráulica fluvial*
 - d) *Análisis de la distribución de velocidad*

IV.- RESULTADOS

- 4.1 *Parámetros geomorfológicos*
- 4.2 *Análisis exploratorio de datos*
 - a) *Estación Atalaya*
 - b) *Estación Maldonadillo*
 - c) *Estación Lagarto*
 - d) *Estación Puerto Inca*
 - c) *Estación Pucallpa*
 - d) *Estación Tapiche*
 - e) *Estación Genaro Herrera*
 - b) *Estación Requena*

- 4.3 *Análisis de distribución de velocidades*
 - a) *Estación Atalaya*
 - b) *Estación Maldonadillo*
 - c) *Estación Lagarto*
 - d) *Estación Puerto Inca*
 - c) *Estación Pucallpa*
 - d) *Estación Tapiche*
 - e) *Estación Genaro Herrera*
 - b) *Estación Requena*

- 4.4 *Análisis de las secciones hidráulicas*
 - a) *Estación Lagarto*
 - b) *Estación Puerto Inca*
 - c) *Estación Pucallpa*
 - d) *Estación Requena*
 - e) *Estación Genaro Herrera*

- 4.5 *Análisis de la distribución de velocidad horizontal y geometría del cauce por método empírico*
 - a) *Estación Maldonadillo*
 - b) *Estación Atalaya*
 - c) *Estación Lagarto*
 - d) *Estación Puerto Inca*
 - e) *Estación Pucallpa*
 - f) *Estación Genaro Herrera*
 - g) *Estación Requena*

- 4.6 *Análisis de la distribución de la velocidad vertical por método analítico*

V.- Conclusiones y Recomendaciones

- a) *Conclusiones*
- b) *Recomendaciones*

VI.- Referencias

RESUMEN

La necesidad de entender la dinámica fluvial del río Ucayali, no llevo a plantear esta investigación con el objetivo de determinar las características de la hidráulica a fluvial del río Ucayali, en los principales puntos de aforo hidrométrico, sobre la base un marco teórico y conceptual que engloba los procesos metodológicos del análisis de la distribución de las velocidades.

La cuenca del río Ucayali, ubicada en la Amazonía Peruana, cuenta con 08 estaciones hidrométricas instaladas en las localidades de Atalaya, Madonadillo, Puerto Inca, Pucallpa, Lagarto, Genaro Herrera, Tapiche y Requena, a través de las cuales se han generado campañas de aforo desde el 2001 hasta el 2015, perdido en el cual se ha registrado un total de 728 aforos, los cuales tienen información de velocidad del agua (superficial y a diferentes profundidades), batimétrica de la sección, caudal y coordenadas geográficas.

La data analizada, ha permitido conocer que dichos valores no presentan una distribución normal, debido a que la p valor es menor a 0.05, a excepción de los aforos de 2009 (Maldonadillo, Tapiche), registrándose valores extremos en la serie de datos analizados. Los rangos de variación de la velocidad en el río Ucayali, fluctúan entre 0,0 m/s y 2,40 m/s, presentándose las mayores velocidades, en la margen derecha, izquierda y central del cauce del río; debido a que en ellas se ubican muchas veces las mayores profundidades.

Las secciones hidráulicas, analizadas muestras variaciones promedio entre 1,0 metros y 15,0 metros en el perímetro mojado, lo que puede estar relacionada directamente con la misma dinámica fluvial del río, que experimenta procesos de erosión y colmatación, a lo largo del río Ucayali. Dicho proceso se ve reflejando en el comportamiento de las velocidad horizontal y vertical en cada una de las secciones de aforo.

Los perfiles obtenidos a través de la aplicación de métodos empíricos, nos ha llevado a generar valores para los parámetros α y β , los cuales fluctúan entre 0,80 a 1,42 para la velocidad; mientras que para la sección hidráulica el valor de α , oscila entre 18 y 140. Ambos parámetros guardan relación directa a través de la expresión algebraica polinómica de segundo grado. Ello nos ha llevado a obtener perfiles teóricos que representan muy bien el comportamiento de ambas variables analizadas.

En relación a los perfiles promedios de las velocidades verticales, en cada una de las sección de aforo, se ha logrado realizar los ajustes mediante un método analíticos de tipo logarítmico, obteniéndose buenos ajustes para las estaciones de Maldonadillo, Puerto Inca, Genaro Herrera y Requena, mientras que para las estaciones de Atalaya, Lagarto y Pucallpa, muestras ciertos niveles de discrepancias especialmente en la parte central de la distribución de los valores ploteados.

Los valores promedios de los parámetros obtenidos, tanto para la velocidad de corte como para constantes de Von Karman, fueron de 0,2163 m/s y 0,60.

I.- INTRODUCCIÓN

El ecosistema amazónico viene experimentando cambio muy significativos en su dinámica fluvial, como producto de la variabilidad climática, de las actividades antrópicas que se desarrollan en su superficie (minería, agricultura, desarrollo poblacional, exploración y explotación de hidrocarburos, industrias madereras y manejos silvicultural) y el cambio climático; que en su conjunto lo que ha provocado es que el ciclo hidrológico se vea exacerbado, dando origen a cambios en el clima y que dan paso a la ocurrencia de eventos extremos.

La presente investigación, está centrada en analizar los datos generados en las diferentes campañas de aforo realizadas en las estaciones de aforo ubicada a lo largo y ancho del río Ucayali y sus principales tributarios. Esta cuenca, ubicada en la Amazonía Peruana, cumple un papel preponderante como fuente generadora de humedad, sustentado dentro de su superficie el desarrollo y crecimiento de 05 regiones (Loreto, San Martín, Huánuco, Ucayali, Junín, Pasco y Cuzco) que hace uso de sus recursos naturales.

Por ello la importancia de entender la dinámica de la hidráulica fluvial, entre los cuales se consideró los parámetros siguientes: Área de la sección del río, perímetro mojado de la sección del río, Radio hidráulico, velocidad del río, secciones hidráulicas, pendiente del río y determinación de los parámetros de velocidad de corte y la constante de Von Karman. En su conjunto, estos elementos nos ayudaran a entender los mecanismos naturales de la variabilidad de los mismos a nivel espacial y temporal.

La base conceptual y teórica de la investigación busca brindar toda la información que pueda permitir tener la información necesaria que ayudar a comprender cada uno de los análisis que se desarrollaron sobre la base de caracterizar cada uno de los parámetros hidráulicos que estén directamente relacionados con la variabilidad de las velocidades, secciones hidráulicas y en forma especial el tipo de perfil tanto para las velocidades verticales y horizontales y como estas se relacionan directamente con la forma y tipo de la sección de a foro.

Para ello, la estructura de la presente investigación esta centradas en cuatro puntos importantes, en los cuales se plasmaran los resultados:

- *Parámetros hidrogeomorfológicos: Nos ayudara a entender la estructura funcional de la cuenca, en relación ha como se encuentra distribuida en relación al rango altitudinal, longitud de ríos y área de las sub cuencas.*
- *Análisis exploratorio de datos: Busca analizar toda la información generada en las diferentes campañas de aforo desarrolladas en cada una de las estaciones de aforo instaladas en la cuenca del río Ucayali, permitiendo con ello entender las variabilidad de los valores generados y su nivel de discrepancia y normalidad, en función a la escala temporal de los aforos y espacial, en relación a su variabilidad altitudinal.*
- *Análisis de distribución de velocidad: Nos dará idea sobre como el tipo de perfil con el cual las aguas transitan por el río desde las partes altas hasta su*

desembocadura, proceso que guarda relación directa con el tipo de cauce y sus características hidráulicas.

- *Análisis de las secciones hidráulicas: Nos brindara información de cómo las secciones hidráulicas utilizadas en los aforos, experimentan cambios debido a la misma dinámica fluvial del río, así como del tipo de sección que la caracteriza y como esta se traduce en el comportamiento de las velocidades horizontales y verticales en el río.*
- *Análisis de la distribución de la velocidad horizontal y geometría del cauce por método empíricos: buscamos a través de los métodos empíricos generar los perfiles teóricos de las sección hidráulica y perfil de velocidades, para entender los grado de variación delos parámetros α y β .*

Sobre la base de cada uno de los puntos desarrollados en la presente investigación, consideramos que de suma importancia generar conocimiento integral de como la cuenca se va comportando bajo su propia dinámica fluvial y de los cambios que en ella se generan por mecanismos antrópicos que desarrollamos en los ecosistemas y que dan paso a la alteración de la dinámica hidrológica de los ríos amazónicos.

Entendiendo estos procesos naturales y antrópicos, nos será más fácil identificar los procesos que generan o provocan esos cambios y poder plantear estrategias de adaptación o de restauración hidrológica en los ecosistemas intervenidos.

No debemos olvidar que un ecosistema sano, provee todo los recursos necesarios para subsistir, lo que nos garantiza una sostenibilidad sobre la base de la dinámica del ciclo del agua y este se da en uncu anca cuyo ecosistema se encentra saludable y equilibrado con los requerimientos antrópicos. Por eso hoy en día se impulsa os proyectos de infraestructura natural.

1.2 Realidad problemática

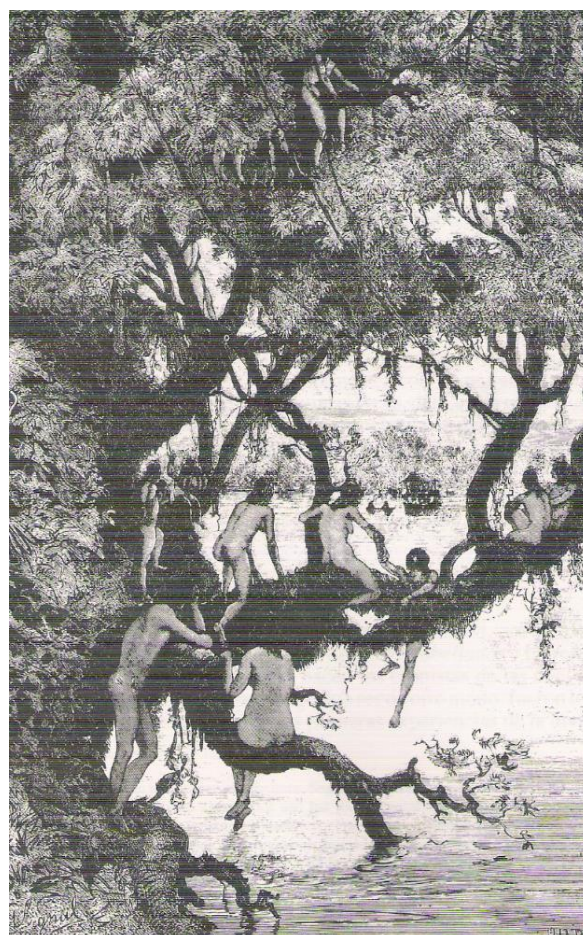
La historia de la conquista de la cuenca amazónica está plagada de innumerables expediciones que buscaban encontrar el Dorado, fundación de ciudades, Extracción de madera y la explotación del caucho (**Figura 1.1**). Fue Texeira (1639) que conjuntamente con el religioso Acuña emprendieron un nuevo viaje, Navegando por el río Amazonas siguiendo el curso de la corriente, llegaron hasta Pará, desde donde en forma gradual fueron incrementando una lenta expansión de religiosos a los largo del río Ucayali (Leveratto, 2007).



Figura 1.1. Colonización de la Amazonía
Fuente: (Leveratto, 2007)

Desde esa fecha a la actualidad, la amazonia, ha experimentado innumerables cambios relacionados básicamente a actividades antrópicas, que están originando el deterioro de este ecosistema y su lento procesos de degradación (**Figura 1.2**).

Figura 1.2. Poblaciones indígenas en la cuenca del río Ucayali
Fuente: (San Román, 1994)



La cuenca del río Ucayali, territorio ancestral de los shipibos, constituye la región más rica en naturaleza de toda la Amazonia. La razón de esta abundancia radica en la cercanía de Los Andes; en su fluir el río arrastra los ricos sedimentos de la joven cordillera y los va depositando, con las inundaciones estacionales, más allá de ambas orillas, pues en la época de lluvias, el río crece tanto que inunda kilómetros y kilómetros a ambos lados; cuando llega el verano baja el río y las tierras inundadas quedan entonces secas, provistas de una fertilidad asombrosa. Los primeros cronistas españoles de la región se admiraban de la extrema riqueza natural; sin embargo, el desarrollo poblacional de esta cuenca han originado la pérdida de esa rica biodiversidad y las presiones a las que están expuestas las comunidades nativas (shobo, 2010).

El desarrollo poblacional en la cuenca del río Ucayali, va de la mano con el proceso de la deforestación las cuales se concentran en dos áreas marcadamente diferentes: las grandes playas de los ríos con sedimentos ricos y propicias para la producción agrícola estacional, y los márgenes de las carreteras, especialmente la vía de penetración Lima-Pucallpa (carretera Federico Basadre) y la Marginal de la Selva (carretera Fernando Belaúnde Terry).

En la **Figura 1.3**, se aprecia la evolución de las áreas de bosques deforestados por la actividad antrópica y el desarrollo población en la cuenca del río Ucayali; registrándose a nivel temporal, una tendencia creciente en el comportamiento; proceso que se dio con mayor intensidad a partir del año 1990, donde se ve un incremento acelerados de la deforestación.

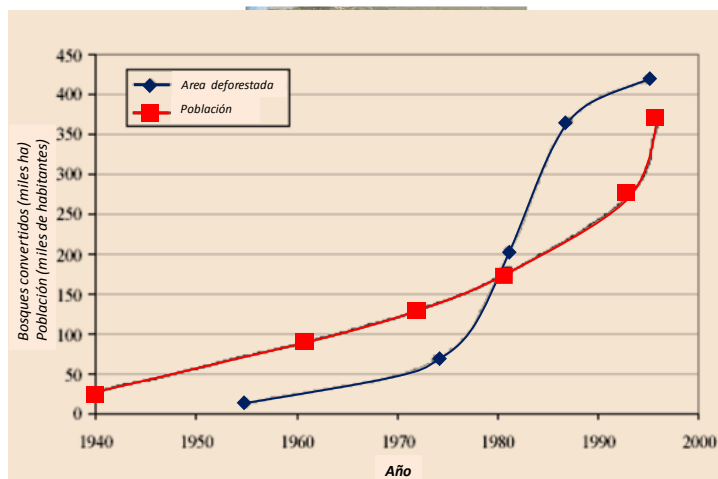


Figura 1.3. Área deforestada y crecimiento poblacional, Fuente: (White, 2005)

Según el estudio desarrollado por el Consorcio H&O – ECSA (H&O-ECSA, 2005), El río Ucayali nace en el cerro Huagra a 5239 msnm con el nombre de Huaraco. La hidrología del río Ucayali corresponde a un río de régimen tropical, con un área de extensión prácticamente cubierta forestalmente, en donde se manifiesta una intensa precipitación y evapotranspiración (25% de la precipitación).

Las características hidráulicas del río Ucayali son las siguientes:

- Presenta un desarrollo longitudinal, aproximadamente de 2885 km y recorre el territorio de sur a norte; con un ancho que varía entre 400 a 2000 metros
- Tiene un cauce denominado de gran anchura, en toda su extensión con un espejo de agua (B) mucho mayor que la profundidad media (h) $B \gg 20h$, en todo el período hidrológico.
- La profundidad hidráulica varía fuertemente con la estación climática, en algunos sectores alcanza 0,7 m y otros 20 m; es decir, pendiente geométrica variable.
- La sección media tiene la forma de una **U** muy abierta, con taludes laterales inestables.
- El perímetro hidráulico medio es igual al ancho del espejo del agua en los lugares de secciones amplias.
- La velocidad media fluctúa entre 1,5 a 2,5 m/s
- Los caudales en promedio está entre 3000 y 2300 m³/s
- El coeficiente de Manning, fluctúa entre 0,026 a 0,035
- El coeficiente de Chezy, varía ente 40 a 69 m^{1/2} /s

Según Rosegen, el río Ucayali se encuentra clasificado entre los de tipos C, E y F, cuyas características principales son:

- **Tipo C**

Se caracterizan por tener una pendiente suave, con estrechos, los cuales son más ancho y poco profundo con una llanura de inundaciones bien desarrollado y un valle muy extenso (**Figura 1.4**). Rango de pendiente dominante: $< 0,02$ y Sinuosidad $> 1,4$.

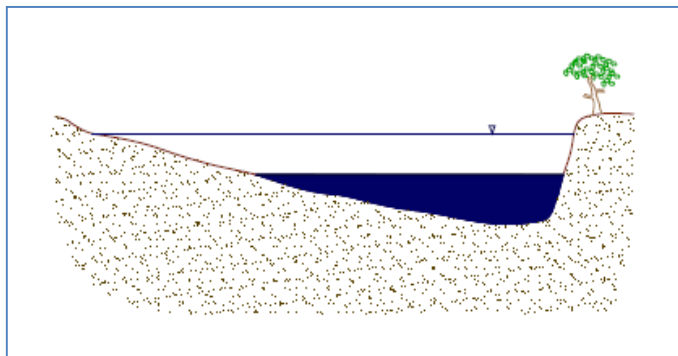


Figura 1.4. Tipo C, sección del río

Fuente: (H&O-ECSA, 2005)

- **Tipo E**

De pendiente suave, es un río anamostosado, ya que presenta patrones complejos, son tortuosamente meándricos. Sinuosidad $> 1,5$.

- **Tipo F**

Tiene cauces anchos y poco profundos pero que son de tipo meándrico atrincherado, con una llanura de inundación que puede variar de pequeñas a no desarrolladas (**Figura 1.5**).

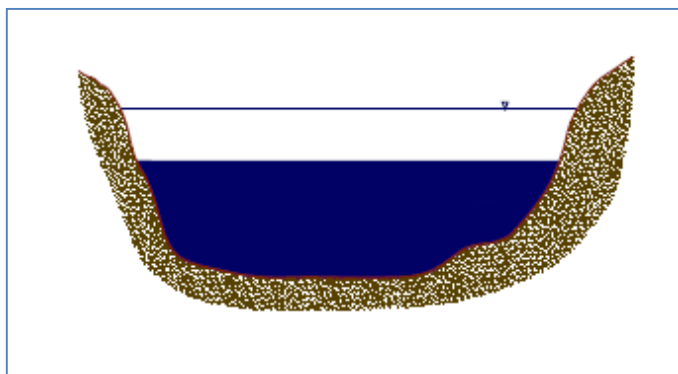


Figura 1.5. Tipo F, sección del río

Fuente: (H&O-ECSA, 2005)

La cuenca hidrográfica del Ucayali está conformada por 502 ríos y afluentes hasta de quinto orden, siendo el río Ucayali, de vital importancia por constituir la vía principal de comunicación de la zona 17 (Godoy, 2005).

Según el Inventario Nacional de Aguas Superficiales (ONER, 1980), el área de la cuenca del río Ucayali, asciende a 351 549 km², su longitud total asciende a 2 238 km. y el caudal medio anual estimado es de 17 685,9 m³/s.

Los cambios que viene experimentando el río Ucayali, a través del tiempo y espacio, son tributos de la presencia de flujo de energía y ciclos grandes de volúmenes de masa líquidas y sólidas, originando esfuerzos cortantes, turbulencias, movimientos advectivos y convectivos, erosión y sedimentación, como puede apreciarse en el mosaico de fotos que se presenta en la **Figura 1.6**, donde claramente se observa los cortes meandricos que se generan en la cuenca por acción de la dinámica fluvial del río.

En la **Figura 1.7**, se aprecia la cuenca del río Ucayali, la cual abarca a las Rregiones de: Loreto, Pucallpa, Huánuco, Pasco, Junín, Huancavelica, Apurímac, Ucayali y Cusco.

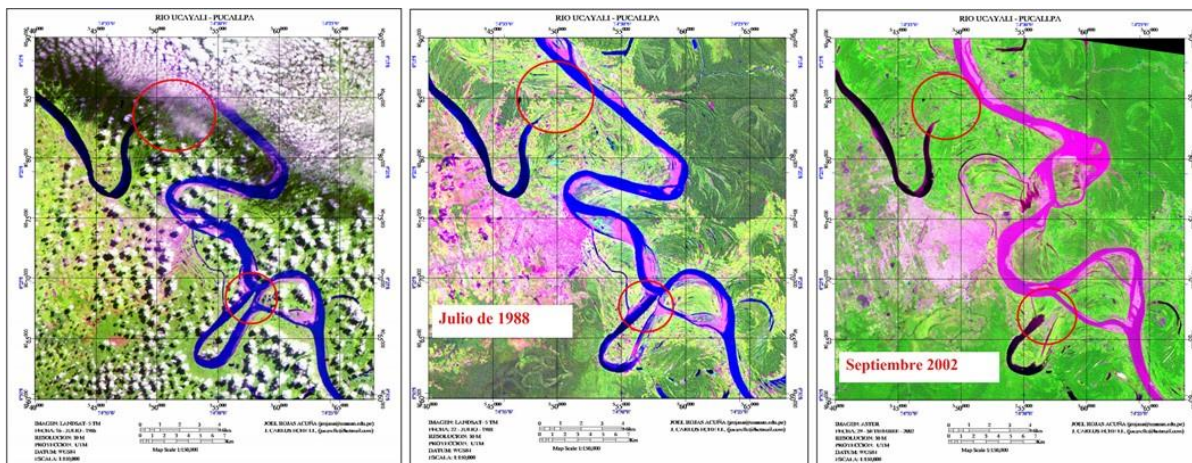


Figura 1.6. Variabilidad del cauce del río Ucayali

Fuente: (H&O-ECSA, 2005)

Las principales sub cuencas que conforman la red hidrográfica son: Pachitea, Aguaytía, Pisqui, Tapiche, Abujao, Tamaya y Shesha.

Figura 1.7. Influencia de la cuenca del río Ucayali

Fuente: Modificado por Ordoñez, 2014, de ANA 2008

En la cuenca del río Ucayali, se ha podido identificar 04 Autoridad Administrativa de Agua - AAA (IX, X, XI y XII), las cuales cada una de ellas tienen un número de Autoridades Locales de Agua – ALA, las cuales están encargadas de llevar a cabo el proceso de la Gestión Integrada de los Recursos hídricos en el país. Las características principales son:



- La AAA-Ucayali, está conformada por 23 unidades hidrográficas, de las cuales 13 son consideradas como mayores y las restantes 10 como unidades hidrográficas menores. Su superficie abarca 07 gobiernos regionales, siendo la Región de Ucayali la que ocupa la mayor área con 38%.
- La AAA-Mantaro, está formada por la unidad hidrográfica mayor del Mantaro, Su territorio es ocupada por 4 Regiones, siendo la superficie del Gobierno Regional de Huancavelica, la que ocupa la mayor superficie con el 55%.
- La AAA de Pampas – Apurímac, está conformada por las unidades hidrográficas mayores de Alto Apurímac, Pampas y Bajo Apurímac. Así mismo, comprende las superficies de 06 gobiernos regionales, siendo las regiones de Apurímac, Ayacucho y Cusco, las que ocupan la mayor proporción (32%, 31% y 30% respectivamente).

Las AAA-Urubamba–Vilcanota, está conformada por las unidades hidrográficas de la cuenca del río Urubamba. Abarca la jurisdicción de 02 gobiernos regionales, siendo la

A la base de los aspectos físico de la cuenca del río Ucayali, apreciamos que los recursos naturales existentes en este ecosistema, es compartido no sólo con los habitantes oriundo de la zona sino con poblaciones emigrantes asentadas en su superficie; las zonas con mayores actividad social son Coronel Portillo y Padre Abad, mientras que la zona de Purús registra la menor cantidad de población (Ucayali, 2009).

El último censo establece que la población total del departamento de Ucayali, el 51.40% (222,132 hab.) son hombres y el 48.60% (210,027 hab.) mujeres.

En la **Figura 1.8**, se muestra la tendencia del comportamiento de la población total en la región Ucayali, dando una estimación para el año 2018 de 700000 habitantes, lo que reflejaría un incremento de 62%. Además, existen en la cuenca cerca de 217 asentamientos humanos en áreas urbanas marginales que agrupan un total de 154880 habitantes.

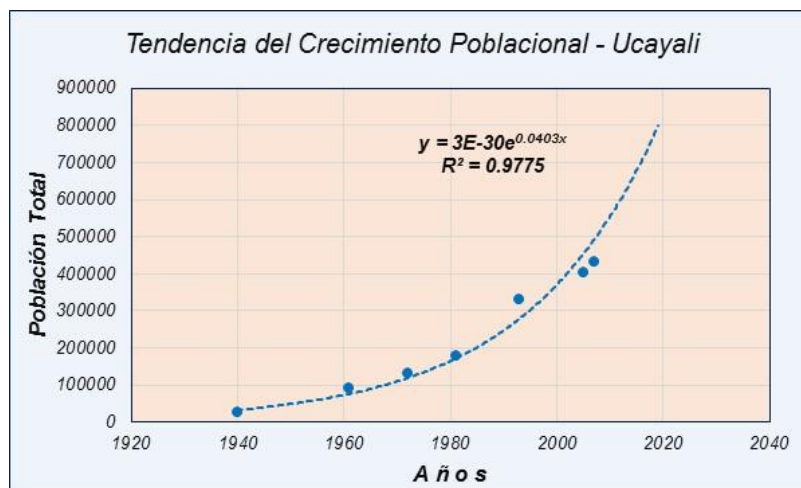


Figura 1.8. Tendencia poblacional

Fuente: Elaboración propia

1.3.- Antecedentes

Cheng, R. and Gartner, J. (2003), indican que para comprender completamente las propiedades hidráulicas de los ríos naturales, se debe estudiar la distribución de la velocidad en la sección transversal del río. Dicha tarea no es sencilla debido a que no hay instrumentos que permitan medir como se distribuye la velocidad en la sección transversal; especialmente en la zona libre y zona de capa límite inferior, donde las propiedades de la velocidad juegan un papel importante en la caracterización de las propiedades hidráulicas.

Sabemos que la velocidad superficial difiere de la velocidad media de la sección, dependiendo del perfil de velocidad, la rugosidad del cauce del río y del efecto del viento. Dicha relación muchas veces llega a tener un valor de 0,85, según Cheng and Gartner, (2003) y Rantz, (1982).

Xing Yun, et al. (2016), nos indican que el entendimiento de la distribución de la velocidad en los cauces de los ríos, tiene implicancias ingenieriles, incluyendo el transporte por el río, riesgo de inundación, morfología y el transporte masivo. Para Myers (1987), las relaciones entre la velocidad y descarga en un canal son independientes de la pendiente del lecho del río, pero que sí guarda relación con la profundidad del flujo y la geometría. Sin embargo, Shiono y Knight (1984) y Ervine et al. (2000), presentaron un método práctico para cuantificar la velocidad de profundidad y la tensión de cizallamiento para flujos, basados en la ecuación de Navier-Stokes, para lo cual se tuvo en consideración la fricción del lecho del río, los esfuerzos laterales y los flujos secundarios.

Los ríos de montaña por lo general se caracterizan por presentar gravas en su lecho, lo que conlleva a que el material del lecho de llanura de inundación es diferente del canal principal. En muchos de los estudios mencionados sobre la distribución de velocidad de los canales no se toma en consideración la rugosidad efectiva entre el canal principal y sus llanuras aluviales; la mayoría de los experimentos de canalización se realizaron usando la misma rugosidad o asumiendo un canal de compuesto liso (Knight D. and Hamed M. (1984); Ervine D. Babaeyan-Koopaei K. and Stellin R. (2000); Yang K., Nie R. and Lux X. (2012); Knight D. and Demetriou J. (1983)). Este trabajo tiene como objetivo investigar las características de velocidad de los canales compuestos presentados con una rugosidad sustancialmente diferente entre el canal principal y sus llanuras aluviales.

Se sabe que en la mayoría de los casos, los perfiles de velocidad en canales abiertos son expresados por una ley de potencia o de registro, las cuales son ampliamente utilizadas no porque estén teóricamente perfeccionadas, sino porque son relativamente más correctas en la representación de los perfiles de velocidad vertical. Esto permite ser utilizado a la hora de que los programas de medición como los ADCPs, generen valores de velocidades en las zonas extremas del cauce del río: cerca de la superficie del agua y cerca del lecho del río (ISO, 2005; Gonzales-Castro, J. A., 2007).

Song S., Shmalz B. and Fohrer N. (2017), determinaron que las funciones logarítmica, potencial y parabólica, fueron más eficientes para la predicción de la distribución de velocidad vertical en el río. Tradicionalmente, las fórmulas de distribución implican la velocidad de fricción (u^*) y la profundidad (y) del punto de medición, lo que llevó a plantear una mejora en la fórmula mediante (u / u_m) y (y / H) mostrando que la sustitución de u^* por (u / u_m) y de y por (y / H) permitían que la serie de puntos se ajustaran a funciones logarítmicas y parabólicas. En

relación a la velocidad máxima, se pudo comprobar que en los ríos con una mayor relación entre el ancho y la profundidad, esta se ubica ligeramente cerca de la superficie del agua; mientras que la velocidad media del perfil tiende a ocurrir en la parte inferior.

Corato G., Ammari A. and Moramarco T. (2014), en su investigación manifiestan que las mediciones de la velocidad de flujo usando medidores de velocidad puntual, se obtienen por lo general al muestrear uno, dos o tres puntos de velocidad en el perfil vertical. Por lo cual en el periodo de avenidas, este método queda inhibido por la dificultad de medir en las partes inferiores del área de flujo. A pesar de los el método tradicional permite evaluar los parámetros de la pendiente de energía y el coeficiente de rugosidad de Manning. Durante el período de avenidas se puede medir el valor de la velocidad máxima (u_{max}), el cual se puede usar para estimar la velocidad media (u_m) mediante la aplicación de la relación de entropía lineal dependiendo de la serie histórica de datos.

Muste, Marian, et al. (2007), indican que los ADCP vienen reemplazando rápidamente a los medidos de corrientes convencionales en la medición de la velocidad en canales abiertos naturales, debido a la mayor eficiencia, rendimiento, seguridad y costos, han originado que sean ampliamente adaptados para la realización de operaciones hidrométricas. Además, no tiene partes móviles y ofrecen una resolución de muestreo espacial y temporal relativamente lata y se requiere de menos calibración (Dinehart and Burau, 2015).

El auge de los equipos acústicos de medición de velocidades, ha sido vertiginoso, desde los trabajos desarrollados sobre los perfiles acústicos Doppler (ADCP) por Christensen y Herrick (1982), Simpson (1986) y Gordon (1989). Además de los velocímetros Doppler acústicos (ADV) a partir de los 90 (Kraus et al., 1994) ha transformado la medición de las velocidades medias y características del tipo de flujo en laboratorio y campo.

Mueller, David et al. (2007), indican que hay un cierto sesgo en las mediciones de las descargas realizadas mediante un perfilador acústico (ADCP), el cual se le atribuye a l movimiento de los sedimentos en el lecho del río, lo cual es reconocido por la comunidad científica en general. Por ello la necesidad de integrar un sistema de posicionamiento global que permita corregir la posición específica del equipo. Sobre la base de estas correcciones, ellos determinaron que la incertidumbre en la velocidad media del lecho del río fue aproximadamente de 0,6 cm/s.

Gonzales-Castro, Juan A. and Muste, Marina (2007), manifiestan que a pesar del uso de los perfiles de corriente acústico Doopler (ADCP) para la medición de la velocidad y descarga en canales abiertos y ribereños, todavía no está disponible una metodología rigurosa para estimar la incertidumbre de la medición de la descarga con el ADCP, a pesar que sigue los estándares de ingeniería para el análisis de la incertidumbre.

Oberg, Kevin and Muller, David (2007), indican que varias agencias internacionales han colaborado en le procesos de validación en campo y laboratorio de medición de flujo de corriente con ADCP, encontrándose valores de -0.51 y -1.10%, respectivamente. Se realizaron 1,032 transectos, en 100 mediciones de descarga y en 22 sitios en los Estados Unidos, Canadá, Suecia y los Países Bajos. Los resultados obtenidos durante este proceso muestran que las mediciones de flujo de flujo con ADCP de banda ancha son imparciales en comparación con las descargas de referencia, por ello la duración de la medición es más

importante que el número de transectos para reducir la incertidumbre de la medición del flujo de la corriente ADCP.

Debido a las limitaciones que muestran los equipos ADCP, a la hora de realizar las mediciones o estimaciones en la parte superficial y cerca del lecho del río, por no contar con una representación bidimensional del campo de velocidades en toda el área de la sección transversal. Por ello, Costa, J. et al (2006); Fulton, J. and Ostrowki, J. (2008); Corato, G. et al., (2011); Alessandrini, V. et. al., (2013), exploraron la posibilidad de explotar las observaciones de la velocidad superficial del agua para determinar la descarga en el río (Chiu, C., 1988).

El uso de la ley de potencia para extrapolar las velocidades inferior y superior, mediante el uso de los ADCP, con el fin de estimar los volúmenes de agua que circula por el río, ha generado que se desarrollen estudios concerniente a la definición de los valores de los exponentes que debe tener la función matemática y que en promedio muchos investigadores concuerdan con el valor de $1/6$ (Gonzales, J. A. (1996); Muste, M. et. al., (2004); Muste, M. et. al., (2004)).

Para Lee, Hae-Eun, et al. (2013), analizaron la manera de expresar en forma continua la distribución vertical de la velocidad del canal real del río, a través de la ley de potencia con el fin de determinar el exponente que represente en forma adecuada las condiciones de flujo de los canales fluviales, para ello utilizaron datos generados de varios ríos de Corea del Sur durante el período comprendido entre 2005 / 2009, comparando dichos resultados con el uso de los exponentes tradicionales ($1/6$ y $1/7$) (Chen, C. L., (1991); Hinze, J. O., (1975); Cheng, N. S., (2007)).

Pradhan, Arpan, et al. (2018), analizan los diferentes aspectos de la distribución de la velocidad en ríos serpenteantes, buscando caracterizar el flujo desde el punto de vista de protección de las riberas, la navegabilidad, toma y control de agua y el transporte de sedimentos. Se han realizado muchas investigaciones en torno a las características de flujo en canales con diferentes ángulos de curvatura, mediante el uso de modelos experimentales y numéricos que estuvieron basado en el análisis de los flujos secundarios que aparecen como consecuencias de las paredes externas de la curvatura (Blanckaert and Graf, (2001); Shiono, K. et. al., (1999); MacKeogh, E. and Kiely, G., (1989); Sellin, R. and Willets, B., (1996); Akbari, M. and Vaghefi, M., (2017)).

Zhang Qiang, et al. (2008), analizaron la distribución de la velocidad en el río Changjiang entre los puntos comprendido desde Hankou y Wuxue. Para ello utilizaron el ADCP (Acoustic Doppler Current Profile), el cual fue instalado en un bote, permitiendo con ello identificar cuatro tipos de patrones de flujo asociado a la morfología del canal del río, los cuales esta sujetos directamente al comportamiento de la distribución de la velocidad del flujo. También, se logró identificar que la velocidad máxima del flujo está relacionada con la profundidad máxima del agua en el río.

1.4.- Objetivos

1.4.1. General

- *Determinar las características de la hidráulica fluvial del río Ucayali, en los principales puntos de aforo hidrométrico.*

1.4.2. Específico

- *Determinar los parámetros de la hidráulica fluvial, en las principales estaciones de aforo del río Ucayali.*
- *Determinar la distribución de velocidades en cada una de las estaciones de aforo en el río Ucayali.*
- *Determinar el comportamiento de las secciones de aforo en cada una de las estaciones hidrométricas del río Ucayali.*

II.- REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 Marco teórico

La cuenca Amazónica, es sin duda el lugar más rico en especies del ecosistema terrestre en el mundo, pero el origen y las causas evolutivas de esta diversidad es una cuestión de debate. Los efectos sobre el clima regional han cambiado el paisaje Amazónico mediante la reconfiguración de los patrones de drenaje y la creación de una gran afluencia de sedimentos en la cuenca. Por ello la importancia de conocer las implicancias de la variabilidad climática, tanto a nivel espacial como temporal, para la cuenca del río Ucayali, nos dará una idea clara de cómo hemos venido alterando el panorama hidroclimático en estas cuencas, como resultados de las interacciones de las actividades antrópicas con el ecosistema natural.

El ciclo hidrológico Amazónico, es extremadamente interesante ya que controla el clima local y regional, capaz de mantener toda la biodiversidad; así como controlar el clima a nivel mundial. En este proceso, juega un papel preponderante la topografía de la cuenca, que permite que el Amazonas actúe como un sumidero de vapor de agua para la humedad proveniente del océano Atlántico.

La deforestación no sólo consiste en la tala de árboles, pero también la quema de la biomasa correspondiente. Cuando se eliminan los bosques, la retención de la humedad del suelo disminuye lo que facilita la evaporación del agua del suelo, previamente retenida, y cambia el balance de agua. Este cambio trae consigo un aumento de la temperatura, y albedo.

Para Fearnside Philip (2008), considera que el efecto es mucho más intenso en las simulaciones climáticas globales, para los modelos que incluyen la conexión entre el calentamiento de las aguas en el océano Pacífico y la ocurrencia del Fenómeno El Niño. El Niño / Oscilación del Sur (ENOS) parece ser un motor de gran parte de la variabilidad climática en América Latina (IPCC, 2007).

Las sequías más severas en México en las últimas décadas se han producido durante los años de El Niño, mientras que el sur de Brasil y Perú han mostrado condiciones anormalmente

húmedas en estas horas (Horel y Cornejo Garrido, 1986). La Niña está asociada con fuertes precipitaciones e inundaciones en Colombia y la sequía en el sur de Brasil (Rao et al., 1986).

Sin embargo, en los últimos 50 años la Amazonía ha perdido por lo menos 17% de su cobertura vegetal, siendo su conectividad afectada cada vez más, lo que se agravaría aún más, con el calentamiento global, que podría llevar a una tendencia de "punto crítico" donde el ecosistema tropical colapse.

Las sequías ocurrida en el 2005 y 2010 (**Figura 2.1** Lewis et al., 2011), muestran la pérdida de carbono (Phillips et al., 2009; Lewis et al., 2011), convirtiendo al bosque de un sumidero a una fuente temporal de carbono. Algunos de los efectos negativos de la sequía de 2005, persistió durante varios años después del evento. Aunque las causas de estos hechos no se comprenden bien, demuestran que la sequía sustancial es posible, y que el bosque es sensible a los déficits de lluvia.

Otros trabajos recientes han confirmado que las especies forestales mundiales tienden a tener una tolerancia relativamente estrecho de la sequía (Choat et al., 2012). Una preocupación que existe de que las sequías podrían resultar aún más comunes en el futuro, a través del cambio climático.

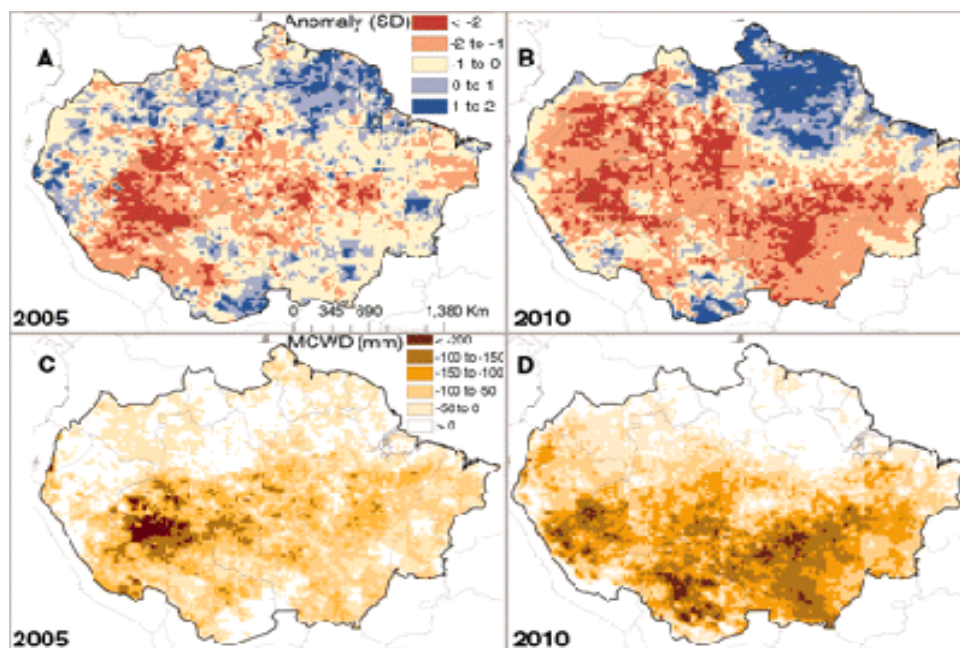


Figura 2.1. Déficit de precipitaciones durante las sequías del Amazonas, durante el 2005 y 2010.

Fuente: Lewis et al, 2011

Si bien la cuenca del Amazonas es "cada vez más cálida", no es "cada vez más húmeda." La variabilidad de las precipitaciones en la cuenca del Amazonas es controlado por tres variables clave: Temperatura Superficial del Mar (Atlántico Norte Tropical) TSM, el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y el Modo de Multidecadal Tropical (TMM).

Foley et al (2002), nos indica que el ENOS, es uno de los principales impulsores de la variabilidad ambiental en los trópicos. En el estudio nos indica que en promedio El Niño es

más seco y más cálido de lo normal en la Amazonía, mientras que La Niña, es más húmedo y más fresco. Si bien los cambios de temperatura son en su mayoría uniforme a través de todo el años, la precipitación es más fuerte durante la temporada de lluvia (enero a marzo) concentrándose en la parte norte y sureste de la cuenca.

(Killeen & Luis A., 2008), nos indican que el cambio en los regímenes de precipitación en gran parte se expresará en el gradiente latitudinal y selva baja, los aumentos en la temperatura afectará el gradiente altitudinal que define los hábitats montanos.

El impacto del cambio climático en el Amazonas es incierto. Las acciones necesarias para manejar los riesgos asociados con la incertidumbre que trae beneficios adicionales para la conservación sin importar la dirección, magnitud o la excentricidad regional de esos cambios.

El MTC (2004), en su estudio de la navegabilidad del río Ucayali en el tramo comprendido entre Pucallpa y la confluencia con el río Marañón, delimita que las características de un sistema de corrientes fluviales está condicionada por la estacionalidad climática de la región, la que origina la ocurrencia de dos períodos:

- *Vaciante*
 - *Reducción de la profundidad del río*
 - *Aumento de la resistencia de la rugosidad*
 - *Identificación de las palizadas fijas*
 - *Localización de orillas fangosas*
 - *Incisiones laterales de la caja del río*
- *Creciente*
 - *Disminución de la pendiente hidráulica*
 - *Variación de la pendiente hidráulica por el incremento del caudal y el cambio de la velocidad*
 - *Orillas inestables y erosionadas por la corriente*
 - *Palizadas flotantes*
 - *Corrientes turbulentas y cruzadas*
 - *Magnificación de zonas vorticosas*
 - *Transporte de sedimentos y la formación de elementos de configuración de fondo*
 - *Oleaje irregular*

La geomorfología deriva de tres palabras griegas: *gew* (la Tierra), *morph* (forma), y *logo* (discurso). La geomorfología es, pues, «un discurso sobre las formas de la Tierra». Es el estudio de los rasgos físicos de la superficie terrestre, sus formas de relieve - ríos, colinas, llanuras, playas, dunas de arena y miles de otras (McGee 1888, 547) (Huggett, Richard, 2007).

La Universidad del Cauca (UC, 2003), manifiesta que los procesos de formación de los cauces de los ríos es parte de un ciclo geomorfológico accionado permanentemente por las características del entorno (geología, geotecnia, suelos, hidráulica, hidrología, capacidad de transporte, antrópico) que a su vez condicionan la dinámica de la corriente haciendo que los cauces tomen formas que son la respuesta a leyes físicas que gobiernan la mecánica del transporte de agua y sedimentos. El río como un sistema altamente inestable, permanentemente deposita y agrada algunas zonas del lecho y las orillas (**Figura 2.2**).

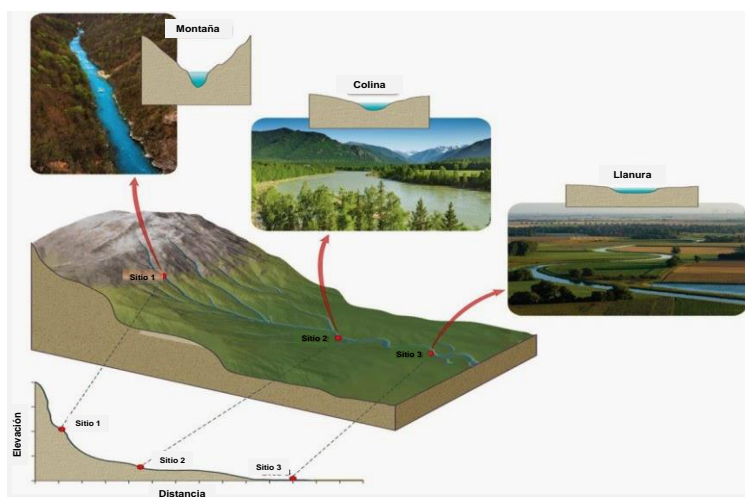


Figura 2.2. Procesos de la Geomorfología del río
Fuente: Pepper Maja, 2016

Los ríos son los principales agentes formadores del paisaje dependiendo de la litología, las estructuras geológicas por donde discurren y de los procesos activos e inactivos presentes en una determinada región (erosión, transporte, sedimentación), van conformando configuraciones diferentes de paisajes. Las tasas de evolución de los procesos que moldean el paisaje en un sistema fluvial están condicionadas por el clima, las actividades humanas que generan o imponen controles al flujo, generadores de fallas, pliegues, etc. (Posada, 1994) (Figura 2.3).

Tipo	A	B	C	D	DA	E	F	G
Base								
Roca								
Adoquín								
Grava								
Arena								
Barro								
Entrada	< 1.4	1.4 - 2.2	> 2.2	n/a	> 4.0	> 2.2	< 1.4	< 1.4
P/D	< 12	> 12	> 12	> 40	< 40	< 12	> 12	< 12
Sinuoso	1 - 1.2	> 1.2	> 1.2	n/a	Variable	> 1.5	> 1.2	> 1.2
Pend.	.04-.099	.02-.039	< .02	< .04	<.005	< .02	< .02	.02-.039

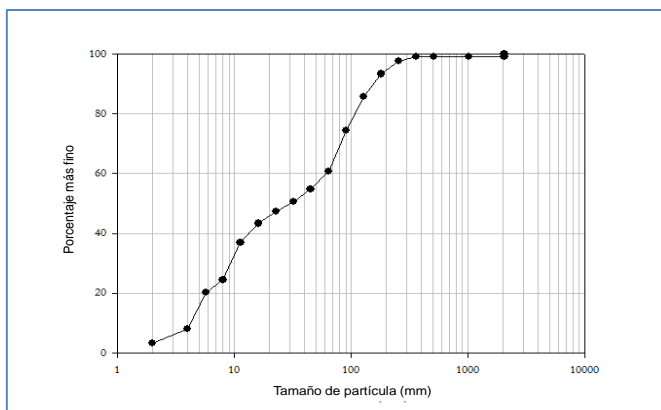
Figura 2.3. Esquema para la descripción morfológica
Fuente: Rosgen, 1994

Roseam, Brockman, Ruth, (2010), en su investigación titulada “hydraulic geometry relationships and regional curves for the inner and outer bluegrass regions of Kentucky” determina relaciones entre la geometría hidráulica y las curvas regionales que se utilizan en

el diseño de canales naturales, habiéndose obtenido valores alto de r^2 de hasta 0,95 (Figura 2.4).

Figura 2.4. Porcentaje de partículas finas

Fuente: Roseam, Brockman, Ruth, 2010



Leopold y Maddock (1953) fueron uno de los primeros en desarrollar la teoría de la geometría hidráulica. Sus ecuaciones empíricamente desarrolladas han sido desde entonces escudriñadas teóricamente; otros también han contribuido a la idea de la geometría hidráulica.

La geometría hidráulica es un método para describir lo que sucede con las características del río, tales como anchura y velocidad, en términos cuantitativos, tanto en la estación (por ejemplo, cambios en el área de la sección transversal con cambios en la descarga) y aguas abajo Una red de corrientes (Leopold y Maddock, 1953; Singh, 2003).

Hay muchos estudios relacionados con la geometría hidráulica; Algunos utilizan datos empíricos para desarrollar relaciones hidráulicas (Leopold y Maddock, 1953, Emmett, 1975, Dunne y Leopold, 1978, Dollon et al., 2003, Keaton et al., 2005), mientras que otros intentan definir estos estudios empíricos con explicaciones teóricas (Leopold et al., 1964).

Las pendientes empinadas y las pendientes cóncavas, que concentraron el escurrimiento, produjeron las mayores cantidades de sedimento (Schumm, 1987).

Para Begay, C. L. (2012), el balance de Lane, entre la resistencia y las fuerzas motrices; muestra que un cambio en un factor causa un cambio, originando que se presenten procesos como la degradación y la agravación o la deposición de material de sedimento. Por esta relación, el sistema está en equilibrio si la carga de sedimento es transportada dentro y fuera (Figura 2.5).

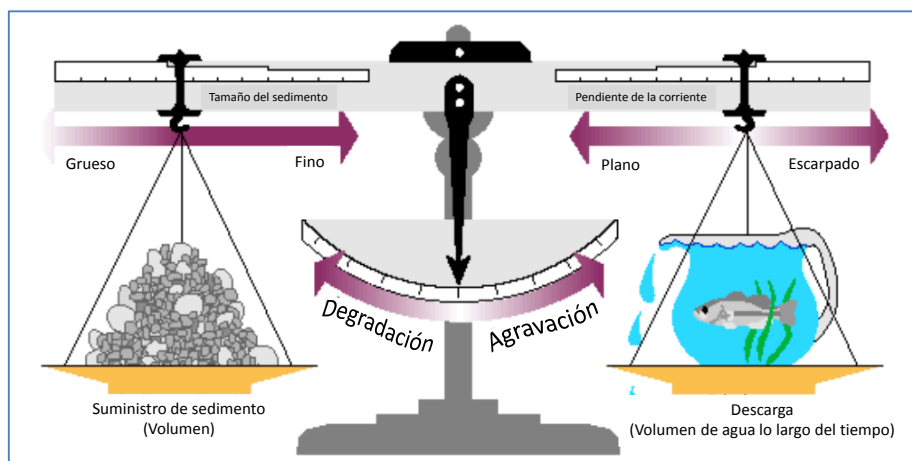


Figura 2.5. Esquema del Balance de la línea de energía

Fuente: Rosgen, 1994

El río Ucayali, como todos los ríos amazónicos, presenta características particulares debido a los cambios en sus formas del cauce, mostrando desde un complejo cauce anastomósico y meándrico, y con abundantes islas sin y con vegetación (**Figura 2.6**). Todo ello debido a la acumulación de sedimentos que permanentemente el río bien transportando dentro de su lecho, por la acción de los procesos erosión y sedimentación, que se dan de una manera equilibrada desde el punto de vista natural; sin embargo por las acciones antrópicas que en la cuenca se desarrolla este proceso se ve alterado generando una mayor dinámica fluvial en su cauce (Adolfo, C. et al., 2017, p. 2).

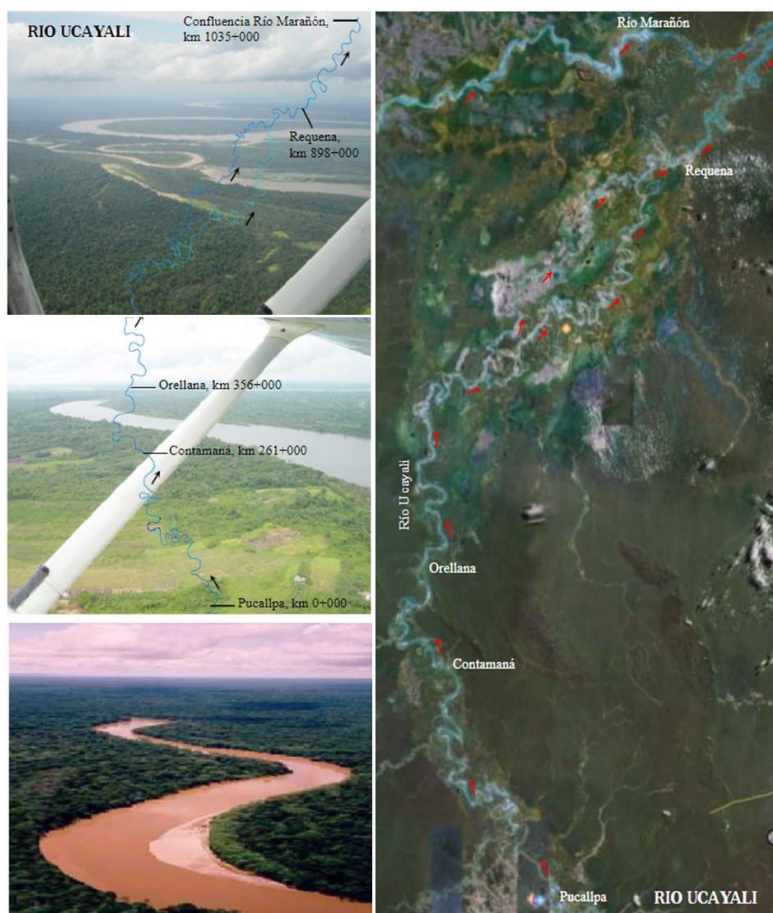


Figura 2.6. Vista aérea y de planta del río Ucayali
Fuente: Adolfo, C., 2017

En la **Figura 2.7**, se muestra el perfil longitudinal para la trayectoria comprendida entre Pucallpa y la confluencia con el río Marañón, observándose claramente el rango de variación altitudinal entre dichos puntos que en promedio alcanza el valor de 70 metros; además de apreciar, el proceso de la propia dinámica fluvial del cauce del río y los cambios permanentes que en él se dan por la evolución natural del ciclo hidrológico y su interacción con el mismo ecosistema.

En relación a los cambios que experimentan las secciones hidráulicas del río, Adolfo, C. et al. (2017), determinaron que existe una ligera interrelación entre los caudales líquidos del río Ucayali y la tasa de sedimento en suspensión, para lo cual analizaron data generada para el período Agosto – Setiembre de 2004, habiendo obtenido en dicho proceso 07 datos que han permitido obtener la **Figura 2.8**, donde se muestra que la relación entre las variables analizadas es de tipo línea.

Lee, Hae-Eun, et al. (2013), investigan las características de la distribución vertical de la velocidad en ríos naturales, probando y optimizando los métodos para definir los exponentes de la ecuación de potencias, a través de los datos de la distribución vertical de velocidad recopilados con ADCP durante los años 2005 / 2009, en los ríos de Corea del Sur. El valor del coeficiente de rugosidad fue determinado a partir de la ecuación de Limerinos; utilizando fórmulas teóricas y empíricas, lo que ha permitido conocer que hay una relación directa entre la distribución vertical de la velocidad y las condiciones del flujo.

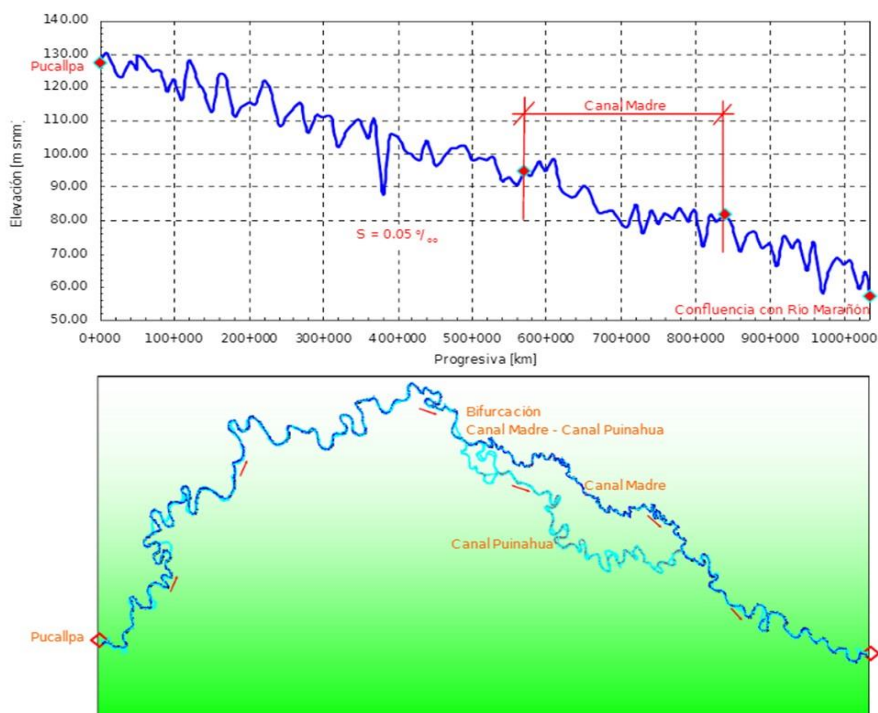


Figura 2.7. Perfil longitudinal y altitudinal del río Ucayali
Fuente: Adolfo, C., 2017

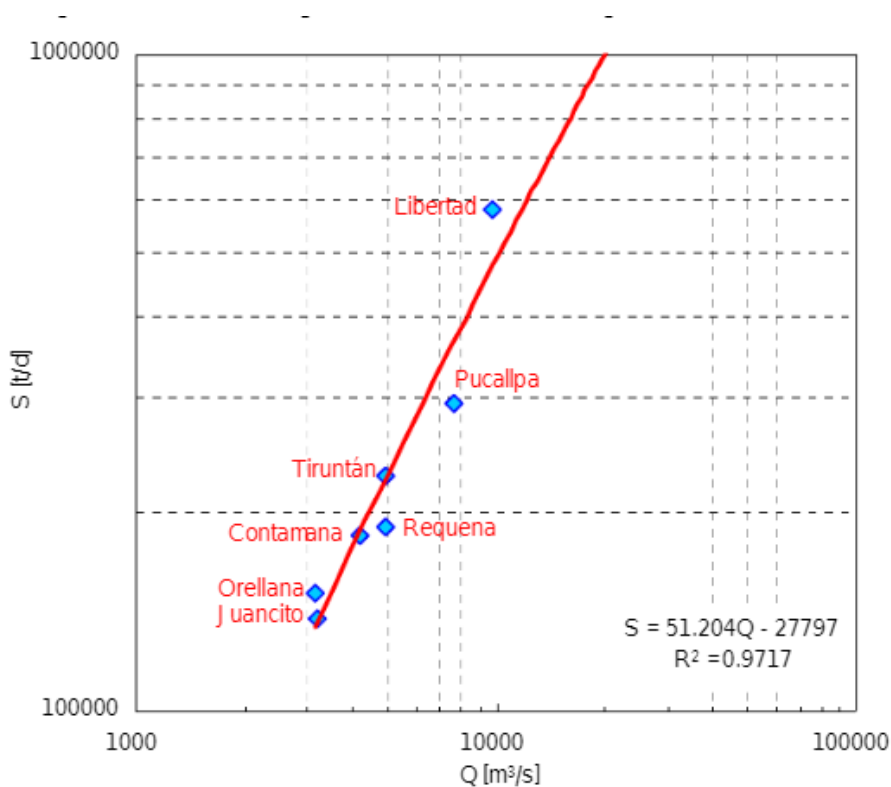


Figura 2.8. Relación entre caudal líquido y caudal sólido
Fuente: Adolfo, C., 2017

Desde el punto de vista de las vulnerabilidades (Ucayali G., 2002), en la región de Ucayali tenemos las siguientes:

- **Inundaciones**

El tipo de inundación más frecuente en la región Ucayali son las inundaciones terrestres o de ríos originados por prolongadas e intensas precipitaciones que excede la capacidad de los lechos de los ríos para conducir el agua que rebalsa las riberas (**Foto 2.9a**).



- **Erosión Fluvial**

Erosión, entendida como remoción, transporte y deposición de partículas de suelo, materia orgánica y nutriente soluble. La erosión de suelo es uno de los problemas más serios de deterioro de gran parte de las tierras cultivables de las riberas de los ríos (**Foto 2.9b**).



- **Huaycos y deslizamientos**

Son los deslizamientos de tierra, o movimientos masivos de rocas y material no consolidado, tal como suelos, lodo y derrubios volcánicos, rellenos artificiales. Son causados cuando la fuerza de la gravedad excede la resistencia del material y se desplaza pendiente abajo y hacia fuera en una ladera natural o talud de corte o talud artificial (**Foto 2.9c**).



- **Incendios Forestales**

Un incendio forestal, es un siniestro causado intencional, accidental o fortuitamente por el fuego que se presenta en áreas cubiertas de vegetación, árboles, pastizales, malezas, matorrales y en general, cualesquiera de los diferentes tipos de asociaciones vegetales. En la **Foto 2.9d**, se muestra el impacto generado por un incendio en la zona de Yarínacocha. **Foto 2.9. Eventos extremos Ucayali**



a) Inundación

Fuente: (Percy, H., 2014)

b) Erosión

Fuente: (Antena, 2014)

c) Huaycos e d) Incendio

Fuente: (DiarioAhora, 2014)

2.2 Marco conceptual

- **Dinámica vertical**

La dinámica vertical de los sistemas fluviales comprende todas aquellas interacciones que se producen en el fondo del lecho, principalmente procesos de erosión (incisión), sedimentación (acreción), formas de relieve de fondo (sucesión de rápidos y pozas) y la continuidad con los medios hiporreicos (contacto entre el agua y el sustrato) y subterráneos (Figura 2.10). En los ríos en roca el contacto del cauce con el sustrato es nítido, pero en los cursos aluviales el agua circula también a través de los sedimentos que conforman el fondo del lecho (zona hiporreica) y el cauce está en contacto con el acuífero aluvial (aguas subterráneas) (Ballarín, et al., 2013).

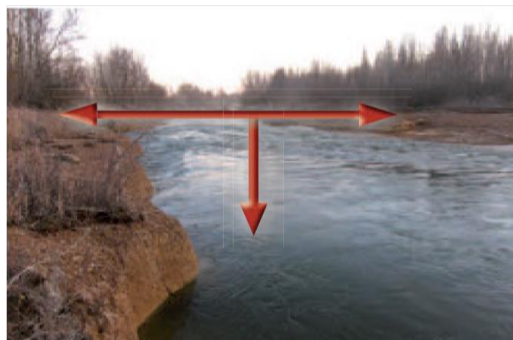


Figura 2.10. Río Bernesga, erosión
Fuente: Ballarín, et al., 2013

- **Transporte de Sedimentos**

El transporte de sedimentos (Figura 2.11) es una de las principales funciones de los sistemas fluviales. Consiste en la movilización de material sólido (material aluvial) desde las zonas de cabecera hacia las zonas de desembocadura, al tiempo que ese mismo material es erosionado y redondeado durante el transporte. El transporte de sedimentos también incluye la movilización del material que es aportado desde las vertientes y que el río debe evacuar de su cauce.



Figura 2.11. Río Bernesga, sedimentos
Fuente: Ballarín, et al., 2013

- **Disposición de los sedimentos**

Los sedimentos generados y transportados por los ríos se depositan y estructuran de forma estratificada gracias al flujo de la corriente: se clasifican por tamaños en función de la velocidad de la corriente en cada punto, y se colocan unos sobre otros en dirección aguas abajo. La disposición irregular de los sedimentos, se debe a la deficiencia del funcionamiento del sistema (Figura 2.12).

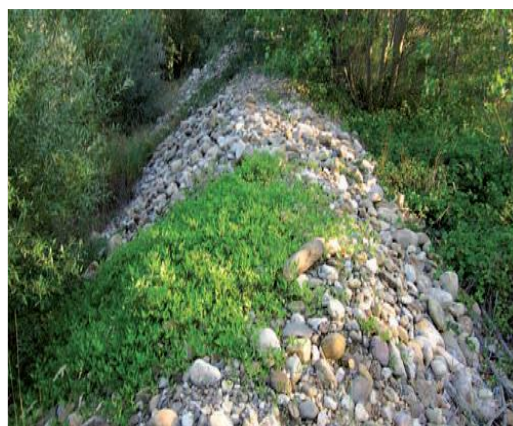


Figura 2.12. Río Carueño
Fuente: Ballarín, et al., 2013

- **Vegetación de ribera**

La vegetación es el conjunto de plantas que crece en el entorno de los ríos, en las orillas, dentro del cauce y en los espacios de inundación (**Figura 2.13**). Hay muchas especies adaptadas a los espacios ribereños y que constantemente están en procesos dinámico de remoción. Esta vegetación ribereña, tiene un papel fundamental a la hora de frenar el flujo de la corriente fluvial, especialmente en crecidas. Además de frenar el agua, la vegetación contribuye a la sedimentación de la carga en suspensión que lleva el río, generando un sustrato muy rico en nutrientes y creando hábitats de especial interés para las diferentes especies animales y vegetales que viven asociadas a los ambientes fluviales. Esta función de corredor verde sirve para una mejor interacción del río con los ambientes adyacentes y es un espacio de gran riqueza (Ballarín, et al., 2013).



Figura 2.13. Bosque ribereño
Fuente: Ballarín, et al., 2013

- **Cauce**

Otra cosa es la definición de cauce desde un punto de vista legal o reglamentario y desde el punto de vista físico, como podemos ver en el cuadro.

- Álveo o cauce natural de una corriente continua o discontinua es el terreno cubierto por las aguas en las máximas crecidas ordinarias. La determinación de este terreno se realizará atendiendo a sus características geomorfológicas, ecológicas y teniendo en cuenta las informaciones hidrológicas, hidráulicas, fotográficas y cartográficas que existan así como las referencias históricas disponibles (**Figura 2.14**).

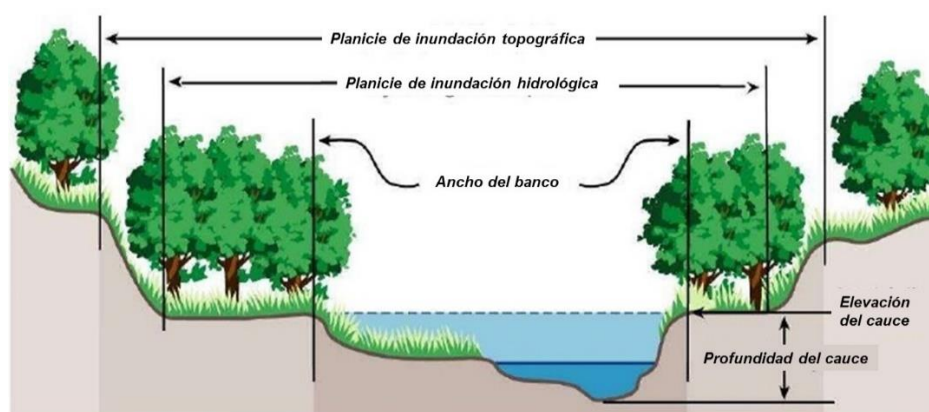


Figura 2.14. Partes del cauce de un río
Fuente: Dunne and Leopold, 1978

- Forma de relieve construida y dimensionada por el sistema fluvial para el transporte eficiente del caudal líquido y sólido. Puede ser simple o múltiple (trenzado, anastomosado), rectilíneo sinuoso, con mayor o menor tendencia

meandriforme. Presenta un encajamiento que permite su delimitación y por él circula el caudal la mayor parte del año. Sus caracteres (sección, profundidad, número de brazos, morfología del lecho, orillas y textura) son el resultado de la interacción entre las condiciones geomorfológicas del terreno (litología, pendiente, etc.) y las características del flujo (caudales, regímenes variables, caudal sólido, etc.).

- **Distribución de velocidad**

Para Lee, Hae-Eun, et al. (2013), el flujo en un canal abierto, puede expresarse como una función potencial en relación a la profundidad del canal, cuya expresión algebraica adopta la forma de:

$$\frac{u}{u_a} = \left(\frac{y}{a}\right)^{1/m} \quad (I)$$

Dónde:

- u , Es la velocidad media
- y Es la profundidad de la corriente
- u_a , Es la velocidad en el punto “a” donde se desvía del fondo del río.
- $1/m$, Es el exponente de la ley de potencia.

Cuando se aplica la ecuación (I) a la región de flujo cercano al lecho, u_a puede reemplazarse por la velocidad de corte (u^*) y a sustituirse por un punto vertical de velocidad cero, y_0 con un coeficiente adicional antes del lado derecho. y_0 también es reemplazado por la unidad de pared, v/u^* (donde, v es el coeficiente de viscosidad cinemática del agua) para una sección lisa o muy rugosa y k_s para una sección rugosa.

Mientras que la ecuación universal de la ley logarítmica que representa la distribución vertical de la velocidad del flujo es la siguiente:

$$\frac{u}{u_*} = \frac{1}{K} \operatorname{Ln} \left(\frac{y}{y_0} \right) \quad (II)$$

Donde:

- K Es la constante de Von Karman, que es aproximación 0,41

La ecuación representada mediante la función logarítmica (II), está bien definida porque la constante de Von Karman se ha determinado experimentalmente, mientras que la expresión algebraica de tipo potencial (I) presenta algunas restricciones de uso porque el exponente ($1/m$) varía con el número de Reynolds y la rugosidad del cauce del canal (Cheng, N-S., 2007). Sin embargo, aunque la función logarítmica (I) es teóricamente correcta tanto para regiones interiores como superpuestas, dado que la función potencial (II) puede aplicarse a toda la región de flujo, el mérito de la misma radica en que representa simplemente la distribución de velocidad vertical de un río.

Hay muchos estudios sobre "m" que tratan con la ley de potencia tanto para los flujos de cañerías como de caudales abiertos. Según Chen, C.-L. (1991), cada valor de "m" tiene su condición de flujo efectiva y aplicable en función del número de Reynolds y del tipo de material de lecho. El exponente (1/m), derivado de la ecuación de Manning, tiene un valor 1/6 y se puede aplicar globalmente al flujo real del canal del río, tanto práctica como teóricamente. La séptima ecuación de potencia conocida como fórmula de Blasius a menudo se utiliza para flujos hidráulicamente suaves, mientras que la fórmula de un cuarto de potencia de Lacey se acepta como adecuada para el flujo de canales aluviales o de ripio (Chen, C.-L., 1991). Por lo tanto, el exponente de la función potencial es un índice que refleja la resistencia al flujo de un río y se han realizado esfuerzos continuos para encontrar un valor adecuado para una variedad de condiciones de flujo basadas en análisis teóricos sobre las características del exponente de la función potencial.

• **ADCP**

Los Perfiladores de corriente Doppler acústicos (ADCP, por sus siglas en inglés) son instrumentos hidroacústicos que se utilizan para medir la velocidad y corriente del agua en un rango determinado de profundidad. Existen una amplia gama de productos en función de las necesidades de medición, de su instalación, de la fuente de alimentación y del tipo de almacenamiento de datos (Koskela, J., 2017).



Figura 2.15. ADCP
Fuente: Koskela, J., 2017

Los adcp (**Figura 2.15**), transmiten un sonido en el agua y utilizan el sonido que rebota para medir parámetros, como la velocidad del agua, la profundidad de los ríos y la velocidad de los botes.

La ecuación que permite calcular la velocidad de la fuente del sonido desde una frecuencia de sonido de desviación doppler es la siguiente:

$$f_D = f_S * \frac{V}{C} * \quad (III)$$

Donde:

- f_D Frecuencia de desviación Doppler
- f_S Frecuencia de la fuente (frecuencia del ADCP)
- V Velocidad de los dispersores en el agua
- C Velocidad del sonido (según las características del agua)

El instrumento debe calcular con exactitud la velocidad del sonido (C).

$$V = \left(\frac{f_D}{2 * f_S} \right) * C \quad (IV)$$

- Un error de temperatura de 2°C (5°F) o error de salinidad de 5 puntos se traducirá en un 1% de error de velocidad.
- El instrumento debe tener un detector de temperatura preciso y debe estar configurado para una salinidad correcta.

Se considera que la velocidad del agua es equivalente a la velocidad del dispersor. La inobservancia de esta consideración dará lugar a errores en el cálculo de la velocidad del agua. Es probable que el principal factor para obtener una medición exacta de caudal sea la selección de la sección de medición. En la **Figura 2.16**, se muestra la característica principal del proceso de medición mediante el ADCP, su área de influencia, ubicación y zonas de no registro; mientras que en la **Figura 2.17**, se tiene representados el área de medición directa con el ADCP, y las zonas de incertidumbres donde el equipo no puede registrar debidamente las características del flujo de la corriente.

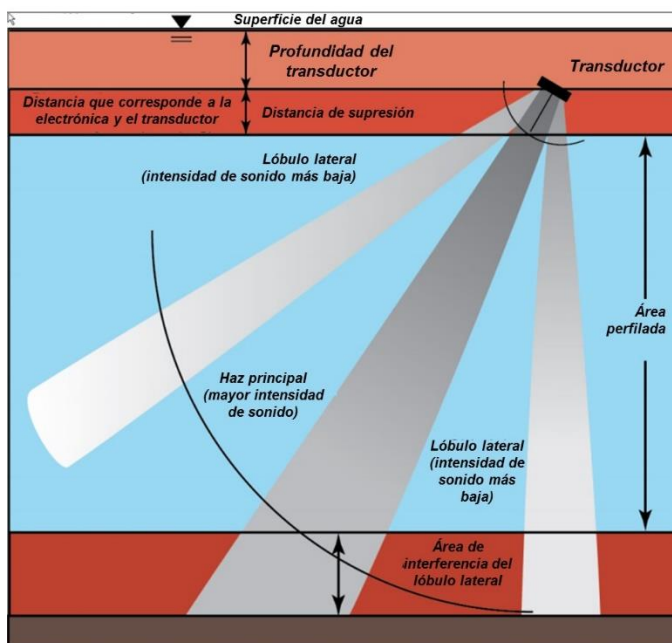


Figura 2.16. Área de influencia del ADCP
Fuente: Koskela, J., 2017

Para las orillas, o zona de no medida, el equipo recoge información de mediciones estacionarias, lo que permite en base a la configuración que se le da al equipo, permitirá realizar los procesos de extrapolación de caudal hacia la orilla. Para ello el usuario le indicara al equipo el tipo y forma de orilla, sobre la base de ellos el adcp calculara el área y caudal para dicha zona, mediante la expresión algebraica (V).

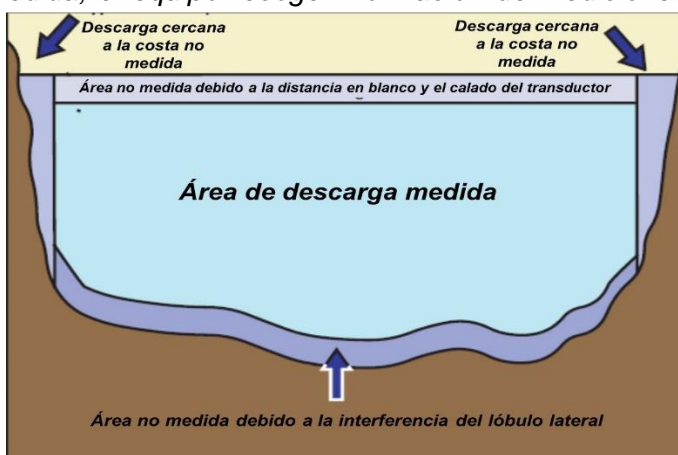


Figura 2.17. Zona de medición del ADCP en el río
Fuente: Koskela, J., 2017

$$Q = \text{Ancho} * \text{Profundidad} * \text{Velocidad del agua} * \text{Coeficiente de la orilla} \quad (V)$$

En general, conviene mantener la velocidad del bote de modo que sea inferior o equivalente a la velocidad media del agua.

III.- MATERIALES Y METODOS

3.1 Descripción del área de estudio

Dentro del ámbito de la cuenca Amazónica Peruana, la cuenca del río Ucayali, es parte integrante de este ecosistema tropical ubicado al noreste del Perú, cuya característica principal ser una cuenca transfronteriza entre Perú y Brasil.

La cuenca hidrográfica del Ucayali (**Figura 3.1**) está conformada por 502 ríos y afluentes hasta de quinto orden, siendo el río Ucayali de vital importancia por constituir la vía principal de comunicación (Godoy, 2005).

Figura 3.1. Cuenca del río Ucayali

Fuente: ANA, 2008

Geográficamente, la cuenca se haya ubicada entre:



Latitud Sur	:	4° 30´ y 15° 30´
Longitud Oeste	:	70° 30´ y 76°30´
Altitudinal	:	50 a 6151 msnm.

Según el *Inventario Nacional de Aguas Superficiales (ONERN, 1980)*, el área de la cuenca del río Ucayali asciende a 351,549 km²; su longitud total asciende a 2238 km y el caudal medio anual estimado es de 17,685.9 m³/s.

Administrativa y políticamente, la cuenca del río Ucayali abarca a las regiones Loreto, San Martín, Huánuco, Ucayali, Pasco, Junín, Huancavelica, Ayacucho, Apurímac, Arequipa y Cusco. En la **Tabla 3.1**, se puede apreciar la extensión superficial que abarcan cada una de las cuencas, sub cuencas e intercuenas, apreciándose que las de mayor extensión están ubicadas en: Pachitea, Tapiche, Aguaytía, Tamaya, Apurímac, las cuales representan el 39,2% del área total de la cuenca.

a) Población

La superficie de la cuenca del río Ucayali, esta compartida por más de 11 regiones o departamentos los cuales usufructúan de los recursos naturales que esta unidad hidrográfica nos brinda dentro de la evolución el ecosistema natural. En base a la conformación política y territorial, la población asentada en la cuenca, experimenta diferente grado de desarrollo y expansión, tal como se aprecia en la **Figura 3.2**, donde se muestran los niveles poblacionales del comportamiento temporal para la cuenca baja, media y alta, con valores estimados en base a los censos realizados en las décadas del 1940, 1960, 1970, 1980, 1990 y 2000.

Tabla 3.1. Cuenca del río Ucayali – Nivel 4

Ucayali		Mantaro		Apurímac		Ucayali - Vilcanota	
Subcuenca	Area	Subcuenca	Area	Subcuenca	Area	Subcuenca	Area
Tarau	2547	Huarmicocha	88	Pampas	23113	Inuya	5623
Galvez	6443	Huarpa	6769			Mushahua	3371
Tapiche	18528	Ichu	1375			Picha	3724
Cushabatay	6696	Vilca	2941			Yavero	5462
Asguaytía	11293	Conas	1709				
Tamaya	14042						
Pachitea	28496						
Poyani	660						
Perene	18254						
Cutuvireni	3034						
Anapati	1546						
Intercuencas	21205	Intercuencas	21481	Intercuencas	41260	Intercuencas	40555
Total	132744	Total	34363	Total	64373	Total	58735

Fuente: adaptado por Ordoñez, 2014 - (ANA, 2008)

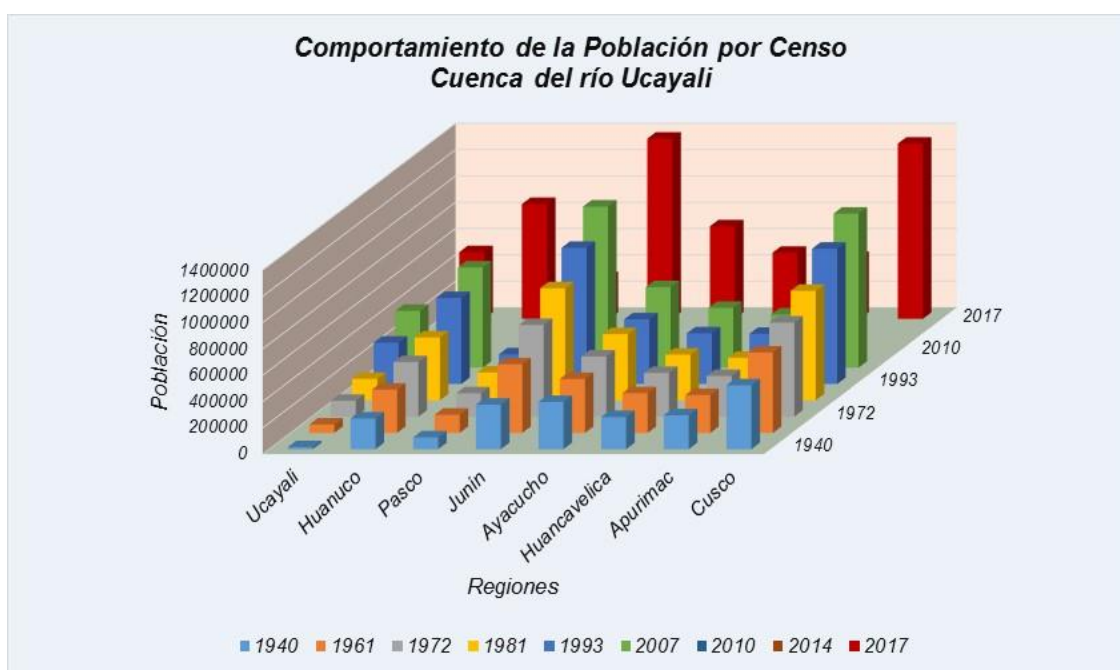


Figura 3.2. Distribución Poblacional por censos

Fuente: Elaboración propia, con datos del INEI, 2013

b) Deforestación

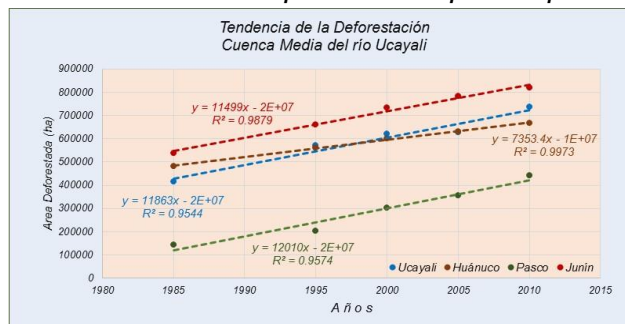
La Cuenca amazónica a través de su historia ha experimentado procesos de degradación en el ecosistema natural, a través de la pérdida de infraestructura y bosques desde 2000. Dicho proceso se da por el incremento de vías de comunicación carreteras (pavimentadas, sin pavimentar, y planificado), medios acuáticos (actual y previsto), centrales hidroeléctricas (actuales, en construcción y planificado).

En relación a las zonas deforestadas por regiones, la información estadística no es muy actualizada, debidos a problemas de inventarios no desarrollados; sin embargo, se ha podido acopiar data representativa de cada zona que nos muestra no sólo la evolución de su

comportamiento sino la tendencia que viene experimentando:

- **Cuenca Media:**

Apreciamos que en cada una de las regiones, la problemática relacionada al tema de la deforestación, muestra un comportamiento y tendencia creciente en el tiempo, lo que ha generado que en los últimos 25 años se ha perdido bosques tropicales del orden de 7300 ha/año a 13000 ha/año. Siendo la región de Ucayali la que ha experimentado el mayor proceso, tal como se aprecia en la **Figura 3.3a**.



- **Cuenca Alta:**

En esta parte cuenca, se registran una fuerte tendencia de la deforestación en la región de Cusco, con una tasa promedio anual de 19000 ha/año; mientras que las regiones de Ayacucho y Huancavelica, en promedio registran 2500 ha/año, tal como se muestra en la **Figura 3.3b**.

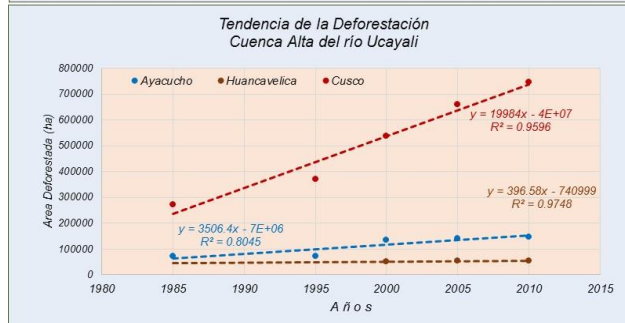


Figura 3.3. Tendencia de la deforestación

Fuente: elaboración propia

c) Hidrografía

El río Ucayali, es uno de los grandes formadores del río Amazonas. Tiene su origen en la confluencia de los ríos Urubamba y Tambo, en Atalaya, ubicada en el extremo sur de Loreto. A lo largo del curso del río, se pueden distinguir dos zonas bien diferenciadas (**Figura 3.4**):

- **Alto Ucayali**, que se extiende desde su origen en Atalaya y la desembocadura del río Pachitea (**Figura 3.4**). Este río hace su recorrido sobre la Llanura Amazónica o Selva Baja, a través de un cauce meándrico, el cual se encuentra expuesto a cambios repentinos y constantes, por lo que el cauce anterior queda abandonado, formando las cochas o tipishcas, conectadas con el cauce actual a través de canales estrechos llamados sacaritas o caños.
- **Bajo Ucayali**, se extiende entre la boca del Pachitea y su confluencia con el Marañón para formar el río Amazonas. En este río se encuentran ubicados los puertos de Pucallpa, considerado como el segundo puerto, emplazados todos ellos en áreas elevadas en relación con el resto de la Llanura Amazónica, denominados altos.

Entre los principales afluentes del Ucayali tenemos: Pachitea, Aguaytía, Urubamba, Tambo, Perene, Ene, Mantaro y Apurímac.

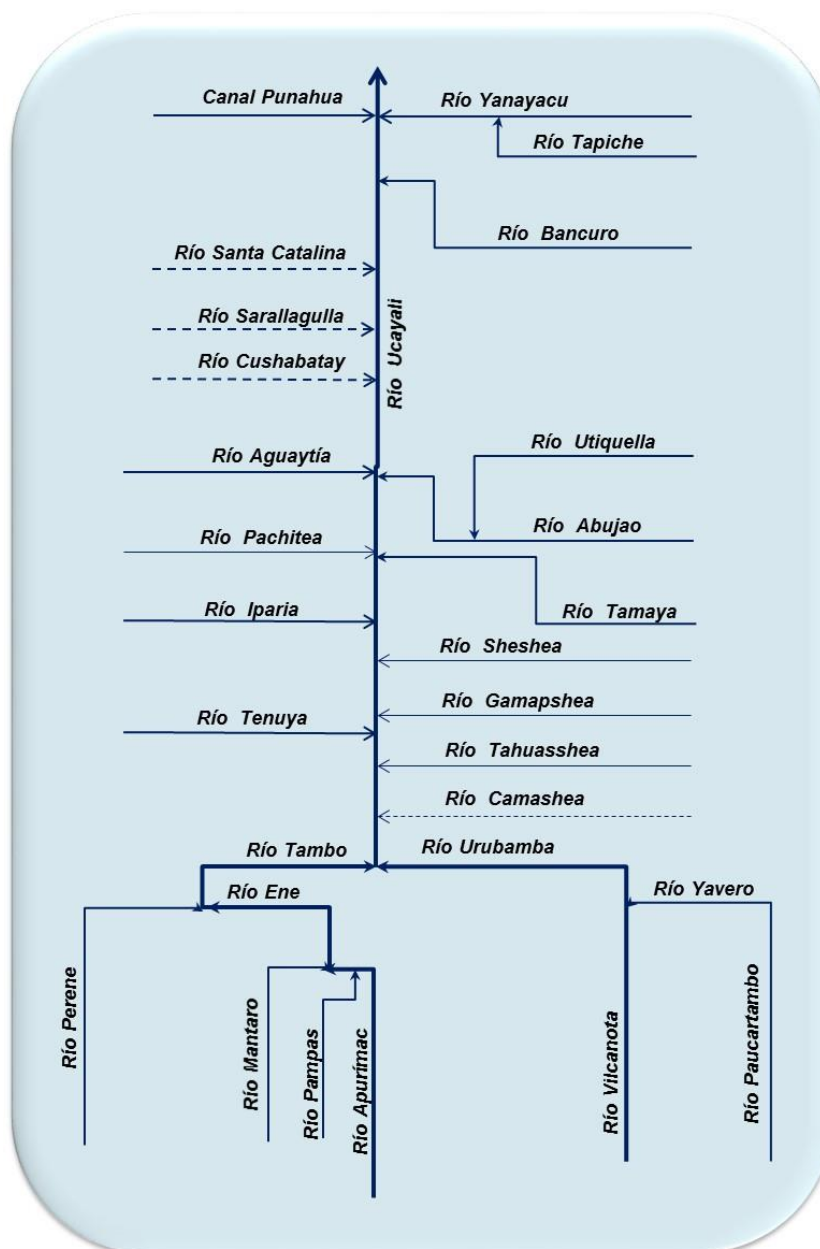


Figura 3.4. Red hidrográfica del río Ucayali
Fuente: Elaboración propia

d) **Potencial Hidroenergético**

En el Perú, es el segundo país de la región con mayor número de hidroeléctricas en operación, en construcción o inventariadas, de acuerdo a la publicación "Megaproyectos en la Amazonía (Little, 2011). Asimismo, existen 151 propuestas de construcción de hidroeléctricas en países amazónicos andinos, los cuales se harán en 05 de los seis río andinos más importantes (Caquetá, Madeira, Napo, Marañón, Putumayo y Ucayali).

Entre las sub cuencas consideradas por su potencial hidroenergético en la cuenca Amazónica, observamos que en la cuenca del río Ucayali se tiene contemplada 08 proyectos hidroenergéticos de los 15 priorizados en el marco de la cooperación Perú-Brasil (**Figura 3.5**).

Durante el 2010, en el seminario de Internacional de Integración Energética Perú – Brasil, se priorizaron 05 proyectos con un potencial importante en la exportación de energía para Brasil, las cuales se encuentran ubicadas entre Junín (ríos Ene y Tambo) y Cusco (río Urubamba), con una potencia total de 4673 MW (DAR, 2011).



Figura 3.5. Centrales priorizadas por Brasil
Fuente: Modificado por Ordoñez, 2014 de DAR, 2011.

Las sub cuencas que conforman la cuenca del río Ucayali, presentan potenciales hidroenergéticos muy importante para el desarrollo de las regiones que conforman la superficie amazónica, entre las cuales tenemos:

- **Sub cuenca del río Apurímac**
Presenta un potencial hidroenergético, que se refleja en la **Tabla 3.2**, donde se muestra la capacidad productiva en energía, para ser explotada en beneficio de la región.

Tabla 3.2. Potencial hidro energético río Apurímac

Característica	Apurímac Superior	Apurímac Inferior
Área (km ²)	13538,0	15357,0
Altitud promedio (m)	4237,0	2960,0
Precipitación media anual (mm/año)	732,0	948,0
Longitud de la red hidrográfica (km)	11522,0	1057,0
Número de estaciones de aforo	0	0
Potencial teórico total (Mw)	1884,0	12645,0
Potencial específico (Mw/km)	1,24	11,96

Fuente: GORE-Cusco

- **Río Vilcanota**
Presenta un potencial hidroenergético, que se refleja en la **Tabla 3.3**, donde se muestra la capacidad productiva de energía explotable en beneficio de la región de Cusco.

Dentro de la misma cuenca, se viene desarrollando estudios e implementación de proyectos energéticos, que ayudaran a fortalecer y asegurar la matriz energética

renovable, en las regiones que conforman la jurisdicción del río Ucayali, como unidad hidrográfica

Tabla 3.3. Potencial hidro energético río Vilcanota

Característica	Urubamba	Vilcanota
Área (km ²)	52041,0	7272,0
Altitud promedio (m)	1577,0	4366,0
Precipitación media anual (mm/año)	1253,0	753,0
Longitud de la red hidrográfica (km)	3536,0	682,0
Número de estaciones de aforo	1	1
Potencial teórico total (Mw)	10591,0	1265,0
Potencial específico (Mw/km)	3,0	1,85

Fuente: GORE-Cusco

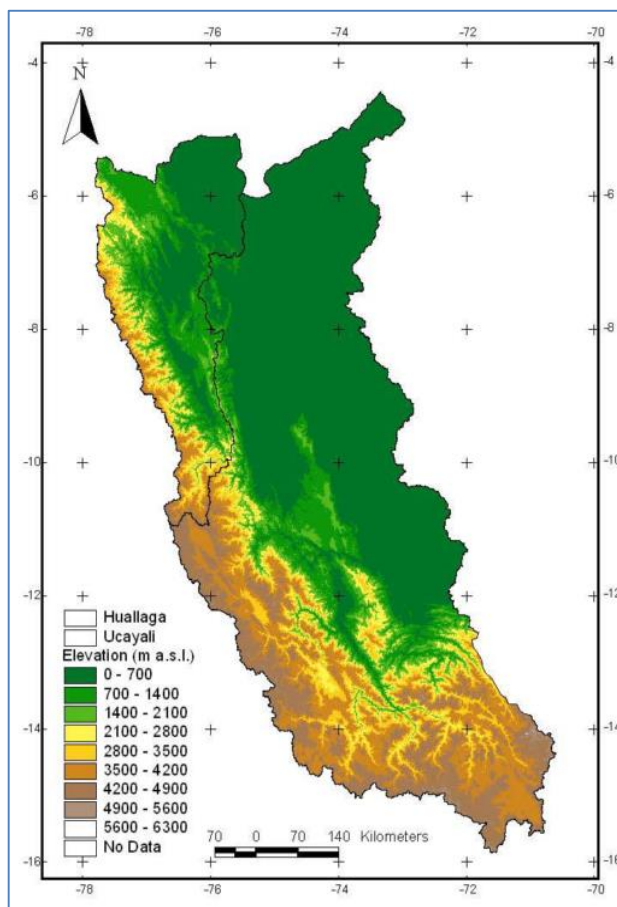
e) Clima

En general, existe una relación entre las condiciones climáticas de una zona y el desarrollo de las diferentes actividades antrópicas (agricultura, ganadería, caza, industria, transporte, vivienda y otros) que desarrolla el ser humano con el fin de satisfacer sus necesidades en base al uso de los recursos naturales.

Sobre la base de ello, la cuenca del río Ucayali presenta una climatología definida por las características del relieve; cuya característica principal más relevante es la llanura amazónica que va desde Atalaya hasta la misma confluencia con el río Amazonas, tal como se puede apreciar en la **Figura 3.6**, donde prácticamente existe dos zonas; una llanura y otra andina.

Figura 3.6. Relieve de la cuenca del Ucayali

Fuente: Lavado, 2010

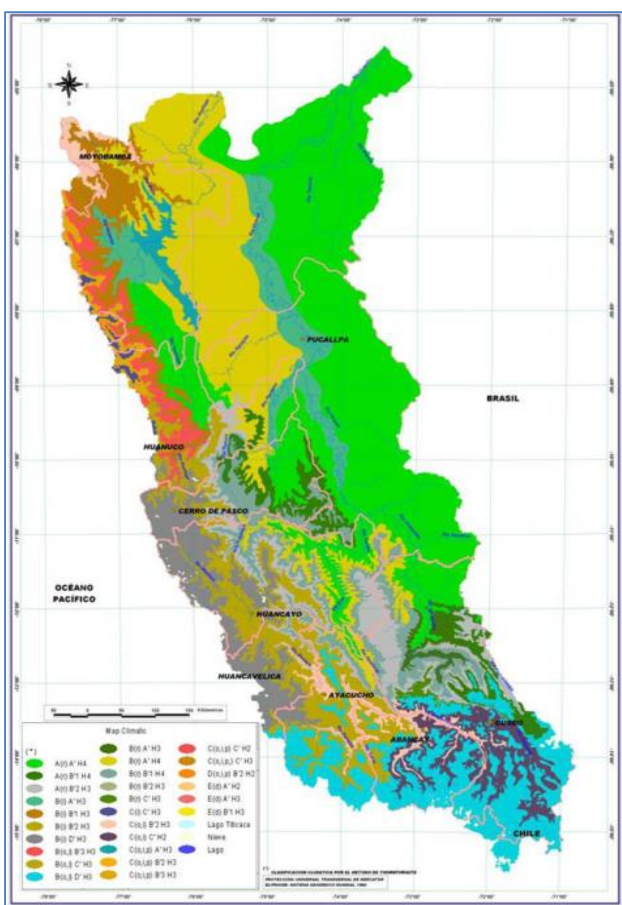
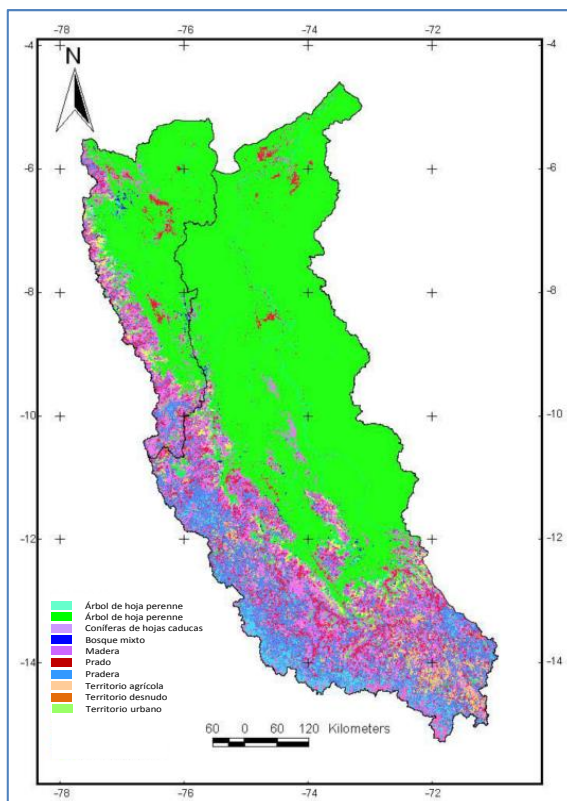


Esta fisiografía espacial, amoldan los tipos de suelo en la cuenca originando que el 20% de la superficie total está orientada potencialmente a la actividad agrícola (ONERN, 1981). En la cuenca se han identificado 05 tipos de suelo, entre los cuales tenemos (Brack, 2014):

- Región paramosólica o andosólica
- Región kastanosólica
- Región líto-cambisólica
- Región acrisólica
- Región acrisólica ondulada

Sobre la base de estos dos mapas, surgen los tipos de vegetación (**Figura 3.7**) que domina la superficie de la cuenca del río Ucayali, influenciados por el relieve, suelos y clima. Todo ello influye en la heterogeneidad de la vegetación la cual se ve alterada por los procesos antrópicos que se desarrollan dentro de la superficie de la cuenca. Una zona muy importante es la presencia de Bosques de llanuras inundables y Bosques húmedos de terrazas y colinas, Humedales y Aguajales.

Figura 3.7. Cobertura vegetal, cuenca Ucayali
Fuente: Lavado, 2010



La interacción de estos tres parámetros: Relieve, Suelo y Vegetación, con el tipo de clima que sustentas, brinda de cierta manera una sostenibilidad a los ecosistemas naturales y antrópicos. Por ellos en la **Figura 3.8**, se muestra los tipos de clima en la cuenca del río Ucayali, que van desde:

- Clima templado subhúmedo
- Clima boreal
- Clima frío
- Clima Nieve
- Clima semicálido y húmedo
- Clima cálido y húmedo

Figura 3.8. Mapa climático de la cuenca del río Ucayali

Fuente: SENAMHI, 2005

3.2 Información requerida

Para el desarrollo de la presente investigación, se utilizó data proveniente de la red de estaciones hidrológica instaladas por le SENAMHI, en la cuenca del río Ucayali, que fueron seleccionadas para el desarrollo de campañas de aforo desde el 2003, a través del proyecto HYBAM del IRD. En la **Tabla 3.4**, se muestra la red de estaciones priorizadas la cual está conformada por un total de 08 puntos de control hidrométrico.

Tabla 3.4. Red de estaciones hidrológicas con aforo

Orden	Nombre	Río	Latitud (grados)	Longitud (grados)	Altitud (msnm)
1	Maldonadillo	Urubamba	-10.74	-73.72	288
2	Atalaya	Ucayali	-10.73	-73.75	220
3	Puerto Inca	Ucayali	-9.38	-74.97	175
4	Pucallpa	Ucayali	-8.39	-74.53	130
5	Lagarto	Ucayali	-10.61	-73.87	196
6	Tapiche	Ucayali	-8.05	-73.85	120
7	Jenaro Herrera	Ucayali	-4.90	-73.67	92
8	Requena	Ucayali	-5.04	-73.84	200

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 3.9**, se muestran el perfil altitudinal de la red de estaciones hidrológicas ubicadas en la cuenca del río Ucayali, apreciándose que el punto más alto es Maldonadillo, la cual se ubica en la confluencia de los ríos Tambo y Urubamba, mientras que el punto de aforo más bajo es Jenaro Herrera, casi cerca a la confluencia con el Marañón para dar paso al Amazonas.

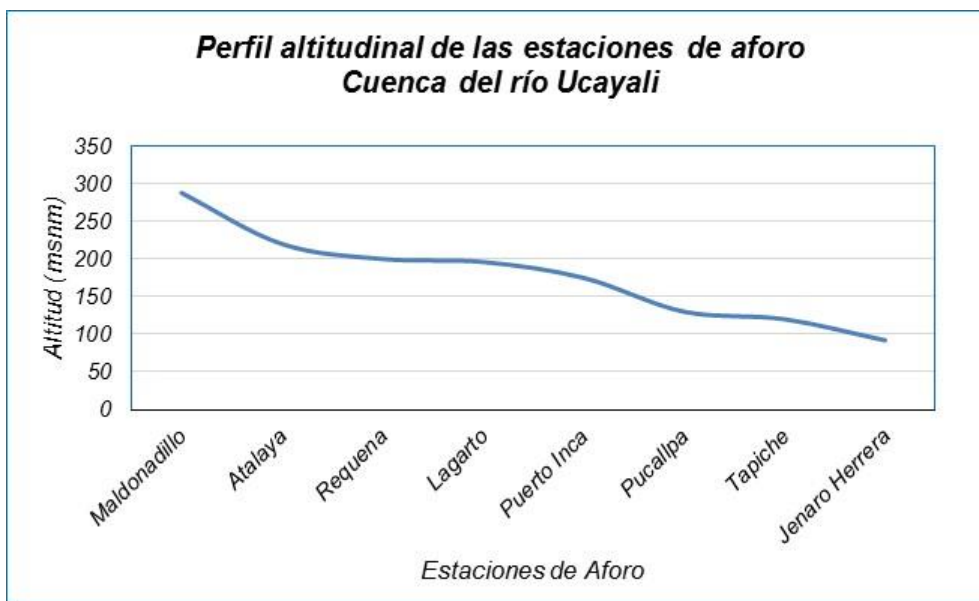


Figura 3.9. Perfil altitudinal de la red de estaciones hidrológicas

Fuente: Elaboración propia

3.3 Metodología

Para el desarrollo de la presente investigación, se realizara un análisis integral de cada una de las variables seleccionadas, iniciándose el proceso por la conformación de la base de datos y su correspondiente evaluación.

Dentro de las etapas identificadas a desarrollarse tenemos:

- Base de datos
- Análisis exploratorio de datos
- Caracterización
- Dinámica fluvial

Cada uno de las etapas seleccionados, permitirá durante el proceso desarrollado contara con una información que cumpla con su validez y confiabilidad, llevándonos a tener la seguridad y certeza que la data es representativa no solo del período estacional sino de la misma estación de aforo.

a) Base de datos

La data requerida para el desarrollo de la presente investigación, básicamente está conformada por los aforos desarrollados en forma coordinada entre el Proyecto HYBAM y el SENAMHI, en las estaciones de control hidrométrico instaladas en la cuenca del río Ucayali.

El acceso a la data fue a través del software WinRiver II (**Figura 3.10**), mediante el cual se logró acceder a la lectura de las data de aforo, desde el período 2003 al 2015, para las estaciones seleccionadas. La data obtenida, corresponde a los valores de velocidades verticales de todas las secciones de aforo; además de tener acceso a la data de aforos, a través del Hydracces.

b) Análisis exploratorio de datos

Describe, analiza y representa un grupo de datos utilizando métodos estadísticos, numéricos y análisis gráficos; que resumen y presentan la información contenida en ellos, como es el tipo de distribución y otros parámetros más, relacionados a la validez y confiabilidad de los mismos (**Figura 3.10**).

Sabemos que la exploración de datos depende del tipo de variable, el cual está íntimamente asociado a la escala de medición (Escala Nominal, Escala Ordinal, Escala Intervalo y Escala de Razón). Para variables cuantitativas se usan medidas resumen tales como medias, desvíos estándar, mínimos y máximos e histogramas y gráficos de barras, mientras que para variables cualitativas o categorizadas se usan porcentajes y gráficos de sectores y de barras apiladas.

c) Análisis de los elementos de la hidráulica fluvial

Aquí desarrollaremos, básicamente los análisis de cada uno de las componentes de la hidráulicas de los cauces naturales que permite caracterizar la sección hidráulica de un río, entre ellos tenemos el área de las sección, perímetro mojado, radio hidráulico,

velocidad de corte, número de Reynolds, Número de Froude, Coeficiente de rugosidad de Manning, Coeficiente de Chezy, secciones hidráulicas y curva altura gasto.



Figura 3.10. Esquema integral de los procesos a generar
Fuente: Elaboración propia

d) Análisis de la distribución de velocidad

En esta sección, desarrollaremos todos los análisis correspondientes a los flujos de velocidades, para cada una de las secciones hidráulicas donde se han realizado aforos líquidos con el ADCP. Para ellos debemos tener en consideración que la precisión de la medición de la velocidad depende de varios factores, entre los cuales tenemos:

- *Velocidad del bote:* la velocidad lenta reduce el error medio en el cálculo del flujo
- *Dimensión de las celdas:* las celdas con una altura pequeña tienen un alto error sistemático pero proporcionan mediciones de velocidad más cercanas a la superficie, el fondo y la orilla.
- *Salinidad:* la velocidad del sonido en el agua depende de la salinidad del agua.

Un error del 3% en la velocidad del sonido, puede provocar un error del 9% en el cálculo del flujo total.

En la **Figura 3.11**, se muestra el esquema operativo del procesos de realizar un aforo con el ADCP, en un bote móvil, mostrándose los haces de luces que son transmitido por el equipo en diferentes direcciones, detectándose de esta manera los diferentes componentes de la velocidad, paralelos a cada haz. Si el flujo es uniforme en toda la profundidad, se utiliza una transformación trigonométrica para convertir la velocidad a lo largo del haz de luz.

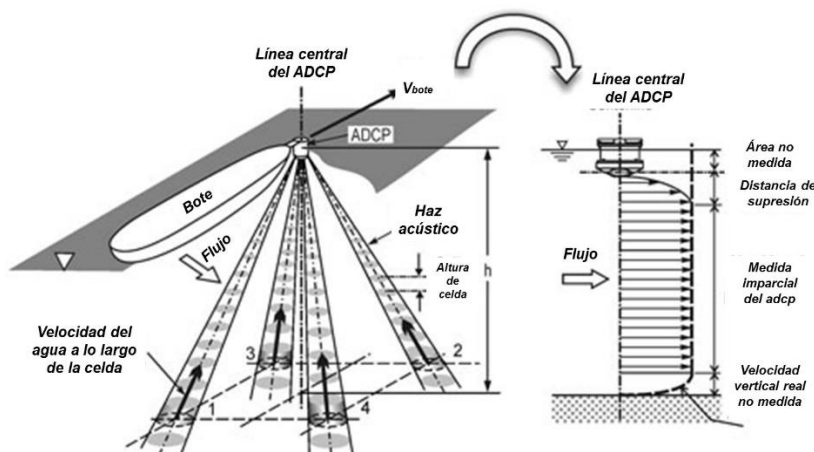


Figura 3.11. Esquema de operatividad del ADCP
Fuente: Muste, et. al., 2008

De la serie de perfiles globales de cada aforo realizado se realizará una discretización de aquellos que pudieran contener errores en el contorno de velocidades sobre la base de la **Figura 3.12**, donde se aprecia como aparecen velocidades altas cuando las ondas no fluyen a magnitudes e indicaciones similares en todas, o en el caso de que el instrumento mide velocidades de haz incorrecta.

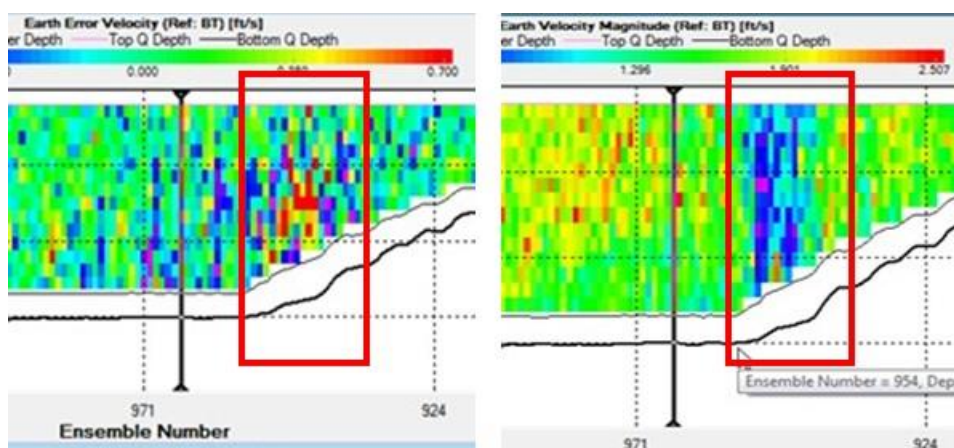


Figura 3.12. Errores de velocidades
Fuente: Uhrich, Mark, et. al., (2011)

IV.- RESULTADOS

La investigación, está centrada en los análisis de las información generada durante las campañas de aforo desarrolladas por el IRD y SENAMHI durante el período 2000 / 2015, cuyo análisis de manera integral nos permitir conocer el comportamiento y tendencia de los principales parámetros hidráulicos.

4.1 Parámetros geomorfológicos

En relación a los parámetros fisiográficos que caracteriza a cada una de las sub cuencas que conforman la superficie de la cuenca del río Ucayali, se ha podido apreciar la variabilidad en extensión siendo la de Ucayali la de mayor extensión (116,699 km²) y Aguaytía con la menor extensión (11,622 km²), las cuales se ubican en la parte baja de la cuenca del río Ucayali, tal como se aprecia en la **Figura 4.1**. (DGH, 2012; IBC, 2003; Lavado, 2012).

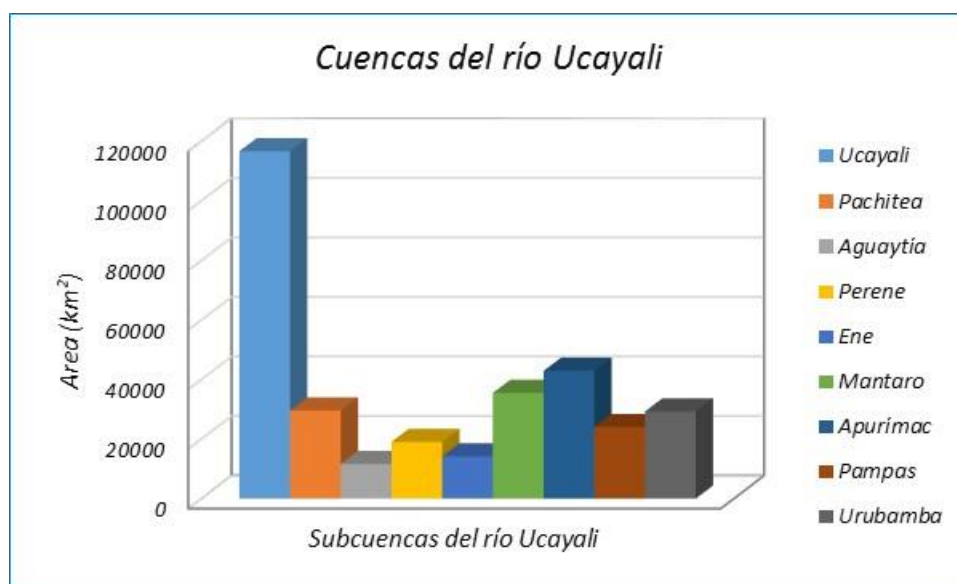


Figura 4.1. Áreas de las sub cuencas del Ucayali

Fuente: Elaboración propia

De las interrelaciones que se han podido generar en función a las áreas de sub cuencas, longitud de ríos y rango altitudinal, se ha podido comprobar que la cuenca del río Ucayali tiene las características siguientes:

- Las variables área vs longitud de río, presenta una relación directamente proporcional expresada a través de una expresión algebraica de segundo grado que nos permite representar la variabilidad de una con relación al comportamiento de la otra. En nuestro caso, apreciamos que la sub cuenca con mayor red de drenajes está ubicada en la parte baja de la cuenca del río Ucayali, mientras que la de menor red de drenajes es Aguaytía, tal como se aprecia en la **Figura 4.2**.
- Para el análisis entre el Rango Altitudinal vs Área de la sub cuenca, se ha podido encontrar una relación inversamente proporcional; es decir, que mientras el rango altitudinal crece el área de la sub cuenca disminuye, esto se ve reflejado directamente en la Ucayali y Perene, tal como se aprecia en la **Figura 4.3**.

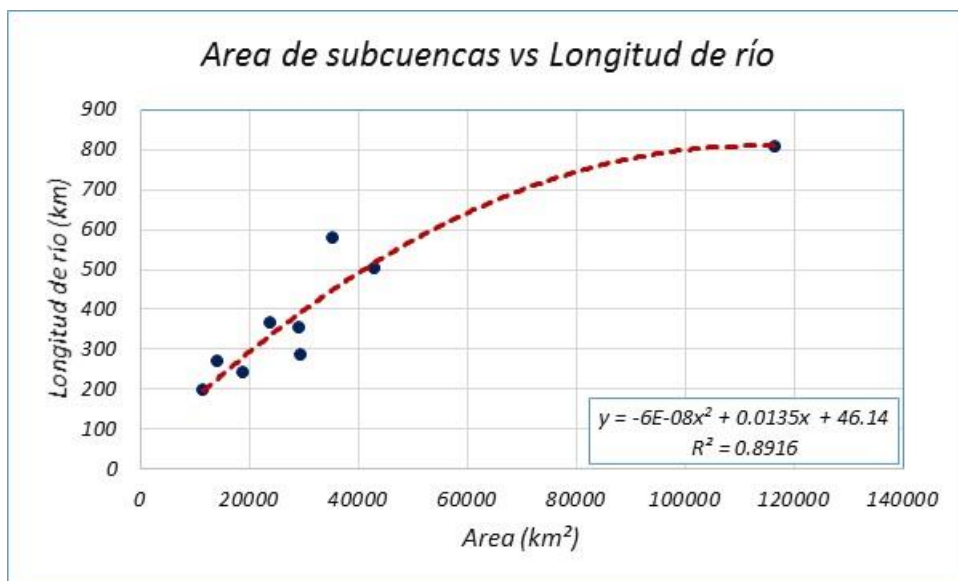


Figura 4.2. Relación entre Área de la sub cuenca y longitud de río
Fuente: Elaboración propia

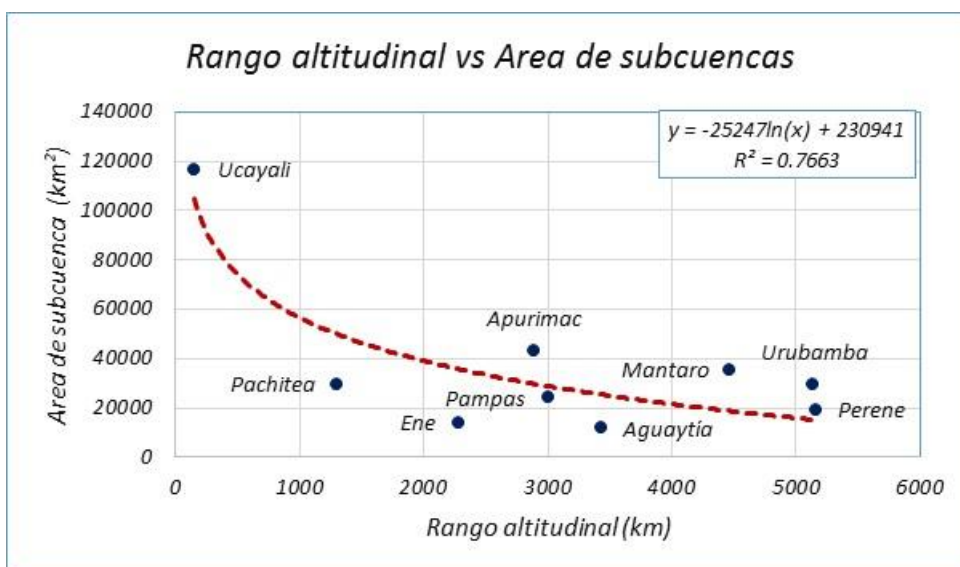


Figura 4.3. Relación entre Rango Altitudinal y Área de la sub cuenca
Fuente: Elaboración propia

- Entre las variables Rango Altitudinal vs Longitud de río, se ha podido encontrar que las sub cuencas con menor variación altitudinal registran las mayores longitudes de río como es el caso de la Ucayali, mientras que aquellas sub cuencas con mayor variación altitudinal presentan una menor longitud de río, como son Perene y Urubamba, tal como se aprecia en la **Figura 4.4**.

Además, de todos los análisis realizado, se ha podido apreciar que las sub cuencas de los río Apurímac y Pampas, se ubican en la parte media de la cuenca del río Ucayali. Para las sub cuencas de los ríos Pachitea, Ene y Aguaytía, apreciamos que no experimentan mayores rangos altitudinales por ende la longitud de los ríos es mínima que ocupa su superficie es directamente proporcional a las mismas.

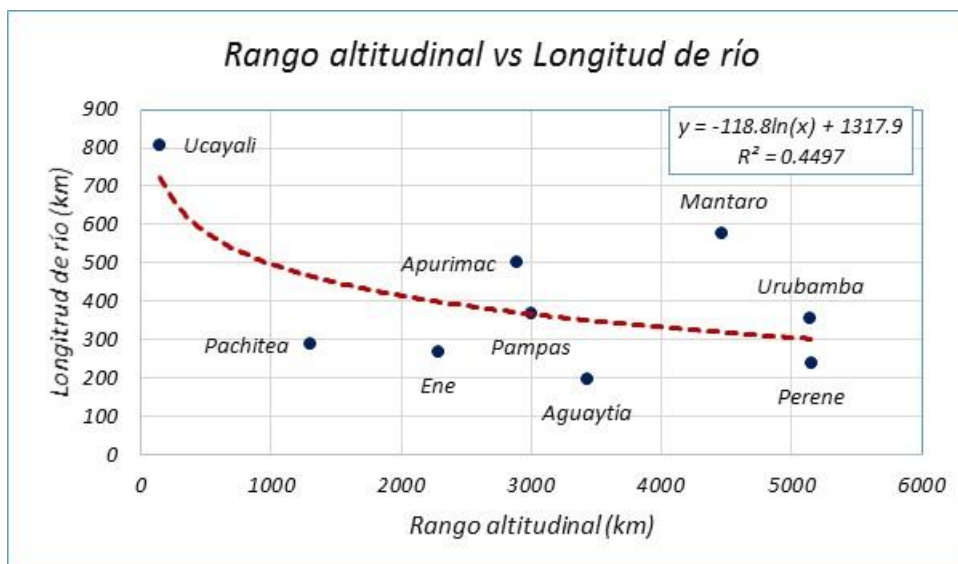


Figura 4.4. Relación entre Rango altitudinal vs Longitud de río

Fuente: Elaboración propia

Estas características geomorfológicas básicas, inciden en la dinámica de respuesta de la cuenca, en relación a la variabilidad climática de la temperatura mínima y la precipitación; con referencia a esta última variable, podemos decir que la respuesta a la generación de escurrimiento superficial es lento, por el mayor tiempo que se emplea para el tránsito de la onda de avenida; permitiendo con ello dar tiempo para alertar de algún evento extremo que se presentaría.

Con referencia a los rangos altitudinales, apreciamos que las sub cuencas ubicadas en la margen izquierda del río Ucayali, registran las mayores altitudes; mientras que los de la margen derecha, están dentro de la llanura Amazónica.

En términos generales, la cuenca integrada del río Ucayali, es de tipo alargada y angosta, lo que genera una lentitud en el tránsito del flujo superficial.

4.2 Análisis exploratorio de datos

Para el desarrollo de la presente investigación la base de datos estructura corresponde a los aforos generados mediante el uso de los ADCP, en los principales puntos de control ubicados a lo largo del río Ucayali, con el fin de evaluar su disponibilidad hídrica, comportamiento, variabilidad y generar en cada una de las secciones de aforo, las curvas altura gasto.

Como se puede apreciar en la **Figura 4.5**, los rangos de variación del número de aforos realizado en las estaciones hidrológicas ubicadas a los largo del río Ucayali, son muy diversas, las cuales se han generado durante el período de 2001 al 2015, lográndose recabar durante esas fechas un total de 728 aforos. La estación de Tapiche, es la que muestras el menos número de datos (4); mientras que la estación de Requena es la que ha registrado la mayor cantidad con 317 aforos, seguida de la estación de Lagarto con 177 aforos.

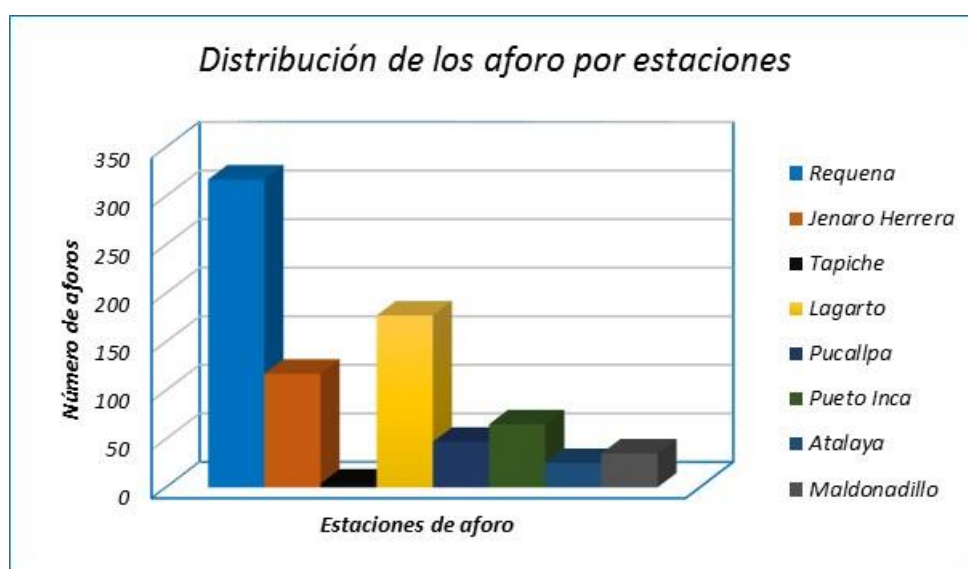


Figura 4.5. Distribución de los aforos por estaciones

Fuente: Elaboración propia

Con el fin de conocer si la data recopilada guarda relación de homogeneidad y normalidad, se procedió a generar los análisis exploratorios de los datos de aforo, en cada una de las estaciones hidrológicas, previo conocimiento de las características de la sección hidráulica.

a) Estación de Atalaya:

En la **Figura 4.6**, se muestra la zona de influencia donde se ubica la sección de aforo (línea roja), apreciándose que las zonas ribereñas muestran procesos de deforestación hacia ambas márgenes del río, la cuales están asociada a actividades antrópicas.

Podemos observar además que las condiciones hidrológicas del río, muestran procesos de erosión y colmatación, alterando de alguna manera la caja hidráulica del río, que básicamente está referida a la misma dinámica del ecosistema y al ciclo del agua; sin embargo, el cambio de uso de suelos y de cobertura vegetal, generan una aceleración y desequilibrio de las diferentes componentes de la hidráulica fluvial del río, presentándose los cambios en las secciones hidráulicas del río y por ende en el comportamiento de las variables.



Figura 4.6. Estación: Atalaya – Sección de aforo en el río Ucayali
Fuente: Elaboración propia

Con relación a los datos de aforo realizados en esta estación de aforo, se analizaron las velocidades generadas para los años 2006, 2008 y 2009, a través de la obtención de los parámetros de la estadística descriptiva (**Tabla 4.1**), que nos indica que los mayores valores registrados se han presentado durante el 2006 y 2009.

Tabla 4.1. Estadística descriptiva de las velocidades

		2006	2008	2009
Media		2,2723	1,7223	2,1653
95% de intervalo de confianza para media	Límite inferior	1,9083	1,3522	1,8039
	Límite superior	2,6362	2,0923	2,5267
Media recortada al 5%		2,2890	1,7350	2,1859
Mediana		2,5700	2,1650	2,6300
Varianza		1,743	1,339	1,583
Desviación estándar		1,32041	1,15700	1,25827
Mínimo		0,00	0,00	0,00
Máximo		4,29	3,29	4,12
Rango		4,29	3,29	4,12
Rango intercuartil		1,69	2,32	1,43
Asimetría		-0,533	-0,514	-0,740
Curtosis		-0,730	-1,368	-0,723

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4.7**, se muestra el diagrama de cajas, para cada uno de los aforos realizados, apreciándose que las velocidades analizadas, tienen un ligero sesgo hacia la izquierda en la distribución de los valores; siendo el más notorio para el año 2009, mientras que para el año 2008 los valores presentan menor magnitud relación a los otros aforos realizados.

En relación a la normalidad de los datos, se aplicó la prueba estadística de Kolmogorov – Smirnov, (datos mayores a 50); habiéndose obtenido que el p valor es menor a 0.05, lo que nos indica que los datos no tienen una distribución normal, lo que corrobora el análisis realizado con el diagrama de caja (**Tabla 4.2**).

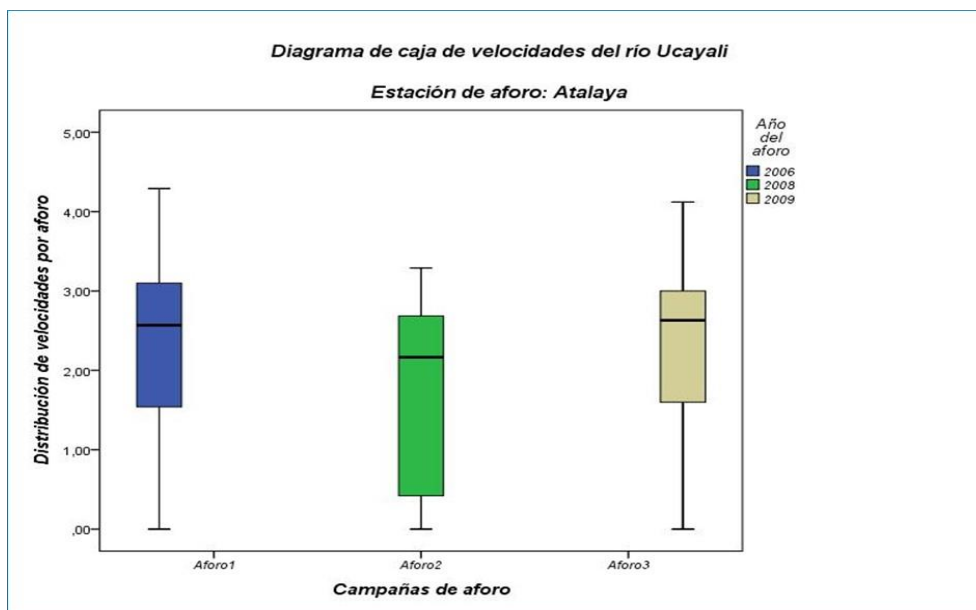


Figura 4.7. Diagrama de Caja de velocidades – Estación Atalaya
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.2. Prueba de normalidad de los datos de velocidades

Pruebas de normalidad							
	Año del aforo	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Distribución de velocidades por aforo	2006	,148	53	,006	,910	53	,001
	2008	,192	40	,001	,846	40	,000
	2009	,169	49	,001	,865	49	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

b) Estación de Maldonado

En la **Figura 4.8**, se muestra la ubicación de la sección de aforo, ubicada cerca de la localidad de Maldonado; apreciándose que en los alrededores, la zona presenta procesos de intervención antrópica que han originado el cambio del uso del suelo, de la cobertura vegetal y desarrollo urbano.

Las condiciones hidrológicas e hidráulicas del río muestra claramente la dinámica fluvial del río accionada por las precipitaciones dentro del ciclo hidrológico; que dan paso a los procesos de erosión y colmatación, alterando de alguna manera la caja hidráulica del río, que básicamente está referida a la dinámica del ecosistema. Dichos cambios generan aceleración y desequilibrio de las diferentes componentes de la hidráulica fluvial del río, presentándose cambios en las secciones hidráulicas y por ende en las variables como son la velocidad de la corriente, área de la sección, perímetro, caudal, pendiente y otros.



Figura 4.8. Estación Maldonado – sección de aforo en el río Vilcanota
Fuente: Elaboración propia

A través de los aforos generados, se obtuvieron datos de velocidades de la corriente del río, para la sección hidráulica, correspondiente a los años 2006, 2008 y 2009; caracterizándose dichos valores a través de la estadística descriptiva, tal como se muestra en la **Tabla 4.3**, indicándonos que los mayores valores se han registrado durante el 2006 y 2009.

Tabla 4.3. Estadística descriptiva de las velocidades

Parámetros estadísticos		2006	2008	2009
Media		1,6260	1,2942	1,8237
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1,4582	1,1203	1,6504
	Límite superior	1,7939	1,4681	1,9970
Media recortada al 5%		1,6594	1,2653	1,8509
Mediana		1,9150	1,3700	1,8000
Varianza		0,701	0,792	0,802
Desviación estándar		0,83731	0,88989	0,89544
Mínimo		0,00	0,00	0,00
Máximo		2,79	3,63	3,21
Rango		2,79	3,63	3,21
Rango intercuartil		0,76	1,29	1,18
Asimetría		-1,041	0,356	-0,467

Fuente: Elaboración propia

Los datos de las velocidades registradas, fueron analizadas mediante la aplicación del diagrama de cajas, tal como se muestra en la **Figura 4.9**, donde están representados las distribución de los valores de las velocidades de la corriente del río, para los años 2006, 2008 y 2009. Para los dos primeros años, el sesgo está hacia los mayores valores; mientras que para el 2009, el sesgo es hacia los menores valores.

En relación a la normalidad de los datos, se aplicó la prueba estadística de Kolmogorov – Smirnov, (datos mayores a 50); habiéndose obtenido que el p valor es menor a 0.05, lo que nos indica que los datos no tienen una distribución normal, para los años 2006 y 2008; mientras que para el 2009 si tiene una distribución normal (**Tabla 4.4**).

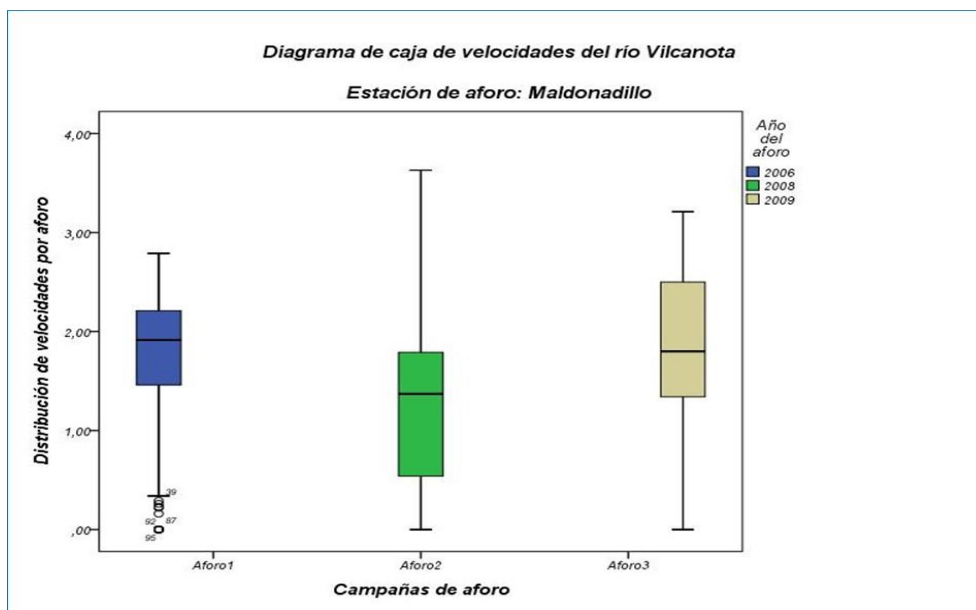


Figura 4.9. Diagrama de Caja de velocidades – Estación Maldonadillo
 Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.4. Prueba de normalidad de los datos de velocidades

Pruebas de normalidad							
	Año del aforo	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Distribución de velocidades por aforo	2006	,196	98	,000	,817	98	,000
	2008	,114	103	,002	,957	103	,002
	2009	,084	105	,068	,948	105	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

c) Estación de Lagarto

En la **Figura 4.10**, se muestra la ubicación de la sección de aforo denominado Lagarto, apreciándose que esta después de la confluencia de dos tramos del río seccionada, por los procesos de erosión y colmatación que experimenta debido a su dinámica fluvial.

A pesar que dentro del entorno de influencia de la sección seleccionada, no se logra apreciar cambios significativos del uso del suelo y de la cobertura vegetal, por actividades antrópicas, el proceso de erosión y colmatación sigue presente en el cauce del río; debido a la dinámica de los flujos de velocidades ocasionada por la misma característica topográfica y las condiciones del ecosistemas aguas arriba de la estación. Dicha evolución, origina que el régimen hidrológico e hidráulico del río, se vea alterado provocando que el cauce experimente desplazamientos en su cauce, como se muestra aguas arribas y aguas abajo de la estación de aforo.



Figura 4.10. Estación Lagarto – sección de aforo en el río Ucayali
Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 4.5**, se muestran los valores de los parámetros de la estadística descriptiva de las velocidades de la corriente generadas mediante los aforos realizados para el periodo comprendido entre el 2005 al 2015. Los menores valores se han registrado durante el año 2009, mientras que en los demás años, se ha obtenido un comportamiento uniforme en la distribución de los valores, en términos de cuantitativo.

Tabla 4.5. Estadística descriptiva de las velocidades

Parámetros estadístico		2006	2008	2009	2010	2015
Media		2,1489	2,0157	1,7942	2,0305	2,0531
95% de intervalo confianza	Límite inferior	2,0205	1,8772	1,6607	1,8975	1,9241
	Límite superior	2,2774	2,1542	1,9278	2,1636	2,1820
Media recortada al 5%		2,1991	2,0612	1,8303	2,0634	2,0896
Mediana		2,2900	2,2300	1,9000	2,1500	2,2700
Varianza		0,737	0,822	0,634	0,772	0,882
Desviación estándar		0,85850	0,90654	0,79623	0,87865	0,93901
Mínimo		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Máximo		3,69	3,49	3,06	3,77	3,69
Rango		3,69	3,49	3,06	3,77	3,69
Rango intercuartil		0,90	1,03	0,91	1,06	1,18
Asimetría		-1,117	-0,948	-0,968	-0,771	-0,851
Curtosis		1,001	0,116	0,335	0,349	-0,072

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4.11**, se muestra el análisis de diagrama de caja, para los datos de las velocidades registradas durante el período 2006 al 2015, donde claramente se aprecia que los valores se distribuyen alrededor de la media. Además, también apreciamos que para los años 2006, 2008, 2009 y 2010, se presentan valores extremos inferiores, como no representativos de las series.

En relación a la normalidad de los datos, se aplicó la prueba estadística de Kolmogorov – Smirnov, (datos mayores a 50); habiéndose obtenido que el p valor es menor a 0.05, lo que nos indica que los datos no tienen una distribución normal (**Tabla 4.6**).

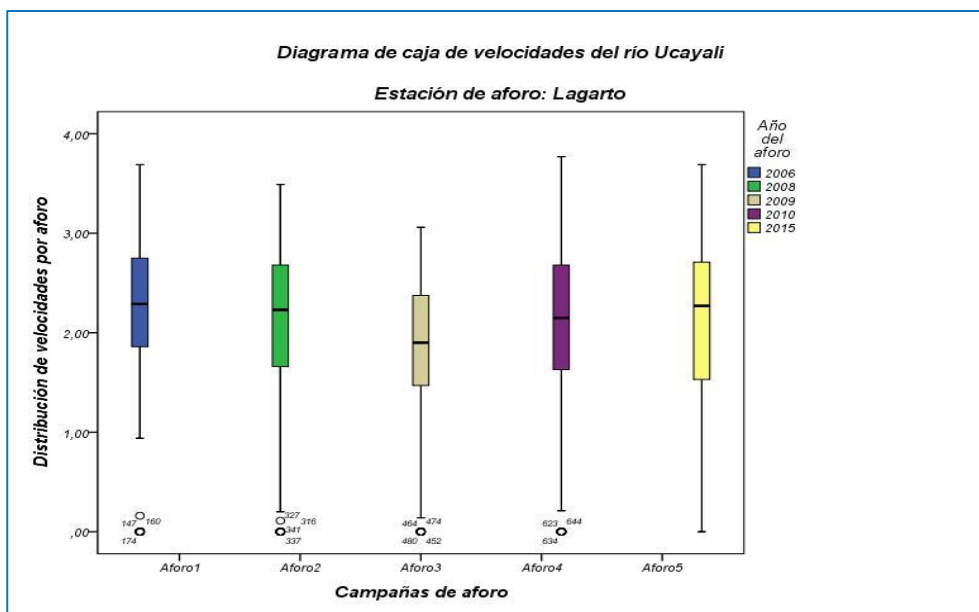


Figura 4.11. Diagrama de caja de velocidades – Estación Lagarto
 Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.6. Prueba de normalidad de los datos de velocidades

Pruebas de normalidad							
	Año del aforo	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Distribución de velocidades por aforo	2006	,121	174	,000	,895	174	,000
	2008	,118	167	,000	,897	167	,000
	2009	,123	139	,000	,899	139	,000
	2010	,101	170	,000	,937	170	,000
	2015	,150	206	,000	,912	206	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

d) Estación de Puerto Inca

En la **Figura 4.12**, se muestra la ubicación de la sección de aforo en el río Pachitea, apreciándose que esta frente a la localidad del mismo nombre; la sección hidráulica muestra condiciones de estabilidad en ambas márgenes del río, a pesar que la zona presenta una fuerte intervención en el cambio de uso de suelo y cobertura vegetal.

El río Pachitea es un tributario por la margen izquierda del río Ucayali, sujeto a procesos dinámicos del ecosistema tanto en la parte alta y media de la cuenca, lo que se refleja en el régimen hidrológico del río.

En la **Tabla 4.7**, se muestran los valores de los parámetros de la estadística descriptiva de las velocidades del río, generadas mediante los aforos realizados para el período comprendido entre el 2012 al 2015. Los menores valores se han registrado durante el

año 2012, mientras que en los demás años, se ha obtenido un comportamiento uniforme en la distribución de los valores, en términos de cuantitativo.



Figura 4.12. Estación Puerto Inca – sección de aforo del río Pachitea
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.7. Estadística descriptiva de las velocidades

Parámetros estadísticos		2012	2013	2015
Media		1,0749	1,7015	1,5463
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	0,9827	1,6020	1,4284
	Límite superior	1,1672	1,8010	1,6643
Media recortada al 5%		1,1030	1,7316	1,5747
Mediana		1,1800	1,7900	1,6850
Varianza		0,214	0,527	0,556
Desviación estándar		0,46253	0,72620	0,74581
Mínimo		0,00	0,00	0,00
Máximo		1,74	3,14	2,70
Rango		1,74	3,14	2,70
Rango intercuartil		0,39	0,98	0,84
Asimetría		-1,259	-0,623	-0,801
Curtosis		0,803	0,038	-0,280

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4.13**, se muestra el análisis de diagrama de caja, para los datos de las velocidades registradas durante el período 2012 al 2015, donde claramente se aprecia que los valores se distribuyen alrededor de su media. Además, también apreciamos que para el año 2012, se presentan valores extremos inferiores, como no representativos de las series; sin embargo también nos está indicando que el rango de variabilidad de los valores de velocidades registradas en ese aforo son menores comparados con los otros dos años.

En relación a la normalidad de los datos, se aplicó la prueba estadística de Kolmogorov – Smirnov, (datos mayores a 50); habiéndose obtenido que el p valor es menor a 0.05, lo que nos indica que los datos no tienen una distribución normal (**Tabla 4.8**).

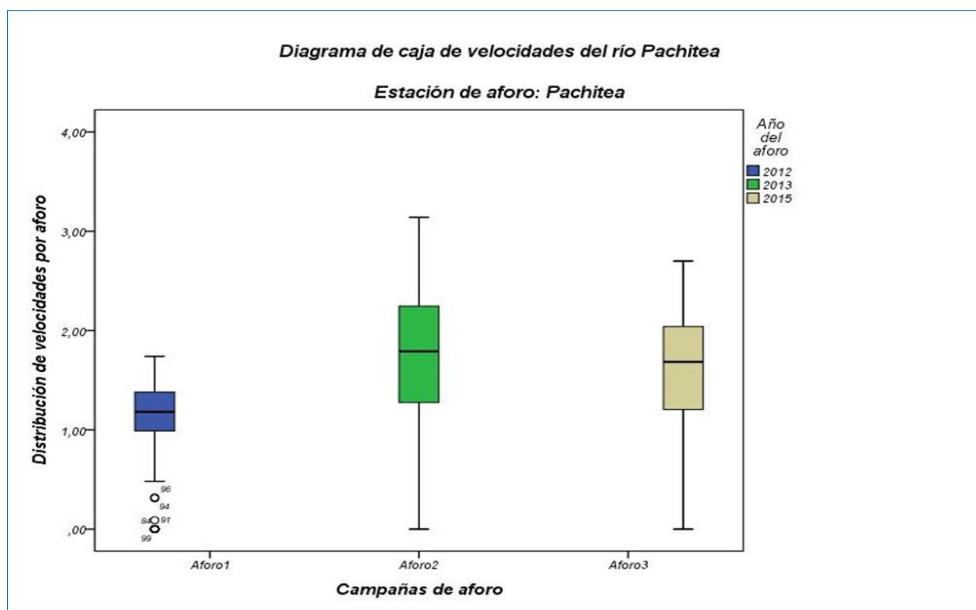


Figura 4.13. Diagrama de caja de velocidades – Estación Puerto Inca
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.8. Prueba de normalidad de los datos de velocidades

Pruebas de normalidad							
	Año del aforo	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Distribución de velocidades por aforo	2012	,186	99	,000	,841	99	,000
	2013	,069	207	,018	,958	207	,000
	2015	,135	156	,000	,907	156	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

e) Estación de Pucallpa

En la **Figura 4.14**, se muestra la ubicación de la sección de aforo en el río Ucayali, apreciándose que esta frente a la localidad de Pucallpa; la sección hidráulica muestra condiciones de inestabilidad en ambas margen del río por la fuerte intervención en el cambio de uso de suelo y cobertura vegetal.

Frente a la ciudad de Pucallpa, se aprecia claramente el proceso de erosión y colmatación en el río Ucayali, con banco de arena depositada a través de las aguas del río, durante el período de crecidas y vaciante.

La mayor caja hidráulica, se presentan en la margen izquierda del río, la cual está sujeta a procesos de deforestación, mientras que la margen izquierda predomina exclusivamente el desarrollo urbano, intensivo, lo que se traducen en una zona carente de cobertura e incapacidad de controlar los flujos dinámicos que se puedan producir por acciones de las precipitaciones en la zona.



Figura 4.14. Estación Pucallpa – sección de aforo del río Ucayali
Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 4.9**, se presentan los valores de los parámetros de la estadística descriptiva de las velocidades del río Ucayali en la estación Pucallpa, que se han generado mediante los aforos realizados para el período comprendido entre el 2009 al 2012. Los menores valores se han registrado durante los años 2009 y 2012, mientras que en los demás años, se ha obtenido un comportamiento uniforme en la distribución de los valores, en términos de cuantitativo.

Tabla 4.9. Estadística descriptiva de las velocidades

Parámetros estadísticos		2009	2010	2011	2012
Media		0,9604	1,3448	1,3572	0,8825
95% de intervalo de confianza	Límite inferior	0,8518	1,2031	1,2215	0,7665
	Límite superior	1,0690	1,4865	1,4930	0,9985
Media recortada al 5%		0,9747	1,3499	1,3912	0,8799
Mediana		1,0700	1,3200	1,4800	0,8600
Varianza		0,223	0,578	0,334	0,258
Desviación estándar		0,47182	0,76016	0,57772	0,50775
Mínimo		0,00	0,00	0,00	0,00
Máximo		1,74	2,82	2,16	2,03
Rango		1,74	2,82	2,16	2,03
Rango intercuartil		0,57	1,22	0,57	0,55
Asimetría		-0,884	-0,052	-1,207	-0,053
Curtosis		-0,026	-0,913	0,810	-0,394

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4.15**, se muestra el análisis de diagrama de caja, para los datos de las velocidades registradas durante el período 2009 al 2012, donde claramente se aprecia que los valores se distribuyen alrededor de su media, para el año 2010. Además, también apreciamos que para el año 2011 se presentan valores extremos inferiores; mientras que para el 2012, se tiene un valor extremos superior, en ambos casos, dichos valores genera distorsión en la serie de valores analizados. Precisamente, tanto en el 2009 y 2012, se presentan los menores valores

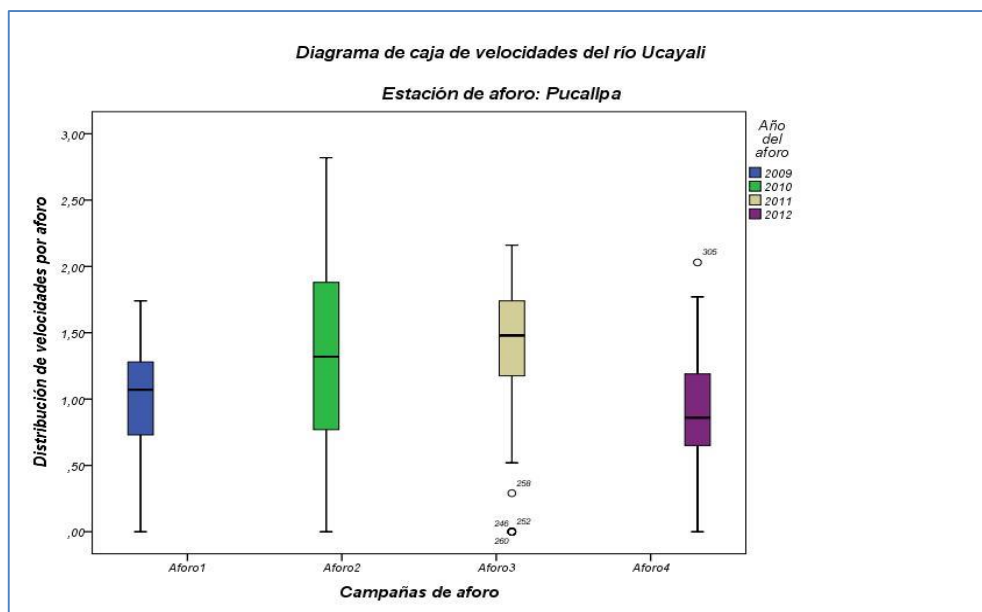


Figura 4.15. Diagrama de caja de velocidades – Estación Pucallpa
 Fuente: Elaboración propia

En relación a la normalidad de los datos, se aplicó la prueba estadística de Kolmogorov – Smirnov, (datos mayores a 50); habiéndose obtenido que el p valor es menor a 0.05, lo que nos indica que los datos no tienen una distribución normal, para los años 2009, 2010 y 2011; mientras que para el año 2012, los valores de velocidades si se ajusta a una distribución normal (**Tabla 4.10**).

Tabla 4.10. Prueba de normalidad de los datos de velocidades

Pruebas de normalidad							
	Año del aforo	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Distribución de velocidades por aforo	2009	,155	75	,000	,892	75	,000
	2010	,094	113	,015	,959	113	,002
	2011	,157	72	,000	,861	72	,000
	2012	,092	76	,173	,954	76	,008

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

f) Estación de Tapiche

En la **Figura 4.16**, se muestra la ubicación de la sección de aforo en el río Tapiche, apreciándose que esta frente a la localidad de Tapiche donde la zona muestra un fuerte proceso de intervención antrópico que ha originado el cambio de uso de suelo y de cobertura vegetal. A pesar de ello, la sección hidráulica muestra una cierta estabilidad a los procesos de la dinámica fluvial del ecosistema. Sabemos que estos cambios se traducen en una incapacidad de controlar los flujos dinámicos que se puedan producir por acciones de las precipitaciones en la zona.



Figura 4.16. Estación Tapiche – sección de aforo del río Tapiche
Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 4.11**, se presentan los valores de los parámetros de la estadística descriptiva de las velocidades del río Tapiche en la estación del mismo nombre, que se han generado mediante los aforos realizados para el período comprendido entre el 2009 y 2010, apreciándose que los datos muestran una uniformidad en su media.

Tabla 4.11. Estadística descriptiva de las velocidades

Parámetros estadísticos		2009	2010
Media		,8949	,9506
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	,7721	,8414
	Límite superior	1,0177	1,0597
Media recortada al 5%		,8727	,9307
Mediana		,8350	,8900
Varianza		,344	,387
Desviación estándar		,58626	,62170
Mínimo		,00	,00
Máximo		2,72	2,53
Rango		2,72	2,53
Rango intercuartil		,88	,94
Asimetría		,397	,271
Curtosis		,018	-,585

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4.17**, se muestra el análisis de diagrama de caja, para los datos de las velocidades registradas durante el período 2009 al 2010, donde claramente se aprecia que los valores se distribuyen alrededor de su media. Además, también apreciamos que para el año 2009 se presenta un valor extremo superior.

En relación a la normalidad de los datos, se aplicó la prueba estadística de Kolmogorov – Smirnov, (datos mayores a 50); habiéndose obtenido que el p valor es mayor a 0.05, lo que nos indica que los datos tienen una distribución normal (**Tabla 4.12**).

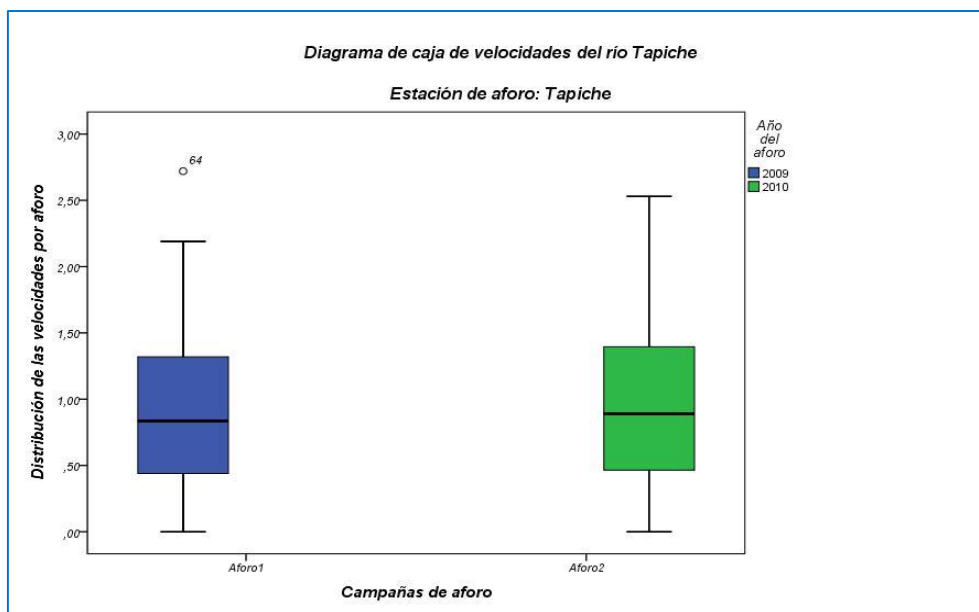


Figura 4.17. Diagrama de caja de velocidades – Estación Tapiche
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.12. Prueba de normalidad de los datos de velocidades

Pruebas de normalidad							
	Año del aforo	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Distribución de las velocidades por aforo	2009	,063	90	,200*	,969	90	,028
	2010	,063	127	,200*	,971	127	,008

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

g) Estación de Genaro Herrera

En la **Figura 4.18**, se muestra la ubicación de la sección de aforo en el río Ucayali, apreciándose que la zona de influencia en los alrededores muestra un proceso de intervención desarrollado por actividades antrópicas, en el cambio de uso de suelo y de cobertura vegetal. A pesar de ello, la sección hidráulica muestra una cierta estabilidad a los procesos de la dinámica fluvial del ecosistema. Sabemos que estos cambios se traducen en una incapacidad de controlar los flujos dinámicos que se puedan producir por acciones de las precipitaciones en la zona.

En la **Tabla 4.13**, se presentan los valores de los parámetros de la estadística descriptiva de las velocidades del río Ucayali en la estación de Genaro Herrera, que se han generado mediante los aforos realizados para el período comprendido entre el 2007 al 2009, apreciándose que los datos muestran una uniformidad en su media, para los aforos realizados durante los años 2007 y 2008.



Figura 4.18. Estación Genaro Herrera – sección de aforo río Ucayali

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.13. Estadística descriptiva de las velocidades

Parámetros estadísticos		2007	2008	2009
Media		1,9801	1,9544	1,5941
95% de intervalo de confianza	Límite inferior	1,8680	1,8516	1,4961
	Límite superior	2,0922	2,0572	1,6920
Media recortada al 5%		2,0267	2,0119	1,6315
Mediana		2,1400	2,1100	1,7600
Varianza		0,634	0,521	0,478
Desviación estándar		0,79596	0,72204	0,69163
Mínimo		0,00	0,00	0,00
Máximo		3,29	3,11	2,66
Rango		3,29	3,11	2,66
Rango intercuartil		0,97	0,79	0,93
Asimetría		-0,875	-1,380	-0,805
Curtosis		0,260	1,611	-0,284

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4.19**, se muestra el análisis de diagrama de caja, para los datos de las velocidades registradas durante el período 2007 al 2009, donde claramente se aprecia que los valores se distribuyen alrededor de su media.

Además, también apreciamos que para los años 2007 y 2008 se presentan valores extremos en la parte inferior de las cajas, los cuales podrían estar generando ciertos niveles de distorsión en la serie. En relación al año 2009, los valores registrados en el aforo, son menores en comparación a los años anteriores; sin embargo muestras una mayor uniformidad entre los valores.

En relación a la normalidad de los datos, se aplicó la prueba estadística de Kolmogorov – Smirnov, (datos mayores a 50); habiéndose obtenido que el p valor menor a 0.05, lo que nos indica que los datos no tienen una distribución normal (**Tabla 4.14**).

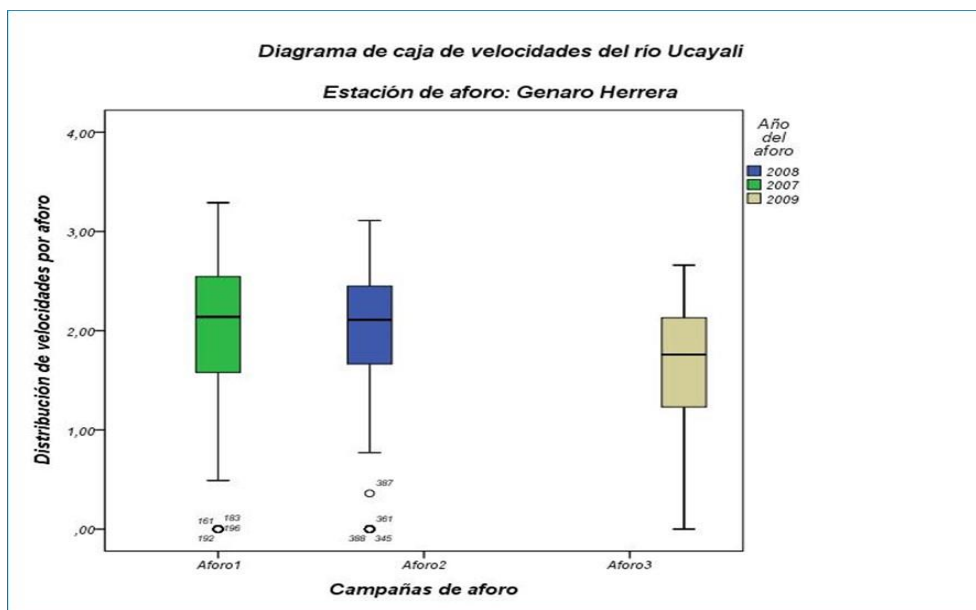


Figura 4.19. Diagrama de caja de velocidades – Estación Genaro Herrera
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.14. Prueba de normalidad de los datos de velocidades

Pruebas de normalidad							
	Año del aforo	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Distribución de velocidades por aforo	2008	,129	192	,000	,860	192	,000
	2007	,094	196	,000	,930	196	,000
	2009	,118	194	,000	,917	194	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

h) Estación de Requena

En la **Figura 4.20**, se muestra la ubicación de las secciones de aforo en el río Ucayali, apreciándose que la zona de influencia en los alrededores muestra un proceso de intervención desarrollado por actividades antrópicas, en el cambio de uso de suelo y de cobertura vegetal. A pesar de ello, la sección hidráulica muestra una cierta estabilidad a los procesos de la dinámica fluvial del ecosistema. Sabemos que estos cambios se traducen en una incapacidad de controlar los flujos dinámicos que se puedan producir por acciones de las precipitaciones en la zona.

En las **Tablas 4.15 y 4.16**, se presentan los valores de los parámetros de la estadística descriptiva de las velocidades del río Ucayali en la estación de Requena, que se han generado mediante los aforos realizados para el período comprendido entre el 2002 al 2012, apreciándose que en los años 2005 y 2010, se han registrados los menores valores de velocidades, ya que estos años fueron clasificados como secos.



Figura 4.20. Estación Requena – sección de aforo río Ucayali

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.15. Estadística descriptiva de las velocidades

Parámetros estadístico		2002	2003	2004	2005	2006
Media		4,0468	4,4285	4,5594	1,5323	3,9410
95% de intervalo de confianza	Límite inferior	3,7549	4,1327	4,1933	1,3819	3,6287
	Límite superior	4,3386	4,7242	4,9255	1,6828	4,2533
Media recortada al 5%		4,1115	4,5396	4,6755	1,5263	4,0264
Mediana		4,3500	4,8050	4,8650	1,4700	4,2650
Varianza		3,493	2,950	3,614	0,746	2,528
Desviación estándar		1,86889	1,71770	1,90095	0,86367	1,59011
Mínimo		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Máximo		7,23	7,26	7,37	3,34	6,66
Rango		7,23	7,26	7,37	3,34	6,66
Rango intercuartil		3,04	1,71	2,64	1,17	1,68
Asimetría		-0,417	-1,263	-0,835	0,012	-0,899
Curtosis		-0,618	1,194	0,064	-0,721	0,426

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4.21**, se muestra el análisis de diagrama de caja, para los datos de las velocidades registradas durante el período 2002 al 2012, donde claramente se aprecia que los valores se distribuyen alrededor de su media; sin embargo, apreciamos además que para los años 2003, 2006, 2007, 2009 y 2010, presentan valores extremos en la parte inferiores de cada una de las cajas. Además, también apreciamos que para los años 2005 y 2010 se registraron las menores velocidades en el río Ucayali; debido a que esos años, fueron clasificados como años secos.

En relación a la normalidad de los datos, se aplicó la prueba estadística de Kolmogorov – Smirnov, (datos mayores a 50); habiéndose obtenido que el p valor menor a 0.05, lo que nos indica que los datos no tienen una distribución normal, tal como se muestra en la **Tabla 4.17**.

Tabla 4.16. Estadística descriptiva de las velocidades

Parámetros estadístico		2007	2009	2010	2011	2012
Media		4,5240	3,8032	2,0852	4,3006	4,2171
95% de intervalo de confianza	Límite inferior	4,2184	3,5538	1,9188	4,0837	4,0564
	Límite superior	4,8297	4,0526	2,2517	4,5175	4,3778
Media recortada al 5%		4,5960	3,8464	2,1046	4,3687	4,2789
Mediana		4,7450	3,8550	2,1150	4,5800	4,4500
Varianza		3,394	2,713	0,905	3,094	2,842
Desviación estándar		1,84231	1,64721	0,95153	1,75901	1,68571
Mínimo		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Máximo		8,13	7,18	4,26	7,60	7,69
Rango		8,13	7,18	4,26	7,60	7,69
Rango intercuartil		2,04	1,94	1,22	2,30	1,90
Asimetría		-0,604	-0,408	-0,310	-0,527	-0,643
Curtosis		0,393	0,110	-0,043	-0,142	0,225

Fuente: Elaboración propia

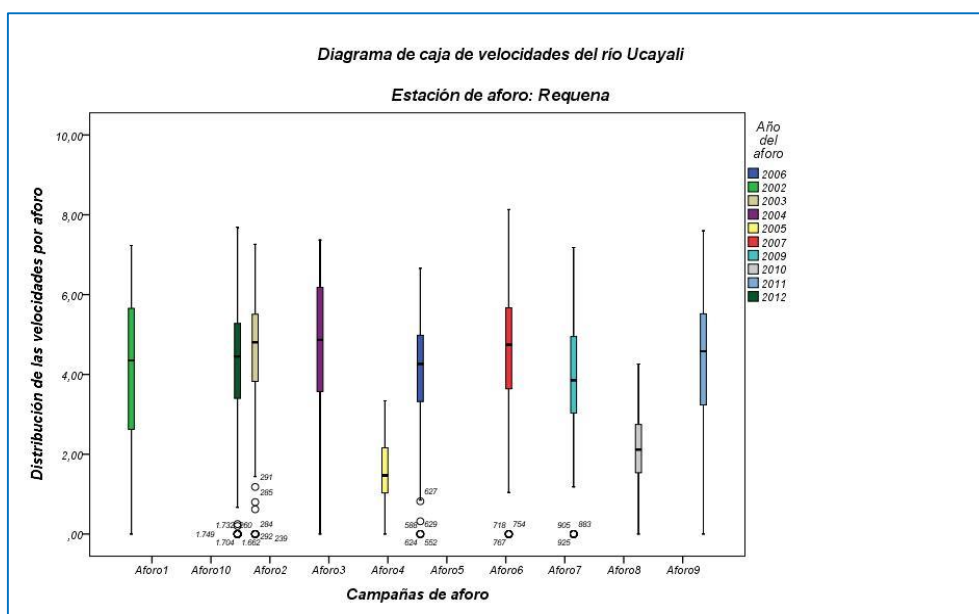


Figura 4.21. Diagrama de caja de velocidades – Estación Requena

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4.22**, se muestra la variabilidad del régimen de velocidades registradas en cada una de las estaciones de aforo, durante el período 2002 / 2015, apreciándose que las estaciones con mayores datos de aforo son Requena y Lagarto; mientras que las estaciones de Tapiche, Atalaya, Genaro Herrera y Puerto Inca, son las que menos aforos han registrado durante el período de análisis.

En la estación de Requena, se aprecia la gran variabilidad en el rango de velocidades que presentan, mientras que en Lagarto, no experimenta mucha variación.

Tabla 4.17. Prueba de normalidad de los datos de velocidades

Pruebas de normalidad							
	Año del aforo	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Distribución de las velocidades por aforo	2006	,115	102	,002	,928	102	,000
	2002	,071	160	,049	,962	160	,000
	2003	,162	132	,000	,870	132	,000
	2004	,093	106	,024	,921	106	,000
	2005	,045	129	,200*	,977	129	,026
	2007	,096	142	,003	,958	142	,000
	2009	,075	170	,020	,971	170	,001
	2010	,056	128	,200*	,976	128	,023
	2011	,072	255	,003	,969	255	,000
	2012	,093	425	,000	,958	425	,000

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

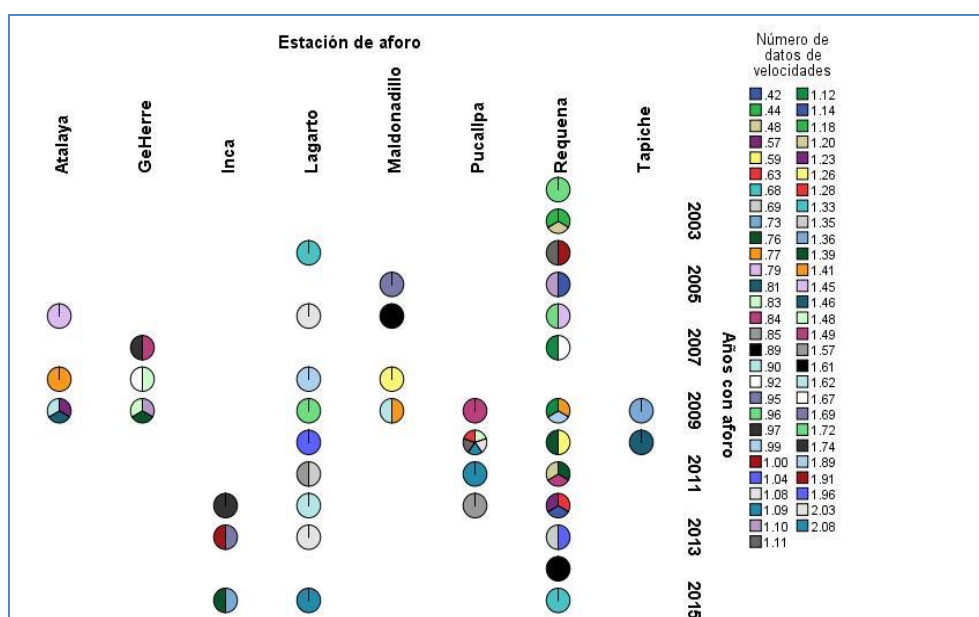


Figura 4.22. Variabilidad del rango de velocidades del río por estación
Fuente: Elaboración propia

4.3 Análisis de distribución de velocidad

Se desarrolló los análisis integrales de los datos de velocidad generadas a través de los aforos en cada una de las estaciones hidrométricas ubicadas en la cuenca del río Ucayali, obteniéndose valores promedios cuyo comportamiento son:

a) Estación Atalaya:

En la **Tabla 4.18**, se muestran los valores promedios de las velocidades a nivel vertical, para la sección de aforo de Atalaya, donde se aprecia que los rangos de fluctuación varían entre 0,0 m/s y 2,40 m/s y profundidades de 0 a 9,0 metros.

Tabla 4.18. Distribución de velocidad vertical (m/s) – estación Atalaya

Profundidad	Distribución vertical de la velocidad (m/s)					Promedio (m/s)
	2009				2006	
	Julio	Marzo	Marzo	Marzo	Marzo	
0	2.32	2.33	2.22	2.40	0.81	2.02
1	1.81	2.01	2.09	2.28	0.73	1.78
2	1.66	1.55	1.47	1.73	1.07	1.49
3	1.90	0.56	1.13	1.27	0.00	0.97
4	1.70	0.26	1.60	1.73		1.32
5	2.02	0.00	1.33	1.66		1.25
6	1.44		0.75	1.54		1.24
7	1.08		0.65	0.81		0.85
8	0.60		0.00	0.10		0.23
9	0.00			0.00		0.00
Promedio	1.45	1.12	1.25	1.35	0.65	1.12

Fuente: Elaboración propia

A nivel promedio, para la sección de aforo, se tiene que la velocidad vertical es de 1,12 m/s, con valores que fluctúan entre 0,0 m/s y 2,02 m/s; los cuales se ajustan a un perfil de distribución de tipo polinómica, tal como se aprecia en la **Figura 4.23a**; donde las mayores velocidades se presentan a nivel de la superficie.

El perfil promedio obtenido para la sección de aforo, muestra una cierta variabilidad en las velocidades, como es el caso para la profundidad de 3 metros, donde el valor es de 0,97 m/s; esto debido a una estrangulación de la sección de aforo.

En la **Figura 4.23b**, se muestra el perfil de la velocidad media horizontal para la sección de aforo, apreciándose que los mayores valores se registran en la margen izquierda del río; esto debido a que en esa zona se encuentra la mayor profundidad.

En la **Figura 4.24**, se aprecia las relación funcional entre las velocidades medias horizontal y vertical, obtenidas para la estación de aforo de Atalaya, en base a los datos registrados durante el período 2006/2009, cuyo comportamiento ha permitido ajustar una expresión algebraica de primer orden como primera aproximación; sin embargo, observamos que el dato correspondiente al aforo de marzo de 2006, presenta una ligera discrepancia en relación a los demás valores, por lo que no fue considerado.

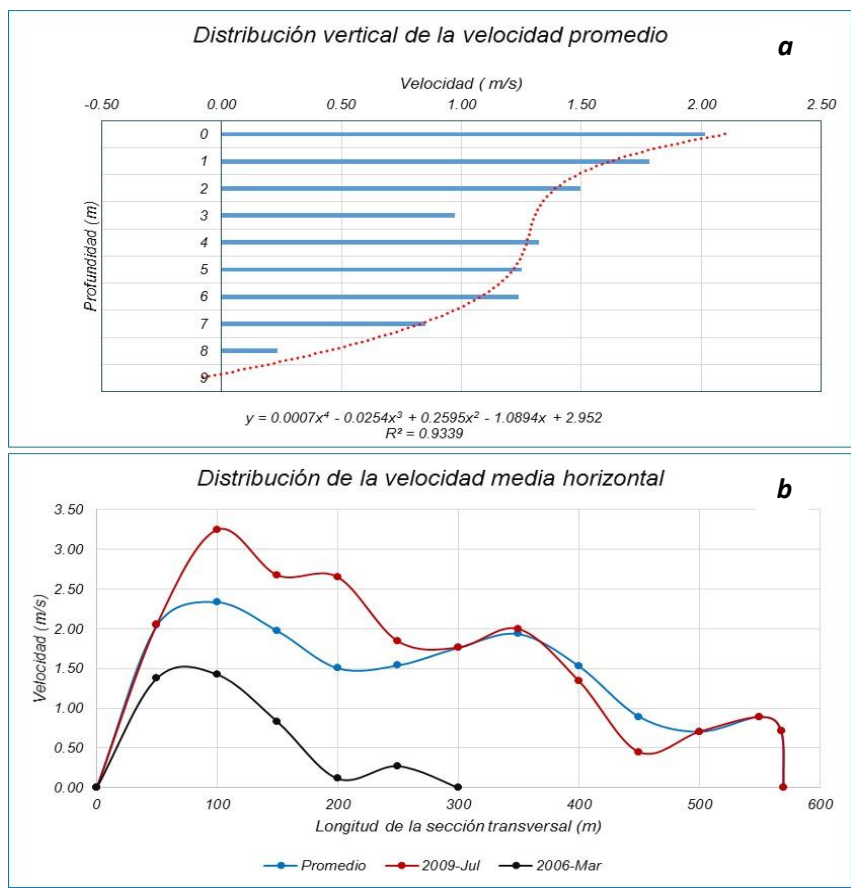


Figura 4.23. Distribución de velocidad a) vertical y b) horizontal
 Fuente: Elaboración propia

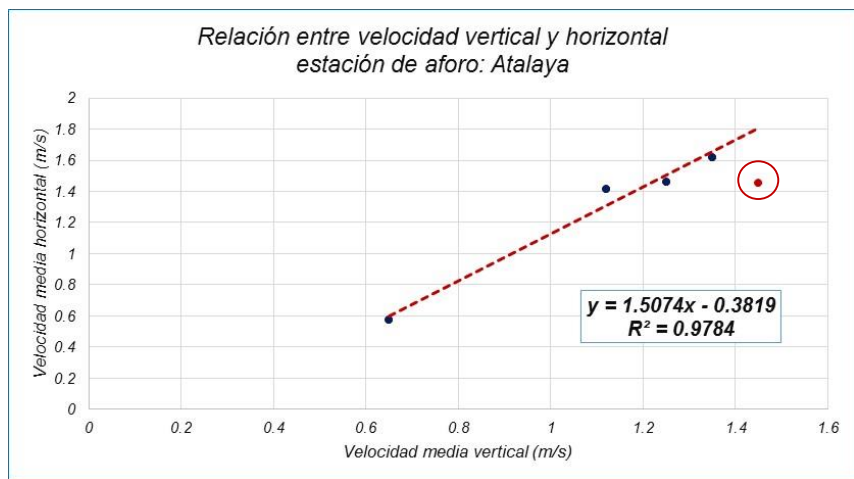


Figura 4.24. Relación entre velocidad vertical y horizontal
 Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4.25**, se muestran la relación funcional entre la distribución de la profundidad de la sección de aforo y la velocidad promedio horizontal, apreciándose que ambas variables presentan comportamientos directamente proporcional; es decir, que ha mayores profundidades se registran mayores velocidades y viceversa, las cuales se acentúan básicamente en la margen izquierda y derecha del río. Dicha sección tiene la forma promedio de un rectángulo o trapecio.

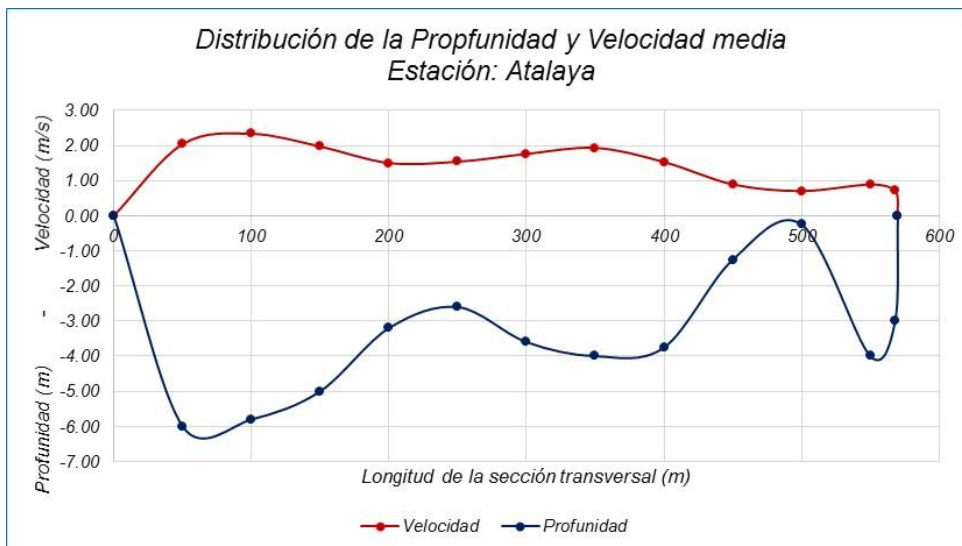


Figura 4.25. Distribución de la profundidad y velocidad - sección de aforo
Fuente: Elaboración propia

EN relación a los aforos generados en dicha estación, se logró identificar en cada proceso el comportamiento de la sección hidráulica y su relación con la distribución de velocidad horizontal, para el período comprendido entre el 2006 / 2009; apreciándose en la **Figura 4.26** como la sección de aforo experimenta cambios en el perfil del lecho del río, lo que pudiera estar sujeto a que los aforos se han realizado en diferentes secciones. En ambos casos, aproximadamente las mayores velocidades se registran en la margen izquierda donde también se presentan las mayores profundidades.

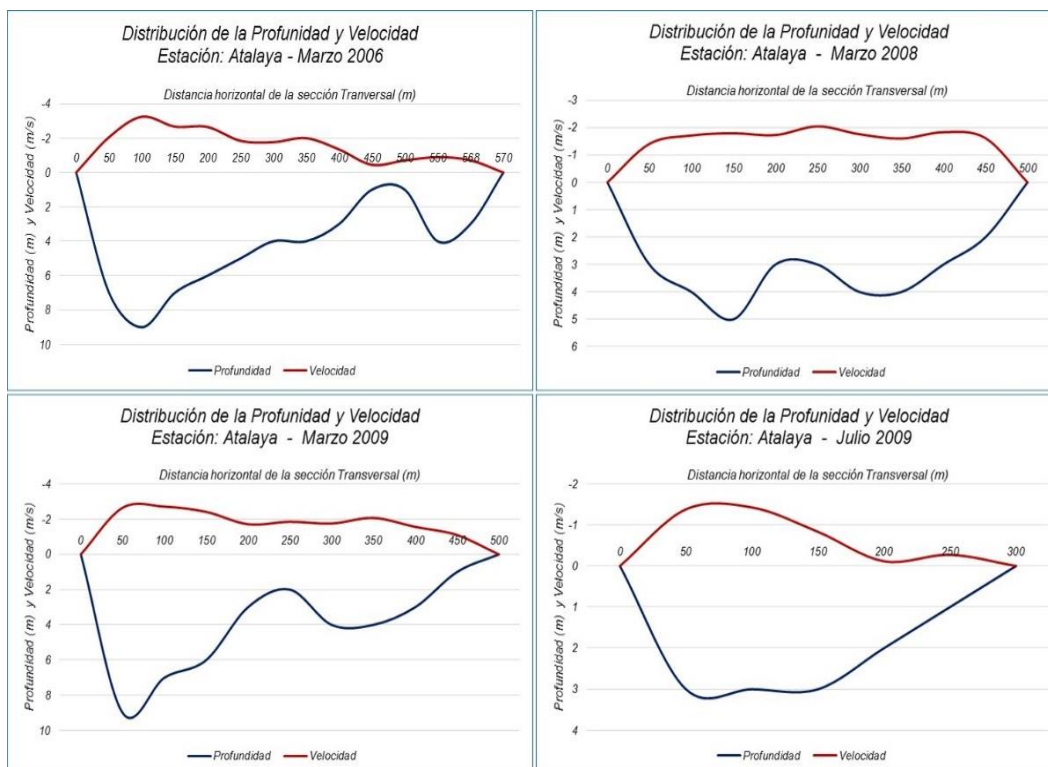


Figura 4.26. Distribución de la profundidad y velocidad - sección de aforo
Fuente: Elaboración propia

En relación a los perfiles de velocidades vertical y horizontal, por aforo realizado en la estación de Atalaya, se ha observado niveles de variabilidad en la sección transversal que van desde ambas márgenes hacia la parte central; lo que ha permitido caracterizarla a través de un ajuste parabólico con valores que son mínimos en la parte inferior del cauce del río y valores máximos en la superficie del agua, tal como se aprecia en la **Figura 4.27**. En dichas figuras, se han representado los datos de los meses de marzo y julio de los años 2006, 2008 y 2009.

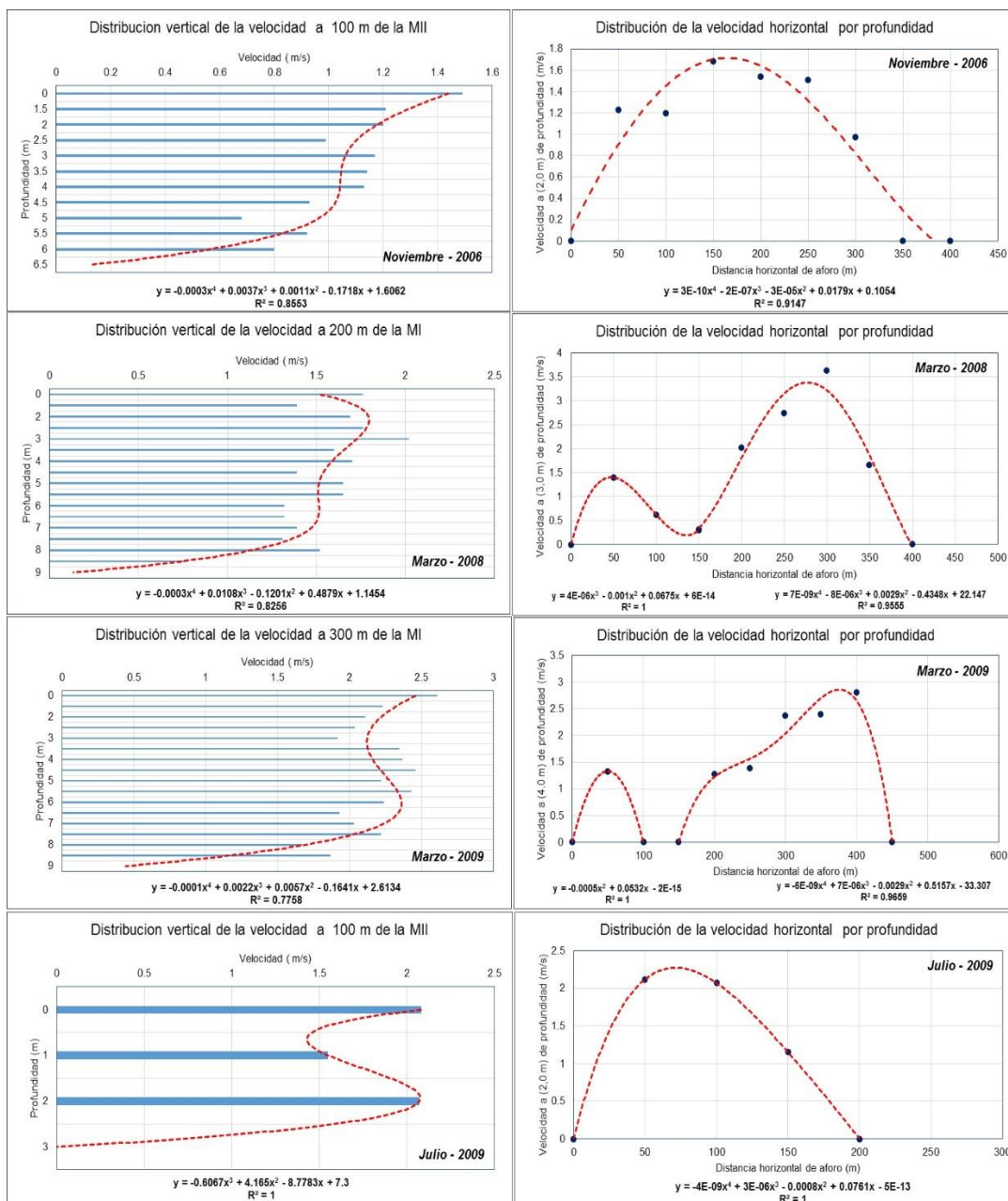


Figura 4.27. Distribución del perfil de velocidades horizontal y vertical por aforo
 Fuente: Elaboración propia

En relación a la velocidad horizontal, apreciamos que los mayores valores se registran en la margen izquierda del río, por ser la zona con la mayor profundidad en el cauce; sin embargo, a medida que el nivel del río va disminuyendo se aprecia que el flujo de agua se orienta básicamente por dicha margen.

b) Estación Maldonadillo:

En la **Tabla 4.19**, se muestran los valores promedios de las velocidades a nivel vertical para la sección de aforo, donde apreciamos que los rangos de fluctuación varían entre 0,0 m/s y 1,85 m/s, con profundidades de 0,0 m y 9,5 m.

Tabla 4.19. Distribución de velocidad vertical (m/s) – estación Maldonadillo

Profundidad	2005 Nov	2006 Mar	2008 Mar	2009 Mar	2009 Jul	Promedio
0	1.09	1.63	1.26	1.73	0.75	1.29
1.5	0.88	1.76	1.12	1.68	0.89	1.26
2	0.90	1.52	1.20	1.55	0.57	1.15
2.5	0.96	1.85	1.32	1.46	0.65	1.24
3	0.96	1.57	1.37	1.24	0.56	1.14
3.5	0.92	1.26	1.20	1.13	0.54	1.01
4	0.85	1.17	1.23	1.15	0.55	0.99
4.5	0.83	1.10	1.10	1.21	0.53	0.95
5	0.68	1.15	1.12	1.13	0.57	0.93
5.5	0.66	0.95	1.04	1.22	0.69	0.91
6	0.81	0.10	0.89	1.20	0.65	0.71
6.5	0.63	0.00	0.83	1.13	0.58	0.63
7	0.59		0.57	1.52	0.56	0.81
7.5	0.35		0.42	1.46	0.00	0.56
8	0.00		0.56	1.42		0.66
8.5			0.34	1.30		0.82
9			0.07	0.95		0.51
9.5			0.00	0.00		0.00
Promedio	0.74	1.16	0.87	1.25	0.58	0.87

Fuente: Elaboración propia

A nivel promedio, para la sección de aforo, se tiene que la velocidad vertical es de 0.87 m/s, con valores que fluctúan entre 0,0 m/s y 1,29 m/s; los cuales se ajustan a un perfil de distribución de tipo polinómica, tal como se aprecia en la **Figura 4.28a**; donde las mayores velocidades se presentan a nivel de la superficie; sin embargo, cuando se realizan los ajustes de dichos valores, la función que representa el comportamiento de las velocidades nos indica que la mayor velocidad se presenta a una profundidad de 2 metros.

En la **Figura 4.28b**, se muestra el perfil de la velocidad media horizontal para la sección de aforo, y de los años 2005 (velocidad mínima) y 2006 (velocidad máxima) apreciándose la variabilidad en el comportamiento de los valores dentro de la sección transversal, como producto del periodo de creciente y vaciante que experimenta el río. En dicho proceso claramente se diferencia la variación de la sección transversal del río, cuya sección más profunda se ubica en la margen izquierda

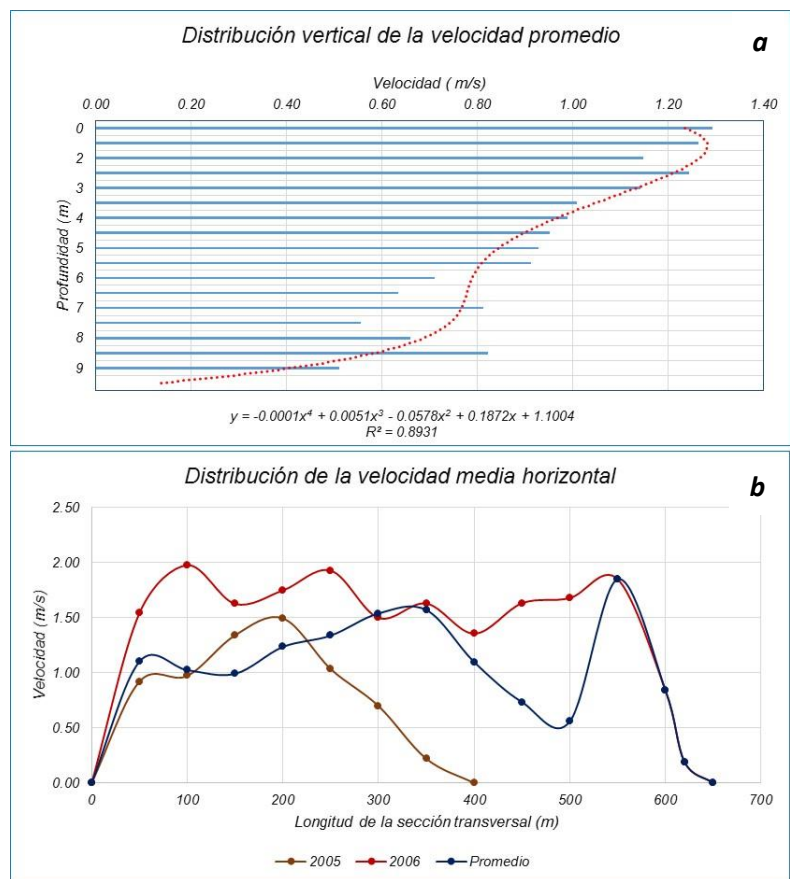


Figura 4.28. Distribución de velocidad a) vertical y b) horizontal
Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4.29**, se aprecia la relación funcional entre las velocidades media horizontal y vertical, obtenidas para la estación de aforo de Maldonadillo, en base a los datos registrados durante el período 2005 / 2009, cuyos valores fueron ajustados una expresión algebraica de primer orden como primera aproximación; permitiendo con ellos obtener una buena correlación entre las variables analizadas.

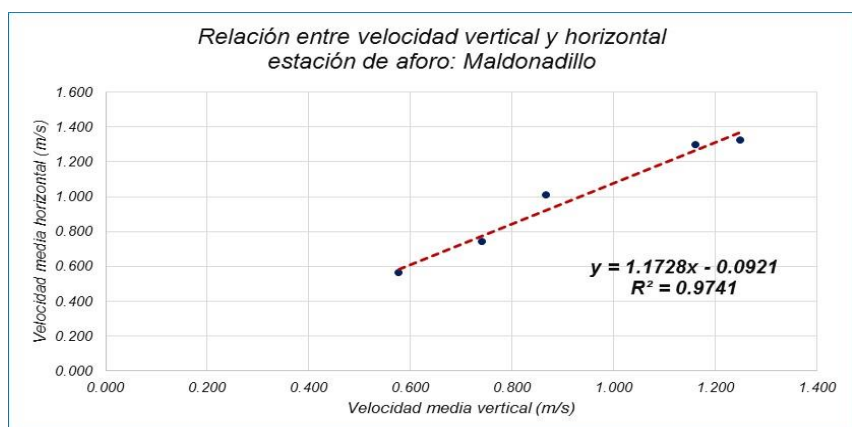


Figura 4.29. Relación entre velocidad vertical y horizontal
Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4.30**, se muestran la relación funcional entre la distribución de la profundidad de la sección de aforo y la velocidad promedio horizontal, las cuales

muestran un comportamiento directamente proporcional con las altura de agua en el cauce, estando las mayores velocidades en la zona más profunda del río (margen izquierda) y las menores en la zona menos profunda (margen derecha).

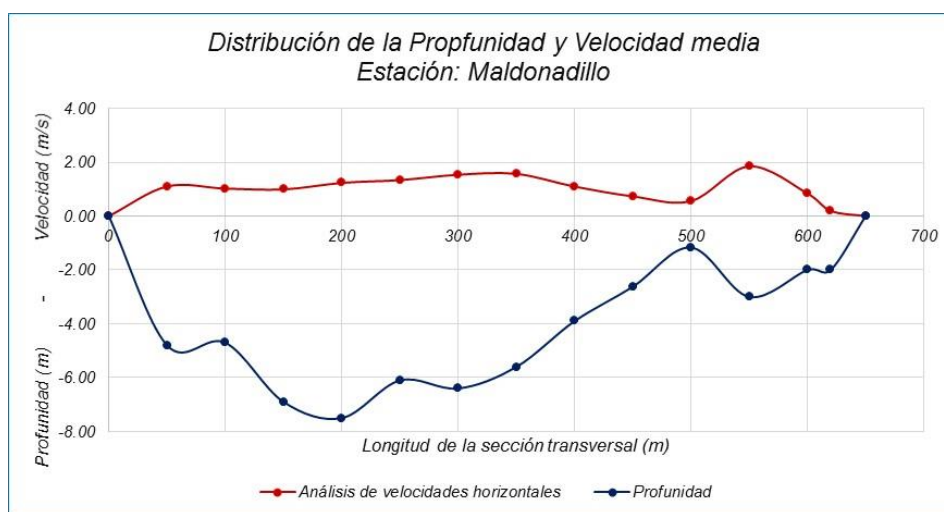


Figura 4.30. Distribución de la profundidad y velocidad - sección de aforo
Fuente: Elaboración propia

A nivel de los aforos realizados en la estación, se logró identificar el comportamiento de la sección hidráulica y su relación con la distribución de velocidad horizontal para el período comprendido entre el 2005 / 2009; apreciándose en la **Figura 4.31** como la sección de aforo experimenta cambios en el perfil del cauce, a pesar que estamos frente a dos tipos de sección de aforo, la velocidad máxima siempre se registra aproximadamente en la parte más profunda de la sección, como se aprecia en los meses de marzo, julio y noviembre.

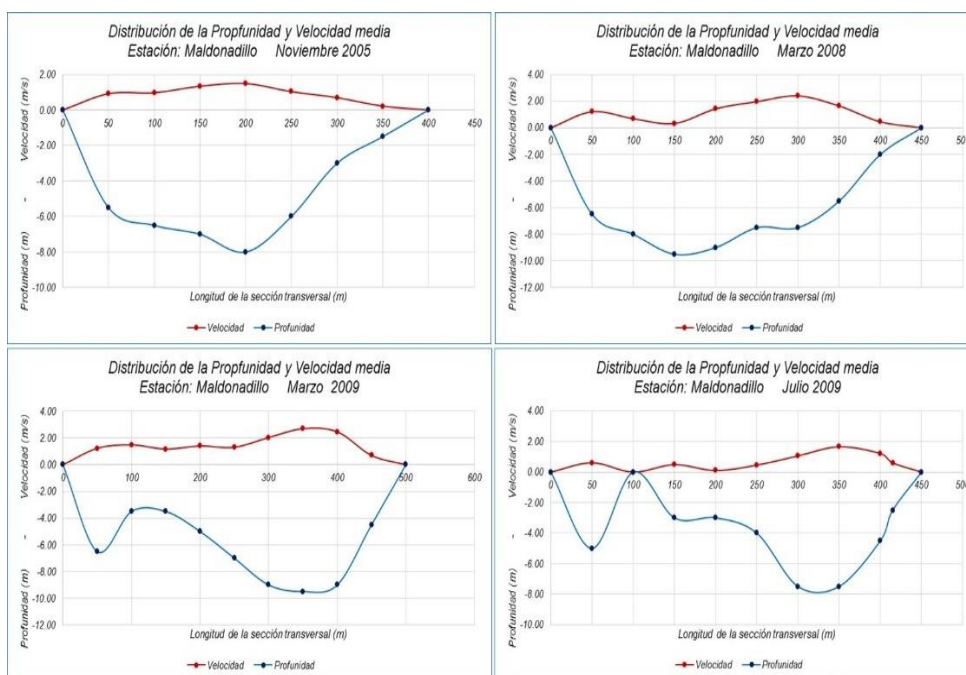


Figura 4.31. Distribución de la profundidad y velocidad - sección de aforo
Fuente: Elaboración propia

En relación a los perfiles de velocidad para cada aforo realizado en la estación de Maldonado, se han observado que presentan cierta variabilidad en función con la profundidad del cauce, comportamiento que ha sido descrito a través de una función polinómica que permite describir los procesos de interacción entre dichas variables analizadas, tal como se aprecia en la **Figura 4.32** donde se han representado los datos de los meses de noviembre, marzo y julio de los años 2005, 2008 y 2009.

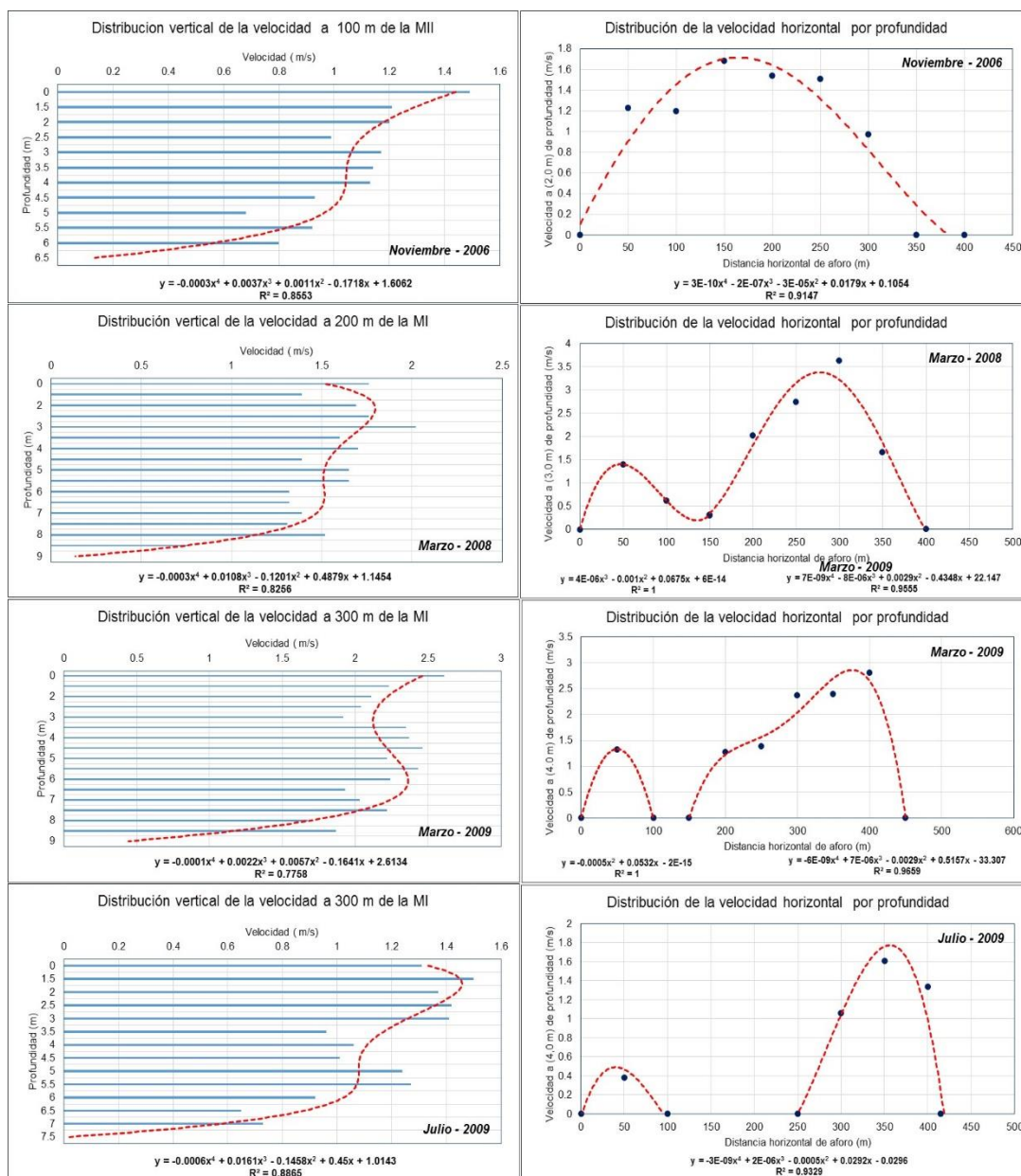


Figura 4.32. Distribución del perfil de velocidades horizontal y vertical por aforo
Fuente: Elaboración propia

En relación a la velocidad horizontal, apreciamos que los mayores valores se registran en la margen derecha del río, por ser la zona con la mayor profundidad en el cauce del río, cuya característica principal es que la caja hidráulica presenta dos secciones bien definidas para aguas bajas, mientras que en aguas altas el volumen de agua circula por toda la sección, como se aprecia en los meses de noviembre y marzo representados en la **Figura 4.32**.

c) Estación Lagarto:

En las **Tablas 4.20a y 4.20b**, se muestran los valores promedios de las velocidades a nivel vertical para la sección de aforo, apreciamos que los rangos de fluctuación varían entre 0,0 m/s y 2,35 m/s, valores que se han registrados en profundidades desde los 0,0 m hasta los 22,0 metros.

Tabla 4.20a. Distribución de velocidad vertical (m/s) – estación Lagarto

Profundidad	2004 Jun	2006 Mar	2008 Mar	2009 Mar	2010 Abr	2011 May
0	0.84	2.35	2.13	1.85	2.15	1.56
1.5	0.70	2.16	2.02	1.78	2.22	1.46
2	0.63	2.04	1.91	1.78	2.19	1.27
2.5	0.92	2.17	2.17	1.81	2.11	1.46
3	0.76	2.03	2.03	1.65	1.98	1.59
3.5	0.56	1.94	1.93	1.84	2.07	1.67
4	0.43	2.03	1.89	1.78	1.83	1.44
4.5	0.19	1.73	1.78	1.55	1.68	1.53
5	0.00	1.66	1.78	1.27	1.67	1.46
5.5		1.59	1.70	1.13	1.49	1.51
6		1.50	1.46	0.97	1.29	1.42
6.5		1.37	1.26	0.79	1.08	1.38
12		1.31	1.10	0.50	1.13	1.40
13		1.15	0.85	0.00	1.01	1.21
14		0.97	0.19		0.26	0.84
15		0.26	0.00		0.00	0.98
16		0.00				0.97
17						0.65
18						0.20
19						0.00
20						
21						
22						
Promedio	0.56	1.54	1.51	1.34	1.51	1.20

Fuente: Elaboración propia

A nivel promedio, para la sección de aforo, se tiene que la velocidad vertical es de 1,08 m/s, con valores que fluctúan entre 0,0 m/s y 1,72 m/s; cuya distribución fue ajustada a una expresión algebraica de tipo polinómica, la cual busca representar el comportamiento de la velocidad de la corriente en función a la profundidad del cauce, tal como se aprecia en la **Figura 4.33a**; donde las mayores velocidades se presentan aproximadamente a una profundidad de 2,0 metros.

Tabla 4.20b. Distribución de velocidad vertical (m/s) – estación Lagarto

Profundidad	2011 Ago	2012 May	2013 Feb	2015 Ene	Promedio
0	0.76	1.13	2.25	2.16	1.72
1.5	0.64	1.23	2.16	2.17	1.66
2	0.64	1.05	2.20	2.06	1.58
2.5	0.55	1.07	2.06	2.20	1.65
3	0.56	0.97	1.96	2.02	1.56
3.5	0.39	1.14	2.00	1.96	1.55
4	0.44	1.12	2.18	1.85	1.50
4.5	0.54	0.94	2.10	1.91	1.39
5	0.47	0.97	2.05	1.94	1.33
5.5	0.54	1.05	2.01	1.56	1.40
6	0.34	0.90	2.17	1.76	1.31
6.5	0.31	0.83	1.75	1.68	1.16
12	0.28	0.81	1.83	1.21	1.06
13	0.29	0.82	1.78	1.18	0.92
14	0.22	0.84	1.60	1.23	0.77
15	0.00	0.66	1.53	0.74	0.52
16		0.65	1.49	0.00	0.62
17		0.34	1.21		0.73
18		0.00	1.29		0.50
19			1.14		0.57
20			0.87		0.87
21			0.38		0.38
22			0.00		0.00
Promedio	0.44	0.87	1.65	1.62	1.08

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4.33b**, se muestran los perfiles de la velocidad media horizontal y las velocidades de los años 2011 y 2015, los cuales representan los valores máximos y mínimos registrados en la sección de aforo; esto nos permite conocer los rangos de variación transversal en relación a la forma de la sección hidráulica del río, la cual se caracteriza por presentar una sección compuestas en forma de dos tipos de herraduras, la cual se activan durante el período de lluvia.

En la **Figura 4.34**, se aprecia la relación funcional entre las velocidades medias horizontal y vertical, obtenidas para la estación de aforo de Lagarto, en base a los datos registrados durante el período 2004 / 2015, permitiendo ajustar una expresión algebraica de primer orden como primera aproximación; a los datos ploteados y que se caracterizan por presentar un comportamiento uniforme en su distribución y tendencia.

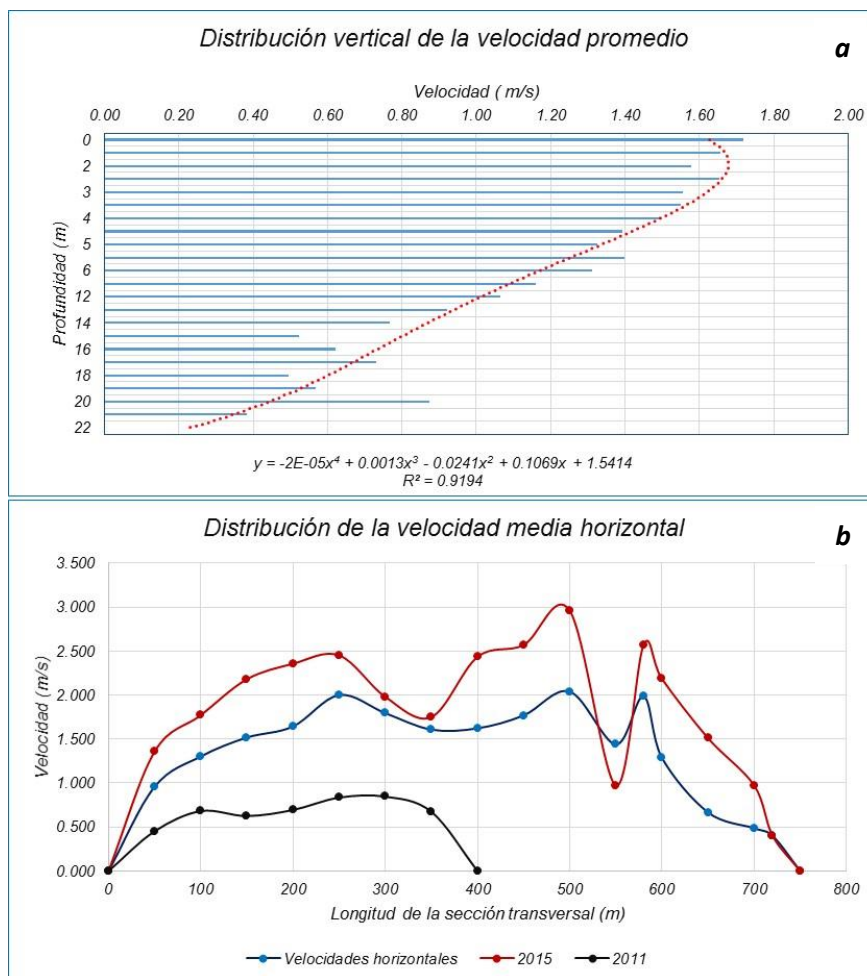


Figura 4.33. Distribución de velocidad a) vertical y b) horizontal
 Fuente: Elaboración propia

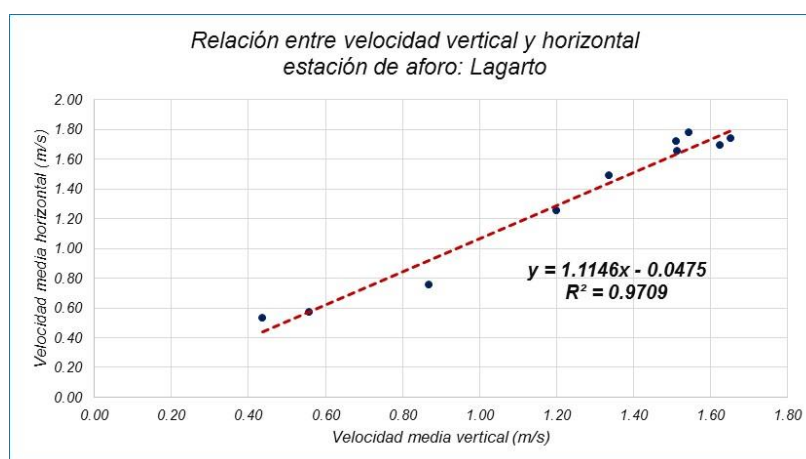


Figura 4.34. Relación entre velocidad vertical y horizontal
 Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4.35**, se muestra la relación funcional entre la profundidad de la sección de aforo y la velocidad promedio horizontal, cuyo comportamiento guarda relación directa con la forma del cauce del río; es decir, que las mayores velocidades están directamente relacionadas con las mayores profundidades, las cuales se presentan justamente en dos zonas caracterizada por tener la forma de herradura.

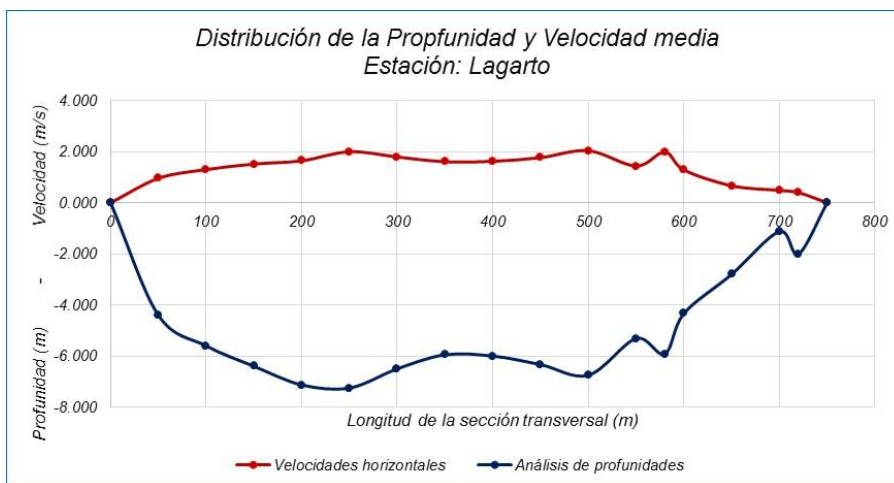


Figura 4.35. Distribución de la profundidad y velocidad - sección de aforo
Fuente: Elaboración propia

De la serie de aforos analizada para esta estación, se seleccionaron los años 2004, 2009, 2011 y 2015, los cuales fueron obtenidos durante los meses de junio, marzo, mayo y enero, apreciándose que el lecho del río muestra ciertos niveles de variación; lo que nos indicaría la fuertes fluctuación en el cauce o en todo caso los aforos han sido realizado en dos secciones hidráulicas diferentes, tal como se muestra en la **Figura 4.36.**

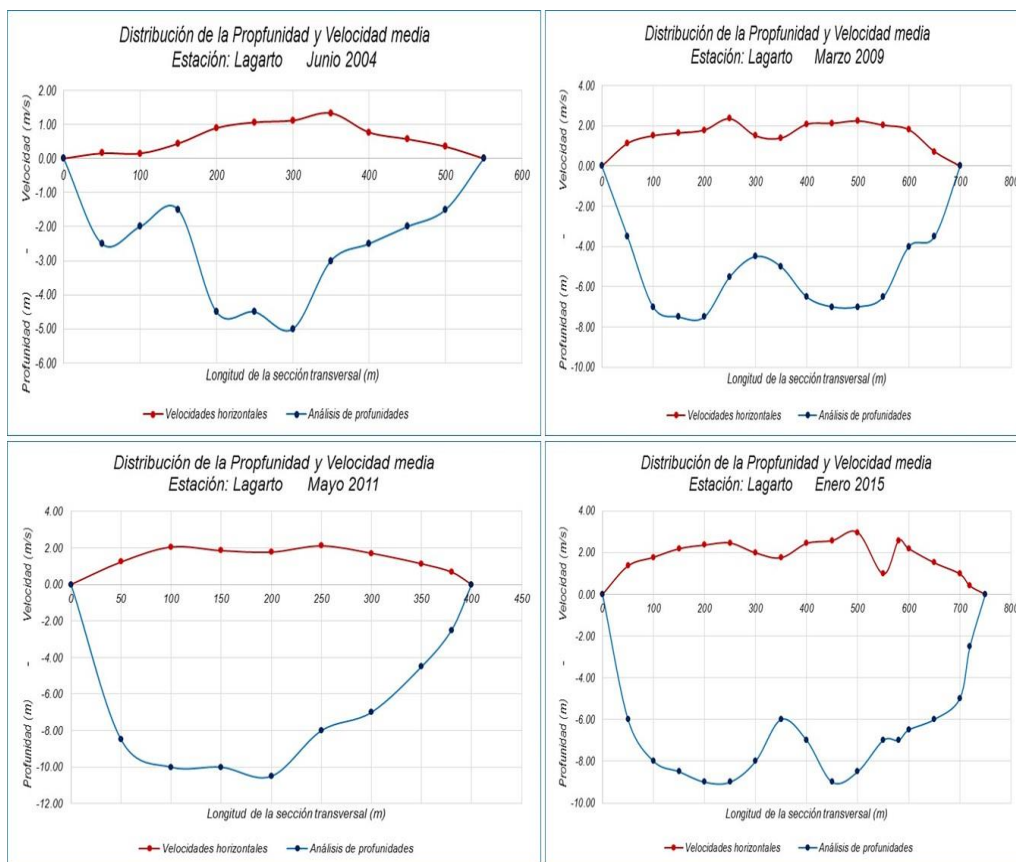


Figura 4.36. Distribución de la profundidad y velocidad - sección de aforo
Fuente: Elaboración propia

En relación a los perfiles de velocidades de cada aforo realizado en la estación de Lagarto, se ha observado una variabilidad en los valores; lo que ha permitido ajustar una expresión algebraica de tipo polinómica, que nos permite representar el comportamiento de la velocidad de la corriente en función a la profundidad de agua en el cauce del río, presentándose en estos caso que las mayores velocidades se registran a una profundidad de 3,0 metros y en superficie, tal como se muestran en la **Figura 4.37** donde se han representado los datos de los meses de junio, marzo, mayo y enero de los años 2004, 2009, 2011 y 2012.

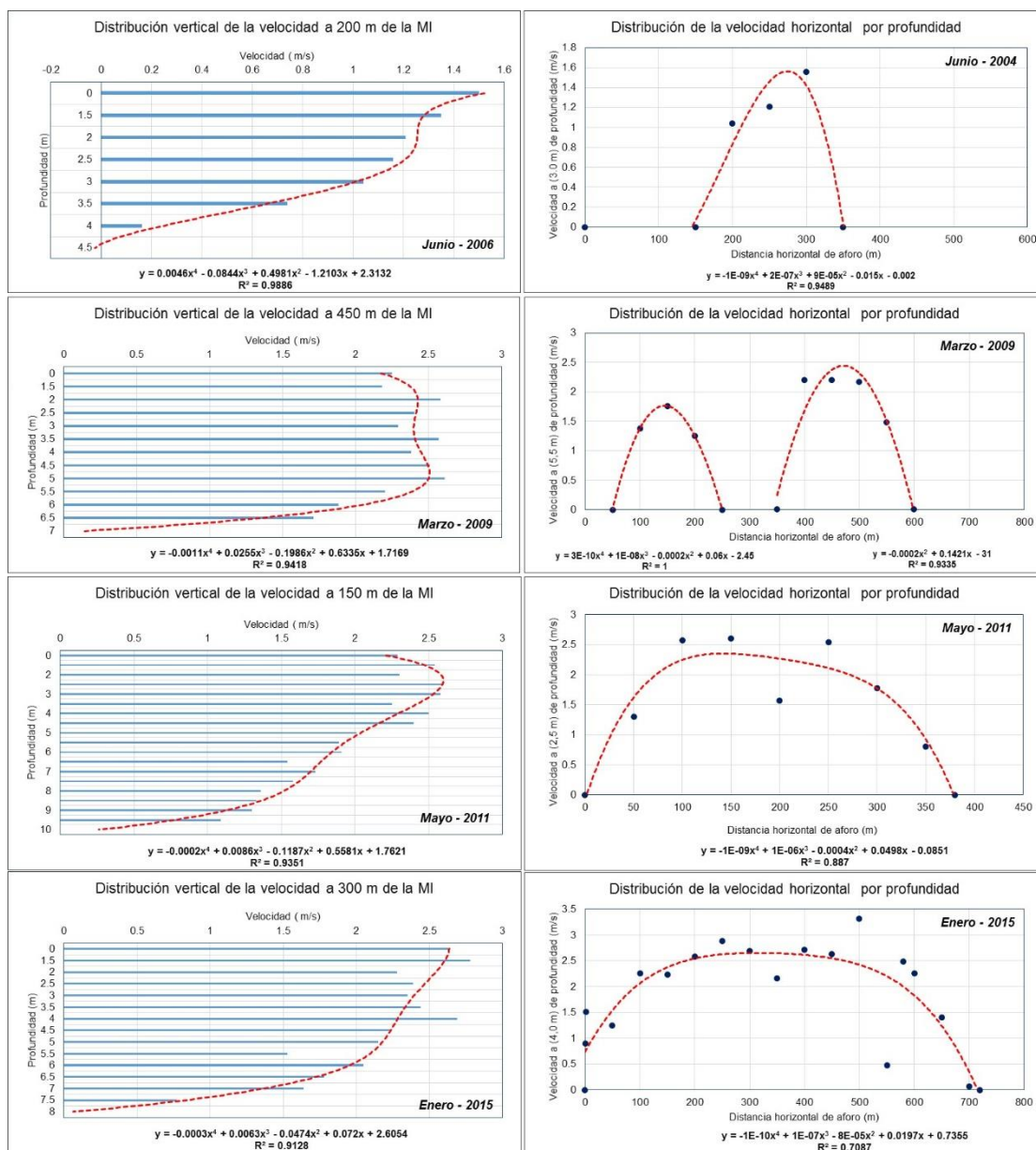


Figura 4.37. Distribución del perfil de velocidades horizontal y vertical por aforo
 Fuente: Elaboración propia

Con relación a la velocidad horizontal, apreciamos que los mayores valores se registran a nivel de superficie aproximadamente, para luego experimentar un comportamiento descendente en relación a la profundidad de la corriente. La sección analizada se caracteriza por ser compuesta como se aprecia en el mes de Marzo.

d) Estación Puerto Inca:

En la **Tabla 4.21**, se muestran los valores promedios de las velocidades a nivel vertical para la sección de aforo, apreciamos que los rangos de fluctuación varían entre 0,0 m/s y 2,09 m/s, valores que se han registrados en profundidades desde los 0,0 m hasta los 12,5 metros.

Tabla 4.21. Distribución de velocidad vertical (m/s) – estación Puerto Inca

Profundidad	2012 May	2013 Feb	2013 Feb	2015 Ene	2015 Ene	Promedio
0	1.00	1.66	2.04	1.52	1.52	1.55
0.5	0.87	1.59	2.08	1.41	1.38	1.47
1.5	1.05	1.68	1.99	1.45	1.47	1.53
2	0.98	1.66	2.09	1.49	1.59	1.57
2.5	0.87	1.64	1.95	1.43	1.49	1.48
3	0.97	1.60	1.98	1.48	1.48	1.50
3.5	0.76	1.64	1.91	1.48	1.43	1.44
4	0.97	1.59	1.82	1.31	1.33	1.40
4.5	0.99	1.53	1.74	1.47	1.17	1.38
5	0.94	1.54	1.71	1.35	1.09	1.33
5.5	0.93	1.64	1.73	1.21	1.26	1.35
6	0.68	1.33	1.94	1.25	1.05	1.25
6.5	0.65	1.18	1.94	1.20	1.12	1.22
7	0.55	1.28	1.86	1.16	1.22	1.21
7.5	0.42	1.18	1.69	1.10	1.08	1.09
8	0.03	1.22	1.77	0.91	1.09	1.00
8.5	0.00	1.18	1.69	0.62	0.95	0.89
9		1.21	1.36	0.65	0.83	1.01
9.5		0.73	1.61	0.52	0.42	0.82
10		0.75	1.47	0.09	0.41	0.68
10.5		0.54	1.31	0.00	0.08	0.48
11		0.43	0.95		0.00	0.46
11.5		0.29	0.55			0.42
12		0.00	0.64			0.32
12.5			0.00			0.00
Promedio	0.74	1.21	1.59	1.10	1.07	1.07

Fuente: Elaboración propia

A nivel promedio, para la sección de aforo, se tiene que la velocidad vertical es de 1,07 m/s, con valores que fluctúan entre 0,0 m/s y 1.55 m/s; lo que ha permitido ajustar una expresión algebraica de tipo polinómica, tal como se aprecia en la **Figura 4.38a**; donde la mayor velocidad se presentan ligeramente por debajo de la superficie de agua (1,5 metros). El patrón de comportamiento de la velocidad en la sección es uniforme.

En la **Figura 4.38b**, se muestran los perfiles de la velocidad media horizontal y las velocidades de los años 2013 y 2012, los cuales representan los valores máximos y mínimos registrados en la sección de aforo; esto nos permite, conocer los rangos de variación transversal en relación a la forma de la sección hidráulica, la cual varía en relación al período estacional bajo la presencia de la precipitación. En dicha figura, apreciamos que la distribución horizontal de la velocidad mantiene un comportamiento uniforme en su variabilidad.

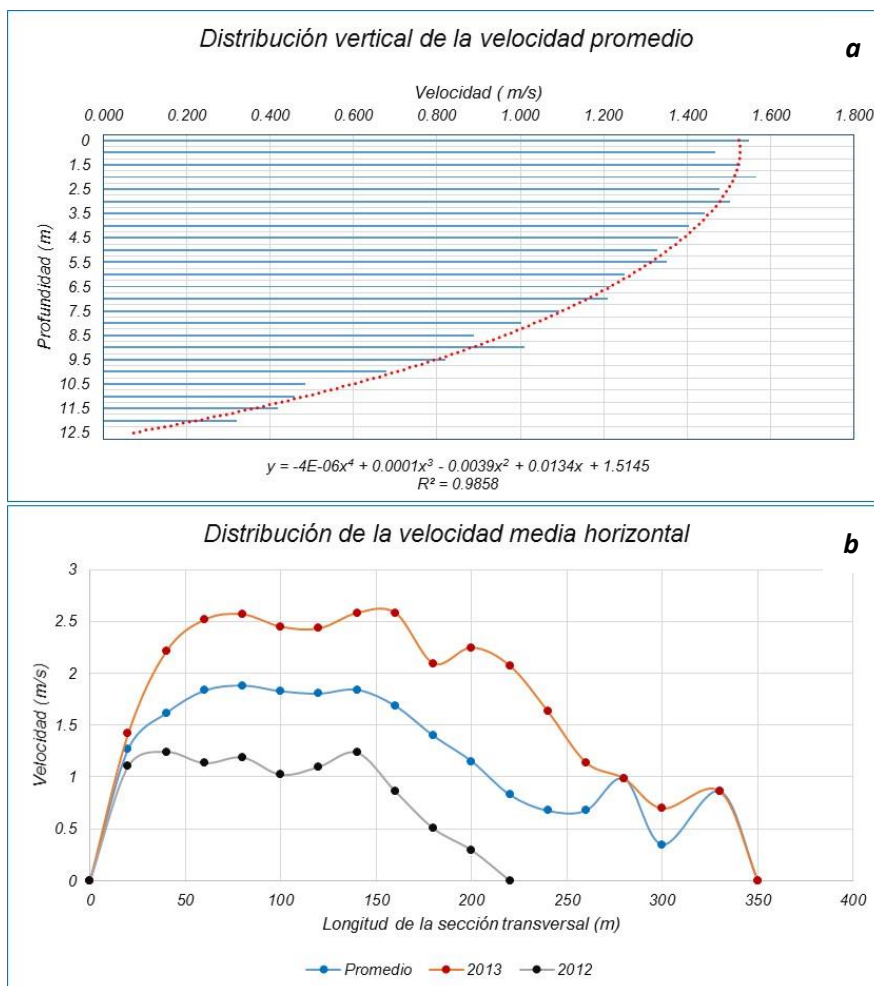


Figura 4.38. Distribución de velocidad a) vertical y b) horizontal
 Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4.39**, apreciamos la relación funcional entre la velocidad media horizontal y la vertical, obtenidas para la estación de aforo de Puerto Inca, en base a los datos de aforo registrado durante el período 2012 / 2015, permitiendo ajustar una expresión algebraica de primer orden como primera aproximación; apreciándose que la serie de valores ploteados presentan un comportamiento uniforme en su distribución.

En la **Figura 4.40**, se muestra la relación funcional entre las profundidades de la sección de aforo y la velocidad promedio horizontal, cuyo comportamiento guarda relación directa con la forma del cauce del río; es decir que las mayores velocidades están directamente relacionadas con las mayores profundidades, la cual se presenta cerca de la margen izquierda del río.

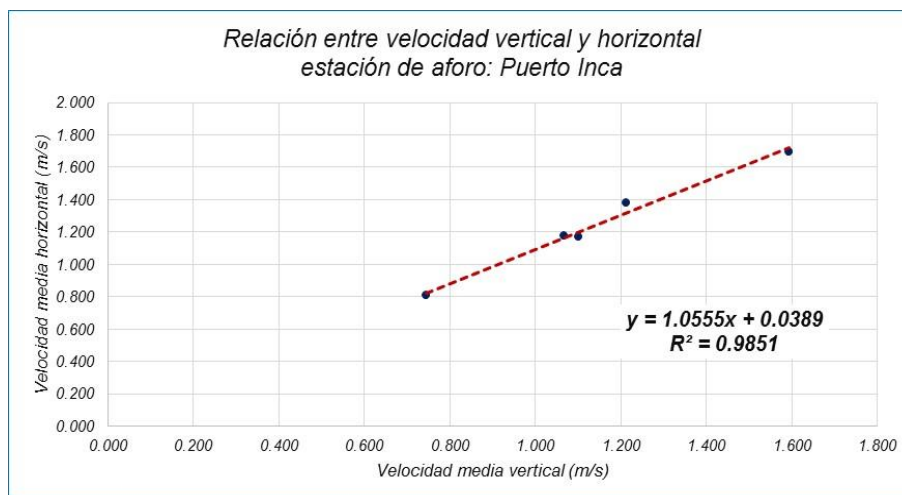


Figura 4.39. Relación entre velocidad vertical y horizontal
Fuente: Elaboración propia

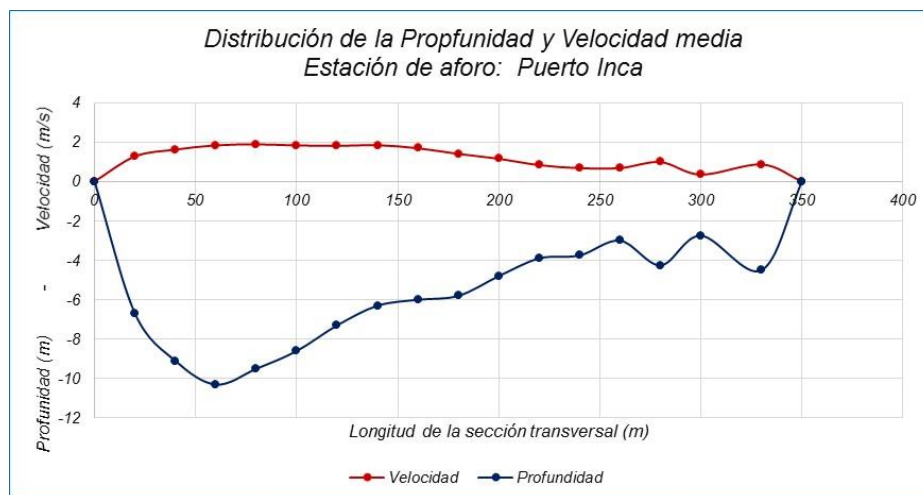


Figura 4.40. Distribución de la profundidad y velocidad
Fuente: Elaboración propia

De la serie de aforos analizada para esta estación, se seleccionaron los registros de los años 2012, 2013 y 2015, los cuales fueron obtenidos durante los meses de mayo, febrero y enero, apreciándose que el lecho del río muestra ciertos niveles de variación en relación a su profundidad, ubicándose la sección más profunda en la margen izquierda, mientras que en la margen derecha los niveles son mínimos, tal como se muestra en la **Figura 4.41**. Esta característica de la sección hidráulica, está relacionada directamente con las velocidades de la corriente medidas durante los aforos.

En relación a los perfiles de las velocidades verticales generadas en cada aforo realizado en la estación de Puerto Inca, se han observado que presentan un comportamiento variable en su distribución altitudinal, lo que nos ha permitido ajustar a la serie de valores una expresión algebraica de tipo polinómica, la cual permite describir matemáticamente la variabilidad de la velocidad de la corriente del río en relación a la profundidad de la sección, tal como se aprecia en la **Figura 4.42** donde se tienen los datos para mayo, febrero y enero de los años 2012, 2013 y 2015.

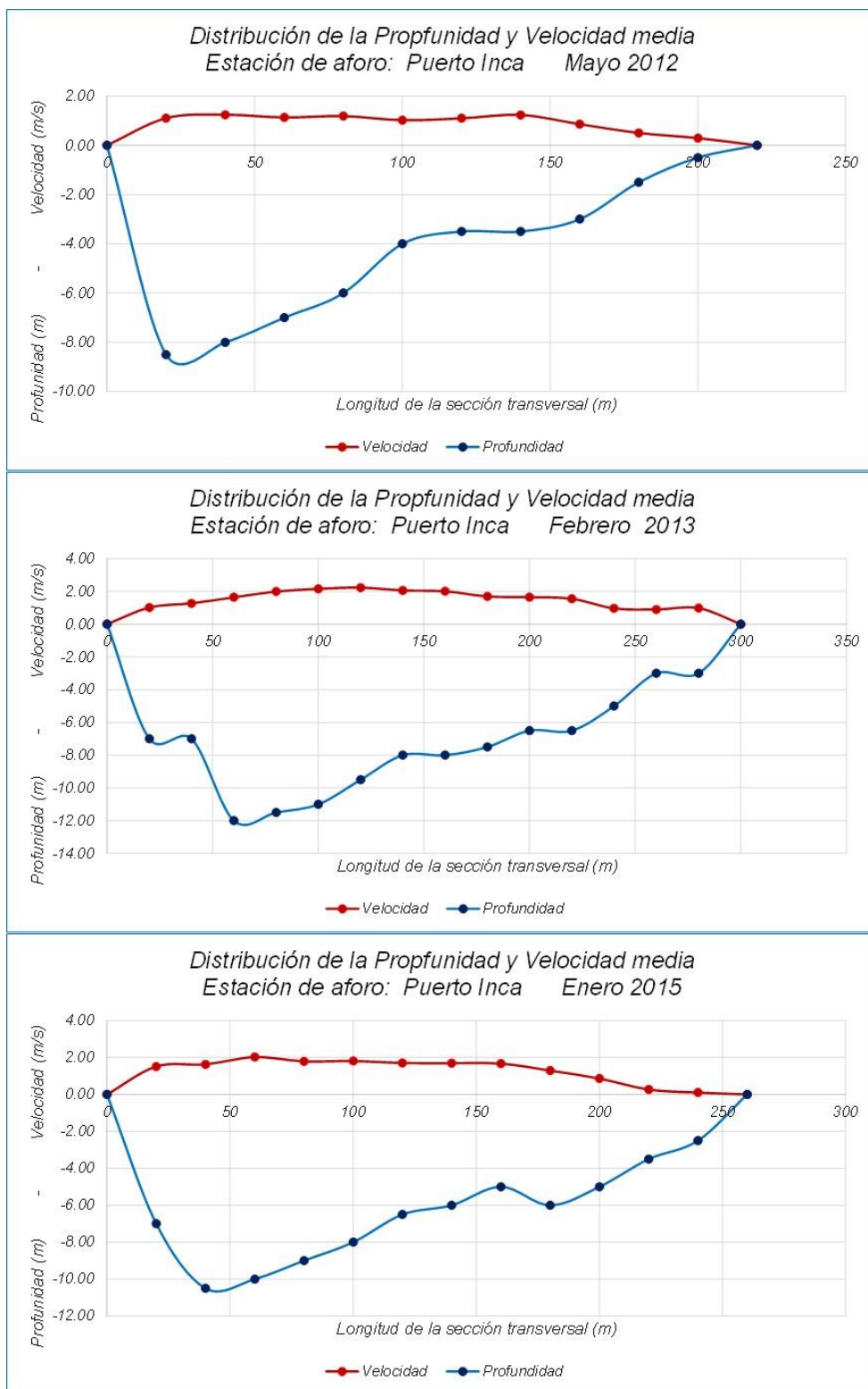


Figura 4.41. Distribución de la profundidad y velocidad - sección de aforo
Fuente: Elaboración propia

Con relación a la velocidad horizontal, apreciamos los perfiles registrados a diferentes profundidades, permitiendo con ello apreciar no solo las variaciones en la velocidad sino como esta se va adecuando paulatinamente al cambio que experimenta la caja hidráulica; cuando el nivel de agua está en procesos de descenso como resultados del período de estiajes.

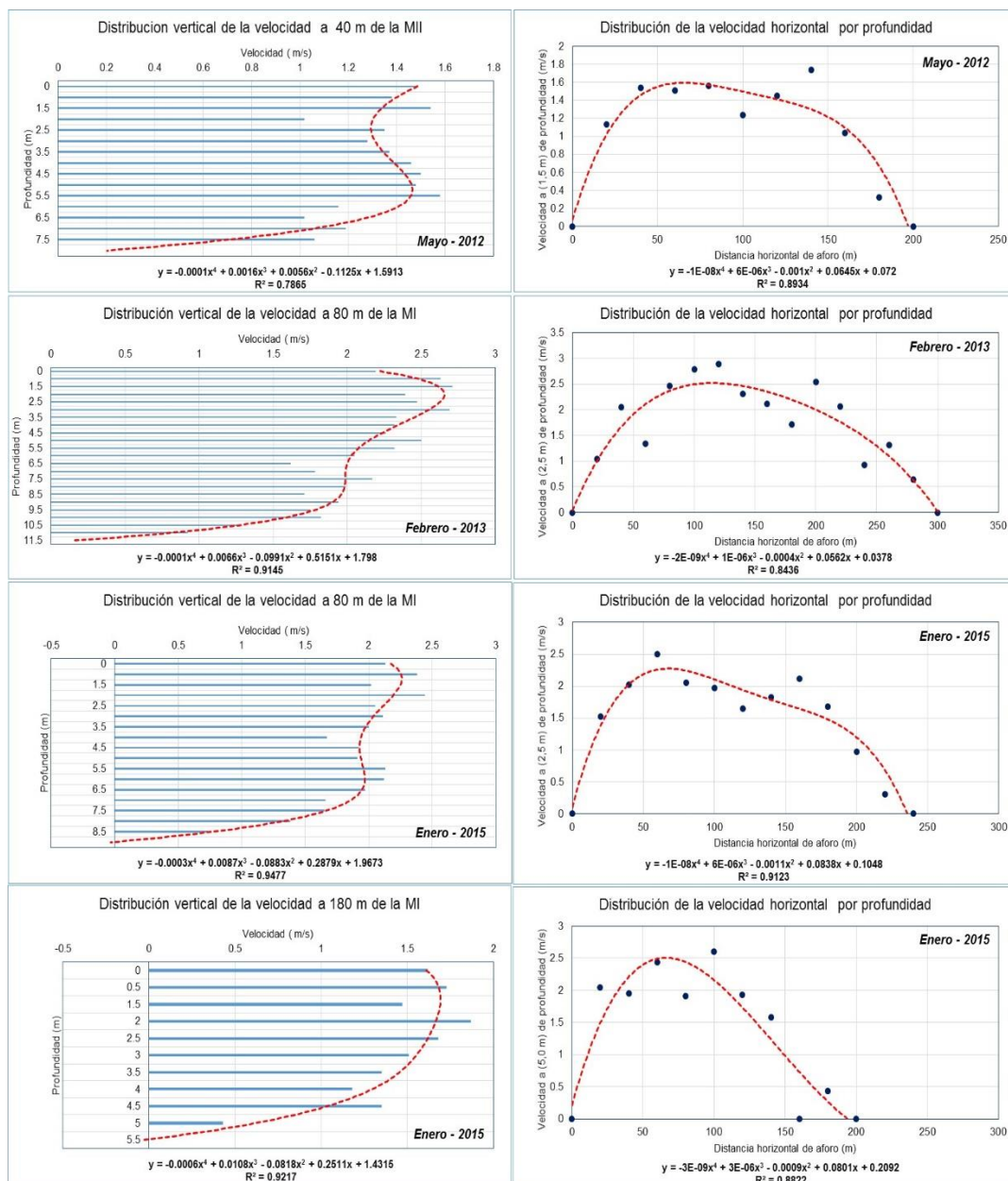


Figura 4.42. Distribución del perfil de velocidades horizontal y vertical por aforo
 Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a como va variando los perfiles horizontales de la velocidad de la corriente, en relación a la profundidad del cauce del río, apreciamos que la caja hidráulica principal se encuentra cerca de la margen izquierda; donde se concentran las mayores velocidades y el mayor volumen de agua, tal como se aprecia claramente en los meses de febrero y enero.

Dicho comportamiento se ve reflejada también en los perfiles verticales de la velocidad del río.

e) Estación Pucallpa:

En la **Tabla 4.22**, se muestran los valores promedios de las velocidades a nivel vertical para la sección de aforo, apreciamos que los rangos de fluctuación varían entre 0,0 m/s y 1,421 m/s, valores que se han registrado para profundidades desde los 0,0 m hasta los 23,0 metros.

Tabla 4.22. Distribución de velocidad vertical (m/s) – estación Pucallpa

Profundidad	2009 Julio	2010 Abril	2010 Abril	2010 Abril	2010 Mayo	2010 Mayo	2011 Mayo	2012 Mayo	Promedio
0	0.924	1.111	1.155	1.385	0.941	0.730	1.060	1.008	1.039
1	0.888	1.112	1.052	1.421	0.736	0.667	1.096	0.883	0.982
2	0.847	1.211	1.205	1.330	0.803	0.630	1.002	0.918	0.993
3	0.950	1.177	1.068	1.311	0.760	0.612	1.158	0.839	0.984
4	0.933	1.230	1.270	1.419	0.753	0.635	0.959	0.735	0.992
5	0.909	1.368	1.215	1.405	0.870	0.740	0.735	0.698	0.992
6	0.941	1.253	1.159	1.360	0.796	0.933	1.000	0.420	0.983
7	0.663	1.305	1.091	1.147	0.654	0.815	0.946	0.339	0.870
8	0.477	0.976	1.059	1.047	0.664	0.808	1.046	0.170	0.781
9	0.233	1.107	1.186	0.811	0.640	0.668	0.954	0.203	0.725
10	0.000	1.210	0.926	0.367	0.533	0.970	0.656	0.220	0.610
11		1.113	0.849	0.152	0.568	0.648	0.828	0.230	0.627
12		0.988	0.850	0.000	0.493	0.578	0.660	0.000	0.510
13		0.867	0.600		0.453	0.700	0.606		0.645
14		0.396	0.316		0.490	0.805	0.650		0.531
15		0.337	0.216		0.370	0.570	0.660		0.431
16		0.277	0.013		0.273	0.563	0.587		0.342
17		0.250	0.000		0.000	0.597	0.483		0.266
18		0.293				0.000	0.513		0.269
19		0.223					0.437		0.330
20		0.260					0.507		0.383
21		0.320					0.520		0.420
22		0.000					0.413		0.207
23							0.000		0.000
Promedio	0.706	0.799	0.846	1.012	0.600	0.667	0.728	0.512	0.621

Fuente: Elaboración propia

A nivel promedio, para la sección de aforo, se tiene que la velocidad vertical es de 0,621 m/s, con valores que fluctúan entre 0,0 m/s y 1,039 m/s; cuyos valores se ajustan a un perfil de distribución de tipo polinómica, tal como se aprecia en la **Figura 4.43a**; donde las mayores velocidades se presentan a nivel de la superficie; sin embargo, cuando se realiza el ajuste de dichos valores, la función que representa el comportamiento de las velocidades, nos indica que la mayor velocidad se presenta a una profundidad de 2,0 metros.

En la **Figura 4.43b**, se muestran los perfiles de la velocidad media horizontal y las velocidades de los años 2009 y 2010, los cuales representan los valores máximos y mínimos registrados en la sección de aforo; esto nos permite, conocer los rangos de variación transversal en relación a la forma de la sección hidráulica, la cual varía en relación al período estacional bajo la presencia de la precipitación. En dicha figura, apreciamos que la distribución horizontal de la velocidad mantiene un comportamiento uniforme en su variabilidad.

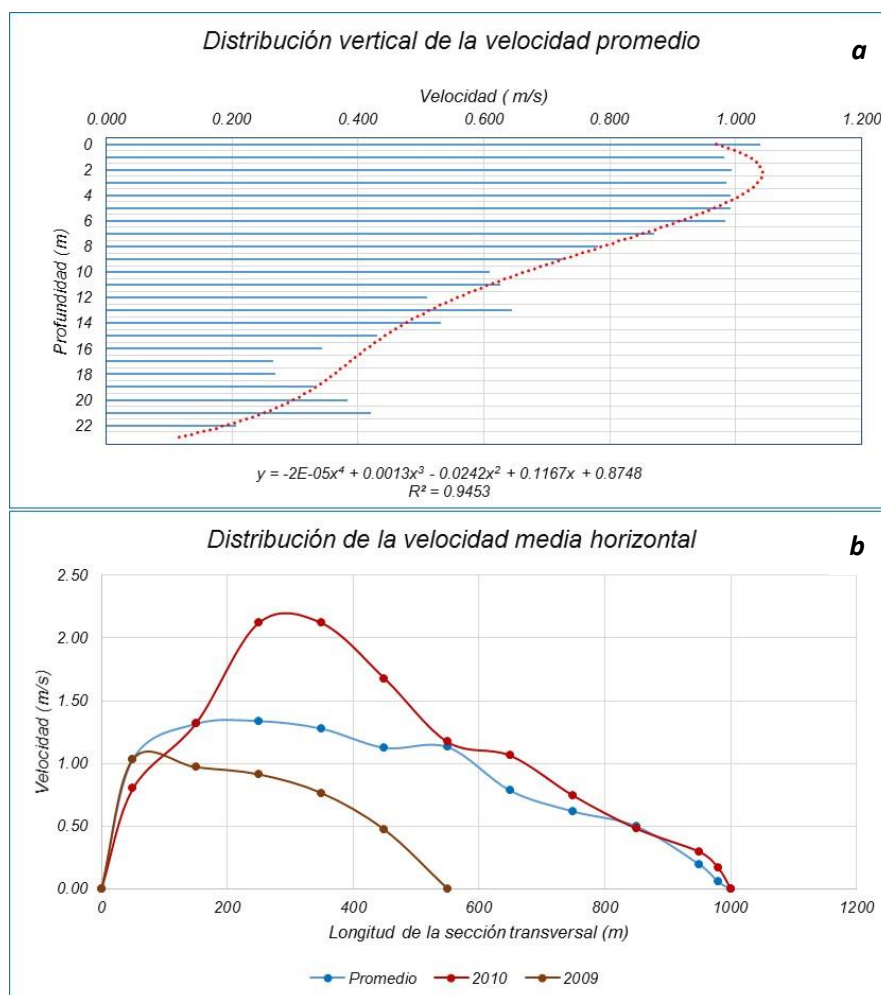


Figura 4.43. Distribución de velocidad a) vertical y b) horizontal
Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4.44**, apreciamos la relación funcional entre la velocidad media horizontal y la vertical, obtenidas para la estación de aforo de Pucallpa, en base a los datos de aforo registrado durante el período 2009/2012, permitiendo ajustar una expresión algebraica de primer orden como primera aproximación; apreciándose que la serie de valores ploteados presenta un comportamiento uniforme en su distribución, a excepción de los puntos encerrados en círculo rojo que no fueron considerados en el análisis final, porque generaban ciertos niveles de distorsión

En la **Figura 4.45**, se muestra la relación funcional entre las profundidades de la sección de aforo y la velocidad promedio horizontal, cuyo comportamiento guarda relación directa con la forma del cauce del río; es decir, que las mayores velocidades

están directamente relacionadas con las mayores profundidades. La sección hidráulica analizada, se caracteriza por no registrar fuertes variaciones en su relieve.

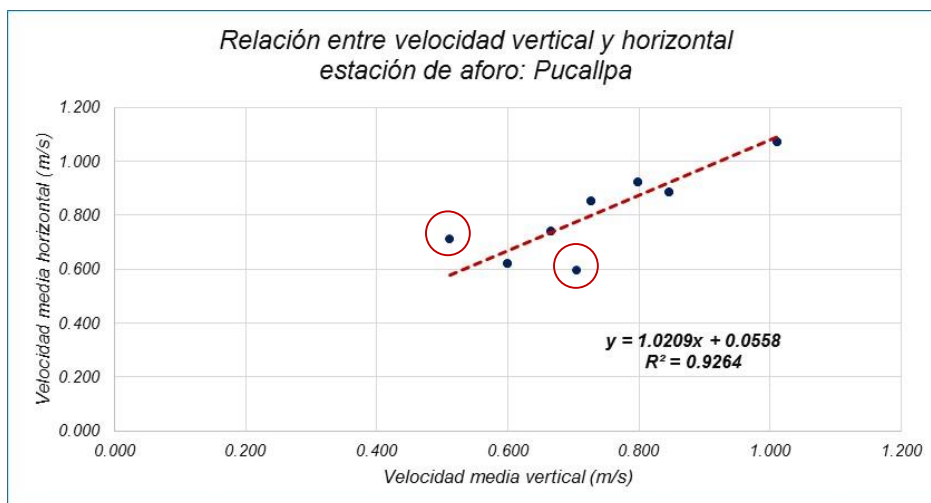


Figura 4.44. Relación entre velocidad vertical y horizontal
Fuente: Elaboración propia

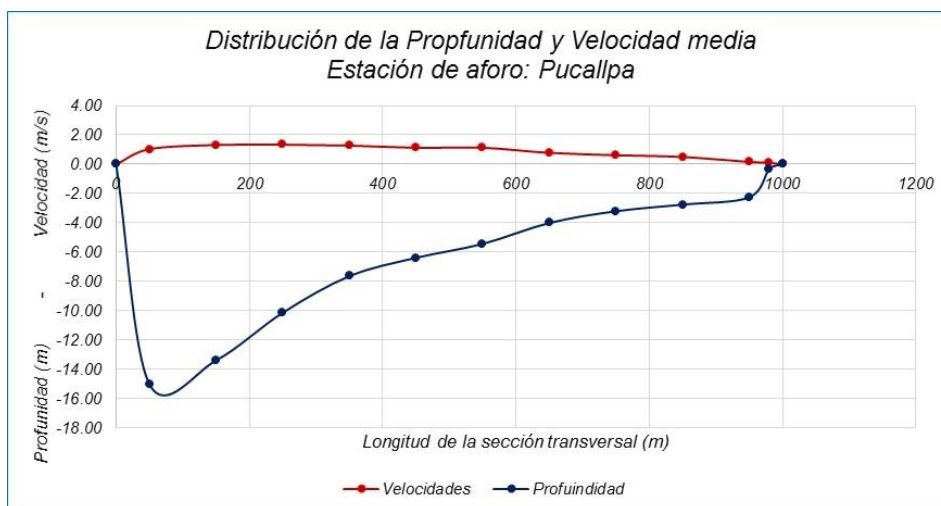


Figura 4.45. Distribución de la profundidad y velocidad
Fuente: Elaboración propia

De la serie de aforos analizada para esta estación, se seleccionaron los registrados en los años 2012, 2011, 2010 y 2009, los cuales fueron obtenidos durante los meses de mayo, mayo, abril y julio, apreciándose que a nivel de la escala temporal la sección hidráulica experimenta cambios o simplemente se tiene dos o tres secciones de aforo diferentes, tal como se muestran en la **Figura 4.46**.

En relación a los perfiles de velocidades de cada aforo realizado en la estación Pucallpa, se han observado que los perfiles verticales de velocidades generados en la sección hidráulica, muestran una variabilidad en sus valores; sin embargo, el ajuste generado para los pares de valores plotados, ha permitido obtener expresiones algebraicas de tipo parabólico, donde los mayores valores se presentan en la superficie y a una profundidad media de tres (3,0) metros, tal como se aprecia en la **Figura 4.47**.

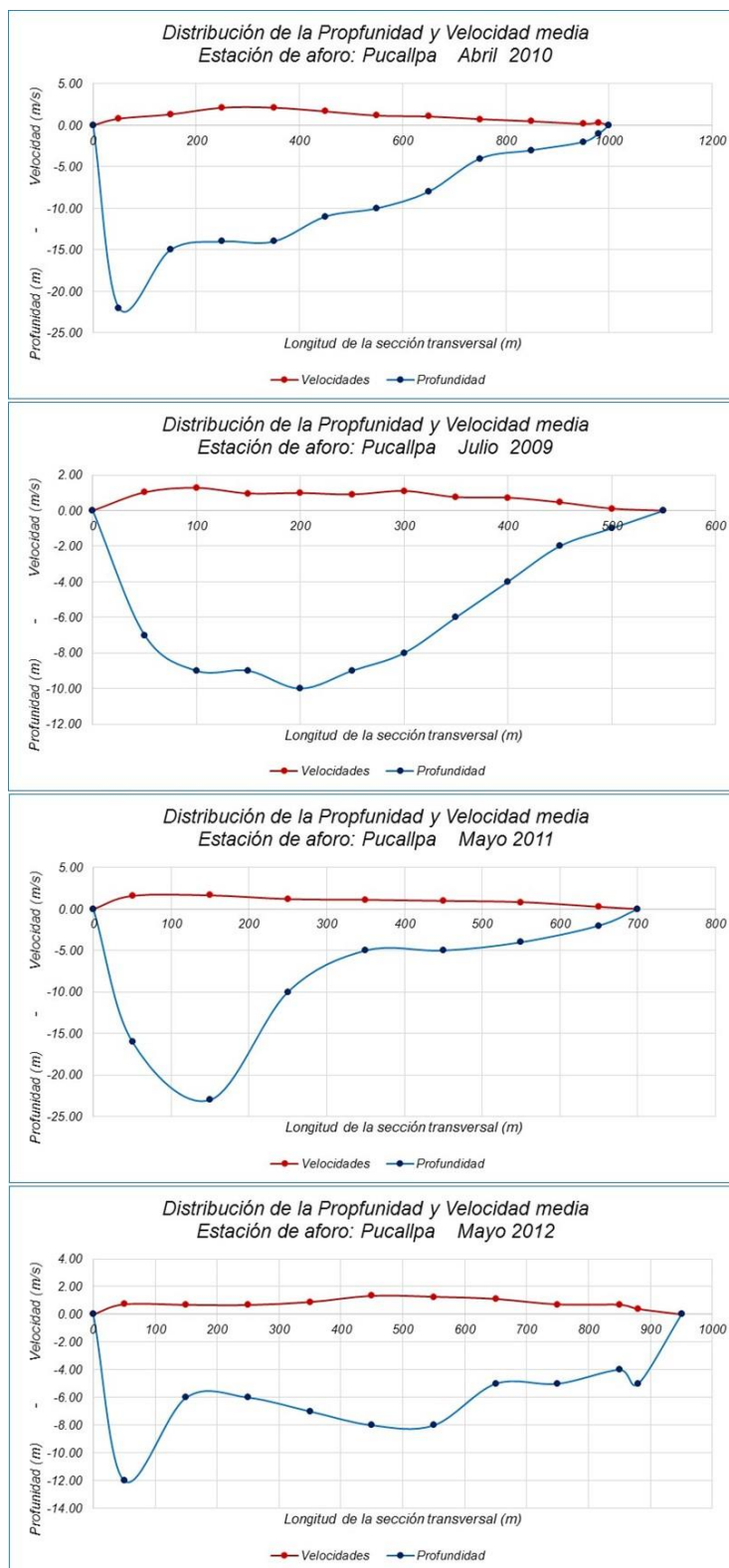


Figura 4.46. Distribución de la profundidad y velocidad - sección de aforo

Fuente: Elaboración propia

Con relación a la velocidad horizontal, apreciamos que los cuatro perfiles registran diferentes comportamientos en relación a la profundidad seleccionada (2,0 y 3,0

metros); en términos generales, nos da una idea de que la sección con mayores profundidades, se registra en la margen izquierda del río.

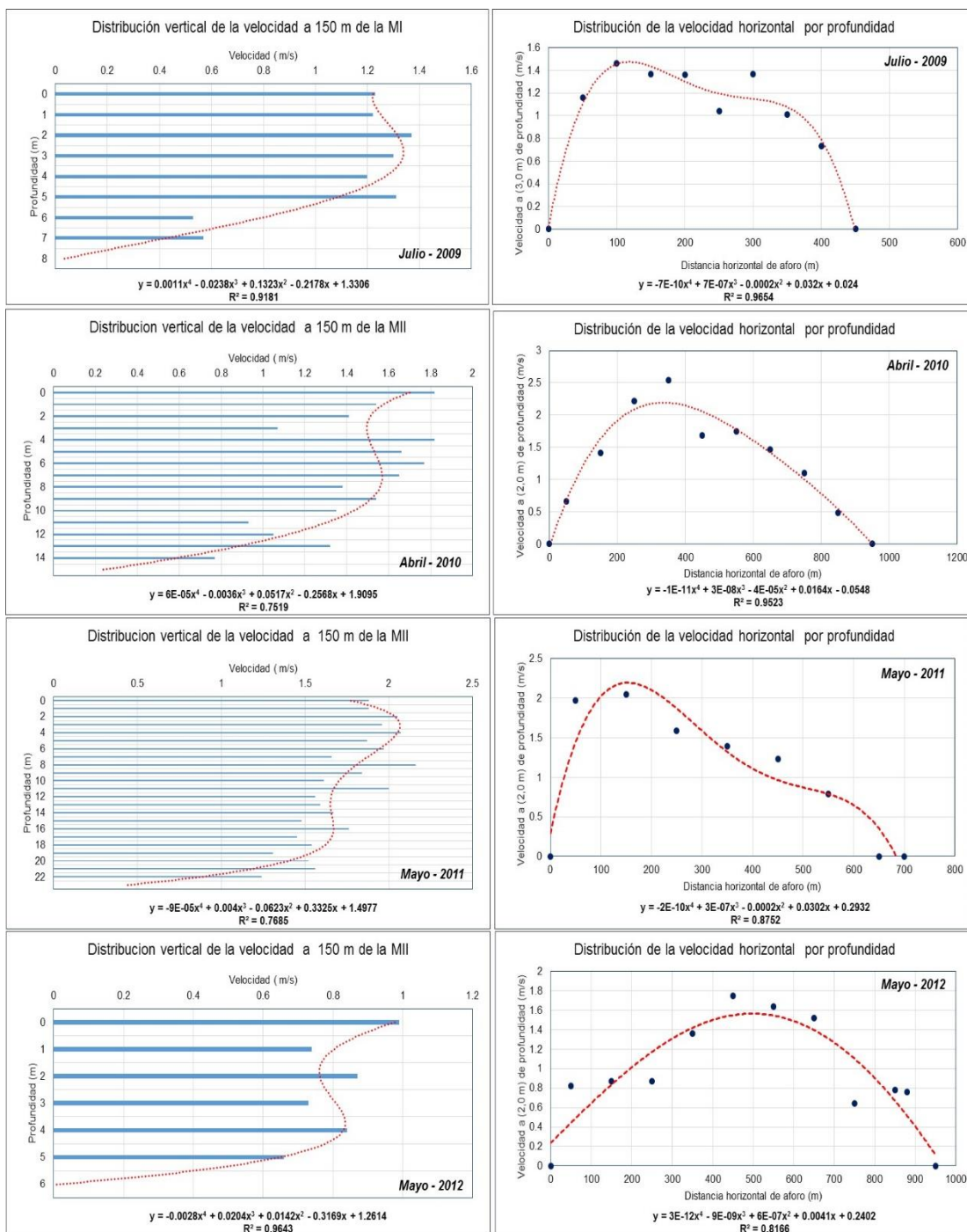


Figura 4.47. Distribución del perfil de velocidades horizontal y vertical por aforo
Fuente: Elaboración propia

f) Estación Tapiche:

En la **Tabla 4.23**, se muestran los valores promedios de las velocidades a nivel vertical, para la sección de aforo, apreciamos que los rangos de fluctuación varían entre 0,0 m/s y 0,3290 m/s, valores que se han registrado para profundidades desde los 0,0 m hasta los 9,3 metros.

Tabla 4.23. Distribución de velocidad vertical (m/s)
Estación Tapiche

Profundidad	2009 Octubre	2010 Junio	Promedio
1.4	0.223	0.296	0.259
1.9	0.188	0.177	0.182
2.4	0.238	0.228	0.233
2.9	0.292	0.314	0.303
3.4	0.309	0.301	0.305
3.9	0.294	0.188	0.241
4.4	0.329	0.202	0.266
4.9	0.226	0.251	0.239
5.4	0.126	0.204	0.165
5.9	0.201	0.175	0.188
6.4	0.294	0.176	0.235
6.9	0.191	0.175	0.183
7.4	0.101	0.142	0.121
7.9	0.000	0.179	0.090
8.3		0.159	0.159
8.8		0.034	0.034
9.3		0.000	0.000
Promedio	0.215	0.188	0.188

Fuente: Elaboración propia

A nivel promedio, para la sección de aforo, se tiene que la velocidad vertical es de 0,188 m/s, con valores que fluctúan entre 0,0 m/s y 0,305 m/s; cuyos valores se ajustan a un perfil de distribución de tipo polinómica, tal como se aprecia en la **Figura 4.48a**; donde las mayores velocidades se presentan a una profundidad de 3,4 metros.

En la **Figura 4.48b**, se muestran los perfiles de la velocidad media horizontal y las velocidades de los años 2009 y 2010, los cuales representan los valores mínimos y máximos registrados en la sección de aforo; esto nos permite, conocer los rangos de variación transversal en relación a la forma de la sección hidráulica, la cual varía en relación al período estacional bajo la presencia de la precipitación. En dicha figura, apreciamos que la distribución horizontal de la velocidad mantiene un comportamiento uniforme en su variabilidad, no reflejando cambios en su sección.

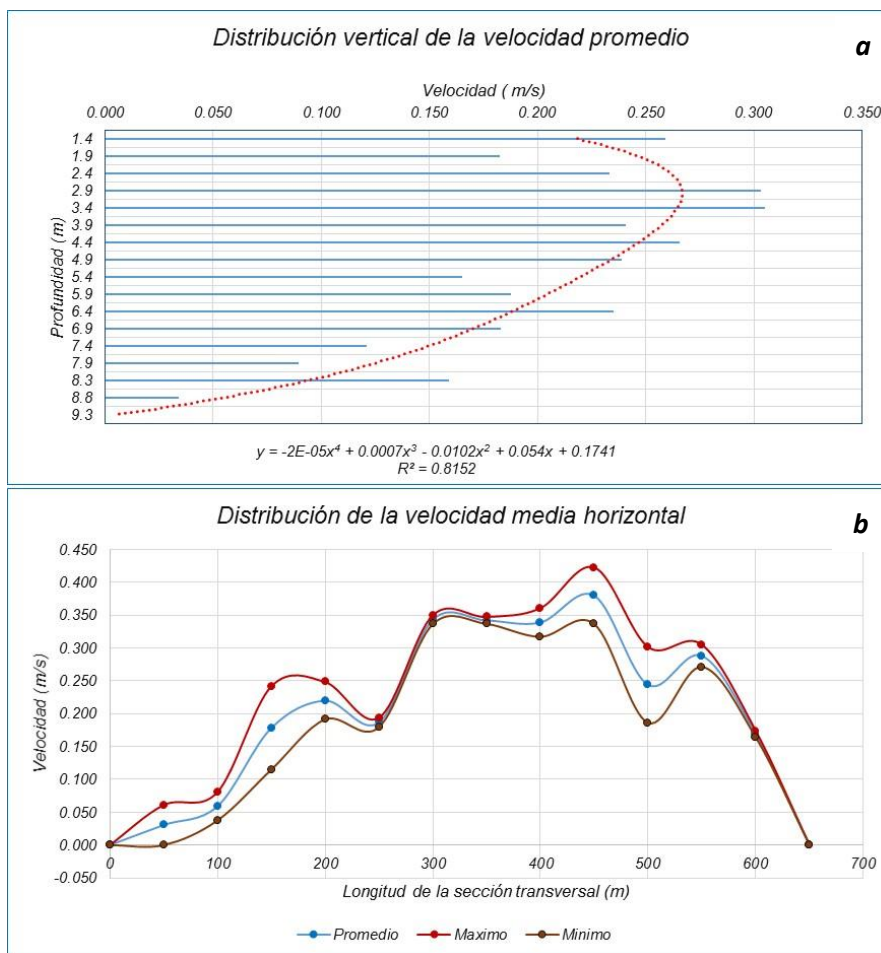


Figura 4.48. Distribución de velocidad a) vertical y b) horizontal
Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4.49**, se muestra la relación funcional entre las profundidades de la sección de aforo y la velocidad promedio horizontal, cuyo comportamiento guarda relación directa con la forma del cauce del río; es decir, que las mayores velocidades están directamente relacionadas con las mayores profundidades.

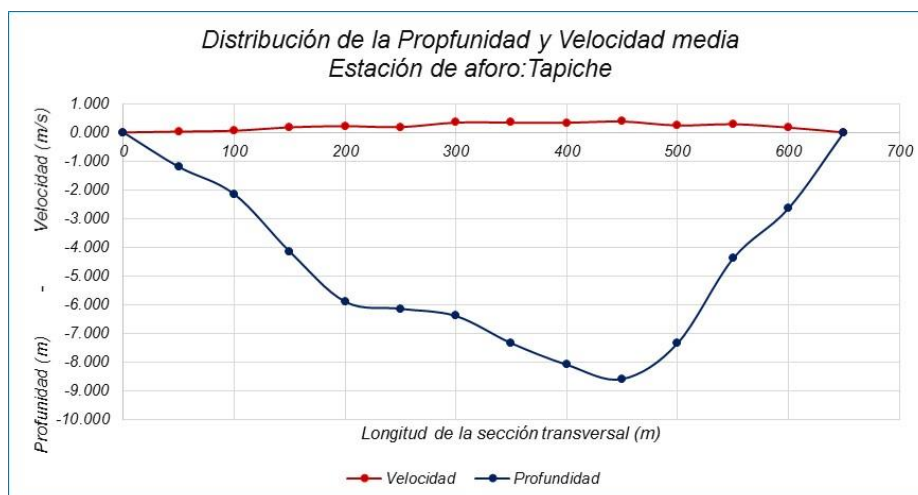


Figura 4.49. Distribución de la profundidad y velocidad
Fuente: Elaboración propia

De la serie de aforos analizada para esta estación, se seleccionaron los registrados en los años 2009 y 2010, los cuales fueron obtenidos durante los meses de octubre y junio, apreciándose que la sección hidráulica muestra ciertos niveles de variabilidad especialmente en su margen izquierda, tal como se muestra en la **Figura 4.50**.

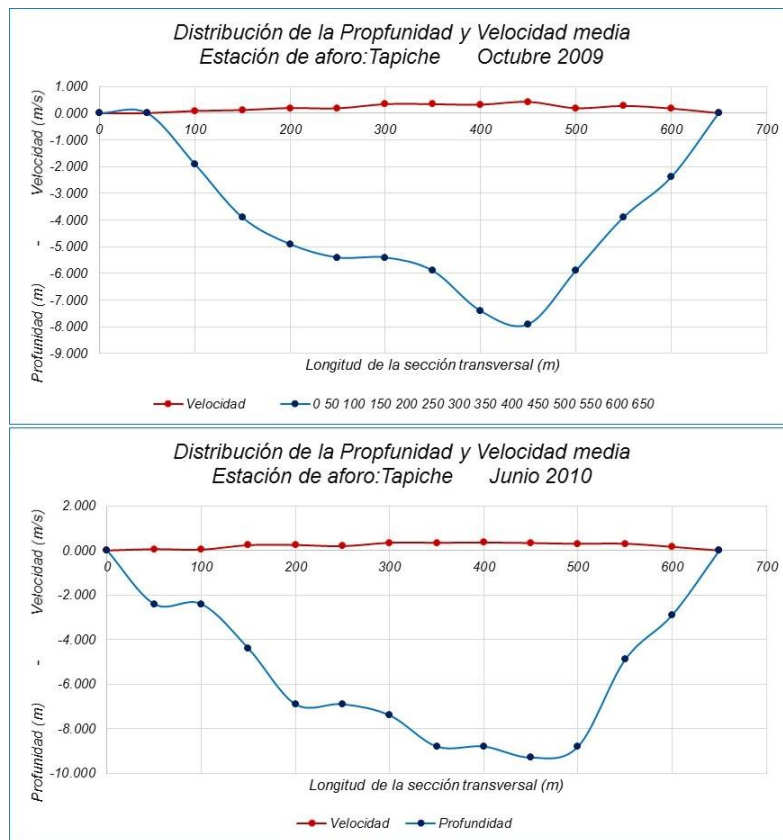


Figura 4.50. Distribución de la profundidad y velocidad - sección de aforo

Fuente: Elaboración propia

En esta estación, solamente se realizaron dos aforos (2009 y 2010), en relación a los perfiles de velocidades de cada aforo realizado para la estación de Tapiche, se ha observado que la distribución vertical de velocidades generados en la sección hidráulica, muestran una variabilidad en sus valores; sin embargo, el ajuste generado para los pares de valores ploteados, ha permitido obtener expresiones algebraicas de tipo parabólico, donde los mayores valores se presentan a diferentes profundidades, dependiendo de las condiciones hidrológicas del río, tal como se aprecia en la **Figura 4.51**.

Con relación a la velocidad horizontal, apreciamos que los cuatro perfiles registran diferentes comportamientos en relación a la escala temporal del análisis, donde las velocidades se concentran en la zona central de la sección; esto debido a que la caja hidráulica tiene forma triangular.

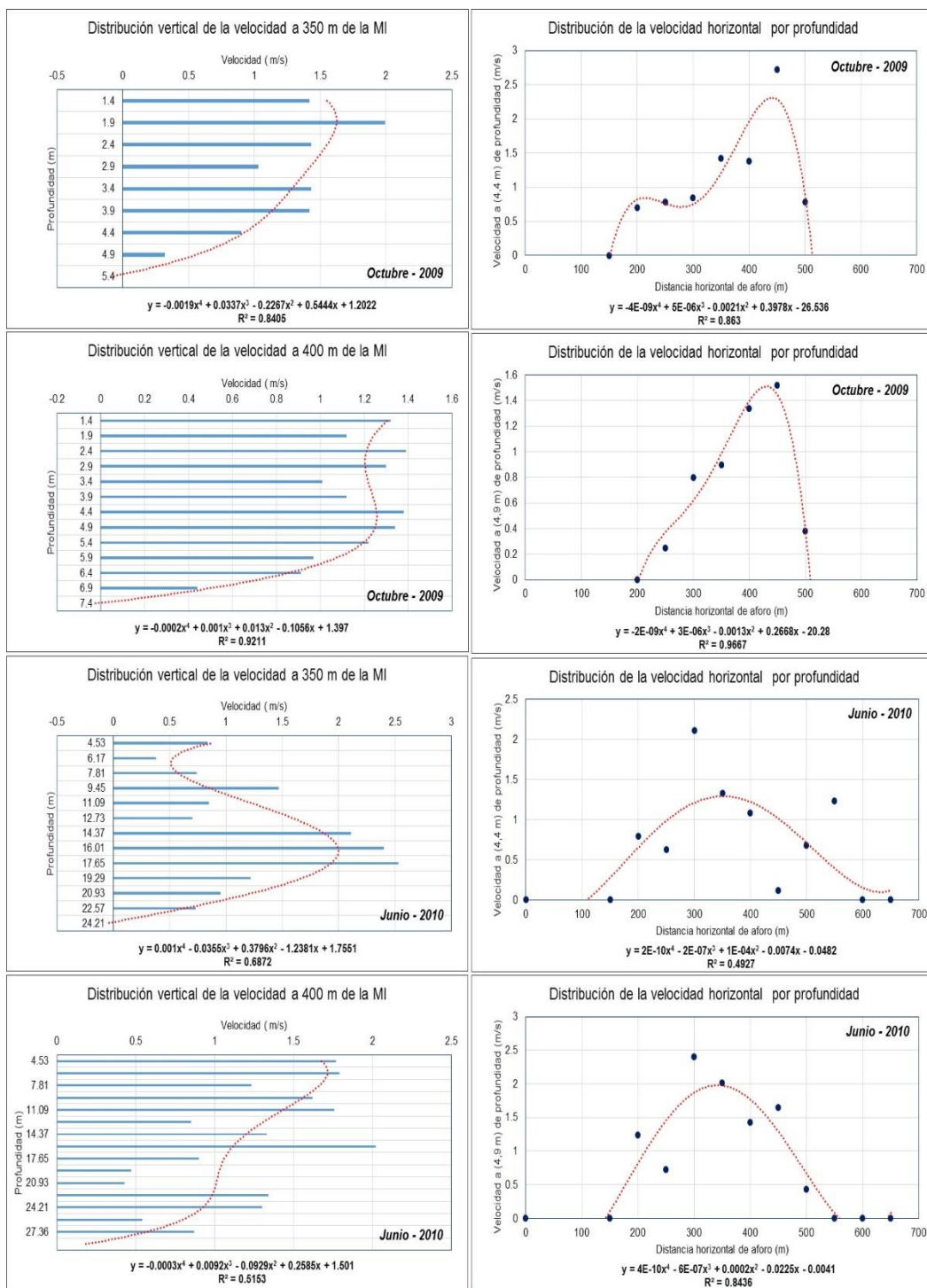


Figura 4.51. Distribución del perfil de velocidades horizontal y vertical por aforo
 Fuente: Elaboración propia

g) Estación Genaro Herrera:

En la **Tabla 4.24**, se muestran los valores promedios de las velocidades a nivel vertical para la sección de aforo, apreciándose que los rangos de fluctuación están entre 0,0 m/s y 1,96 m/s, valores que se han registrado para profundidades desde los 0,0 m hasta los 32,0 metros.

Tabla 4.24. Distribución de velocidad vertical (m/s) – estación Puerto Inca

Profundidad	2007 Feb	2007 May	2008 Abr	2008 Dic	2009 Feb	2009 May	2009 Jun	Promedio Total
0	1.67	1.46	1.96	0.78	1.32	1.33	0.98	1.36
1	1.75	1.41	1.95	0.80	1.24	1.32	1.13	1.37
2	1.60	1.41	1.94	0.75	1.23	1.40	1.16	1.36
3	1.74	1.41	1.93	0.64	1.18	1.35	1.20	1.35
4	1.70	1.34	1.88	0.76	1.31	1.36	1.19	1.36
5	1.75	1.43	1.87	0.91	1.41	1.30	1.09	1.39
6	1.70	1.47	1.82	0.74	1.38	1.37	1.00	1.35
7	1.76	1.47	1.58	0.82	1.35	1.39	1.05	1.35
8	1.89	1.43	1.80	0.89	1.48	1.57	1.17	1.46
9	1.99	1.46	1.67	0.97	1.43	1.59	1.06	1.45
10	1.86	1.38	1.75	0.93	1.41	1.70	1.24	1.47
11	1.86	1.37	1.56	0.89	1.42	1.57	1.15	1.40
12	1.72	1.31	1.35	0.93	1.44	1.59	1.18	1.36
13	1.64	1.46	1.21	0.94	1.41	1.50	1.16	1.33
14	1.66	1.60	1.23	0.98	1.48	1.50	1.04	1.35
15	1.74	1.52	0.87	0.79	1.38	1.45	1.14	1.27
16	1.59	1.44	0.76	0.857	1.42	1.21	0.91	1.17
17	1.65	1.54	0.59	0.81	1.29	1.26	0.89	1.15
18	1.42	1.31	0.64	0.82	1.29	1.28	0.84	1.09
19	1.41	1.35	0.69	0.59	1.28	1.24	0.52	1.01
20	1.29	1.08	0.64	0.59	1.13	1.18	0.52	0.92
21	1.33	1.03	0.00	0.55	1.10	1.11	0.41	0.79
22	1.16	1.07		0.56	1.25	1.15	0.12	0.89
23	1.21	1.08		0.18	1.02	1.20	0.15	0.81
24	1.00	1.19		0.00	1.03	1.15	0.00	0.73
25	1.04	0.88			0.92	1.05		0.97
26	0.85	0.56			0.60	0.95		0.74
27	0.00	0.29			0.00	1.01		0.33
28		0.00				0.92		0.46
29						0.68		0.68
30						0.69		0.69
31						0.28		0.28
32						0.00		0.00
Promedio	1.50	1.23	1.35	0.74	1.22	1.20	0.89	1.05

Fuente: Elaboración propia

A nivel promedio, para la sección de aforo, se tiene que la velocidad vertical es de 1,05 m/s, con valores que fluctúan entre 0,0 m/s y 1,47 m/s; los cuales fueron ajustados a un perfil de distribución de tipo polinómica, tal como se aprecia en la **Figura 4.52a**; donde las mayores velocidades se presentan a una profundidad de 6,0 metros.

En la **Figura 4.52b**, se muestran los perfiles de la velocidad media horizontal y las velocidades de los años 2007 y 2008, los cuales representan los valores máximos y mínimos registrados en la sección de aforo; esto nos permite, conocer los rangos de variación transversal en relación a la forma de la sección hidráulica, la cual se caracteriza por presentar una sección compuesta que se ve uniformizada durante la época de creciente y seccionada durante la época de vaciante, generando que toda el agua de escurrimiento este direccionada por la margen izquierda del río.

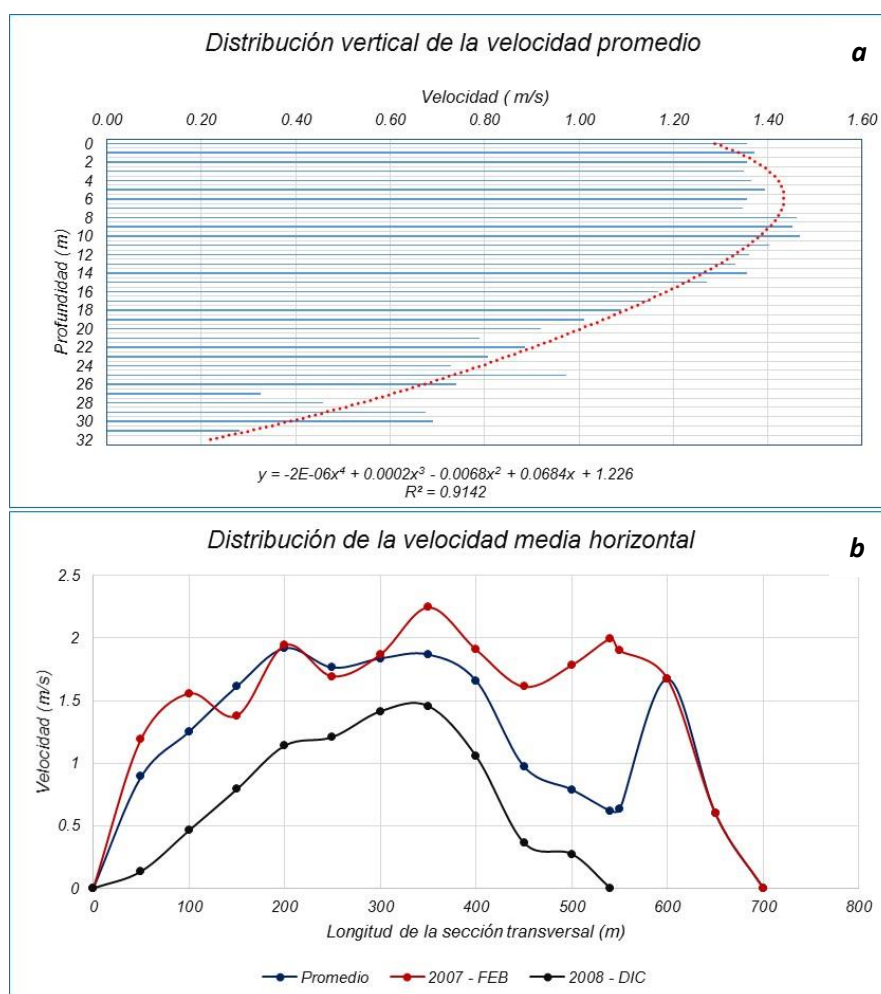


Figura 4.52. Distribución de velocidad a) vertical y b) horizontal
Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4.53**, apreciamos la relación funcional entre la velocidad media horizontal y la vertical, obtenida para la estación de aforo de Genaro Herrera, en base a los datos de aforo registrado durante el período 2007 / 2009, permitiendo ajustar una expresión algebraica de primer orden como primera aproximación; cuya distribución de valores se caracteriza por mantener una tendencia lineal; la cual nos permite representar el comportamiento entre las variables analizadas.

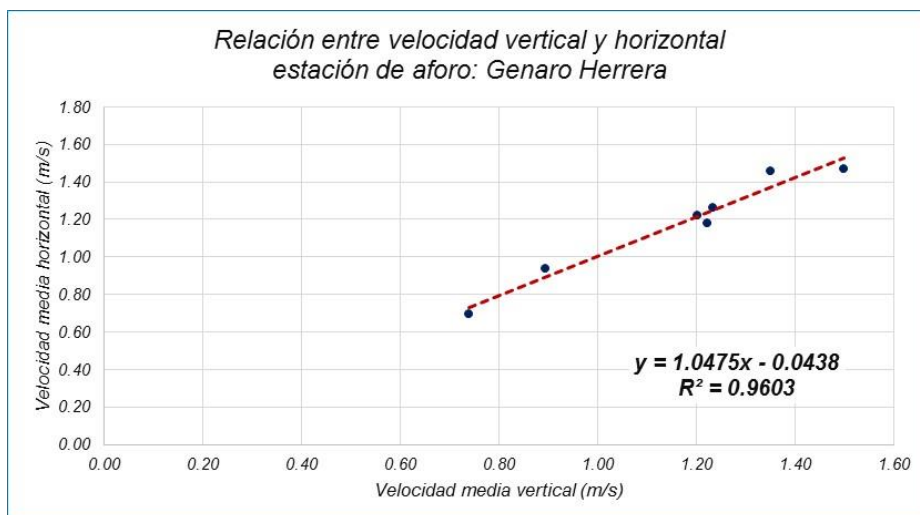


Figura 4.53. Relación entre velocidad vertical y horizontal
Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4.54**, se muestra la relación funcional entre las profundidades de la sección de aforo y la velocidad promedio horizontal, cuyo comportamiento guarda relación directa con la forma del cauce del río; es decir, que las mayores velocidades están directamente relacionadas con las mayores profundidades. La sección hidráulica analizada, se caracteriza por registrar una sección compuesta.

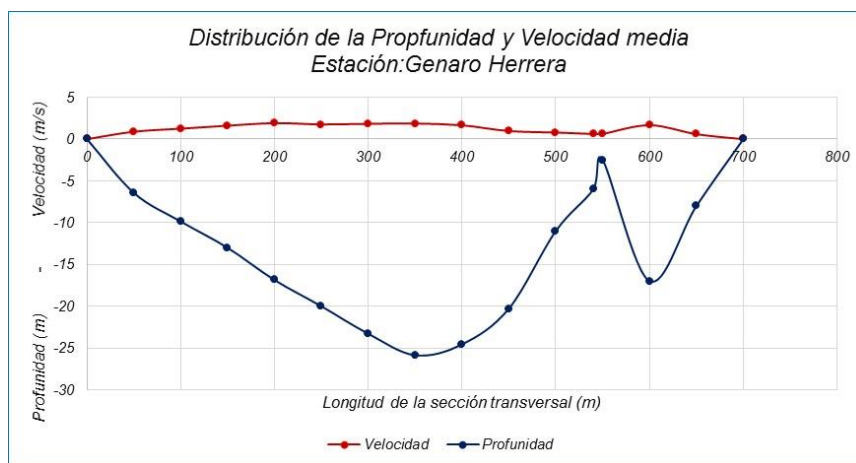


Figura 4.54. Distribución de la profundidad y velocidad
Fuente: Elaboración propia

De la serie de aforos analizada para esta estación, se seleccionaron los registrados en los años 2007, 2008 y 2009, los cuales fueron obtenidos durante los meses de abril, diciembre, mayo y junio, apreciándose que la sección hidráulica utilizadas en los aforos, fueron dos, cuyo comportamiento se ve claramente diferenciado por la forma del relieve del cauce del río, tal como se muestran en la **Figura 4.55**.

En relación a los perfiles verticales de las velocidades generados en cada uno de los aforos realizado en la estación de Genaro Herrera, se ha podido determinar que su comportamiento obedece a un ajuste de una expresión algebraica de tipo polinómica, la cual permite representar la funcionalidad de la velocidad con la profundidad del cauce del río, tal como se aprecia en la **Figura 4.56**.

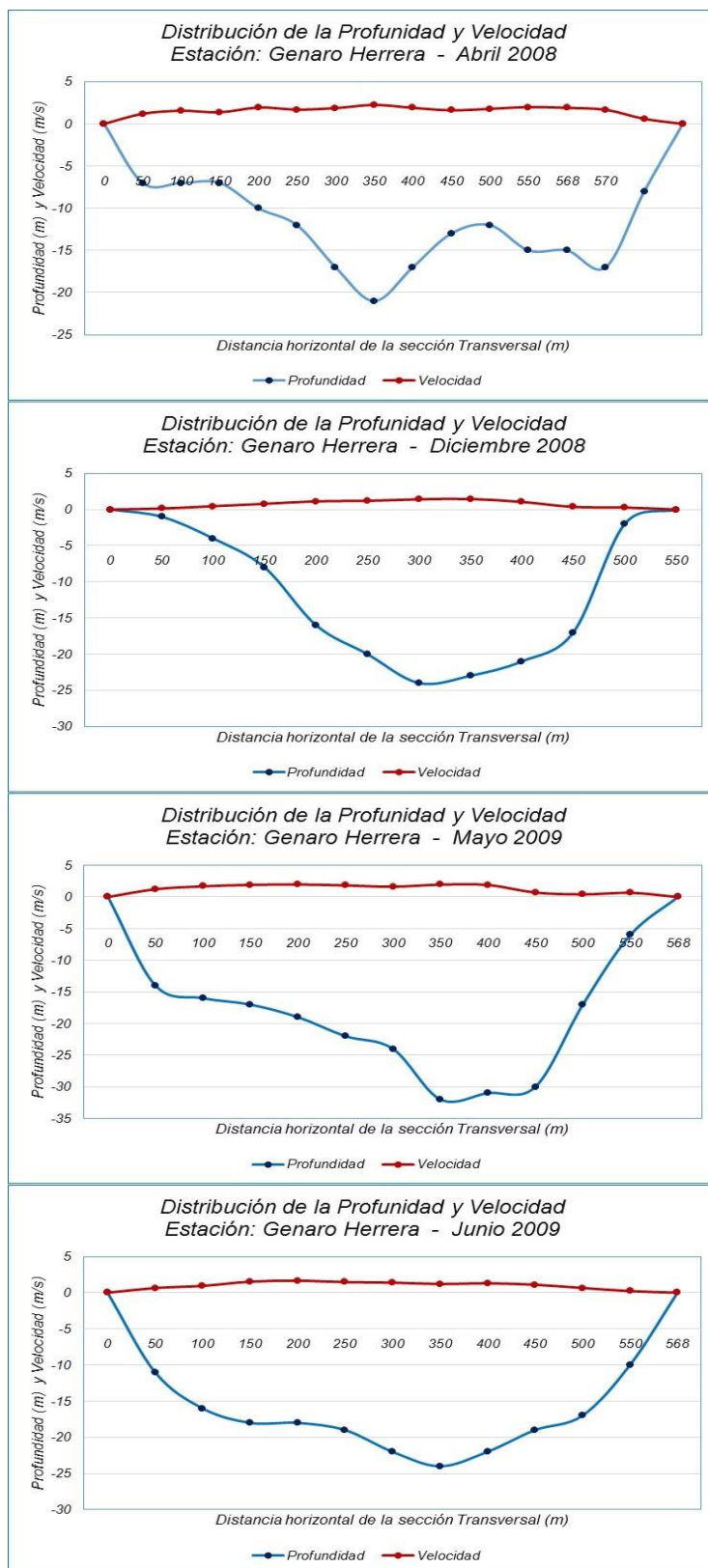


Figura 4.55. Distribución de la profundidad y velocidad - sección de aforo
 Fuente: Elaboración propia

Con relación a la velocidad horizontal, apreciamos que entre los cuatro perfiles de velocidad seleccionado, se registran diferentes comportamientos en relación a la

profundidad seleccionada (6,0 metros); lo que refleja que los aforos desarrollados están relacionados a dos tipos de sección, como es el caso del aforo de Febrero - 2007 y Abril - 2008; donde claramente se visualiza la diferencia en los perfiles de la velocidad para el punto seleccionado.

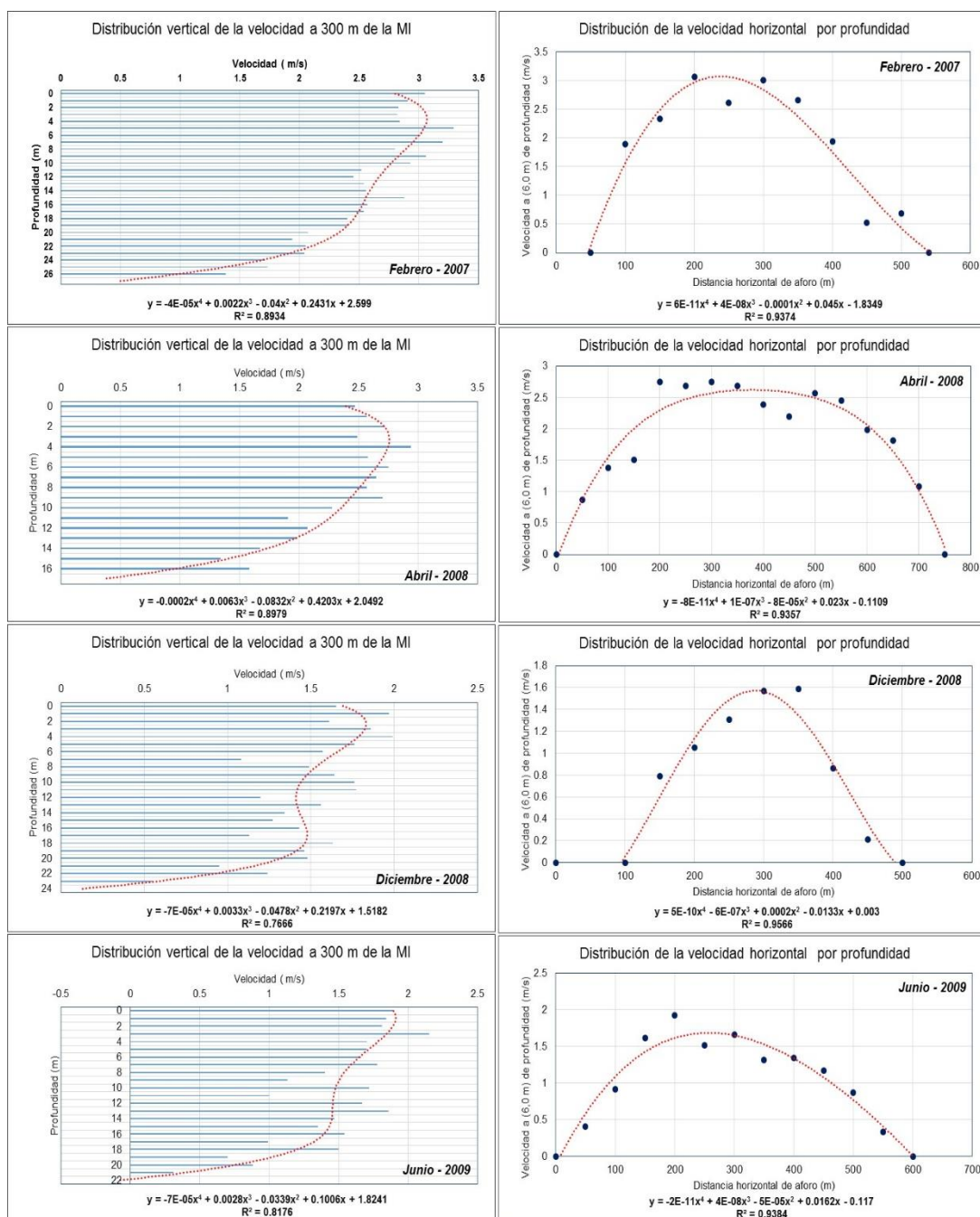


Figura 4.56. Distribución del perfil de velocidades horizontal y vertical por aforo
Fuente: Elaboración propia

h) Estación Requena:

En las **Tablas 4.25 y 4.26**, se muestran los valores promedios de las velocidades verticales, para cada una de las secciones de aforo realizadas, apreciándose que los rangos de fluctuación están entre 0,0 m/s y 1,39 m/s, valores que se han registrado para profundidades desde los 0,0 m hasta los 24,8 metros.

A nivel promedio, para la sección de aforo, se tiene que la velocidad vertical es de 0,63 m/s, con valores que fluctúan entre 0,0 m/s y 0,88 m/s; valores que fueron ajustados a un perfil de distribución de tipo polinómica, tal como se aprecia en la **Figura 4.57a**; donde las mayores velocidades, se presenta a una profundidad media de 5,0 metros.

Tabla 4.25. Distribución de velocidad vertical (m/s) – estación Requena

Profundidad	2015 Mar	2013 Abr	2010 Jun	2007 May	2007 Feb	2005 Ago	2003 Oct	2002 May	Promedio
1.4	1.22	1.35	0.65	0.70	0.93	0.31	0.35	0.92	0.83
1.9	1.32	1.31	0.66	0.79	1.00	0.30	0.38	0.84	0.84
2.4	1.33	1.26	0.71	0.70	0.99	0.42	0.33	0.81	0.85
2.9	1.12	1.23	0.68	0.72	0.88	0.40	0.38	0.81	0.81
3.4	1.19	1.39	0.49	0.67	1.01	0.34	0.35	0.83	0.80
3.9	1.19	1.34	0.75	0.50	0.99	0.34	0.27	0.94	0.84
4.4	1.23	1.33	0.75	0.62	1.09	0.36	0.35	0.87	0.87
4.9	1.37	1.28	0.79	0.91	1.11	0.41	0.33	0.96	0.88
5.4	1.28	1.35	0.81	0.77	1.07	0.31	0.33	0.94	0.87
5.9	1.39	1.21	0.77	0.80	0.99	0.45	0.34	0.96	0.86
6.4	1.29	1.32	0.71	0.85	1.11	0.46	0.30	1.05	0.87
6.9	1.26	1.23	0.69	0.96	0.98	0.37	0.37	1.06	0.87
7.4	1.19	1.29	0.68	0.99	1.01	0.24	0.32	0.99	0.85
7.9	1.23	1.15	0.86	0.84	1.08	0.40	0.35	0.94	0.86
8.4	1.48	1.17	0.64	0.84	1.04	0.20	0.31	0.92	0.84
8.9	1.21	1.15	0.63	0.82	1.03	0.35	0.28	0.97	0.82
9.4	1.50	1.22	0.64	0.83	1.05	0.37	0.34	0.96	0.82
9.9	1.34	1.17	0.71	0.68	1.14	0.36	0.28	0.96	0.80
10.4	1.22	1.10	0.62	0.85	1.03	0.43	0.29	1.01	0.77
10.9	1.23	0.97	0.71	0.60	0.98	0.28	0.32	1.01	0.74
11.4	1.12	1.02	0.52	0.62	0.86	0.34	0.24	0.95	0.71
11.9	1.14	1.12	0.72	0.66	0.96	0.41	0.20	0.94	0.67
12.4	0.98	1.11	0.68	0.71	0.86	0.23	0.17	1.01	0.65
12.9	0.74	1.00	0.72	0.65	0.82	0.24	0.00	0.89	0.68
Promedio	1.00	1.03	0.57	0.70	0.89	0.33	0.30	0.80	0.63

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.26. Distribución de velocidad vertical (m/s) – estación Requena

Profundidad	2015 Mar	2013 Abr	2010 Jun	2007 May	2007 Feb	2005 Ago	2003 Oct	2002 May	Promedio
13.4	0.83	1.02	0.49	0.65	0.85	0.21		0.75	0.70
13.9	0.65	0.84	0.43	0.69	0.84	0.25		0.81	0.67
14.4	0.52	0.88	0.51	0.62	0.98	0.00		0.86	0.64
14.9	0.61	0.95	0.50	0.56	0.97			0.82	0.65
15.3	0.74	0.84	0.63	0.75	0.82			0.77	0.63
15.8	0.83	0.91	0.59	0.49	0.74			0.57	0.56
16.3	0.61	0.81	0.60	0.48	0.84			0.51	0.60
16.8	0.60	0.80	0.51	0.00	0.53			0.56	0.52
17.3	0.48	0.83	0.58		0.41			0.56	0.60
17.8	0.29	0.66	0.47		0.52			0.52	0.50
18.3	0.17	0.78	0.53		0.47			0.51	0.51
18.8	0.00	0.56	0.52		0.00			0.43	0.37
19.3		0.31	0.46					0.47	0.42
19.8		0.00	0.54					0.48	0.45
20.3			0.38					0.00	0.40
20.8			0.36						0.49
21.3			0.36						0.38
21.8			0.33						0.25
22.3			0.41						0.52
22.8			0.52						0.37
23.3			0.22						0.17
23.8			0.28						0.23
24.3			0.31						0.15
24.8			0.00						0.00
Promedio	1.00	1.03	0.57	0.70	0.89	0.33	0.30	0.80	0.63

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4.57b**, se muestran los perfiles de la velocidad media horizontal y la velocidad de los años 2009 y 2012, los cuales representan los valores máximos y mínimos registrados en la sección de aforo; esto nos permite, conocer los rangos de variación transversal de la velocidad de la corriente, en relación a la forma de la sección hidráulica, la cual se caracteriza por presentar una sección estable muy profunda; sin embargo, se ha podido detectar que los aforos han sido realizados en dos secciones diferentes, por la variabilidad en el lecho del río. La sección más profunda se ubica cerca de la margen izquierda.

En la **Figura 4.58**, apreciamos la relación funcional entre la velocidad media horizontal y vertical, obtenidas para la estación de aforo de Requena, en base a los datos de aforo registrado durante el período 2002 / 2015, fueron ajustados a una expresión

algebraica de primer orden, como primera aproximación, cuya distribución de los valores se caracteriza por mantener una tendencia lineal creciente; permitiendo de esta manera representar el comportamiento entre las variables analizadas.

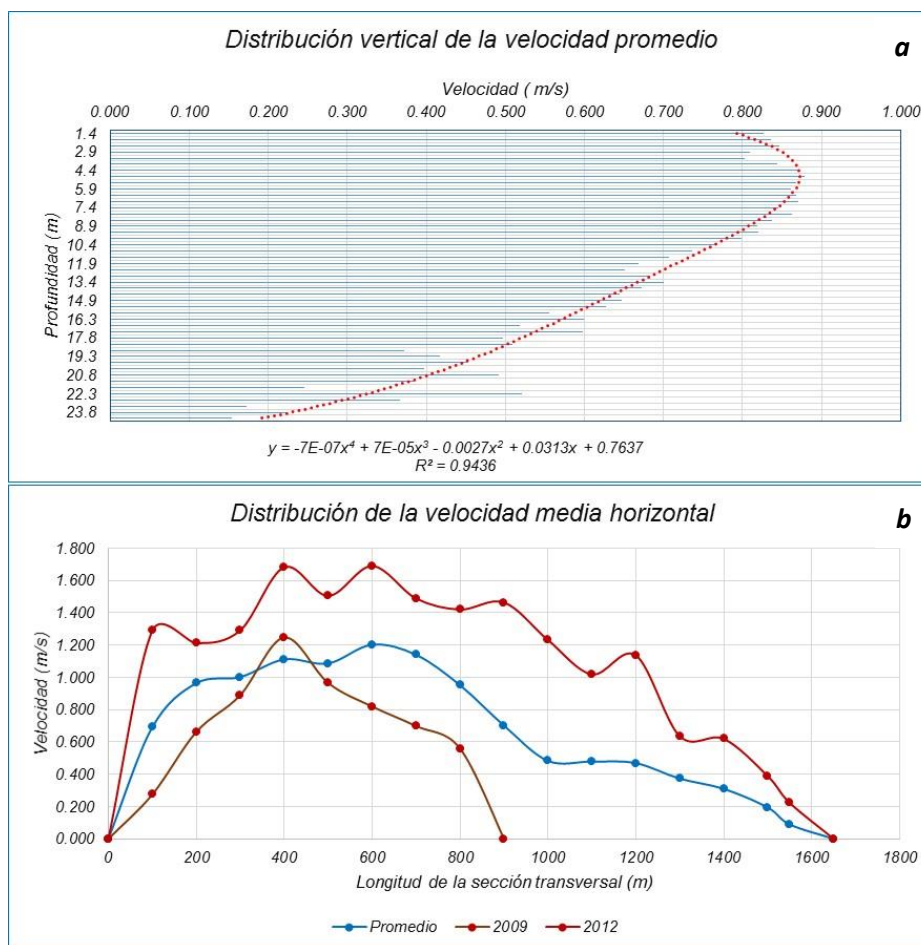


Figura 4.57. Distribución de velocidad a) vertical y b) horizontal
Fuente: Elaboración propia

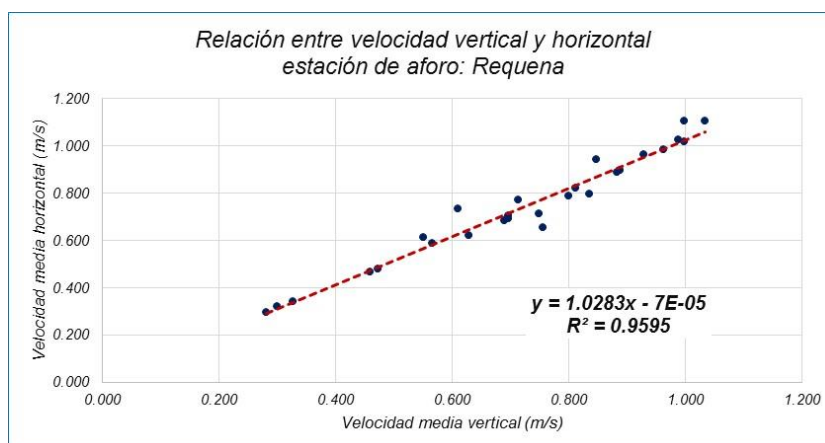


Figura 4.58. Relación entre velocidad vertical y horizontal
Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4.59**, se muestra la relación funcional entre las profundidades de la sección de aforo y la velocidad promedio horizontal obtenidas de los aforos,

observándose que hay una relación directa entre las mayores velocidades y la profundidad de la sección, la cual se ubica cerca de la margen izquierda del río; mientras que en la margen derecha se caracteriza por presentar bajas profundidades.

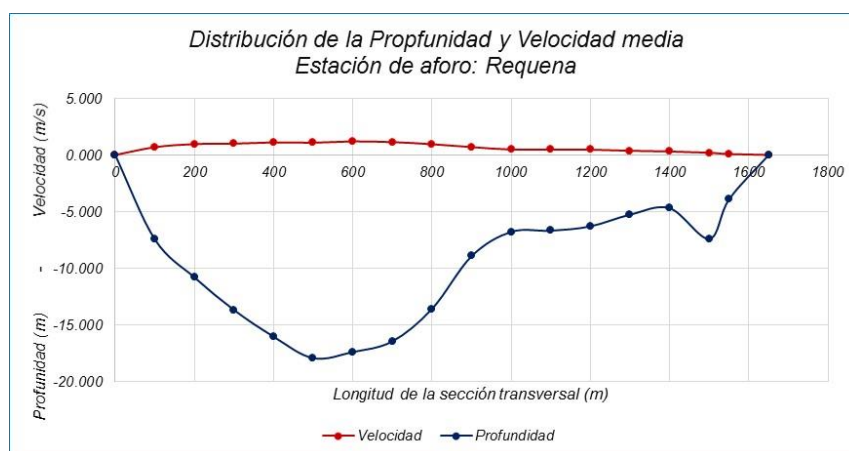


Figura 4.59. Distribución de la profundidad y velocidad
Fuente: Elaboración propia

De la serie de aforos analizada para esta estación, se seleccionaron los registrados en los años 2002, 2005, 2010 y 2015, los cuales fueron obtenidos durante los meses de mayo, abril, junio y marzo, apreciándose que la sección hidráulica utilizada en los aforos, fueron dos, cuyo comportamiento se ve claramente diferenciado por la forma del relieve del cauce del río, tal como se muestra en la **Figura 4.60**.

En relación a los perfiles verticales de las velocidades generadas en cada uno de los aforo realizado en la estación Requena, se ha observado cierta variabilidad en los módulos desde el fondo del cauce hasta la superficie de la corriente; sin embargo, se ha podido ajustar una expresión algebraica de tipo polinómica que nos ayudara a conocer la relación nivel velocidad de la corriente en dichas secciones de aforo, tal como se aprecia en la **Figura 4.61**, donde además apreciamos que la velocidad máxima se registra aproximadamente a una profundidad de 4,0 metros.

En relación a la velocidad horizontal, determinada para uno de los planos que tiene como referencias la profundidad del cauce, se ha cada determinado como varía la velocidad transversal en función con la profundidad del cauce del río. Esto nos ayuda a entender como los niveles de concentración de los flujos de corriente, juegan un papel preponderante en la dinámica de la hidráulica del río, proceso que se puede ver claramente en la **Figura 4.61**.

Si bien es cierto, del análisis se ha detectado, que los aforos generados en la estación Requena, han sido registrados o medidos en más de una sección hidráulica; sin embargo, podemos indicar que las energía potencial y cinética que lleva el río logran mantener el procesos de balance de energía en el transporte de los flujos de agua.

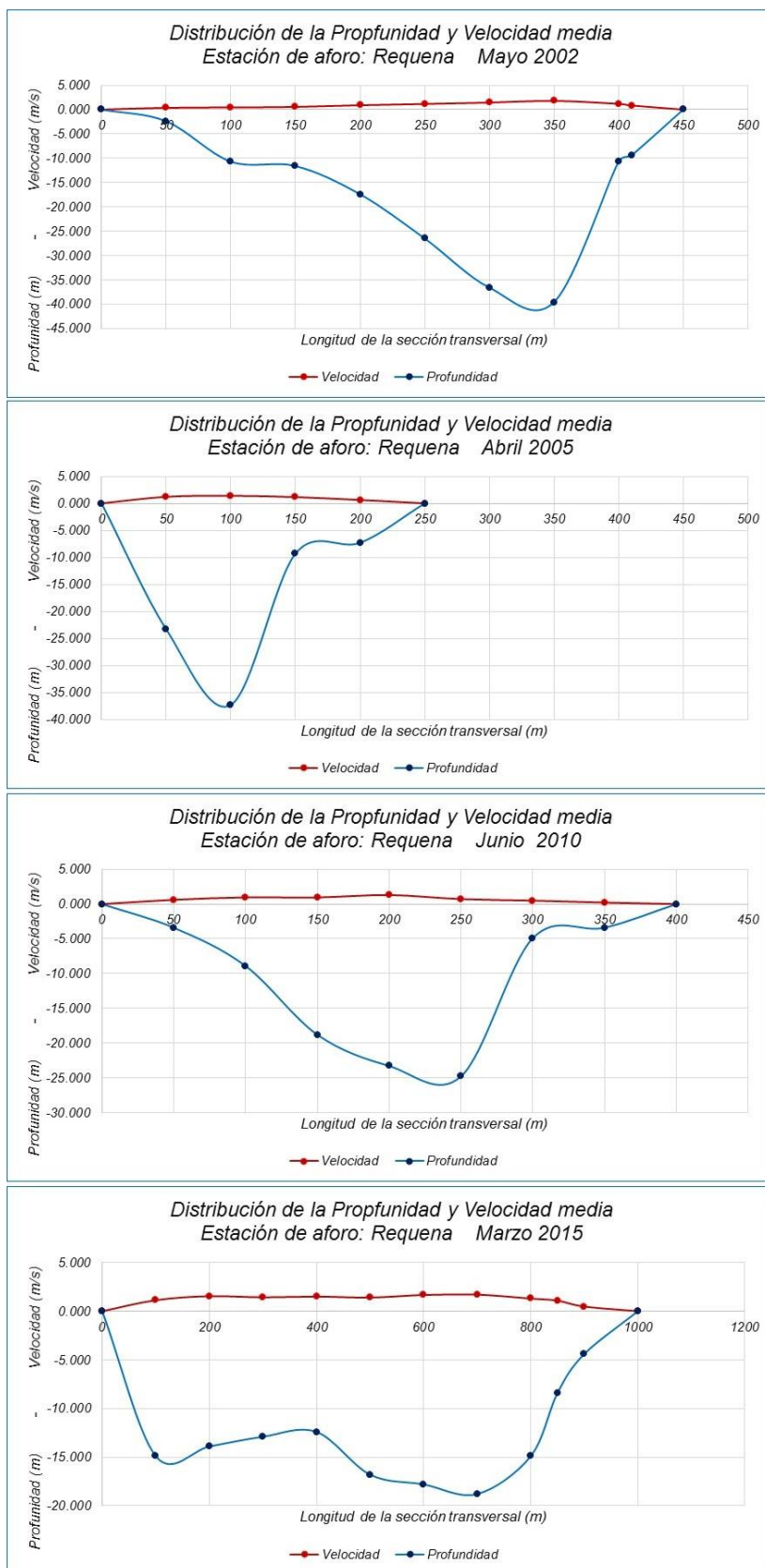


Figura 4.60. Distribución de la profundidad y velocidad - sección de aforo
 Fuente: Elaboración propia

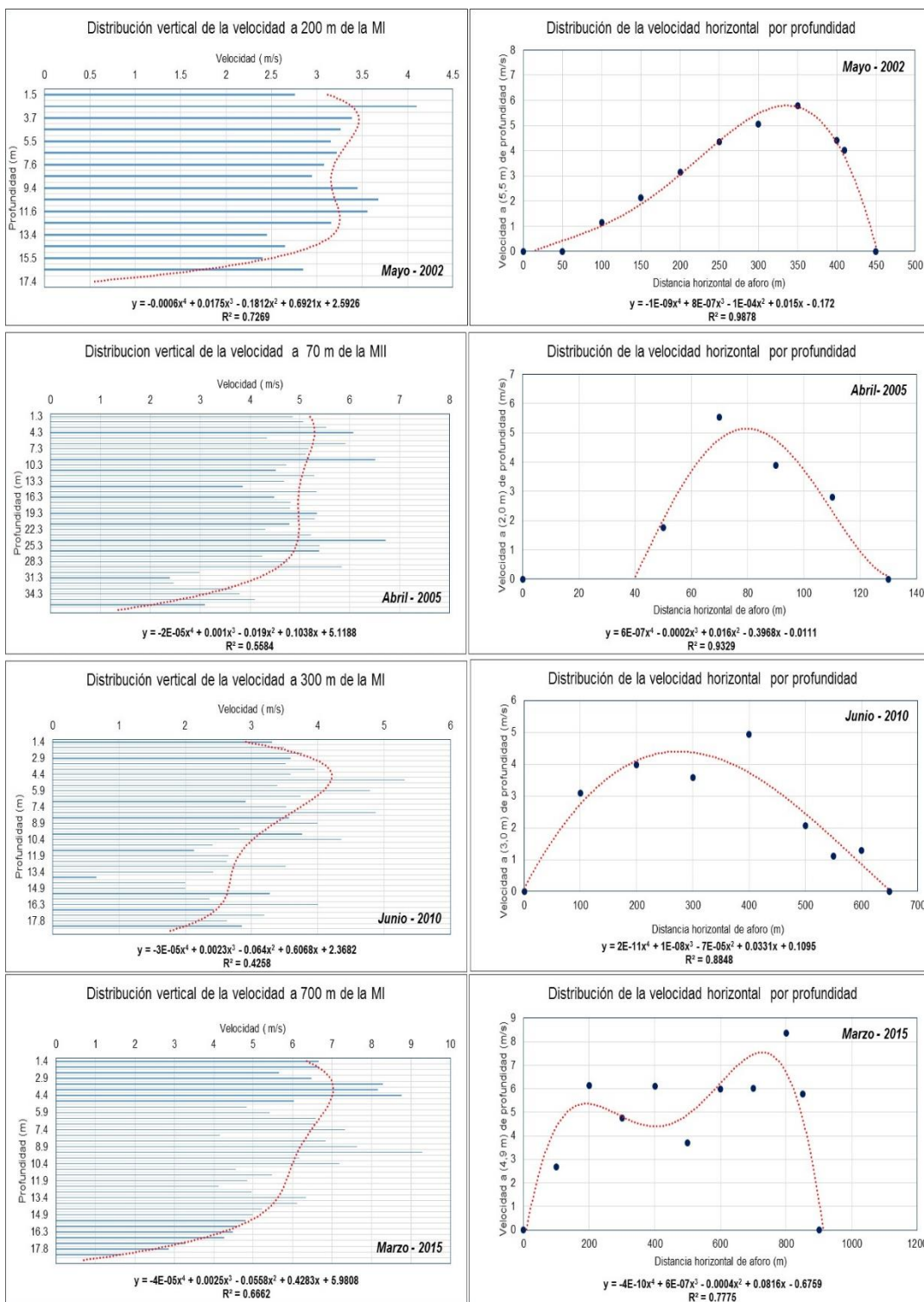


Figura 4.61. Distribución del perfil de velocidades horizontal y vertical por aforo
 Fuente: Elaboración propia

4.4 Análisis de las secciones hidráulicas

En esta sección buscamos conocer como varían las secciones de aforo a los largo del río Ucayali, para lo cual desarrollamos los análisis correspondientes a conocer la variabilidad del cauce del río, a través de las comparaciones de las secciones hidráulicas generadas, en cada una de las estaciones de aforo.

a) Estación Lagarto

El análisis de las secciones hidráulica en esta estación, estuvo conformada por 37 aforos realizados durante el período de 2008 / 2015, los cuales fueron desarrollados entre los meses de febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre y diciembre, abarcando completamente tanto el período de vaciante como de crecente.

Sobre la base de estos datos, se generó las secciones promedios, que fueron utilizadas para desarrollar los análisis comparativos; detectándose de esta manera, ligeras discrepancias relacionadas básicamente a los mecanismos de sedimentación y erosión en el cauce del río.

En la **Figura 4.62**, apreciamos las diferentes secciones hidráulicas utilizadas en la realización de los aforos de la estación Lagarto, mostrando cada una de ellas una variabilidad en su perfil transversal que van desde las forma triangular hasta semi circular.

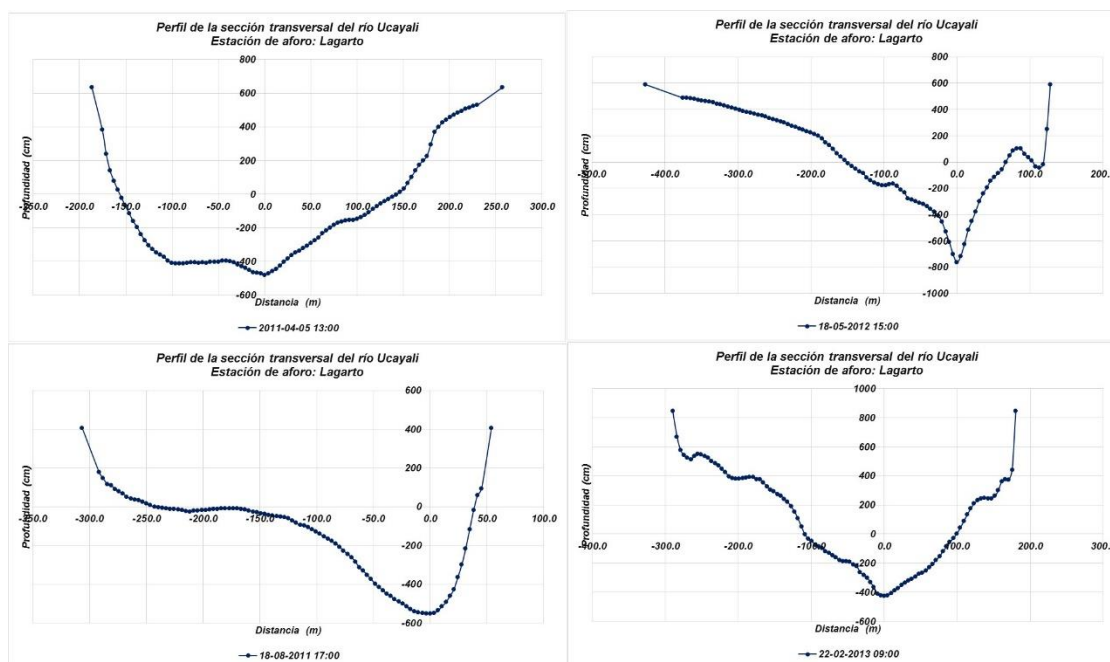


Figura 4.62. Secciones hidráulicas utilizadas en los aforos de la estación Lagarto
Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4.63**, se muestran los promedios obtenidos para las secciones hidráulicas que tuvieron una mayor recurrencia en los aforos, permitiendo con ellos poder generar los análisis comparativos, para determinar los cambios que experimenta la caja hidráulica relacionados a los procesos de sedimentación y erosión.

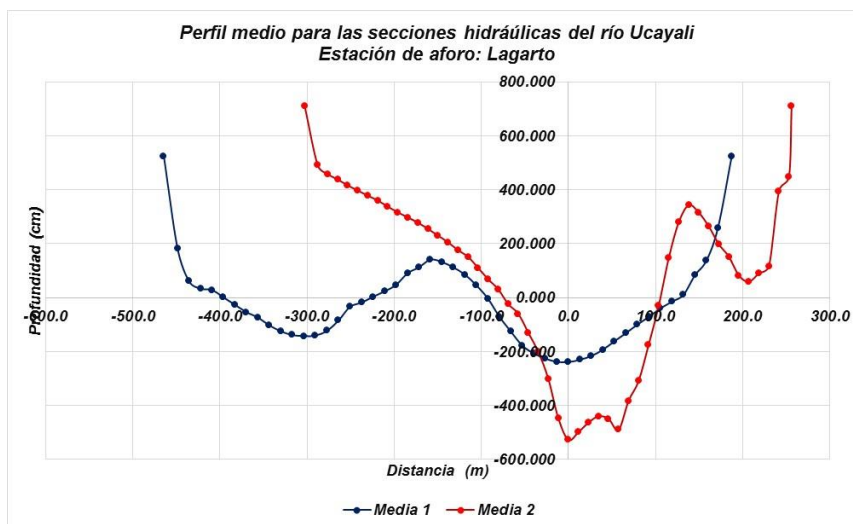


Figura 4.63. Promedios de las secciones hidráulicas en la estación Lagarto
 Fuente: Elaboración propia

Consideramos importante iniciar el análisis comparativo seleccionando un periodo continuo de aforos realizados en la estación Lagarto, para ellos escogimos el año 2009 y los aforos del mes de marzo (20, 21, 22 y 23), apreciando para cada una de las fechas su correspondiente perfil hidráulico con el valor medio, identificándose no solo variación en el lecho del río; sino también en algunos casos en la margen derecha e izquierda, tal como se aprecia en la **Figura 4.64**.

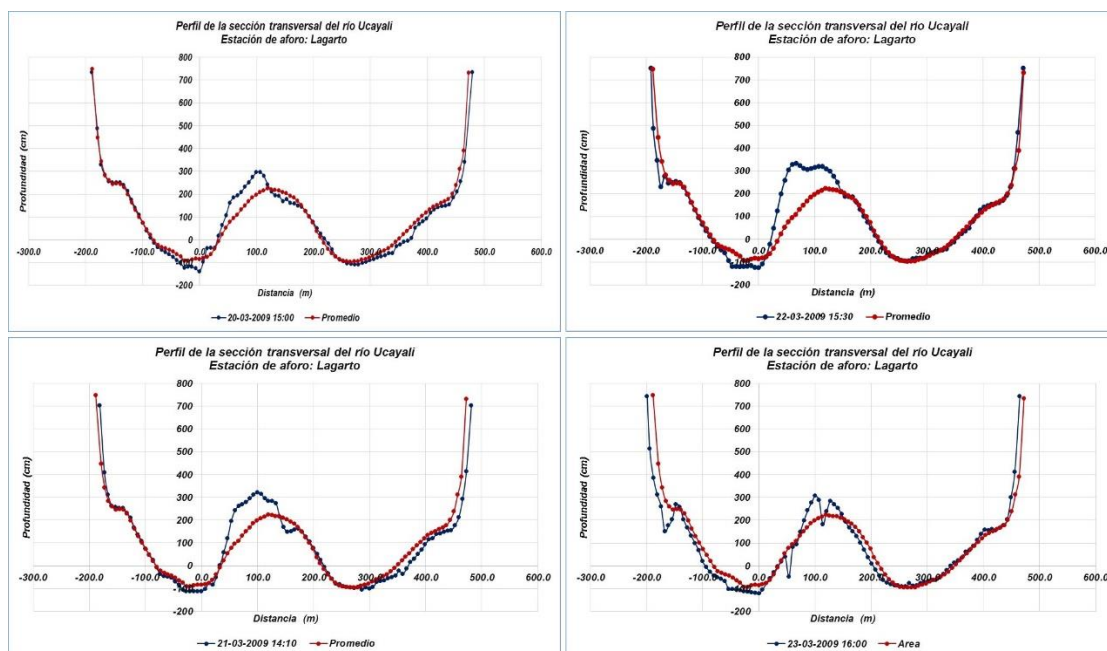


Figura 4.64. Perfiles hidráulicos del río Ucayali – Estación Lagarto (2009/03/20)
 Fuente: Elaboración propia

Para este periodo de aforo, se ha podido determinar que el perfil de la sección experimento cambios que oscilan entre 0,51 m a 4,87 m; habiéndose alcanzado una variación total de 5,38 metros, registrándose las mayores variaciones en el lecho del río y en forma más notoria en la zona ubicada cerca de la margen izquierda.

El análisis para el periodo comprendido entre julio / noviembre de 2007 y julio / octubre de 2010, vuelven a mostrar la variabilidad en la sección hidráulica, asentadas principalmente en el lecho del río y en forma específica en la parte central, lo que ha reflejado una variación en el perímetro de 0,56 m / 2010 y de 14,9 m / 2007, como se observa en la **Figura 4.65**.

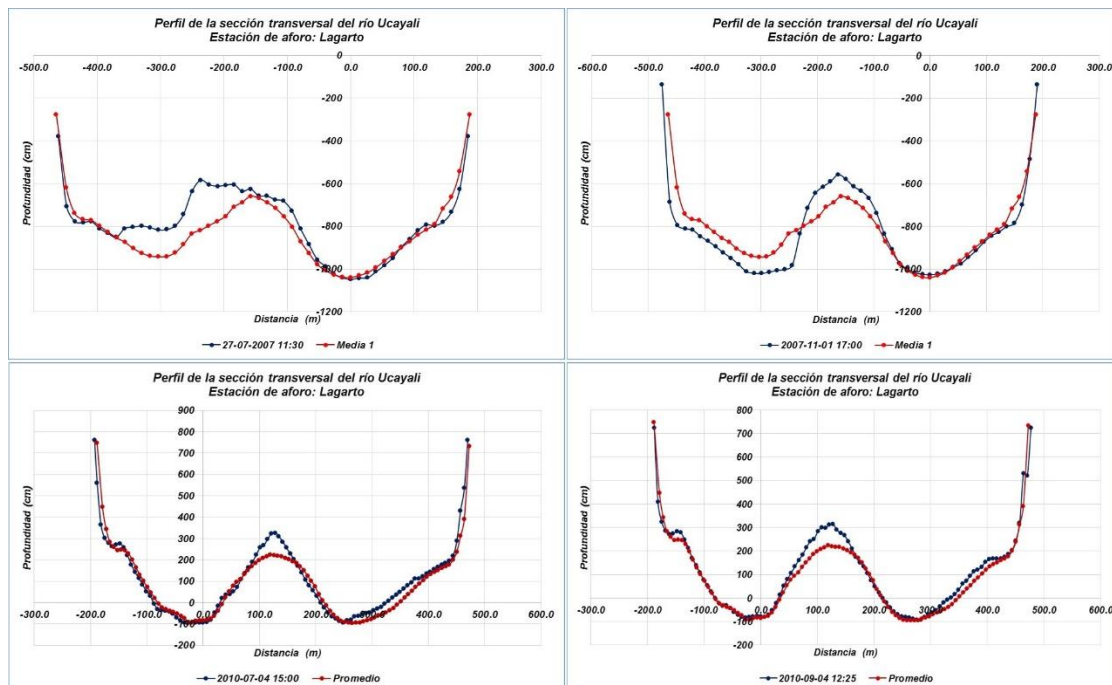


Figura 4.65. Perfil de la sección hidráulica del río Ucayali – Estación Lagarto
Fuente: Elaboración propia

Con los parámetros hidráulicos de área, perímetro y radio hidráulico generados a través de las campañas de aforo para cada una de las secciones de aforo, se procedió a realizar los análisis estadísticos para determinar las relaciones funciones que permita representar el comportamiento entre ellas a través de expresiones algebraicas, como las que se muestran en la **Figura 4.66**, donde apreciamos que de toda la serie de valores ploteados, estas obedecen a dos tipos de comportamiento y tendencias, las cuales son representadas por las expresiones mostradas; sin embargo, se presentan ciertos valores que fueron excluidos por generar distorsión en la curva.

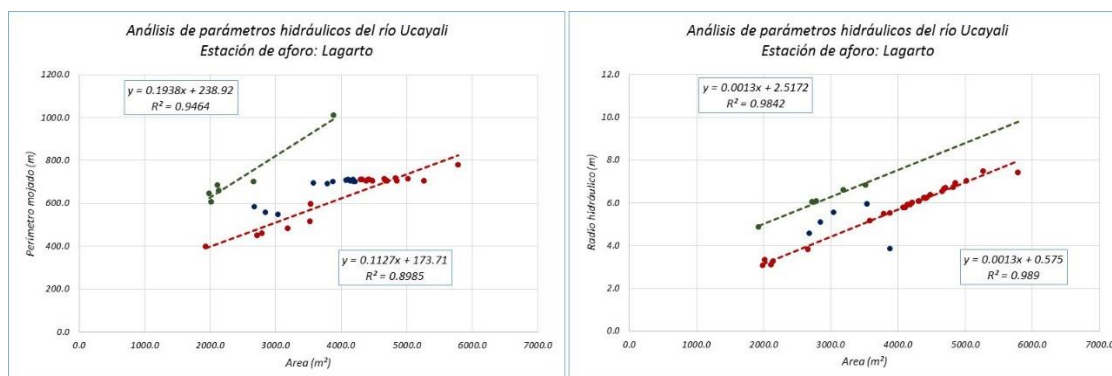


Figura 4.66. Análisis de regresión de los parámetros hidráulicos – Estación Lagarto
Fuente: Elaboración propia

b) Estación Puerto Inca

El análisis de las secciones hidráulicas en esta estación, estuvo conformada por 10 aforos realizados durante el período de 2012 / 2015, los cuales fueron desarrollados entre los meses de enero, febrero, mayo, setiembre y diciembre, abarcando completamente tanto el período de vaciante como de crecente.

Esta base de datos nos permitió conocer que cada uno de los aforos realizados provienen de la misma estación hidrológica de Puerto Inca, para la cual se obtuvo una sección media, tal como se muestra en la **Figura 4.67**.

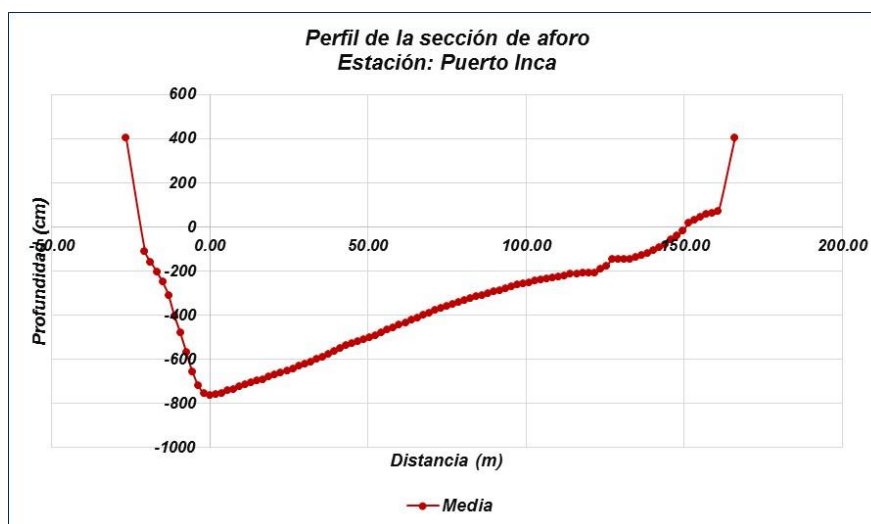


Figura 4.67. Secciones hidráulicas media - Estación Puerto Inca
Fuente: Elaboración propia

Con dicha sección hidráulica, procedimos a realizar los análisis comparativos, para determinar posibles cambios en el perfil de la sección de aforo, para lo cual seleccionamos dos periodos:

- *Diario:* seleccionamos los días 17, 18, 19 y 20 de febrero de 2013
Los aforos realizados durante este período, muestra cierta variabilidad en el perfil de la sección, en relación a las horas de los aforos realizados, los cuales se pueden apreciar en la **Figura 4.68**. Dicho cambios son más notorios en el lecho del río y en forma especial en la zona ubicada cerca de la margen derecha del río.

Primero veremos la variación del perfil hidráulico, en relación al perímetro mojado de la sección, apreciándose que tiene una fluctuación entre 0,90 m a 4,66 m; en apenas cuatro (04) días; variación que se da íntegramente en el lecho del río.
- *Mensual:* seleccionamos los meses de mayo y setiembre del 2013
Para esta escala temporal, comparamos las secciones hidráulicas de los meses de mayo y setiembre del año 2013, apreciándose que la variabilidad registrada entre las secciones, está básicamente en el lecho del río y en forma específica en la zona colindante hacia la margen derecha del río (**Figura 4.69**).

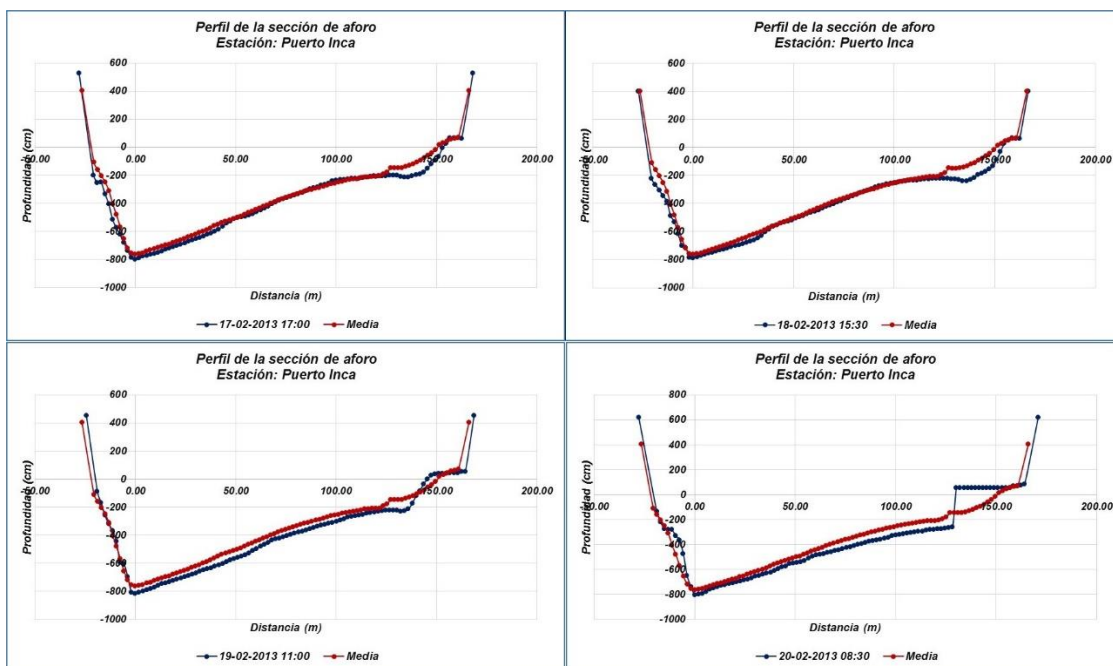


Figura 4.68. Perfil hidráulico del río Pachitea – Estación Puerto Inca (2012/02/17)
Fuente: Elaboración propia

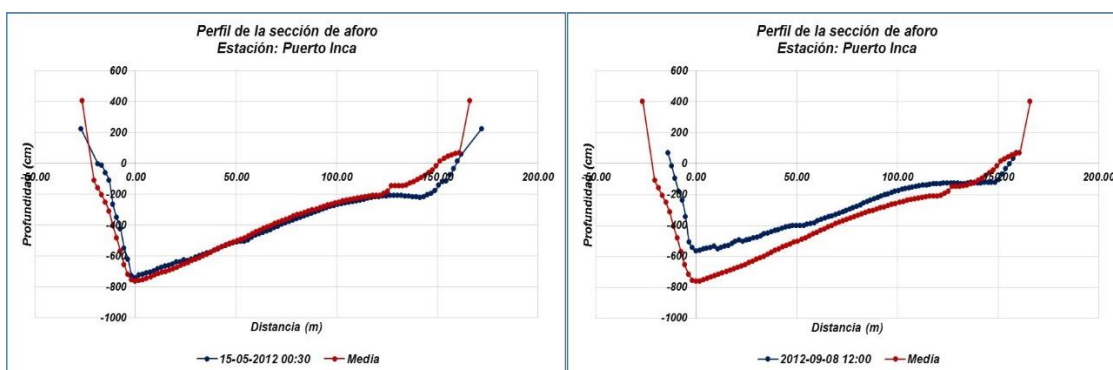


Figura 4.69. Perfil hidráulico del río Pachitea – Estación Puerto Inca (2010/05)
Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4.70**, se muestran las relaciones funcionales entre los parámetros hidráulicos de la sección de aforo, reflejando una buena representatividad entre ellas.

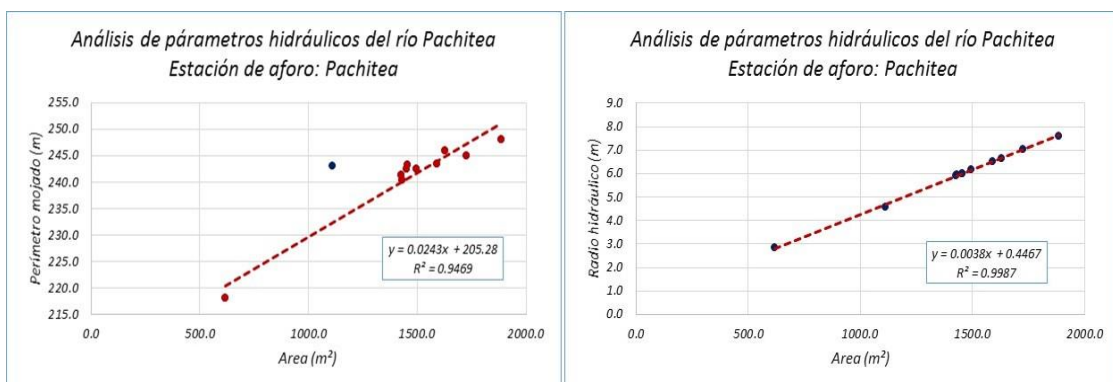


Figura 4.70. Análisis de regresión de los parámetros hidráulicos – Estación Pto. Inca
Fuente: Elaboración propia

c) Estación Pucallpa

El análisis de las secciones hidráulicas en esta estación, estuvo conformada por 12 aforos realizados durante el período de 2001 / 2012, los cuales fueron desarrollados entre los meses de febrero, marzo, mayo, junio, octubre y diciembre, abarcando completamente tanto el período de vaciante como de crecente.

Sobre la base de estos datos, se generó las secciones promedios, que fueron utilizadas para desarrollar los análisis comparativos; detectándose de esta manera, ligeras discrepancias en los perfiles de las secciones hidráulicas utilizadas en los aforos volumétricos del río Ucayali.

En la **Figura 4.71**, apreciamos las diferentes secciones hidráulicas utilizadas en la realización de los aforos de la estación Pucallpa, mostrando cada una de ellas una variabilidad en su perfil transversal que van desde las forma triangular hasta rectangular.

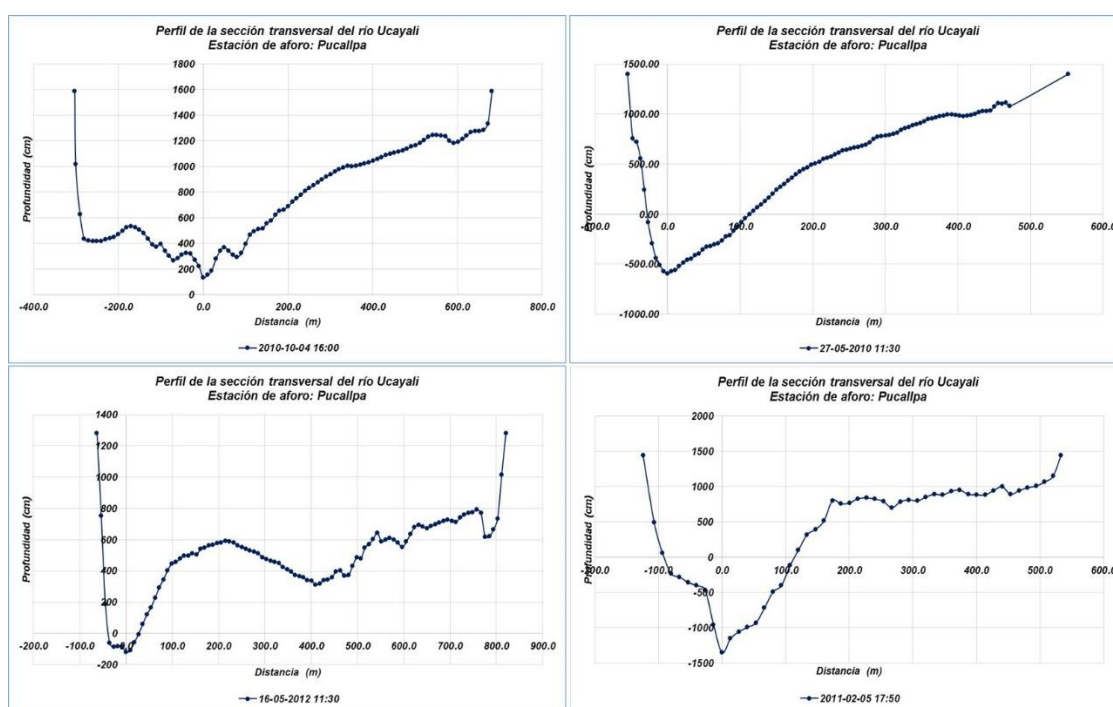


Figura 4.71. Secciones hidráulicas utilizadas en los aforos - estación Pucallpa

Fuente: Elaboración propia

La variabilidad en la forma de la sección de aforo, nos da una idea clara de la dinámica fluvial del río Ucayali y de la zona de ubicación de la caja hidráulica principal sujeta a procesos de navegación. Los cuatro perfiles mostrados, presentan diferencias importantes en el cauce del río (lecho), lo que reflejaría procesos de cambios significativos como mecanismos de acción de la erosión y sedimentación.

En la **Figura 4.72**, se muestran los promedios obtenidos para las secciones hidráulicas que tuvieron una mayor recurrencia en los aforos, permitiendo con ellos poder generar los análisis comparativos, para determinar los cambios que experimenta la caja hidráulica relacionados a los procesos de la dinámica fluvial, relacionadas al flujo de transporte de sedimentos en suspensión y de fondo.

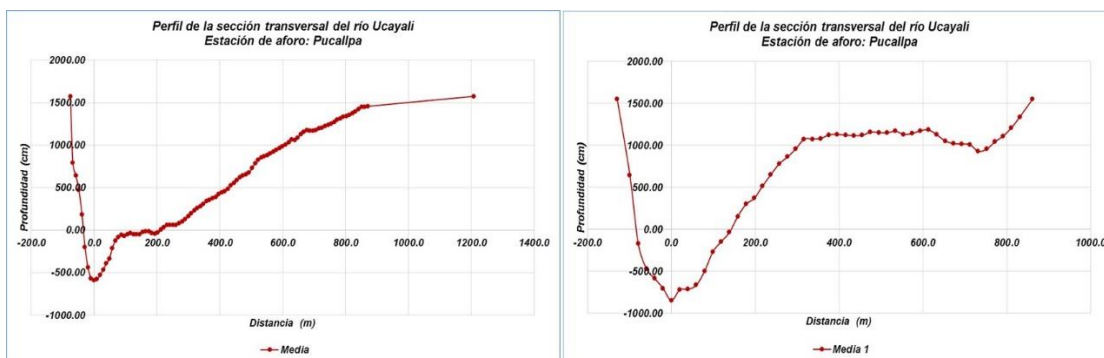


Figura 4.72. Promedios de las secciones hidráulicas en la estación Pucallpa
Fuente: Elaboración propia

Consideramos importante iniciar el análisis comparativo seleccionando un periodo continuo de aforos realizados en la estación Pucallpa, para ellos escogimos el año 2009 (marzo 16 y 28) y 2010 (mayo 04), apreciando para cada una de las fechas su correspondiente perfil hidráulico con el valor medio, identificándose no solo variación en el lecho del río; sino también en algunos casos en la margen derecha e izquierda, tal como se aprecia en la **Figura 4.73**.

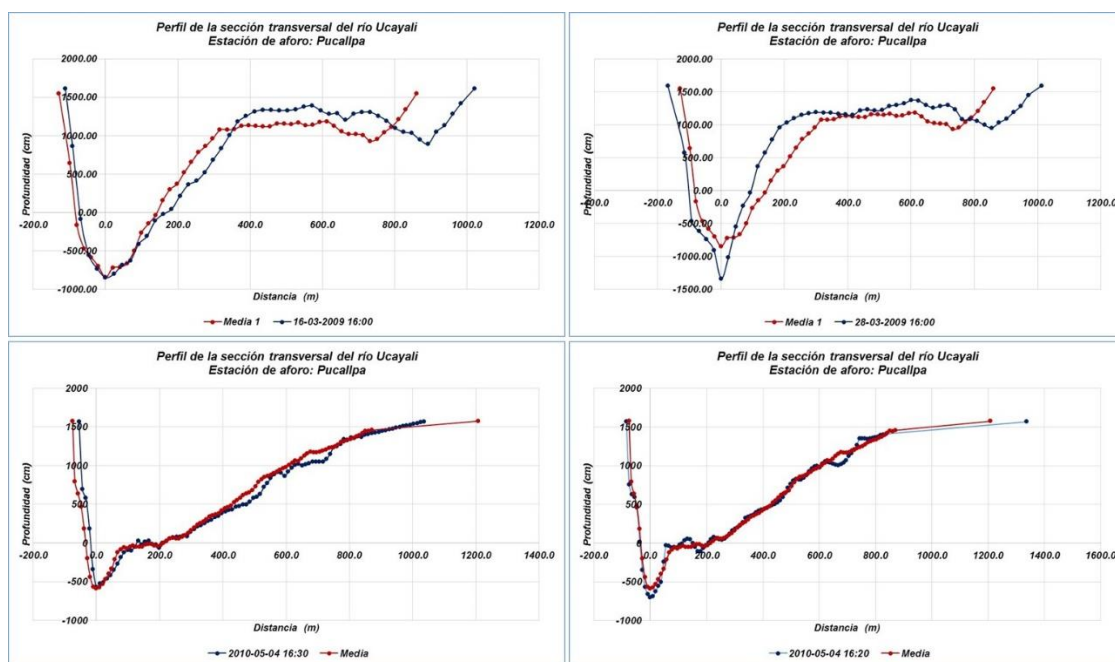


Figura 4.73. Perfiles hidráulicos del río Ucayali – Estación Pucallpa (2009)
Fuente: Elaboración propia

Para las secciones hidráulicas comparadas con sus medias, se ha determinado cierto niveles de discrepancias entre los promedios de los perímetros mojados alcanzándose 22,00 m (2009) y 343,4 m (2010), de igual manera para el área mojada con 816,72 m² (2009) y 318,33 m² (2010). Estas variaciones continuas en los aforos, sujeta a la misma dinámica fluvial del río Ucayali, nos estaría mostrando los mecanismos de evolución del lecho del río ante los procesos de sedimentación y erosión, ocasionado o acelerado por las acciones antrópicas sobre la cuenca, y en forma especial sobre el bosque ribereño, dando paso al movimiento del cauce del río sobre la llanura amazónica.

El análisis realizado para el periodo comprendido entre marzo / 2009 y febrero / 2011 y mayo / octubre de 2010, vuelven a mostrar la variabilidad en la sección hidráulica, asentadas principalmente en el lecho del río y en forma específica en la parte central, lo que ha reflejado una variación en el perímetro de 430,57 m / 2009 y de 71,41 m / 2010, como se observa en la **Figura 4.74**.

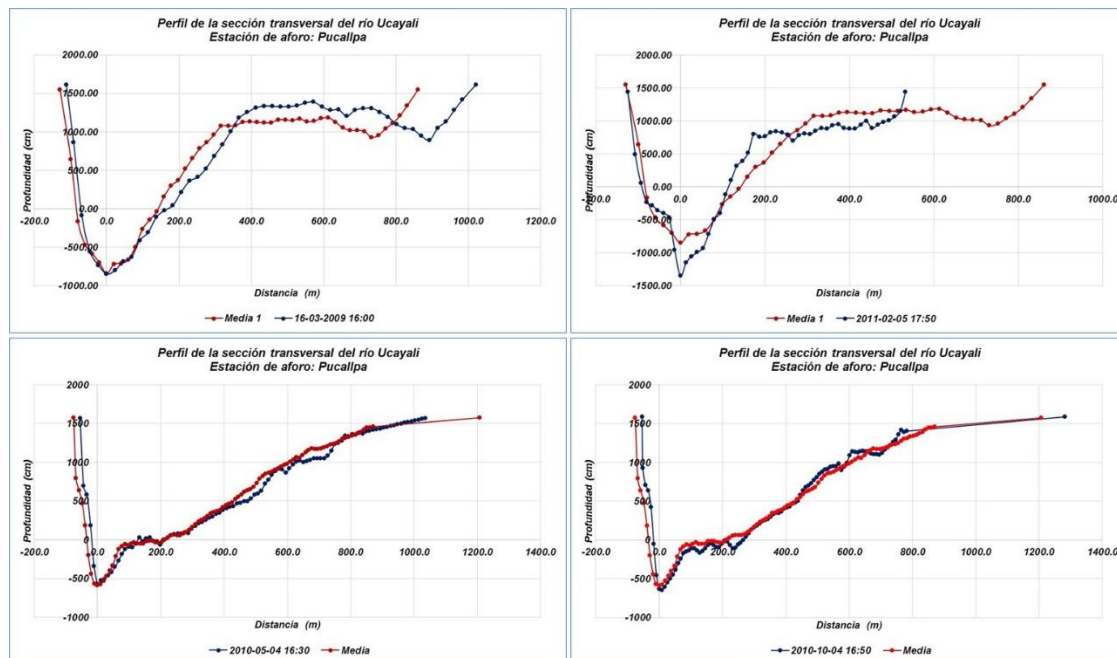


Figura 4.74. Perfil de la sección hidráulica en río Ucayali – Estación Pucallpa
Fuente: Elaboración propia

Con los parámetros hidráulicos de área, perímetro y radio hidráulico generados a través de las campañas de aforo para cada una de las secciones de aforo, se procedió a realizar los análisis estadísticos para determinar las relaciones funciones que permita representar el comportamiento entre ellas a través de expresiones algebraicas, como las que se muestran en la **Figura 4.75**, donde apreciamos que de toda la serie de valores ploteados, estas obedecen a dos tipos de comportamiento y tendencias, las cuales son representadas por ecuaciones de tipo lineal; sin embargo, se presentan ciertos valores que fueron excluidos por generar distorsión en la curva.

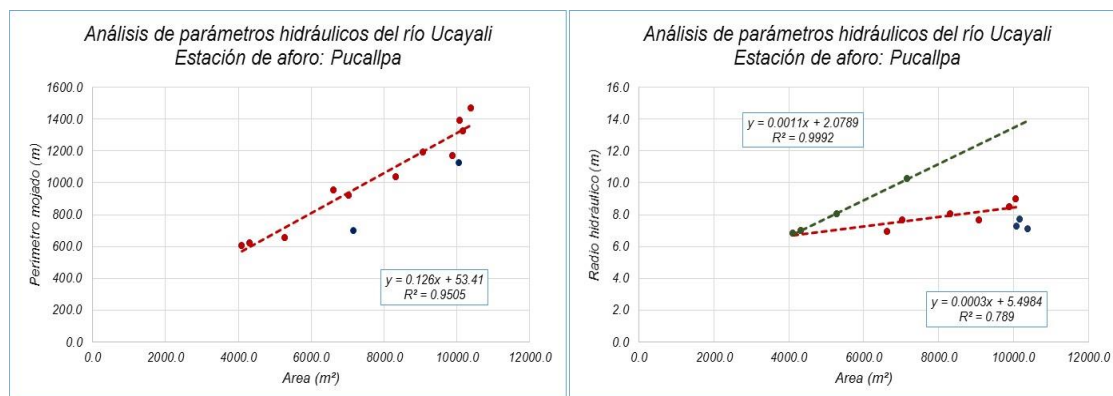


Figura 4.75. Análisis de regresión de los parámetros hidráulicos – Estación Pucallpa
Fuente: Elaboración propia

d) Estación Requena

El análisis de las secciones hidráulicas en esta estación, estuvo conformada por 60 aforos realizados durante el período de 2003 / 2015, los cuales fueron desarrollados entre los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre y diciembre, abarcando completamente tanto el período de vaciante como de creciente.

Sobre la base de estos datos, se generó las secciones promedios, que fueron utilizadas para desarrollar los análisis comparativos; detectándose de esta manera, ligeras discrepancias relacionadas básicamente a la misma dinámica fluvial del río y a los procesos inherentes al ciclo hidrológico que se da en la cuenca amazónica y sujeta a fuerte actividad antrópica.

En la **Figura 4.76**, apreciamos las diferentes secciones hidráulicas utilizadas en la realización de los aforos de la estación Requena, mostrando cada una de ellas una variabilidad en su perfil transversal que van desde las forma triangular hasta rectangular.

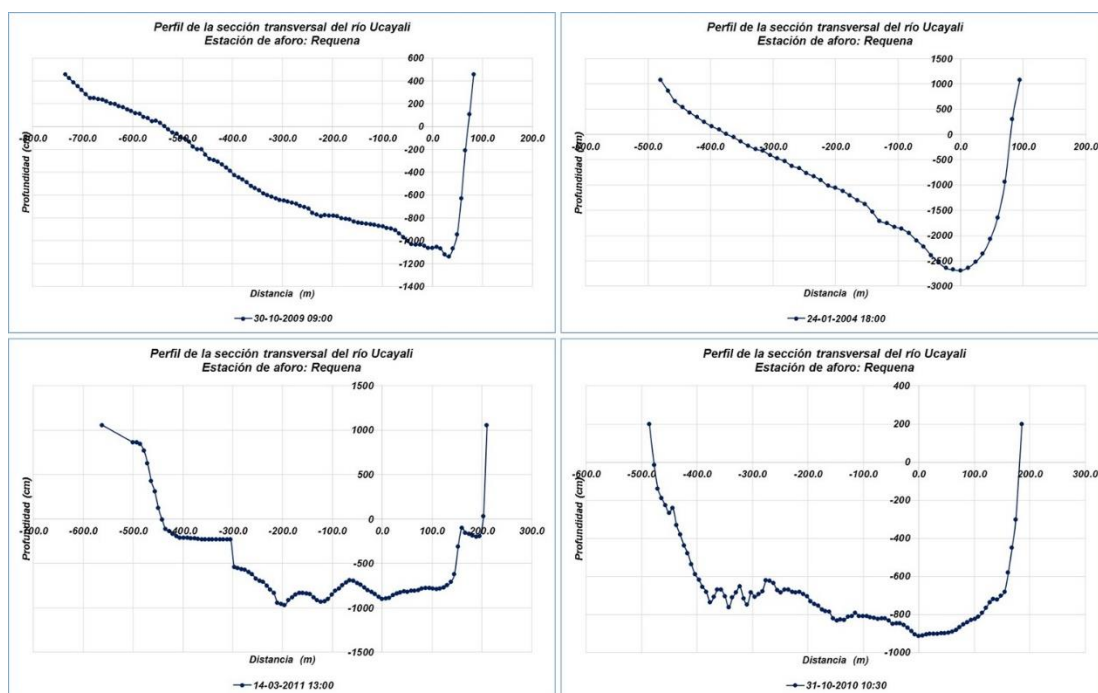


Figura 4.76. Secciones hidráulicas utilizadas en los aforos de la estación Requena
Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4.77**, se muestran los promedios obtenidos para las secciones hidráulicas que tuvieron una mayor recurrencia en los aforos, permitiendo con ellos poder generar los análisis comparativos, para determinar los cambios que experimenta la caja hidráulica relacionados a los procesos de sedimentación y erosión.

Las secciones hidráulicas medias, muestran los grados de variabilidad del cauce del río, las cuales están sujetas a cambios dinámicos producto de los procesos que engloba el ciclo hidrológico y los procesos de alteración del ecosistema natural, como es el caso de la falta de cobertura vegetal.

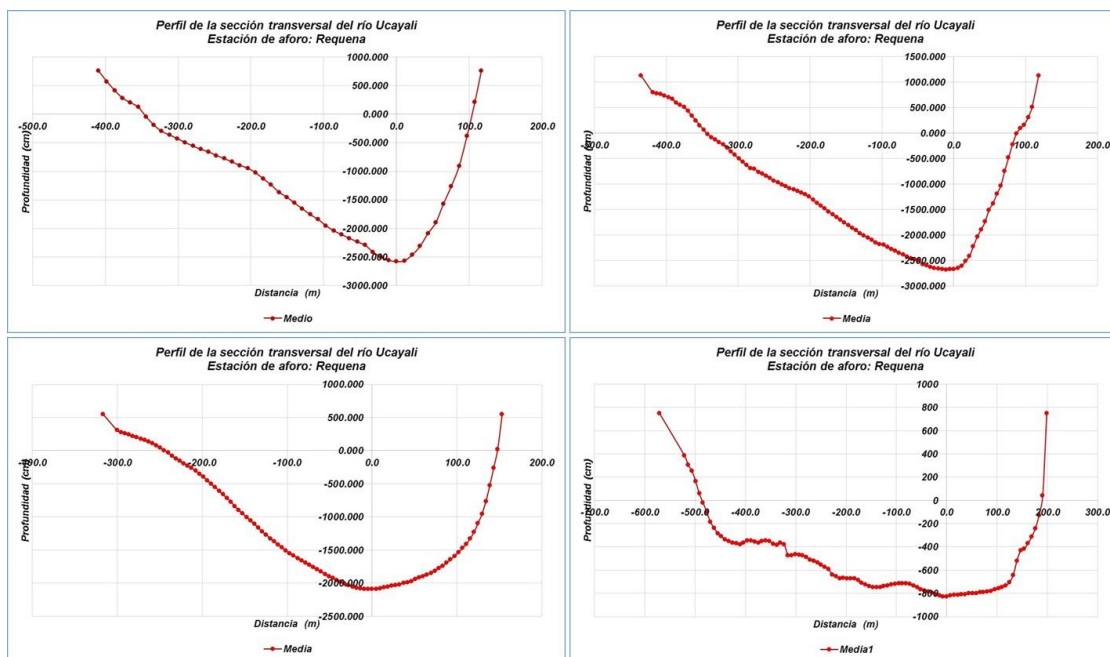


Figura 4.77. Promedios de las secciones hidráulicas en la estación Requena
Fuente: Elaboración propia

Consideramos importante iniciar el análisis comparativo seleccionando un periodo continuo de aforos realizados en la estación Requena, para ellos escogimos el año 2007 y los aforos de los meses de febrero (21, horas 9:30 y 11:45) y mayo (13, horas 11:00 y 12:00), apreciando para cada una de las fechas su correspondiente perfil hidráulico con el valor medio, identificándose no solo variación en el lecho del río; sino también en algunos casos en la margen derecha e izquierda, tal como se aprecia en la **Figura 4.78**, proceso que muestra una clara variación de la dinámica fluvial del río.

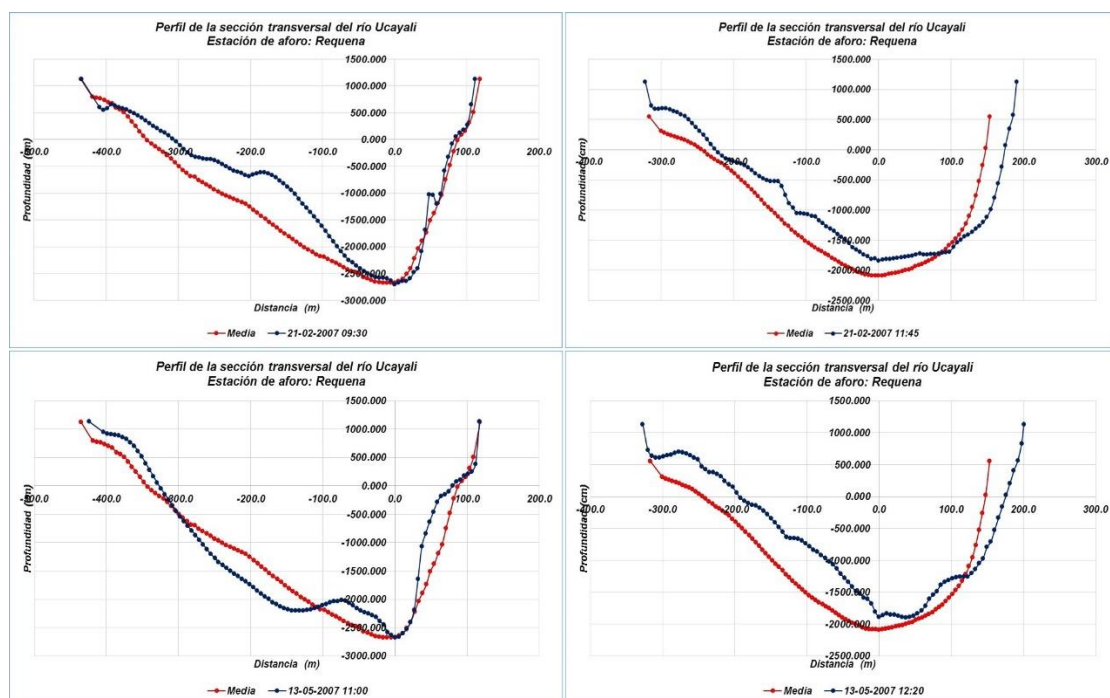


Figura 4.78. Perfiles hidráulicos del río Ucayali – Estación Requena
Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4.79**, observamos el análisis comparativo para otra sección de aforo, donde claramente se visualiza los cambios en el patrón de comportamiento del perfil hidráulico del río (cauce), cuyas características son.

- Para octubre (2010, horas 10:10 y 10:30), apreciamos como el lecho del cauce muestra cambios en su geomorfología fluvial en comparación con el perfil medio especialmente en la margen izquierda del río.
- Para marzo (2011, horas 12:00 y 13:00), el proceso se presenta en toda la sección transversal del río, a pesar que en análisis se está evaluando secciones con las mismas condiciones hidrológicas de volumen de agua, lo que nos lleva a registrar una variación media de 18,57 metros, en relación a la sección media.

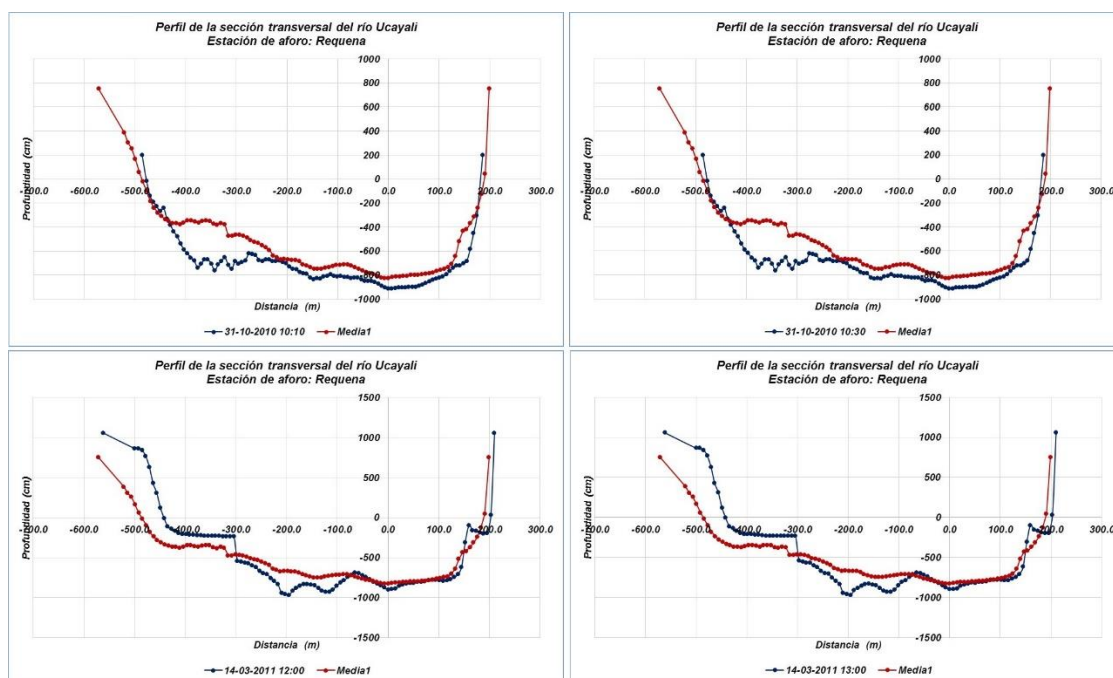


Figura 4.79. Perfil hidráulicos del río Ucayali – Estación Requena (2010 y 2011)

Fuente: Elaboración propia

En relación al análisis mensual de las secciones hidráulicas del río, se ha podido comprobar que las variaciones en el lecho del río se mantiene invariante en el tiempo; es decir, que la dinámica fluvial relacionada con los procesos sedimentológicos por transporte de sedimentos en suspensión y de fondo, es parte del ciclo hidrológico asociado a los mecanismos de precipitación y escurrimiento superficial.

En la **Figura 4.80**, apreciamos los análisis realizados para el 2006 (febrero y octubre) y 2004 (enero y setiembre), donde se ve claramente como las secciones en relación a su valor medio experimentan cambios en el perfil de la sección hidráulica del río, la cual tiene forma triangular.

Las diferencias entre las secciones comparadas están en: 56,86 m y 54,89 m, para 2006 y en 82,56 m y 88,41 m para el 2004, los cuales podrían estar sujetos tanto a procesos geodinámicas de erosión y colmatación o variación de la sección hidráulica.

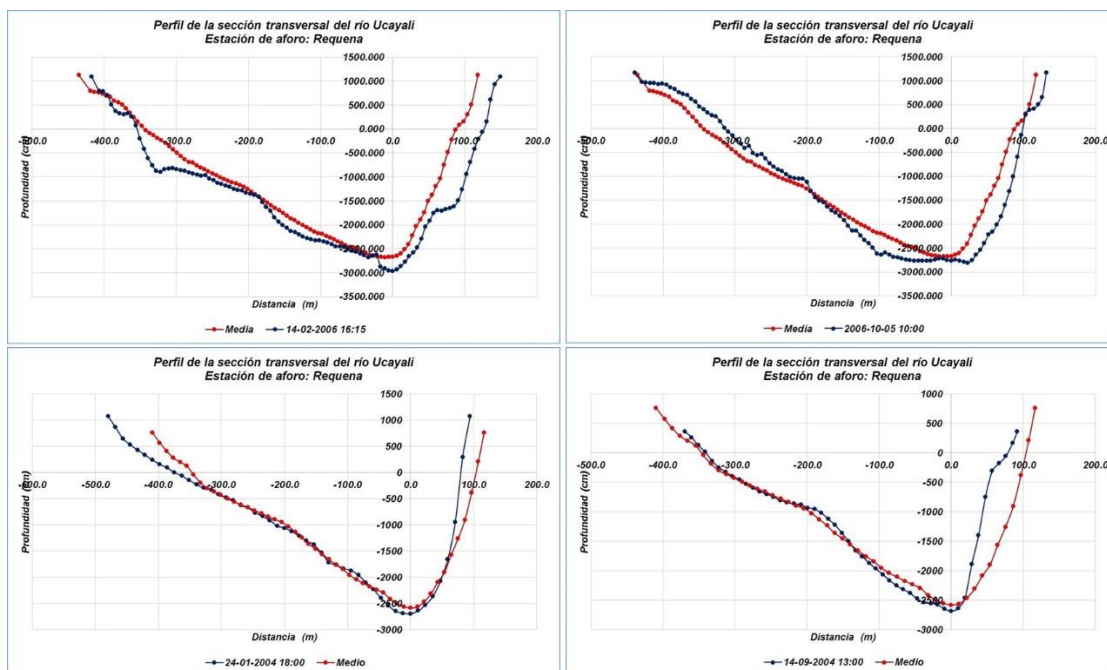


Figura 4.80. Perfil de la sección hidráulica del río Ucayali – Estación Requena
Fuente: Elaboración propia

Con los parámetros hidráulicos de área, perímetro y radio hidráulico generados a través de las campañas de aforo para cada una de las secciones de aforo, se procedió a realizar los análisis estadísticos para determinar las relaciones funciones que permita representar el comportamiento entre ellas, a través de expresiones algebraicas, como las que se muestran en la **Figura 4.81**, donde apreciamos que de toda la serie de valores plotados, estas obedecen a dos tipos de comportamiento y tendencias, las cuales son representadas por las expresiones mostradas; sin embargo, se presentan ciertos valores que fueron excluidos por generar distorsión en la curva.

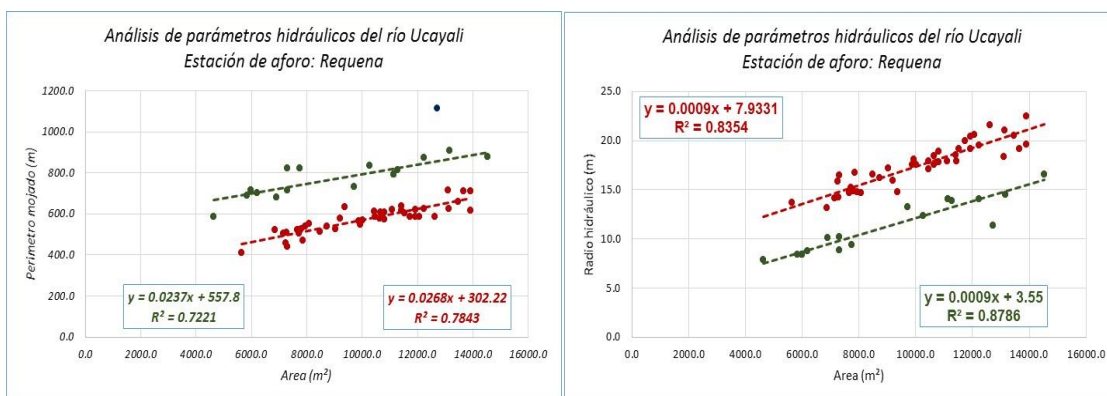


Figura 4.81. Análisis de regresión de los parámetros hidráulicos – Estación Requena
Fuente: Elaboración propia

e) Estación Genaro Herrera

El análisis de las secciones hidráulicas en esta estación, estuvo conformada por 19 aforos realizados durante el período de 2007 / 2012, los cuales fueron desarrollados entre los meses de enero, febrero, abril, mayo, junio, agosto, setiembre y noviembre, abarcando completamente los períodos de vaciante y crecente.

En base a estos datos, se generó las secciones promedios, que fueron utilizadas para desarrollar los análisis comparativos; detectándose de esta manera, ligeras discrepancias relacionadas básicamente a la misma dinámica fluvial del río y a los procesos inherentes al ciclo hidrológico que se da en la cuenca amazónica y sujeta a fuerte actividad antrópica.

En la **Figura 4.82**, apreciamos las diferentes secciones hidráulicas utilizadas en la realización de los aforos de la estación Genaro Herrera, mostrando cada una de ellas una variabilidad en su perfil transversal que van desde la forma triangular, trapezoidal y rectangular.

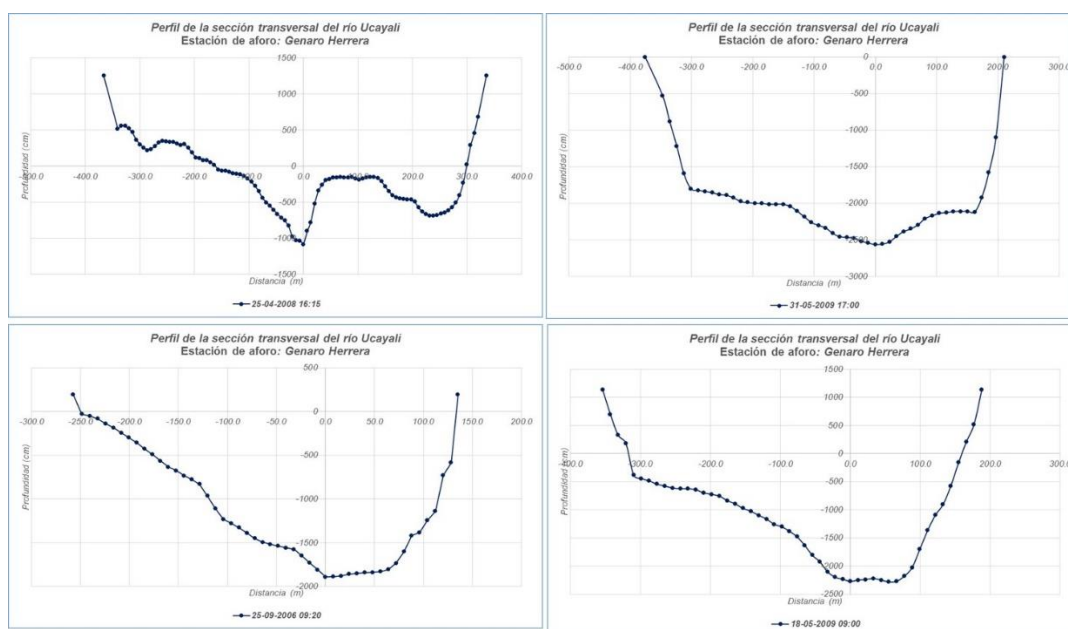


Figura 4.82. Secciones hidráulicas de aforos - estación Genaro Herrera

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4.83**, se muestran los promedios obtenidos para las secciones hidráulicas utilizadas durante las campañas de aforos, permitiendo con ellos poder generar los análisis comparativos, para determinar los cambios que experimenta la caja hidráulica relacionados a los procesos de la misma dinámica natural de la cuenca.

Las secciones hidráulicas medias, muestran los grados de variabilidad del cauce del río, las cuales están sujetas a cambios dinámicos producto de los procesos que engloba el ciclo hidrológico y los procesos de alteración del ecosistema natural, como es el caso de la reconversión de la cobertura vegetal y cambios en el uso del suelo. A pesar que dicha estación está cerca a la confluencia con el río Amazonas, apreciamos que su sección predominante es de tipo triangular y rectangular.

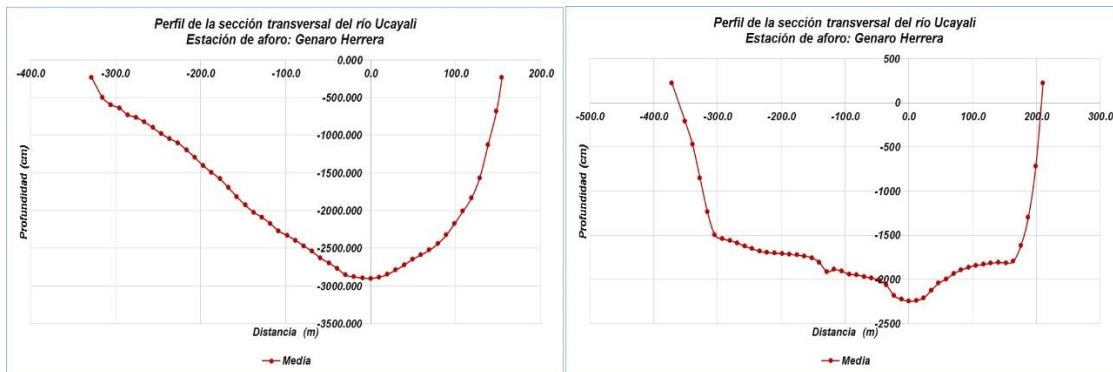


Figura 4.83. Promedios de las secciones hidráulicas - estación Genaro Herrera
Fuente: Elaboración propia

Iniciamos el análisis comparativo seleccionando un periodo continuo de aforos realizados en la estación Genaro Herrera, para ellos escogimos el año 2008 y 2009 correspondiente a los aforos de los meses de noviembre (11 y 12, horas 10:00) y junio (14 y 15, horas 11:45 y 07:50), apreciando para cada una de las fechas su correspondiente perfil hidráulico con su valor medio, identificándose no solo variación en el lecho del río; sino también en algunos casos en la margen derecha e izquierda, tal como se aprecia en la **Figura 4.84**, proceso que muestra una clara variación de la dinámica fluvial del río.

En promedio las discrepancias entre las secciones hidráulicas, en relación al perímetro mojado dan valores medios para el 2008 de 30,02 m y 16,96 m, para el 2009 de 9,00 m y 6,01 m; en relación al área de la sección transversal, se ha determinado que hay una diferencia para el 2008 de 175,65 m² y 53,46 m², para el 2009 de 322,99 m² y 527,92 m².

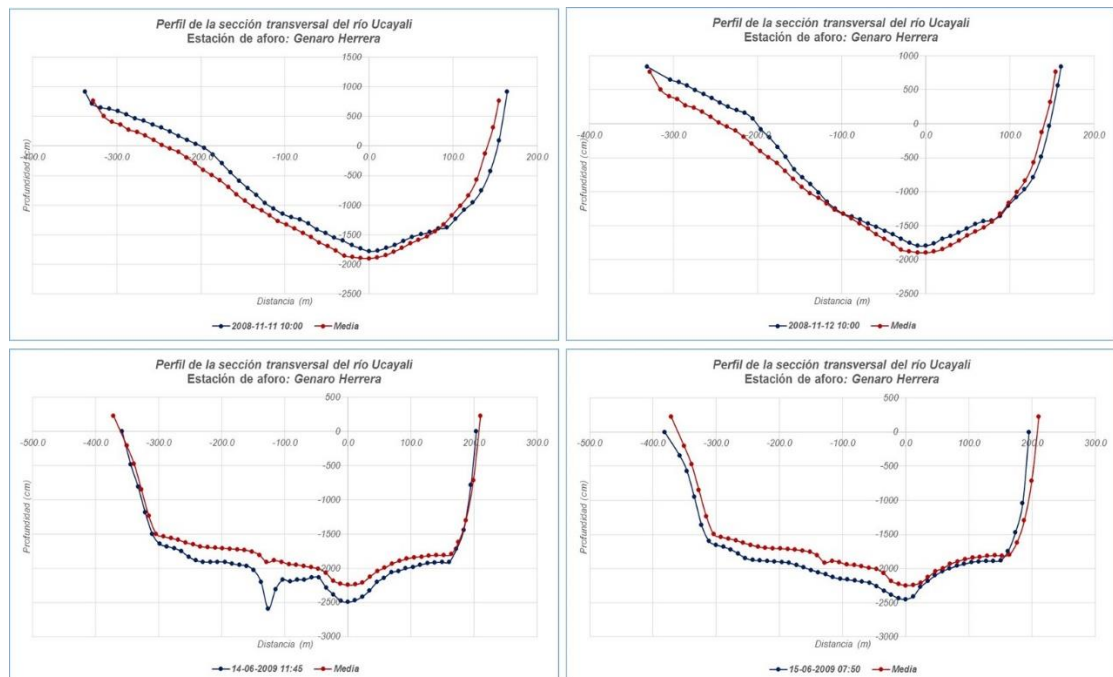


Figura 4.84. Perfiles hidráulicos del río Ucayali – Estación Genaro Herrera
Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4.85**, apreciamos los análisis realizados para el 2008 (enero y noviembre) y 2009 (enero y junio), donde se ve claramente como las secciones en relación a su valor medio experimentan cambios en el perfil de la sección hidráulica del río. Las diferencias entre los perímetros mojados de las secciones comparadas son de 17,33 m y 16,96 m, para el 2008 y de 3,41 m y 6,01 m, para 2009.

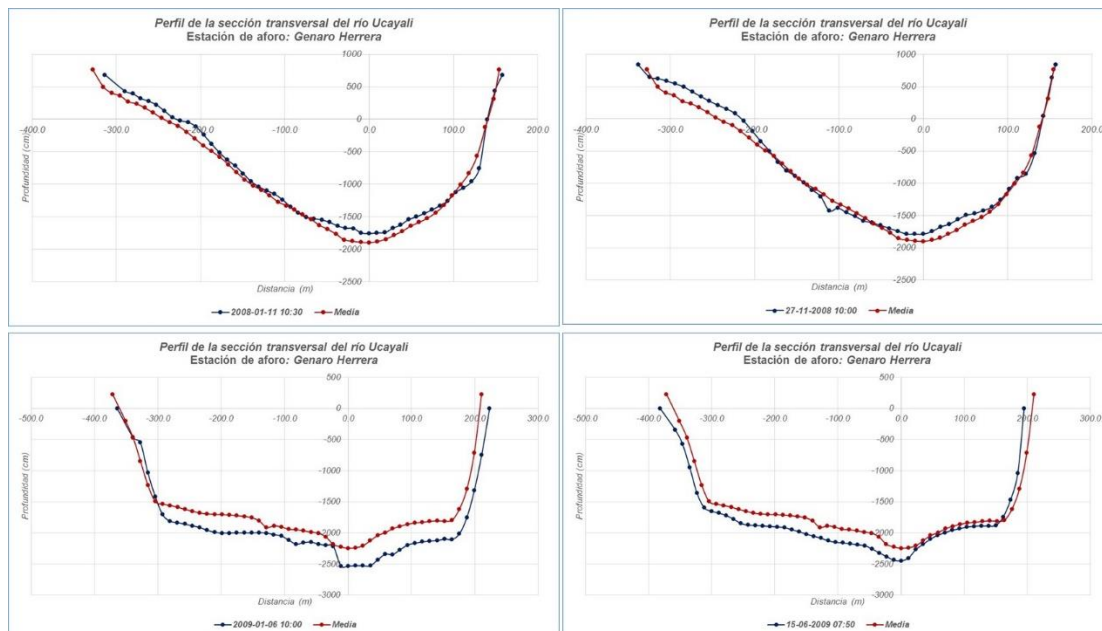


Figura 4.85. Perfil de la sección hidráulica río Ucayali – Estación Genaro Herrera
Fuente: Elaboración propia

Con los parámetros hidráulicos de área, perímetro y radio hidráulico generados a través de las campañas de aforo para cada una de las secciones de aforo, se procedió a realizar los análisis estadísticos para determinar las relaciones funciones que permita representar el comportamiento entre ellas, a través de expresiones algebraicas, como las que se muestran en la **Figura 4.86**, donde apreciamos que toda la serie de valores plotados, obedecen a un comportamiento y tendencia, las cuales son representadas por las expresiones mostradas; sin embargo, se presentan ciertos valores que fueron excluidos por generar distorsión en la curva.

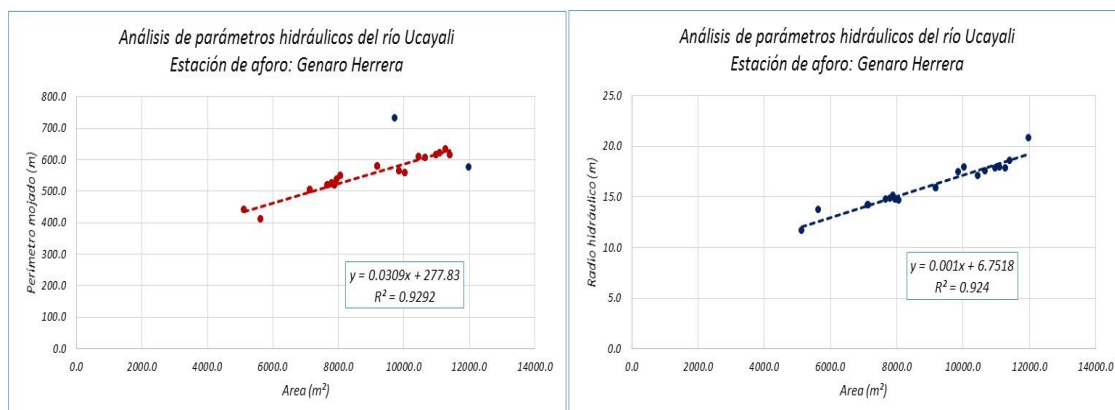


Figura 4.86. Análisis de parámetros hidráulicos – estación Genaro Herrera
Fuente: Elaboración propia

4.5 Análisis de la distribución de velocidad horizontal y geometría del cauce por método empírico.

Consideramos importante probar la funcionalidad de los modelos empírico para representar las componentes de la distribución de la velocidad superficial y la geometría del cauce; aprovechando la data generada a través de los aforos con ADCP realizados en las principales estaciones hidrológicas ubicadas en la cuenca del río Ucayali.

Sabemos que una de las distribuciones de velocidades adoptada para un sistema fluvial es aquella presentada por Seo y Baek (2004) (ecuación V), la cual genera una distribución de velocidades a partir de la distribución gamma.

$$\frac{u(y)}{U} = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha) \Gamma(\beta)} * \left(\frac{y}{B}\right)^{\alpha-1} * \left(1 - \frac{y}{B}\right)^{\beta-1} \quad (V)$$

Donde:

α y β	son parámetros de la distribución gamma
$u(y)$	es la velocidad de la corriente en el punto y
U	es la velocidad promedio de la sección

Cuando:

$\alpha = \beta$,	la distribución es simétrica
$\alpha > \beta$,	la curva se sesga hacia la derecha
$\alpha < \beta$,	la curva se sesga hacia la izquierda

En la **Figura 4.87**, se muestran los diferentes perfiles de velocidad, generados en base a la distribución gamma para distintos parámetros.

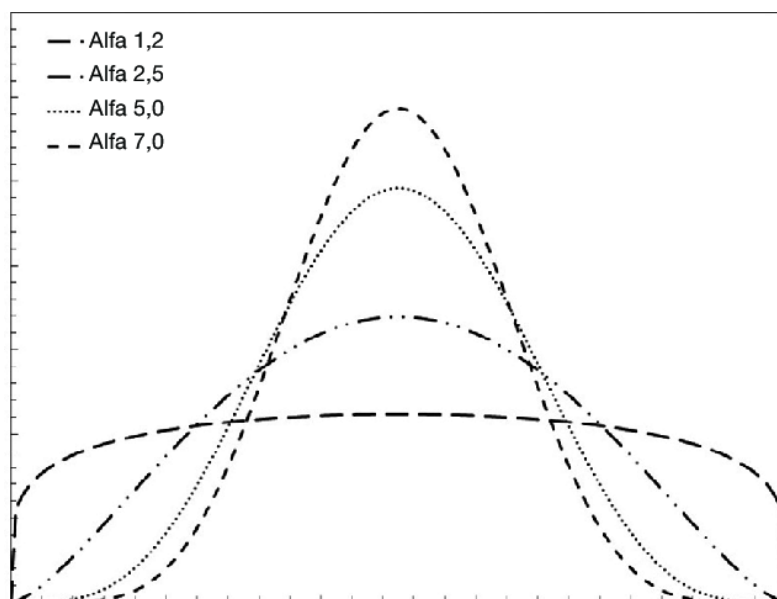


Figura 4.87. Perfiles de velocidad en función del coeficiente alfa ($\alpha = \beta$)

Fuente: Díaz Lozada, José M. (2014)

La geometría del cauce de la sección de aforo, puede ser ajustada a una distribución dada mediante la aplicación de una expresión algebraica (ecuación VI) desarrollada por Deng et al. (2001):

$$\frac{h(y)}{H_m} = 1 - \left[\frac{2y}{B} - 1 \right]^{\Gamma(\alpha)} \quad (VI)$$

Donde:

$h(y)$	es la profundidad en la progresiva y
H_m	es la profundidad máxima
B	es el ancho total de la sección
α	es el parámetro de la distribución gamma

Cuando:

$\alpha = 1$	el perfil de la sección es triangular
$\alpha = 2$	el perfil de la sección es parabólico
$\alpha > 2$	el perfil de la sección es rectangular

En la **Figura 4.88**, se muestra algunos de los perfiles para la geometría del cauce del río, en función del parámetro α :

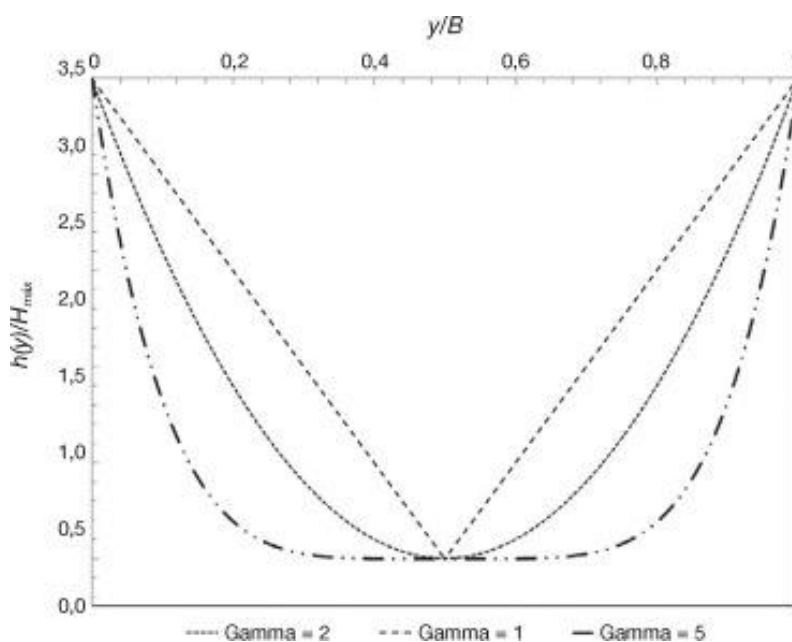


Figura 4.88. Distribución transversal de profundidad utilizando distintos valores del parámetros α

Fuente: Díaz Lozada, José M. (2014)

Utilizando los valores de los aforos realizados en la cuenca del río Ucayali, se aplicaron las expresiones algebraicas V y VI, con el fin de generar los perfiles analíticos de la velocidad y sección transversal del cauce del río, generando en cada caso los valores de los parámetros de las ecuaciones que permitan representar de la mejor manera el comportamiento de cada una de las variables analizadas.

a) Estación de Maldonadillo

En la **Tabla 4.27**, se muestran los valores de los parámetros α y β , para cada uno de los aforos seleccionado en el análisis; para la determinación de los perfiles de velocidad superficial y sección hidráulica de aforo, observándose que:

- Los valores de los parámetros para el perfil de la velocidad, oscilan entre 0,94 a 1,42
- Los valores de los parámetros para el perfil de la sección hidráulica, oscilan entre 18 a 24

Los perfiles de distribución de velocidad, se ajustan tanto hacia la margen derecha como izquierda, tratando de representar en promedio el comportamiento de la velocidad del río; mientras que para la sección hidráulica, se aprecia que el perfil analítico se ajusta muy bien a los datos observados en campo, tal como apreciamos en la **Figura 4.89**.

Tabla 4.27. Parámetros α y β , para la distribución de la velocidad

Fecha	Parámetros de la ecuación distribución de velocidad		Parámetros de la ecuación sección transversal	
	α	β	α	β
nov-05	0,88	1,20	20	1
mar-05	1,00	1,26	90	1
mar-08	2,00	1,40	46	1
jun-09	1,50	1,30	50	1
jul-09	2,00	1,40	52	1

Fuente: Elaboración propia

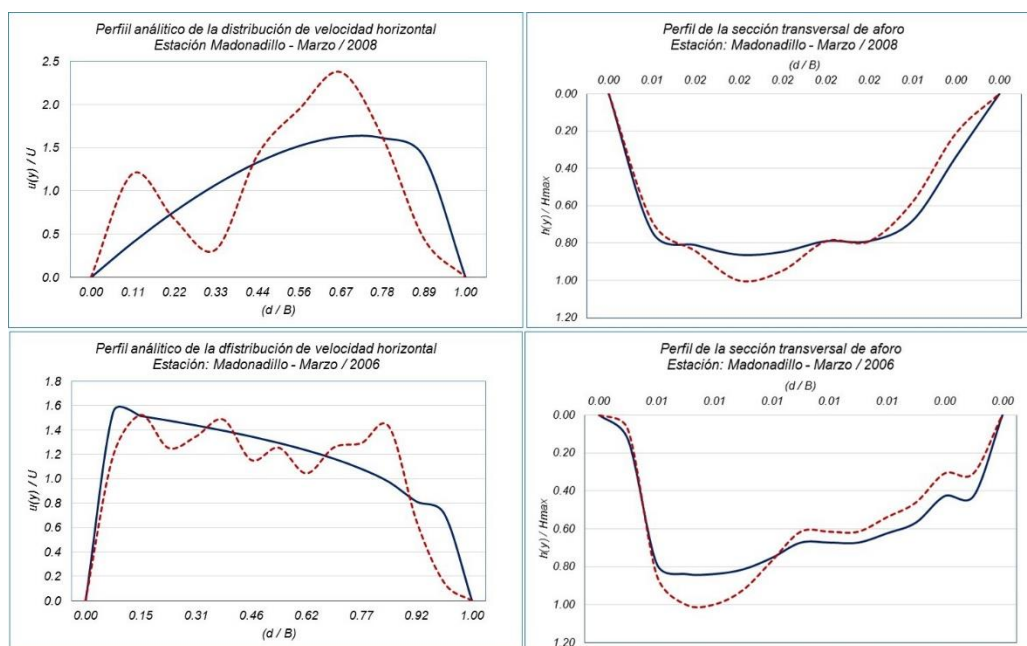


Figura 4.89. Perfiles analíticos de velocidad superficial y sección hidráulica

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4.90**, apreciamos la relación funcional entre los parámetros determinados mediante el ajuste del perfil analítico de la velocidad superficial, cuyos valores están representados mediante la expresión algebraica de tipo polinómica de segundo grado.

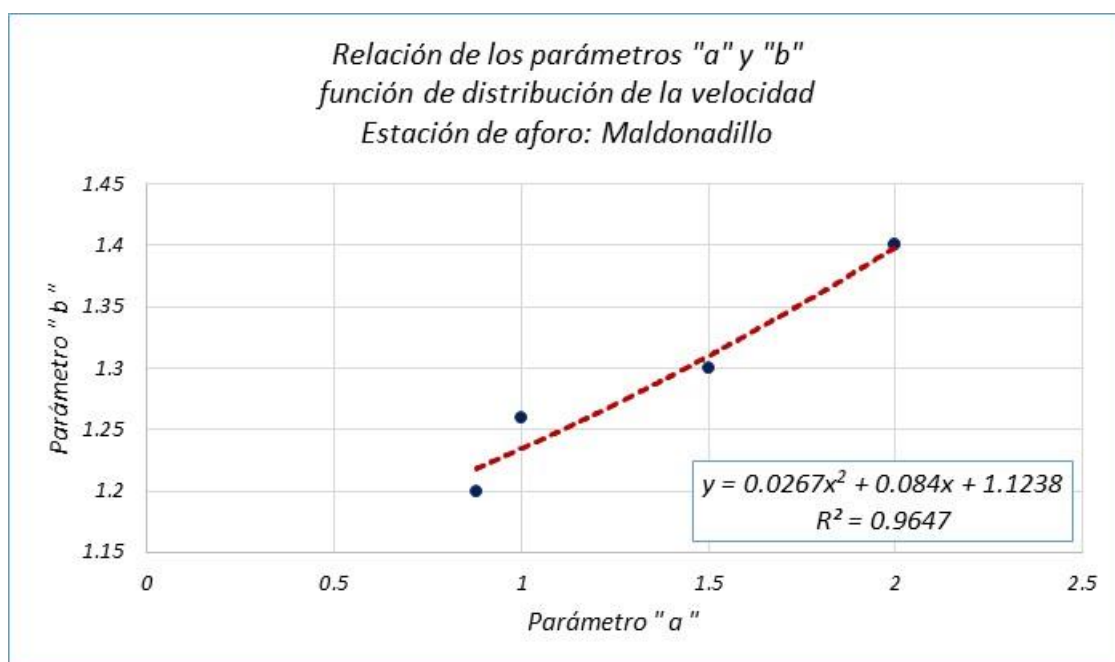


Figura 4.90. Grado de relación de los parámetros α y β
Fuente: Elaboración propia

b) Estación Atalaya

En la **Tabla 4.28**, se muestran los valores de los parámetros α y β , para cada uno de los aforos seleccionado en el análisis; para la determinación de los perfiles de velocidad superficial y sección hidráulica de aforo, observándose que:

- Los valores de los parámetros para el perfil de la velocidad, oscilan entre 0,80 a 1,40
- Los valores de los parámetros para el perfil de la sección hidráulica, oscilan entre 48 a 140

Tabla 4.28. Parámetros α y β , para la distribución de la velocidad

Fecha	Parámetros de la ecuación distribución de velocidad		Parámetros de la ecuación sección transversal	
	α	β	α	β
mar-06	0,80	1,32	48	1
mar-08	1,20	1,20	90	1
mar-09	0,84	1,30	50	1
mar-09	0,90	1,22	50	1
jul-09	0,40	1,40	140	0,5

Fuente: Elaboración propia

De los perfiles de distribución de velocidad ajustados analíticamente, se ha determinado solamente el aforo de marzo / 2008, tiene un ajuste simétrico con valores

de α y β iguales; mientras que para el resto de los valores, se aprecia que la sección tiene a sesgarse hacia la margen izquierda. Para las secciones hidráulicas, el perfil analítico tiene a representar la sección observada de manera regular, tal como apreciamos en la **Figura 4.91**.

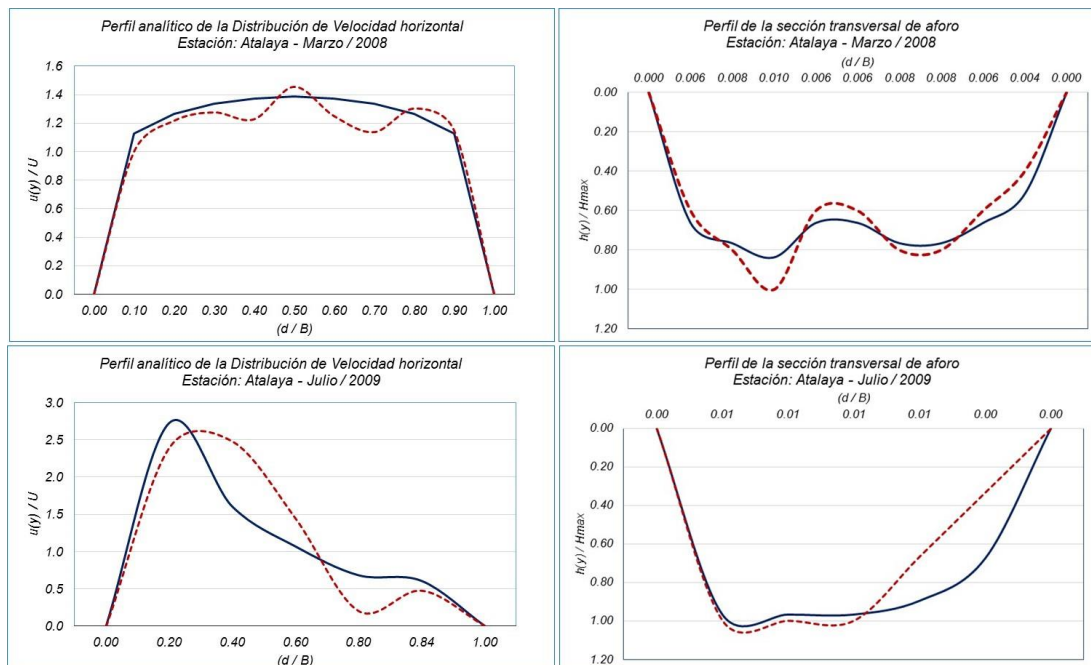


Figura 4.91. Perfiles analíticos de velocidad superficial y sección hidráulica
Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4.92**, apreciamos la relación funcional entre los parámetros determinados mediante el ajuste del perfil analítico de la velocidad superficial, cuyos valores están representados mediante la expresión algebraica de tipo polinómica de segundo grado.

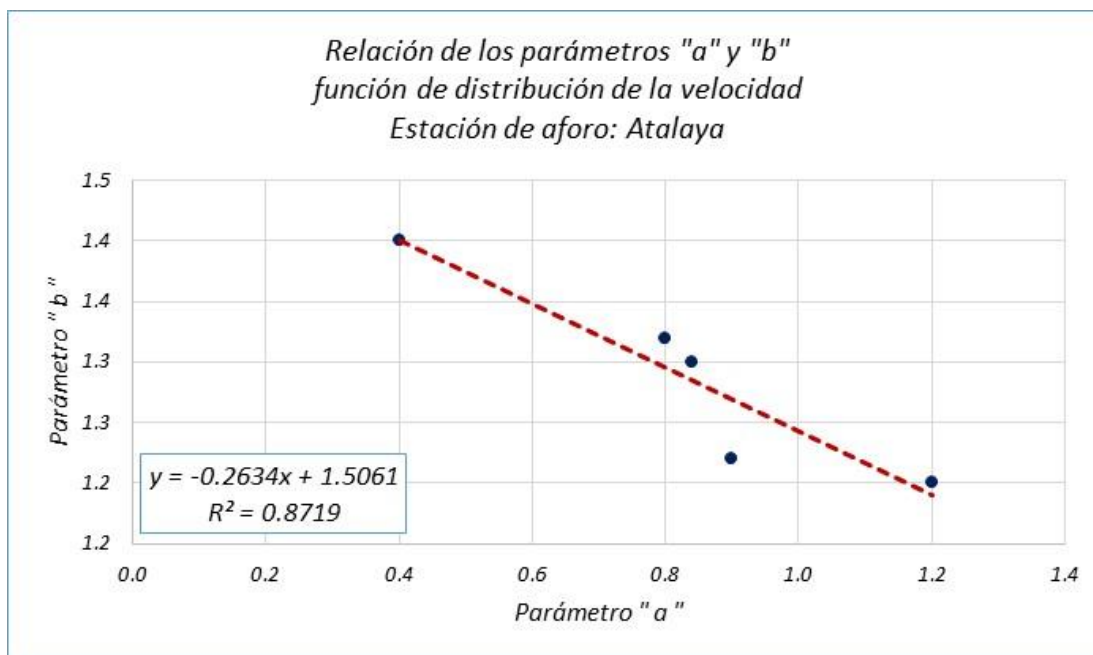


Figura 4.92. Grado de relación entre los parámetros α y β
Fuente: Elaboración propia

c) Estación Lagarto

En la **Tabla 4.29**, se muestran los valores de los parámetros α y β , para cada uno de los aforos seleccionado en el análisis; para la determinación de los perfiles de velocidad superficial y sección hidráulica de aforo, observándose que:

- Para el perfil de la velocidad, oscilan entre 1,20 a 4,00
- Para el perfil de la sección hidráulica, oscilan entre 28 a 96

Los perfiles de distribución de velocidad, se han ajustan tanto hacia la margen derecha, central e izquierda, tratando de representar en promedio el comportamiento de la velocidad del río; mientras que para la sección hidráulica, el perfil analítico tiende a ajustarse a la variabilidad del cauce, tal como se aprecia en la **Figura 4.93**.

Tabla 4.29. Parámetros α y β , para la distribución de la velocidad

Fecha	Parámetros de la ecuación distribución de velocidad		Parámetros de la ecuación sección transversal	
	α	β	A	β
jul-04	4,00	2,80	96	1
mar-06	1,60	1,30	70	1
mar-08	1,40	1,30	84	1
mar-09	1,30	1,30	98	1
abr-10	1,30	1,30	86	1
may-11	1,20	1,20	36	1
ago-11	1,20	1,20	28	1
may-12	2,40	1,60	46	1
feb-13	2,00	1,40	40	1
ene-15	1,20	1,30	86	1

Fuente: Elaboración propia

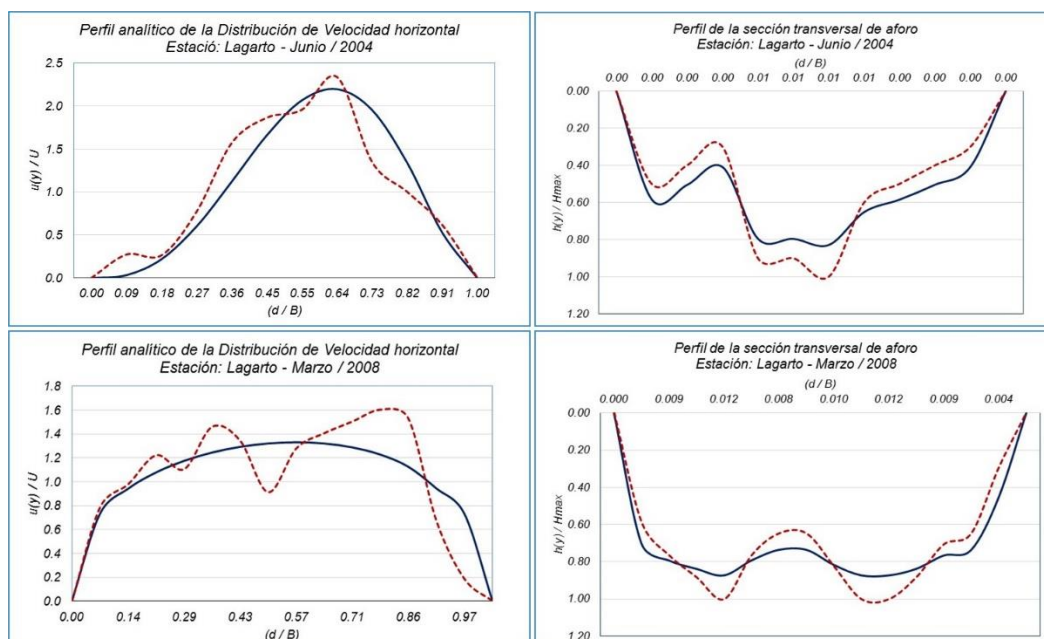


Figura 4.93. Perfiles analíticos de velocidad superficial y sección hidráulica

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4.94**, apreciamos la relación funcional entre los parámetros determinados mediante el ajuste del perfil analítico de la velocidad superficial, cuyos valores están representados mediante la expresión algebraica de tipo polinómica de segundo grado.

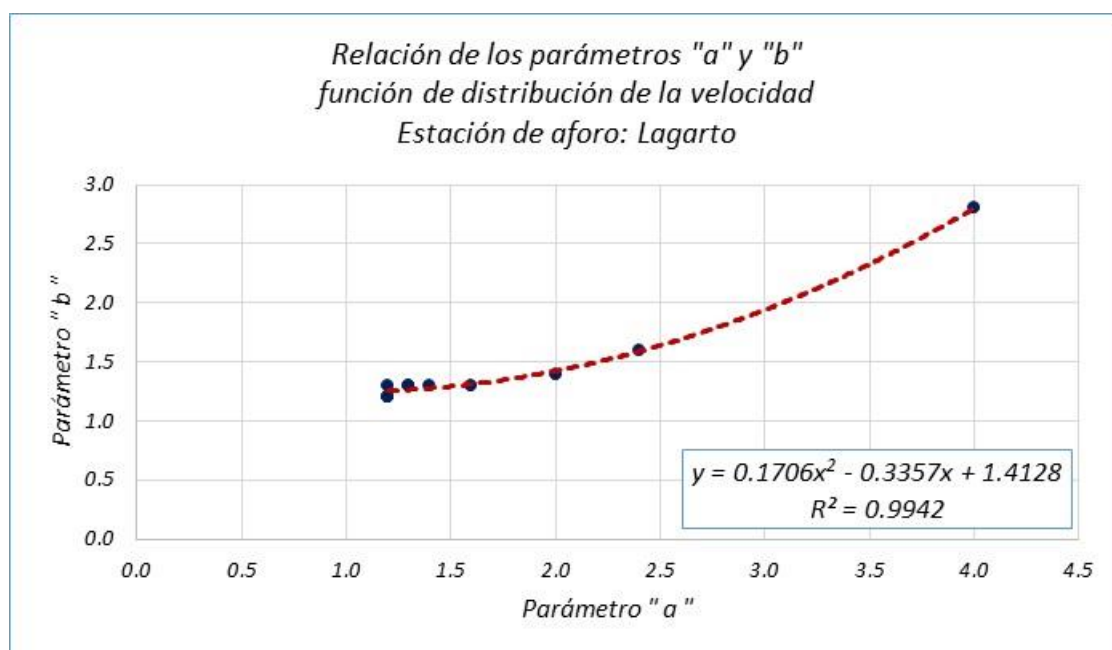


Figura 4.94. Grado de relación entre los parámetros α y β
 Fuente: Elaboración propia

d) Estación Puerto Inca

En la **Tabla 4.30**, se muestran los valores de los parámetros α y β , para cada uno de los aforos seleccionado en el análisis; para la determinación de los perfiles de velocidad superficial y sección hidráulica de aforo, observándose que:

- Los valores de los parámetros para el perfil de la velocidad, oscilan entre 0,94 a 1,42
- Los valores de los parámetros para el perfil de la sección hidráulica, oscilan entre 18 a 24

Tabla 4.30. Parámetros α y β , para la distribución de la velocidad

Fecha	Parámetros de la ecuación distribución de velocidad		Parámetros de la ecuación sección transversal	
	α	β	α	β
jun-12	1,20	1,29	22	1
feb-13	1,24	1,26	22	1
feb-13	0,95	1,42	24	1
ene-15	0,94	1,38	20	1
ene-15	1,04	1,32	18	1

Fuente: Elaboración propia

Los perfiles de distribución de velocidad ajustados analíticamente, en base a los valores observados, tienden a reflejar que las líneas de corrientes siguen un patrón

trapezoidal en la forma de su desplazamiento, con las mayores velocidades en la parte central. Para este caso todos los valores β son mayores al de α . Para la sección hidráulica, apreciamos que el ajuste analítico si representa la variabilidad de la sección del cauce, tal como apreciamos en la **Figura 4.95**.

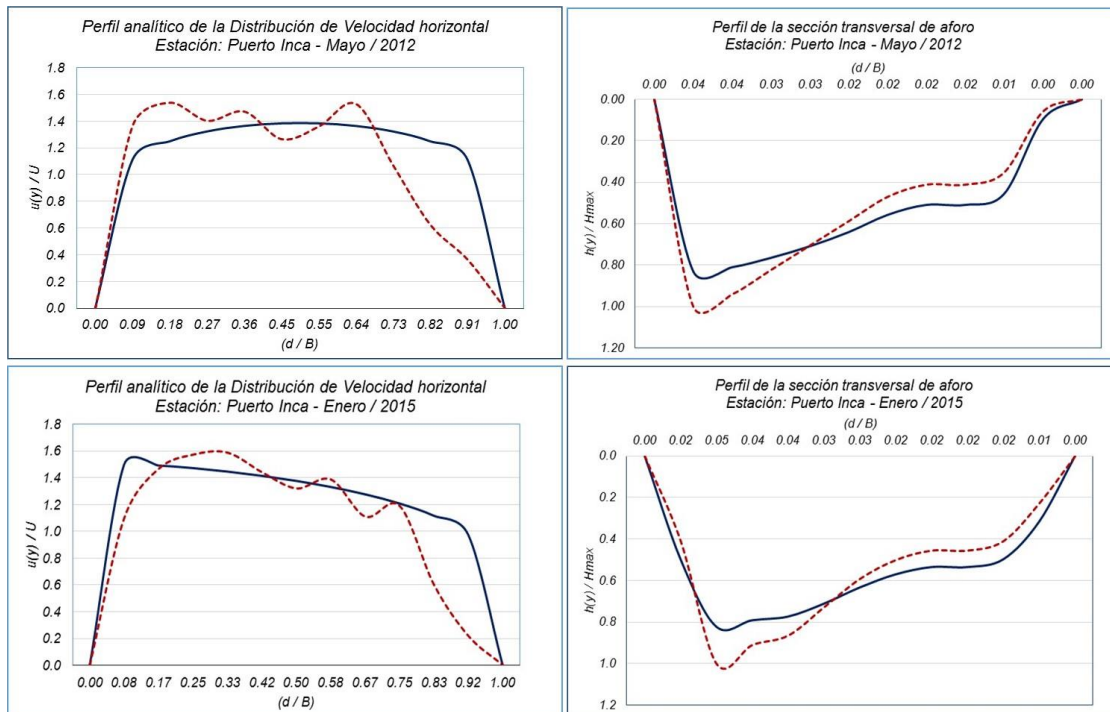


Figura 4.95. Perfiles analíticos de velocidad superficial y sección hidráulica
Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4.96**, apreciamos la relación funcional entre los parámetros determinados mediante el ajuste del perfil analítico de la velocidad superficial, cuyos valores están representados mediante la expresión algebraica de tipo polinómica de segundo grado.

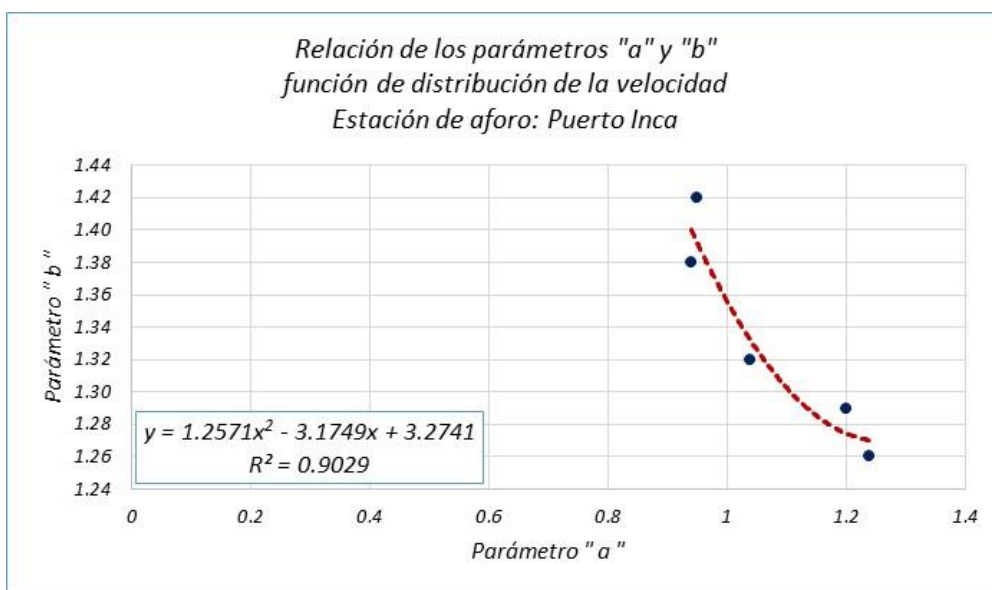


Figura 4.96. Grado de relación entre los parámetros α y β
Fuente: Elaboración propia

e) Estación Pucallpa

En la **Tabla 4.31**, se muestran los valores de los parámetros α y β , para cada uno de los aforos seleccionado en el análisis; para la determinación de los perfiles de velocidad superficial y sección hidráulica de aforo, observándose que:

- Para el perfil de la velocidad, oscilan entre 0,70 a 1,40
- Para el perfil de la sección hidráulica, oscilan entre 26 a 74

En esta estación, los perfiles de distribución de velocidad, que se han logrado ajustar mediante el análisis analítico, refleja de cierta manera el comportamiento de la variabilidad de la velocidad de la corriente, a través de los valores asumidos por los parámetros donde el valor de β es mayor que α ; mientras que para la sección hidráulica, el perfil analítico tiende a ajustarse a la variabilidad del cauce, tal como se aprecia en la **Figura 4.97**.

Tabla 4.31. Parámetros α y β , para la distribución de la velocidad

Fecha	Parámetros de la ecuación distribución de velocidad		Parámetros de la ecuación sección transversal	
	α	β	α	β
jul-09	0,90	1,30	50	1
abr-10	0,82	1,20	30	1
abr-10	0,86	1,40	42	1
abr-10	0,99	1,38	74	1
may-10	0,80	1,30	60	1
may-10	0,70	1,32	26	1
may-11	0,80	1,40	26	1
may-12	1,20	1,20	60	1

Fuente: Elaboración propia

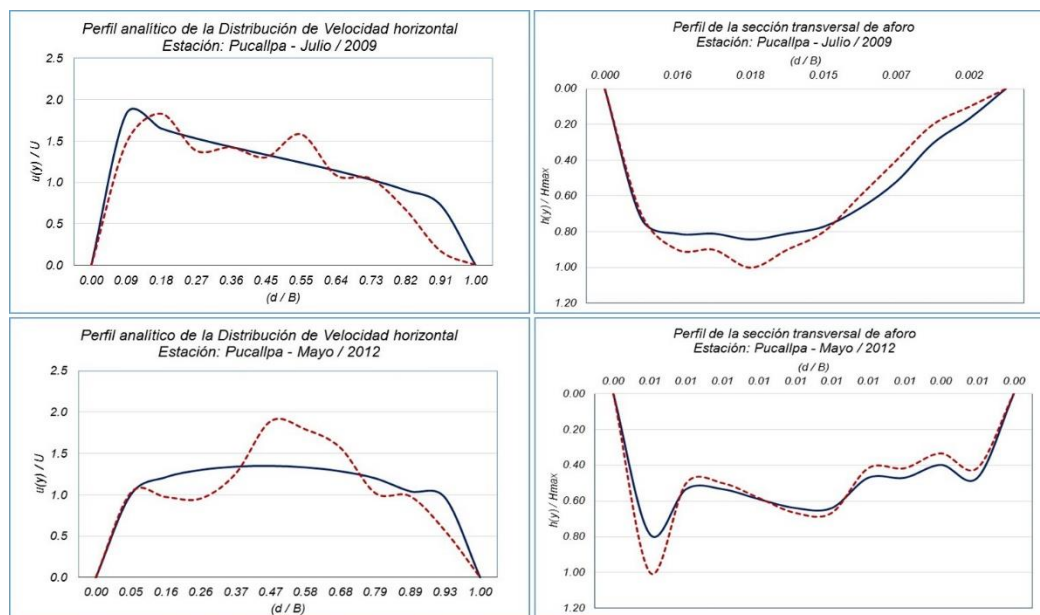


Figura 4.97. Perfiles analíticos de velocidad superficial y sección hidráulica

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4.98**, apreciamos la relación funcional entre los parámetros determinados mediante el ajuste del perfil analítico de la velocidad superficial, cuyos valores están representados mediante la expresión algebraica de tipo polinómica de segundo grado.

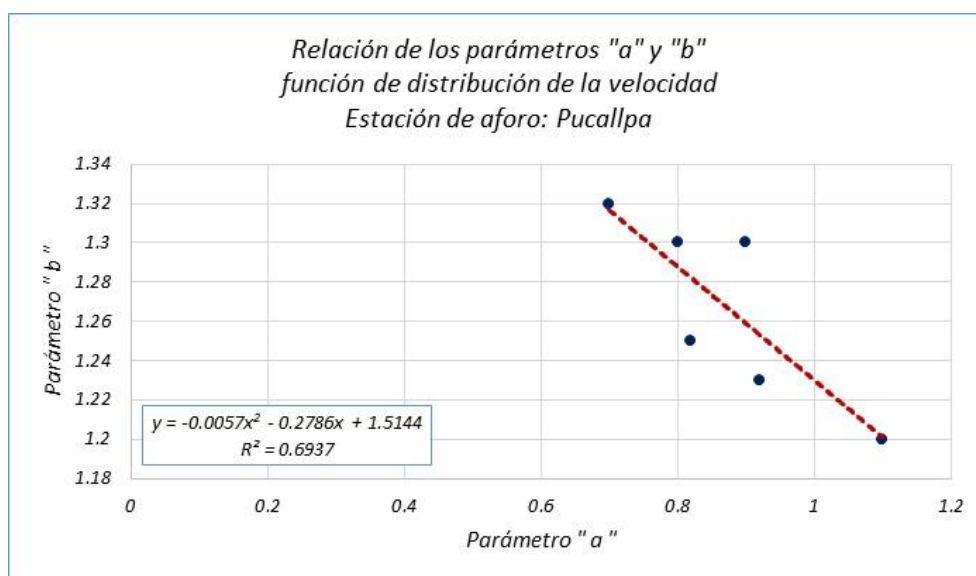


Figura 4.98. Grado de relación entre los parámetros α y β
Fuente: Elaboración propia

f) Estación Genaro Herrera

En la **Tabla 4.32**, se muestran los valores de los parámetros α y β , para cada uno de los aforos seleccionado en el análisis; para la determinación de los perfiles de velocidad superficial y sección hidráulica de aforo, observándose que:

- Para el perfil de la velocidad, oscilan entre 1,20 a 5,80
- Para el perfil de la sección hidráulica, oscilan entre 2 a 32

Tabla 4.32. Parámetros α y β , para la distribución de la velocidad

Fecha	Parámetros de la ecuación distribución de velocidad		Parámetros de la ecuación sección transversal	
	α	β	α	β
feb-07	1,20	1,20	14	1
may-07	1,48	1,38	16	0,2
abr-08	1,40	1,40	32	1
dic-08	5,80	5,80	24	1
feb-09	1,40	1,40	20	1
may-09	1,20	1,46	18	1
jun-09	1,40	1,40	2	1

Fuente: Elaboración propia

Los perfiles de distribución de velocidad ajustados analíticamente, en base a los valores observados, tienden a reflejar que las líneas de corrientes siguen un patrón trapezoidal en la forma de su desplazamiento, con las mayores velocidades en la parte central. Para este caso en particular, en la mayoría de los aforos analizados los

parámetros tienden a asumir un mismo valor. Para la sección hidráulica, apreciamos que el ajuste analítico si representa la variabilidad de la sección del cauce, tal como apreciamos en la **Figura 4.99**.

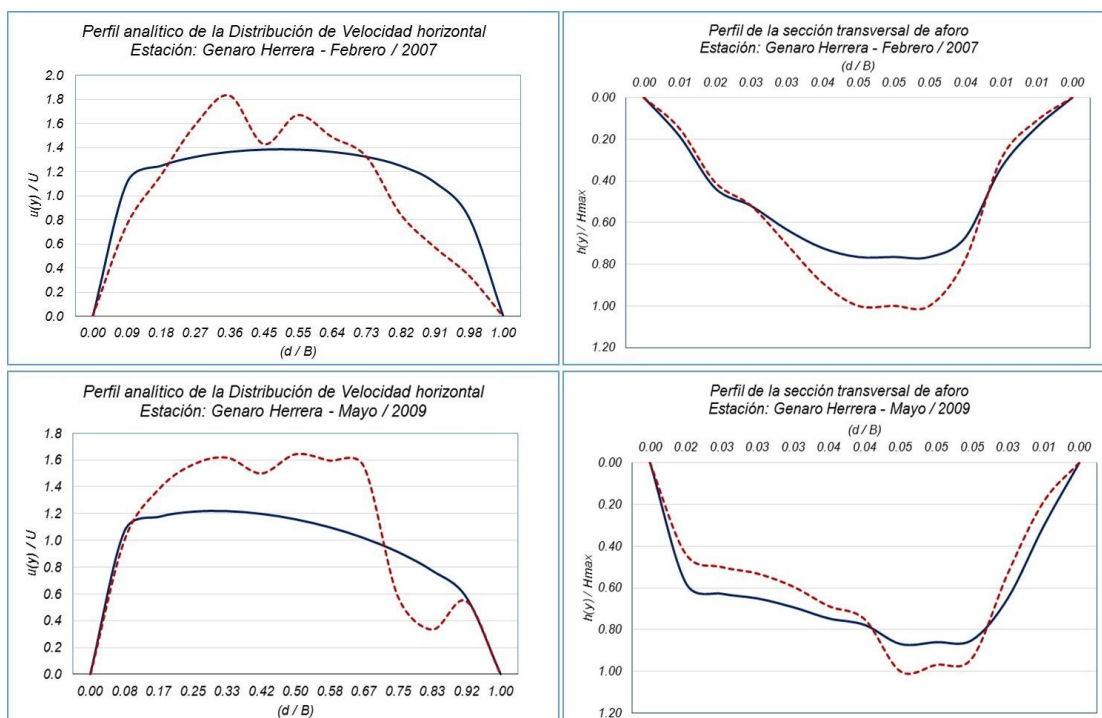


Figura 4.99. Perfiles analíticos de velocidad superficial y sección hidráulica
Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4.100**, apreciamos la relación funcional entre los parámetros determinados mediante el ajuste del perfil analítico de la velocidad superficial, cuyos valores están representados mediante la expresión algebraica de tipo polinómica de segundo grado.

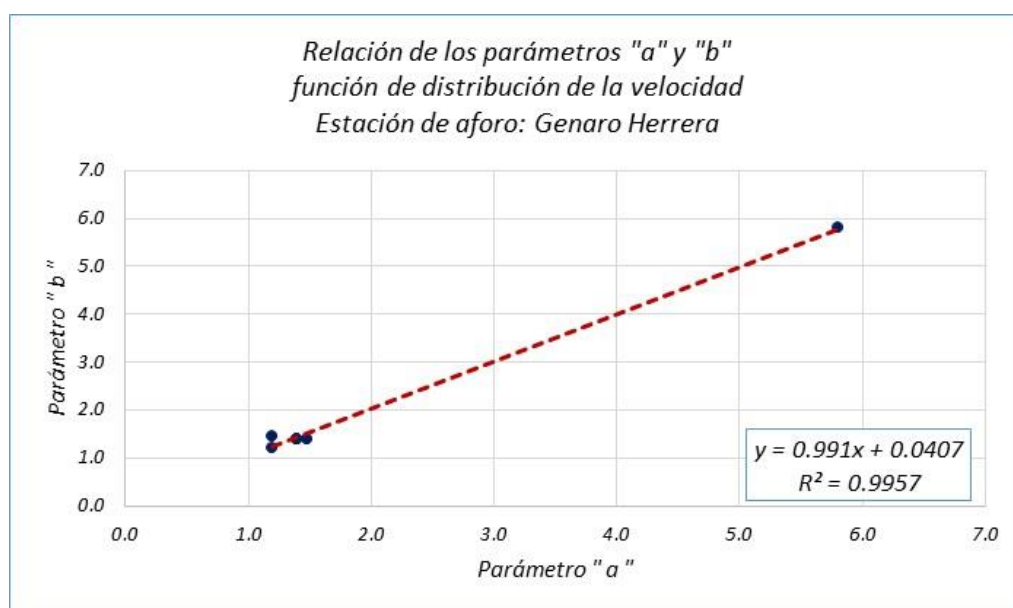


Figura 4.100. Grado de relación entre los parámetros α y β
Fuente: Elaboración propia

g) Estación Requena

En la **Tabla 4.33**, se muestran los valores de los parámetros α y β , para cada uno de los aforos seleccionado en el análisis; para la determinación de los perfiles de velocidad superficial y sección hidráulica de aforo, observándose que:

- Los valores de los parámetros para el perfil de la velocidad, oscilan entre 1,10 a 7,00
- Los valores de los parámetros para el perfil de la sección hidráulica, oscilan entre 2 a 110

Tabla 4.33. Parámetros α y β , para la distribución de la velocidad

Fecha	Parámetros de la ecuación distribución de velocidad		Parámetros de la ecuación sección transversal	
	α	β	α	β
may-02	2,20	1,50	8	1
may-03	1,80	1,35	10	1
ago-03	1,20	1,06	6	1
oct-03	2,30	2,70	8	1
ene-04	6,80	6,80	8	1
abr-04	1,90	1,28	6	1
abr-05	3,00	2,00	2	1
ago-05	1,20	1,20	6	1
feb-06	7,00	7,00	4	1
may-06	1,20	1,20	2	1
feb-07	1,60	1,20	4	1
may-07	2,30	1,60	4	1
may-09	1,30	1,30	20	1
jun-09	1,24	1,24	12	1
sep-09	2,00	1,40	14	1
jun-10	1,24	1,28	24	1
oct-10	1,20	1,26	90	1
mar-11	1,20	1,20	50	1
jul-11	1,80	1,30	40	1
nov-11	1,80	1,30	60	1
feb-12	2,00	1,40	66	1
abr-12	3,30	2,20	40	1
sep-12	2,00	1,40	20	1
abr-13	2,00	1,50	50	1
nov-13	1,20	1,20	80	1
nov-14	1,20	1,20	110	1
mar-15	1,10	1,20	56	1

Fuente: Elaboración propia

Los perfiles de distribución de velocidad ajustados analíticamente, en base a los valores observados, tienden a reflejar que las líneas de corrientes siguen un patrón

trapezoidal en la forma de su desplazamiento, con las mayores velocidades en la parte central; para este caso todos los valores α son mayores al de β . Para la sección hidráulica, apreciamos que el ajuste analítico si representa la variabilidad de la sección del cauce, tal como apreciamos en la **Figura 4.101**.

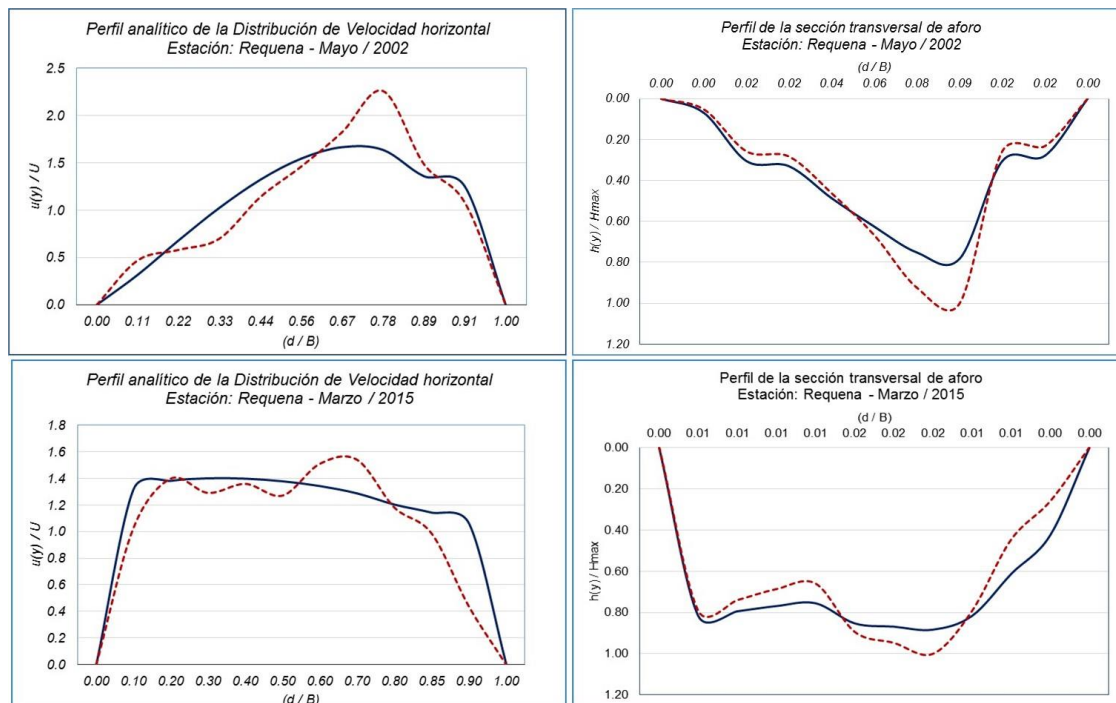


Figura 4.101. Perfiles analíticos de velocidad superficial y sección hidráulica
Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4.102**, apreciamos la relación funcional entre los parámetros determinados mediante el ajuste del perfil analítico de la velocidad superficial, cuyos valores están representados mediante la expresión algebraica de tipo polinómica de segundo grado.

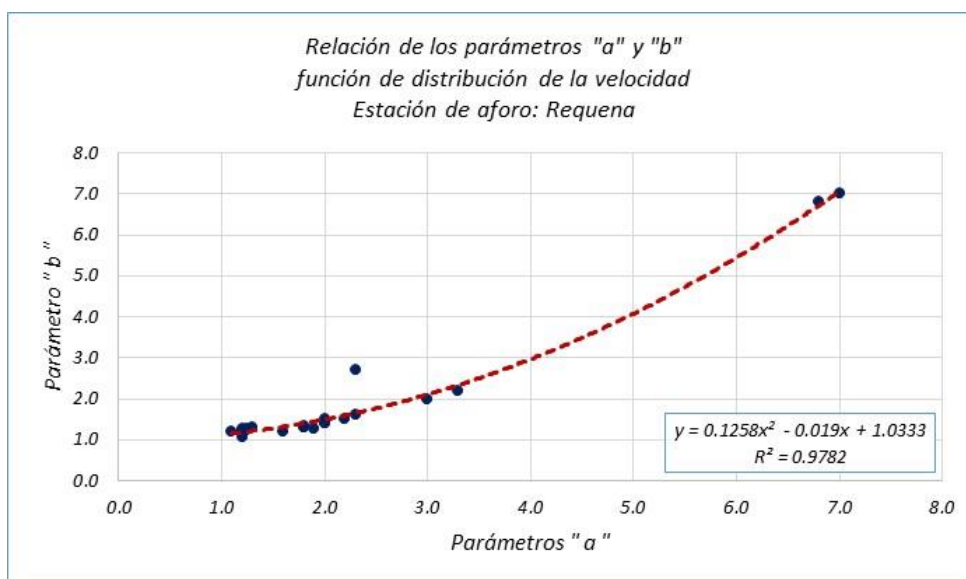


Figura 4.102. Grado de relación entre los parámetros α y β
Fuente: Elaboración propia

4.6 Análisis de la distribución de la velocidad vertical por método analítico

En esta parte de la investigación, haremos uso de la expresión matemática (II), correspondiente a la determinación del perfil analítico de la velocidad vertical promedio, en cada una de las secciones de aforo. Para ello fue necesario la determinación de la velocidad de corte (U_*) y la asignación de la constante de Von Karman (K), cuyos valores fueron generados en el proceso y se presentan en la **Tabla 4.34**.

Tabla 4.34. Parámetros determinados para la distribución de velocidad vertical promedio

Estación	U_* (m/s)	K	$V_{m(1)}$ (m/s)	$V_{m(2)}$ (m/s)	$V_{m(3)}$ (m/s)
Maldonadillo	0,249567	0,50	0,870	0,897	0,866
Atalaya	0,295314	0,50	1,116	1,314	1,117
Lagarto	0,040624	0,14	1,076	0,964	1,078
Puerto Inca	0,229948	0,50	1,074	1,167	1,081
Pucallpa	0,212890	0,75	0,621	0,648	0,621
Genaro Herrera	0,288390	0,74	1,051	1,126	1,063
Requena	0,197843	0,90	0,630	0,700	0,630

$V_{m(1)}$ -- Velocidad media en la vertical promedio de la sección de aforo (datos medidos – puntos azules)

$V_{m(2)}$ -- Velocidad media en la vertical promedio de la sección de aforo (datos obtenidos con la ecuación II – curva roja)

$V_{m(3)}$ -- Velocidad media en la vertical promedio de la sección de aforo (datos obtenidos del ajuste polinómico – curva azul)

Fuente: Elaboración propia

Realizando una comparación entre los valores medios de las velocidades para cada una de las secciones de aforo, apreciamos que los dos métodos utilizados muestran la ecuación II y el ajuste polinómico; las cuales se diferencian en el grado de ajuste de la curva a los datos observados, permitiendo de esta manera tener una mejor representación de los valores de las velocidades registradas mediante el ADCP. El valor diferencial entre los datos observados y la ecuación II, es del orden de 8,9%; mientras que con relación al ajuste polinómico, el error estimado es de 0,4%.

En la **Figura 4.103**, se puede apreciar los perfiles de las velocidades verticales promedios para cada una de las estaciones de aforo, registrándose lo siguiente:

- Los perfiles generados con la ecuación II, para las estaciones de Maldonadillo, Puerto Inca, Genaro Herrera y Requena, muestran cierto patrón de comportamiento similar a los datos observados; sin embargo, en cada uno de los casos el ajuste se ubica por debajo de las velocidades registradas.
- Para las estaciones de Atalaya, Lagarto y Pucallpa, se aprecia que la ecuación II no refleja el comportamiento de las velocidades registradas en cada una de las estaciones de aforo, mostrando ciertas discrepancias en la parte media y alta.
- En cada uno de los casos analizados, la ecuación II representa bien el ajuste para la parte inicial de los valores de las velocidades registradas.
- se ha podido ver obedece a un comportamiento logaritmo para cada uno de los casos, lo que genera que
- De las 07 estaciones analizadas, la estación de Puerto Inca, perteneciente al río Pachitea, es el único tributario del río Ucayali.

- Para las velocidades ubicadas en el tercio superior de la profundidad total, no son bien representadas por la ecuación II, los valores registrados en la estación Lagarto.
- Para cada una de las secciones de aforo, el ajuste realizado mediante la expresión algebraica de tipo polinómica, si permite describir de manera representativa el comportamiento de las velocidades, obteniendo en promedio un coeficiente de regresión mayor al 80%.

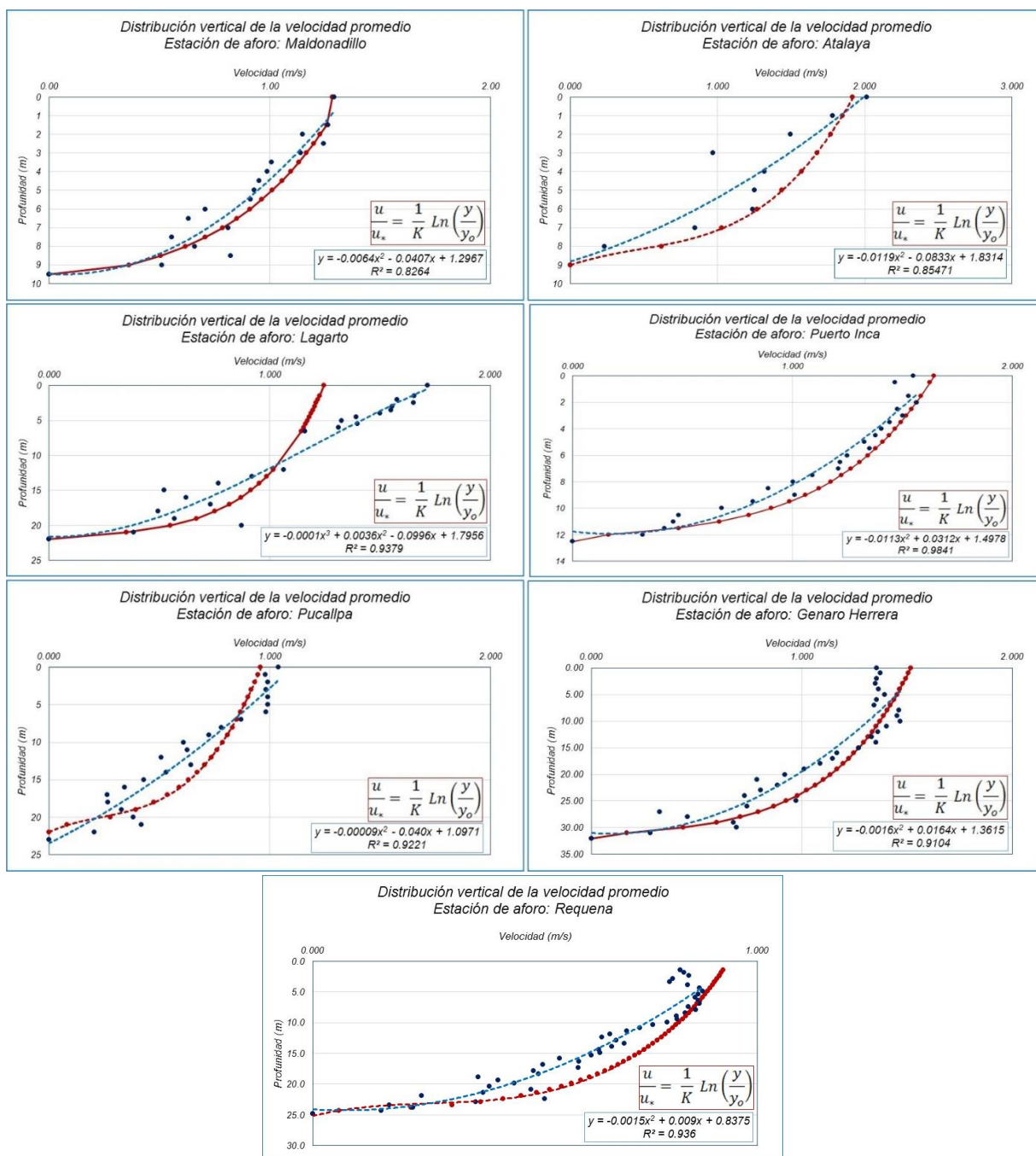


Figura 4.103. Perfiles de velocidades promedio en la vertical para cada estación de aforo
Fuente: Elaboración propia

V.- Conclusiones y Recomendaciones

En la presente investigación, se han logrado generar resultados muy importantes referentes a las características de los parámetros hidráulicos que explican la dinámica fluvial del río Ucayali y sus tributarios.

5.1) Conclusiones

Entre las conclusiones generadas de la presente investigación tenemos las siguientes:

a) Parámetros geomorfológicos

- Hay una relación directamente proporcional entre las áreas de las sub cuencas y la longitud de los ríos, la cual queda representada mediante una expresión algebraica de segundo grado (parabólico), donde la sub cuenca de Aguaytía es la que presenta la menor área y longitud de río.
- La relación que existe entre las áreas de las sub cuencas y su rango altitudinal, es inversamente proporcional, la cual queda reflejada mediante la expresión algebraica de tipo logarítmica, donde la sub cuenca del río Perene es la que registra el mayor rango altitudinal pero la menor área de superficie.
- La relación funcional entre el rango altitudinal y la longitud del río, es inversamente proporcional, la cual queda plasmada mediante la expresión algebraica de tipo logarítmica. La sub cuenca del Mantaro, muestra una mayor longitud de río, lo que provoca que Perene sigue mostrando

b) Análisis exploratorio de datos

- En el período analizado 2001 / 2015, se han registrado un total de 728 aforos, los cuales están distribuidos en 08 estaciones hidrométricas (Requena, Genaro Herrera, Tapiche, Lagarto, Pucallpa, Puerto Inca, Atalaya y Mandonadillo); registrándose en Requena 317 aforos y en Tapiche 4,0 aforos.
- La serie de datos de aforo generados mediante las campañas de aforos con ADCP, no se ajustan a una distribución normal, esto debido a que al “p” valor es menor que 0,05; a excepción de algunos aforos como registrados como: Maldonadillo (2009), Pucallpa (2012), Tapiche (2009 y 2010) y Requena (2002, 2005 y 2010).
- Del análisis de cajas, realizado para cada una de las estaciones, se ha observado que la estación de Requena y Lagarto, son las que presentan los mayores valores extremo inferior.

c) Análisis de distribución de velocidad

- El rango de variación de las velocidades, en el río Ucayali, es de 0,0 m/s y 2,4 m/s, valor que va variando a media que el flujo de agua va transitando desde la parte alta a la parte baja.
- El perfil de velocidad vertical promedio, de la sección de aforo, tiende a ser representada mediante una expresión algebraica de cuarto grado.
- Del comportamiento de las velocidades medias horizontales, en la estación de aforo, nos indica que las mayores velocidades se registran en cerca de la margen izquierda, derecha y central del cauce del río, la cual refleja donde se encuentra ubicada la parte más profunda de la sección hidráulica.
- La relación funcional entre la velocidad media vertical y la velocidad media horizontal, es directamente proporcional, permitiendo ser representada mediante una expresión algebraica de primer orden.

- Las campañas de aforos realizados, en el río Ucayali, muestran una variabilidad de la sección hidráulica que van desde el tipo triangular, trapezoidal y rectangular; las cuales juega un papel importante en el proceso de la generación de las distribuciones de las velocidades horizontales, que nos lleva a inferir procesos de colmatación y erosión.
 - La sección hidráulica de aforo, muestra variabilidad en función a la profundidad del cauce, presentándose en algunos casos secciones que se estrangulan y dan paso a dos cajas hidráulicas (Atalaya).
- d) *Análisis de las secciones hidráulicas*
- Las secciones hidráulicas, muestran en términos generales cambios en su perfil batimétrico, que dan indicios de erosión y sedimentación; especialmente en la parte media y en algunas secciones en la margen derecha e izquierda.
 - Las secciones hidráulicas analizadas en el río Ucayali, muestran variaciones promedio que oscilan entre 1,0 metro a 15,0 metros, para su perímetro mojado.
 - Las relaciones funcionales entre los parámetros hidráulicos de las secciones de aforo, presentan en promedio correlaciones funcionales que permitan representar el comportamiento entre ellas.
- e) *Análisis de la distribución de velocidad horizontal y geometría del cauce por método empírico*
- Los valores de los parámetros (α y β), para el perfil de la velocidad oscilan entre 0,80 a 1,42
 - El valor del parámetro (α), para el perfil de la sección hidráulica, oscila entre 18 a 140.
 - La funcionalidad entre los parámetros α y β , queda representada mediante la expresión algebraica de tipo polinómica de segundo grado, la cual permitirá entender el comportamiento de una de ellas en relación a la otra.
 - Los perfiles teóricos generados mediante el método empírico seleccionado, ha permitido entender la dinámica fluvial de las secciones hidráulicas de las estaciones de aforo, logrado con ellos secciones muy representativas.
 - tener una primera aproximación de
- f) *Análisis de la distribución de la velocidad vertical por método analítico*
- Mediante el método analítico, se ha logrado ajustar perfiles teóricos, a las distribuciones de velocidad promedio vertical de cada una de las secciones hidráulicas utilizadas para los aforos, determinándose que dicho método ha logrado representar el comportamiento para las estaciones de Maldonadillo, Puerto Inca, Genaro Herrera y Requena; mientras que en las estaciones de Atalaya, Lagarto y Pucallpa, se presentan discrepancias muy notorias en la parte central de la distribución de los puntos ploteados.
 - La velocidad de corte (U_*) promedio determinado para el río Ucayali es de 0,2163 m/s, registrándose el menor valor en la estación de Lagarto y el mayor valor en la estación de Atalaya.
 - El valor medio de la constante de Von Karman (K), fue de 0,60, registrándose el menor valor en la estación de Lagarto y el mayor valor en la estación de Requena.

5.2) Recomendaciones

- *Es importante mantener la evaluación de la dinámica fluvial de los ríos Amazónicos, los cuales nos permitirán conocer no solo su comportamiento sino su evolución, a nivel espacial y temporal, sobre la base de sus propios mecanismos naturales y de factores antrópicos que se puedan desarrollar en la cuenca*
- *Fortalecer la presente investigación, incorporando factores antrópicos relevantes en el proceso de generación de los factores sedimentológicos como son la erosión y sedimentación, los cuales juegan un papel preponderante en la variabilidad de las secciones hidráulicas del río Ucayali.*
- *Generar y mantener una base de datos debidamente georreferenciadas sobre los aforos que se realizan en las cuencas hidrográficas del país.*

VI.- Referencias

- Adolfo, C., Alvarado, C. y Ettmer, Bernd, (2017). MORFOLOGÍA FLUVIAL Y EROSIÓN EN CURVAS ABRUPTAS DEL RÍO UCAYALI, PERÚ. ResearchGate – IHE Delft Institute for water education. Pp. 23.
Available from: https://www.researchgate.net/publication/267712634_MORFOLOGIA_FLUVIAL_Y_EROSION_EN_CURVAS_ABRUPTAS_DEL_RIO_UCAYALI_PERU [accessed Jun 11 2018].
- Akbari, M. and Vaghefi, M. (2017). Experimental investigation on streamlines in a 180 sharp bend. *Acta Scientiarum Technology*, vol. 39, no. 4, p. 425. [View at Publisher](#) · [View at Google Scholar](#) · [View at Scopus](#)
- Alessandrini, V., Bernardi, G. and Todini, E. (2013). An operational approach to real-time dynamic measurement of discharge. *Hydrol. Res.* 44, 953–964.
- ANA. (2008). *Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas del Perú*. Lima: Autoridad Nacional del Agua.
- ANA. (2009). *Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas del Perú*. Lima: ANA.
- Antena, W. (01 de Julio de 2014). *Antena informativa*. Obtenido de www.antenainformativapucallpa.blogspot.com
- Begay, Lyles, C. (2012). *Fluvial Geomorphology*. <https://riverrestoration.wikispaces.com/>
- Betts, A. K. (2007). *Understanding hydrometeorology using global models*. American Meteorological Society, 1673 - 1688.
- Blanckaert, K. and Graf, W. H. (2001). Mean flow and turbulence in open-channel bend. *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 127, no. 10, pp. 835–847. [View at Publisher](#) · [View at Google Scholar](#) · [View at Scopus](#)
- Cox, P. M. (2004). Amazonian forest dieback under climate carbon cycle projections for the 21 st century. *Theoretical and Applied Climatology*, 78, 137 - 156.
- Chen, C. L. (1991). Unified Theory on Power Laws for Flow Resistance. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 117, No. 3, 1991, pp. 371-389. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429,117:3\(371\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429,117:3(371))
- Cheng, N. S. (2007). Power-Law Index for Velocity Profiles in Open Channel flows. *Advances in Water Resources*, Vol. 30, No. 8, 2007, pp. 1775-1784. <http://dx.doi.org/10.1016/j.advwatres>.
- Cheng, Ralph & Gartner, J.W. (2003). Complete velocity distribution in river cross-sections measured by acoustic instruments. *Research Gate*. pp. 21-26. 10.1109/CCM.2003.1194276.
- Chiu, C.L. (1988). Entropy and 2-D velocity distribution in open channels. *J. Hydrol. Eng.* 114, 738–756.
- Choat Brendan et al., (2012). Global convergence in the vulnerability of forests to drought. *Nature* doi:10.1038 / nature11688.
- Christensen, J. L., and Herrick, L. E. (1982). "Mississippi River test, Vol. 1." Final Rep.DCP4400/300Prepared for the U.S. Geological Survey, AMETEK/Straza Division, El Cajon, Calif.

- Corato, G., Moramarco, T. and Tucciarelli, T. (2011). Discharge estimation combining flow routing and occasional measurements of velocity. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 15, 2979–2994.
- Corato, G., Ammari, A. and Moramarco, T. (2014). Conventional Point-Velocity Records and Surface Velocity Observations for Estimating High Flow Discharge. *Entropy.* (16). pp. 5546 – 5559.
- Costa, J. E., Cheng, R.T., Haeni, F. P., Melcher, N., Spicer, K. R., Hayes, E., Plant, W., Hayes, K., Teague, C. and Barrick, D. (2006). Use of radars to monitor stream discharge by noncontact methods. *Water Resour. Res.* 42, doi: 10.1029/2005WR004430.
- DAR, (2011). Acuerdo para el suministro de electricidad al Perú y exportación de excedentes al Brasil – Buscando la gobernanza energética en el Perú – Programa de Energía Sostenible. *Derecho Ambiental y Recursos Naturales.* Junio. Perú
- Deng, Z. Q., Singh, V. P., Bengtsson, L.(2001). “Longitudinal dispersion coefficient in straight rivers.”. *J. Hydraul. Eng.*, 127(11), 919–927.
- Diario16. (01 de Julio de 2014). *Diario16.* Obtenido de www.diario16.pe.
- DiarioAhora. (01 de Julio de 2014). *DiarioAhora.* Obtenido de www.diarioahora.pe.
- Díaz Lozada, José Manuel (2014). Cuantificación y caracterización del escurrimiento superficial en le sistema fluvial del río Carcaraña. Tesis de Maestría en Ciencias de la Ingeniería: Mención en Recurso Hídrico. Universidad Nacional de Córdoba – Argentina. pp. 208.
- Dinehart, R. L., and Burau, J. R. (2005). “Averaged indicators of secondary flow in repeated acoustic Doppler current profiler crossings of bends.” *Water Resour. Res.*, 41(9), W09405.
- Doll, B.A., Dobbins, A.D., Spooner, J., Clinton, D.R., Bidelspach, D.A. (2003). *Hydraulic Geometry Relationships for Rural North Carolina Coastal Plain Streams.* N. C. Division of Water Quality for 319 Grant Project NOEW20011.
- Dunne, T., Leopold, L.B. (1978). *Water in Environmental Planning.* W. H. Freeman, Co., New York.
- D.W. Knight, J.D. Demetriou. (1983). **Flood plain and main channel flow interaction.** *Journal of Hydraulic Engineering*, 109 (8), pp. 1073-1092.
- Emmett, W.W. (1975). *The channels and waters of the upper Salmon River, Idaho.* U.S. Geological Survey Professional Paper: 870A.
- Ervine, D.A., Babaeyan-Koopaei, K., Sellin, R.H.J. (2000). **Two-dimensional solution for straight and meandering overbank flows.** *Journal of Hydraulic Engineering*, 126 (9), pp. 653-669.
- Fearnside Philip (2008), Vulnerabilidade da floresta amazônica perante as medancas climáticas. *Oecologia Brasiliensis* 13(4): 609-618. doi: 10.4257/oeco.2009.1304.05.
- Foley JA, Botta A, Coe MT, et al. (2002). El Niño–Southern oscillation and the climate, ecosystems and rivers of Amazonia. *Global Biogeochem Cycles* 2002;16:1132. doi:10.1029/2002GB001872.
- Fulton, J. and Ostrowski, J. (2008). Measuring real-time streamflow using emerging technologies: Radar, hydroacoustics and the probability concepts. *J. Hydrol.* 357, 1–10.
- Godoy Oriundo, Edy. (2005). Levantamiento hidrográfico automatizado, para la determinación de la ruta óptima de navegación en el río Ucayali, Lima

- Gonzales-Castro, Juan A. and Muste Marian. (2007). Framework for estimating uncertainty of ADCP measurements from a moving boat by standardized uncertainty analysis. *Journal of Hydraulic Engineering*. 133(12). pp.
- González-Castro, J. A., Melching, C. S. and Oberg, K. A. (1996). Analysis of Open-Channel Velocity Measurements Collected with an Acoustic Doppler Current Profiler. 1st International Conference on New/Emerging Concepts for Rivers, RIVERTECH 96, IWRA, Chicago, 22-26 September, pp. 838-845.
- Gordon, R. L. (1989). "Acoustic measurement of river discharge." *J. Hydraulic. Eng.*, 115(7), 925–936.
- Hinze, J. O. (1975). *Turbulence*, McGraw-Hill Book Co., New York.
- H&O-ECSA. (2005). *Estudio de Navegabilidad del río Ucayali en el tramo comprendido entre Pucallpa y la Confluencia con el río Marañón*. Lima: H&O - ECSA.
- Horel, J. D., & Cornejo Garrido, (1986). Convection along the coast of north-ern Perú during 1983: spatial and temporal varaiton of cloud and rain-fall. *Monthly Weather Rev.*, vol. 114, p.2091-2105.
- Huamani, J. C. (2008). *Programa DROUGHTS.FOR versión1*. Lima: SENAMHI.
- Huggett, Richard Jhon. (2007). *Fundamentals of Geomorphology*. Segunda Edición
- INEI. (2007). *CENSO*. Lima: INEI.
- InfoRegión. (01 de Julio de 2014). *InfoRegión Agencia de presna Ambiental*. Obtenido de www.inforegion.pe.
- Inforegión. (16 de Agosto de 2012). *Info región*. Recuperado el 15 de Agosto de 2013, de www.inforegion.pe
- IPCC. (2007). *Summary for Policimakers, in Climate Change: Impacts, Adapatation and Vulnerability Contribution of Workin Group II to The Fourth Assessment. Report of the Intergovemmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University.
- INRENA-PROCLIM. (2005). *La Deforestación en el Perú*. Lima: Fundación Manuel J. Bustamante de la Fuente.
- INRENA-PROCLIM. (2005). *La Deforestación en el Perú*. Lima: Fundación Manuel J. Bustamante de la Fuente.
- IPCC. (2007). *Summary for Policimakers, in Climate Change: Impacts, Adapatation and Vulnerability Contribution of Workin Group II to The Fourth Assessment. Report of the Intergovemmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University.
- ISO. (1997). *Measurement of Liquid Flow in Open Channels: Velocity-Area Methods*. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, ISO 748.
- Keaton, J.N., Messinger, T., Doheny, E. J. (2005). *Development and Analysis of Regional Curves for Streams in the Non-Urban Valley and Ridge Physiographic Province, Maryland, Virginia, and West Virginia*. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report: 2005-0576. p. 116.
- Killeen, J. T. (2008). *Conservation Strategies to Mitigate Impacts from Climate Change in Amazonia*. *Philosophical Transactions - The Royal Society B*, 1881 - 1888.
- Killeen, T. J., & Luis A., S. (2008). *Conservation strategies to mitigate impacts from climate change in Amazonia*. *Philosophical Transactions of Royal Society B*, 1881 - 1888.
- Knight D. W., Hamed M E. (1984). *Boundary shear in symmetrical compound channels*. *Journal of Hydraulic Engineering*.

- Koskela, J. (2017). *Medición de caudal. Instituto del medio ambiente de Finlandia – Freshwater Center - SYKE*. pp.68
- Kraus, N. C., Lohrmann, A., and Cabrera, R. (1994). "New acoustic meter for measuring 3D laboratory flows." *J. Hydraulic. Eng.*, 120(3), 406–412. 10.1061/(ASCE)0733-9429(1994)120:3(406)
- Lee, Hae-Eun, Lee, Chanjoo, Kim, Youg-Jeon, Kim, Ji-Sum and Kim, Won. (2013). *Power law exponents for vertical velocity distributions in natural rivers. Scientific Research, Journal Engineering*, 5(2013). pp. 933– 9432.
- Lenderink, G.; Buishand, A. y Deursen, W. (2007). *Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: direct versus delta approach. Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11(3), 1145-1159
- Leopold, L.B., Maddock, T. (1953). *The Hydraulic Geometry of Stream Channels and Some Physiographic Implications. U.S. Geological Survey Professional Paper: 252*
- Leopold, L.B., Wolman, M.G., Miller, J.P., 1964. *Fluvial Processes in Geomorphology. Dover Publications, New York.*
- Leveratto, Y. (2007). *Portal de Historia y Medio Ambiente. Recuperado el 28 de marzo de 2014, de Portal de Historia y Medio Ambiente: www.yurileveratto.com*
- Lewis, S.L., Brando, P.M., Phillips, O.L., van der Heijden, G.M.F. & Nepstad, D. (2011). *The 2010 Amazon drought.*
- Marengo, J. A. (2004). *Climatology of the LLJ east of the Andes as derived from the NCEP Reanalysis . Journal of climate* 17, 2261 - 2280.
- Marengo, J.; Obregón, G. y Valverde, M. (2007). *Elaboración de escenarios climáticos para la región de Arequipa. Medidas Piloto de Adaptación al Cambio climático en el Perú. GTZ.*
- Margin, G. C. (2007). *Latin America, in Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. cambridge University.*
- Mantua, N. (2001). *The Pacific Decadal Oscillation, In: Encyclopedia of global Environmental Change. John Wiley & Sons, Inc.*
- McGee, W. J. (1888). *The geology of the head of Chesapeake Bay. Annual Report of the United States Geological Survey* 7, 537–646.
- McKee et al. (1993 y 1995). "Standardized Precipitation Index"
- McKeogh, E. J. and Kiely, G. K. (1989). *Experimental study of the mechanisms of flood flow in meandering channels. in Proceedings of the 23rd IAHR Congress, pp. 491–498, Ottawa, Canada, August.*
- Mizuta, R. et al. (2006). *20-km-mesh global climate simulations using JMA-GSM model –mean climate states-. J. Meteor. Soc. Japan*, 84, 165-185.
- Mueller, David, S., Wagner, Chad, R. (2007). *Correcting acoustic Doppler Current profile discharge measurements biased by sediment transport. Journal of Hydraulic Engineering*. 133(12).
- Muste, M., Yu, K. and Spasojevic, M. (2004). *Practical Aspects of ADCP Data Use for Quantification of Mean River Flow Characteristics; Part I: Moving-Vessel Measurements. Flow Measurement and Instrumentation, Vol. 15, pp. 1-16.*
- Muste, M., Yu, K. and Spasojevic, M. (2004). *Practical Aspects of ADCP Data Use for Quantification of Mean River Flow Characteristics; Part II: Fixed-Vessel Measurements. Flow Measurement and Instrumentation, Vol. 15, pp. 17-28.*

- *Muste, Marian, Vermeyen, Tracy, Hotchkiss, Rollin and Oberg, Kevin, (2007). Acoustic velocimetry for riverine environments. (Journal of hydraulics Engineerin. 133(12). pp.*
- *Muste, Marian; Kim, Won et Fulford, Janice, (2008) Techniques hydrométriques: perdecionnement des ionstruments pour la cartographie hydrodunamique des cours déau. Mulletin OMM, 57(3). Pp. 163 - 170*
- *Myers W. R. C. (1987). Velocity and discharge in compound channels. Journal of Hydraulic Engineering, 113(6): 753-766.*
- *epstad, C. D. (2007). Los Circulos Viciosos de la Amazonía. wwf internacional.*
- *Nepstad, D. (1999). Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. Nature, 505 - 508.*
- *NOAA. (30 de Agosto de 2013). Global Change Master Directory. http://gcmd.nasa.gov/records/GCMD_NOAA_NWS_CPC_SOI.html*
- *Norma, (2009). Geografía del Perú y Economía. Ríos de la vertiente del Amazonas. <http://geografiaenaccion3052.blogspot.com/2009/09/rios-de-la-vertiente-del-amazonas.html>*
- *Oberg, Kevin and Mueller, David S. (2007). Validation off streamflow measurements made with acoustic doppler current profile. Journal of Hydraulic Engineering. 133(12)*
- *ONERN. (1980). Inventario Nancional de Aguas Superficiales. Lima: ONERN.*
- *ONERN/INRENA (1994). Monitoreo de la Deforestación en el Perú. Informativo 1(3): 6-7.*
- *OTCA. (2007). Proyecto GEF Amazonas - Desarrollo poblacional en la Amazonía. OTCA.*
- *Pepper, Maja. (2016). Fluvial Geomorphology. Argyll Fisheries Trust. SFCC*
- *Percy, Egoavil Hector. (2014). Huaycos interrumpen por 24 horas ingreso a Ucayali. Ucayaenlanoticia. Web de información veraz y oportuna. (parr. 1).*
- *Phillips, OL., Aragão, EOC., Lewis, SL., Fisher, JB., Lloyd, J., López-González, G., Malhi, Y., Monteagudo, A., Peacock, J., Quesada, CA., van der Heijden, G., Almeida, S., Amaral, I., Arroyo, L., Aymard, G., Baker, TR., Bánki, O., Blanc, L., Bonal, D., Brando, P., Chave, J., Oliveira, ÁCA., Cardozo, ND., Czimczik, Cl., Feldpausch, TR., Freitas, MA., Gloor, E., Higuchi, N., Jiménez, E., Lloyd, G., Meir, P., Mendoza, C., Morel, A., Neill, DA., Nepstad, D., Patiño, S., Peñuela, MC., Prieto, A., Ramírez, F., Schwarz, M., Silva, J., Silveira, M., Thomas, AS., ter Steege, H., Stropp, J., Vásquez, R., Zelazowski, P., Dávila, EA., Andelman, S., Andrade, A., Chao, K-J., Erwin, T., Di Fiore, A., Honorio, EC., Keeling, H., Killeen, T.J., Laurance, WF., Cruz, AP., Pitman, NCA., Vargas, PN., Ramírez-Ángulo, H., Rudas, A., Salamaõ, R., Silva, N., Terborgh, J. & TorresLezama, A. (2009). Drought sensitivity of the Amazon rainforest. Science, 323: 1344-1347.*
- *Posada, L. (1994) "Transporte de Sedimentos". Posgrado en Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional de Colombia. Medellín: [s.n].*
- *PROCLIM, (2005). Vulnerabilidad Actual y Futura, ante el cambio climático y dedidas de adaptación en la cuenca del río Mantaro. IGP - Instituto Geofico del Perú.*
- *Rao et al., (1986).*
- *Roseann, Brockman, Ruth. (2010). Hydraulic Geometry Relationships and Regional Curves for the Inner and Outer Bluegrass Regions of Kentucky. University of Kentucky Master's Theses. Paper 56.*
- *Rosgen, D. (1994) "Applied River Morphology". Wildland Hydrology. Colorado.*
- *Rowell, A. a. (2000). Global Review of Forest Fires. WWW nad IUCN, 2000 - 047.*

- Salati, E. a. (1984). *Climatology of the Amazon region*, . *The Amazon*, 86 - 126.
- San Román, J. V. (OSA). 1994. *Perfiles Históricos de la Amazonía Peruana*. CETA-CAAAP-IIAP. Iquitos.
- Schumm, Stanley A. (1977). *The Fluvial System*. New York, NY, USA: J. Wiley. <https://riverrestoration.wikispaces.com/Fluvial+geomorphology+2>
- Sellin, R. H. J. and Willets, B. B. (1996). *Three-dimensional structures, memory and energy dissipation in meandering compound channel flow*. *Floodplain Processes*, Wiley, Chichester, UK. [View at Google Scholar](#)
- SENAMHI. (2008). *Clasificación Climático del Perú*. Lima: SENAMHI.
- SENAMHI, (2007). *Escenarios de Cambio climático en la cuenca del río Mantaro para el año 2100*. Autores Avalos, G.; Rosas, G.; Oria, C.; Acuña, D.; Metzger, L.; y Miguel, R. Ed. SENAMHI Perú, 124 pp.
- Seo, I. W., Baek, K. O. (2004). "Estimation of the longitudinal dispersion coefficient using the velocity profile in natural streams". *J. Hydraul. Eng.*, 130(3), 227–236.
- Shiono K. and Knight D. W. (1991). *Turbulent open-channel flows with variable depth across the channel*. *Journal of Fluid Mechanics*, 222: 617- 646.
- Shiono, K., Muto, Y., Knight, D. W. and Hyde, A. F. L. (1999). *Energy losses due to secondary flow and turbulence in meandering channels with overbank flows*. *Journal of Hydraulic Research*, vol. 37, no. 5, pp. 641–664. [View at Publisher](#) · [View at Google Scholar](#)
- shobo, A. n. (2010). *ani nii shobo*. Recuperado el 28 de marzo de 2014, de *ani nii shobo*: www.aniniishobo.org
- Simpson, M. R. (1986). "Evaluation of a vessel-mounted acoustic Doppler current profiler for use in rivers and estuaries." *Proc. 3rd Working Conf. on Current Measurement, IEEE, Washington, D.C.*, 106–121.
- Singh, V.P., 2003. *On the Theories of Hydraulic Geometry*. *International Journal of Sediment Transport* 18, 196-218.
- Song S., Schmalz B. and Fohrer N. (2017). *Improved structure of vertical flow velocity distribution in natural rivers on mean vertical profile velocity and relative eater depth*. *Hydrology Research*. 49(3). pp. 711 – 723.
- Texeira, Pedro. (1639). *Descubrimiento del Amazonas*
- UC. (2003). *Geomorfología Fluvial*. Universidad del Cauca. Colombia. 60 pp.
- Ucayali, R. d. (2009). *Plan Regional de Desarrollo de Capacidades de Ucayali*. Ucayali: GORE - Ucayali.
- Ucayali, G. (2002). *Plan Regional de Prevención y Atención de Desastres*. Ucayali: GORE-Ucayali.
- Urich, Mark and Stewart, Marc, (2011). *Introduction to Acoustic Measuring Equipment*. U.S. Geological Survey – *Technical training in Support of Native American Relations (TESNAR)*. pp – 43
- Vuille, M., (2007): *Climate change in the Tropical Andes – Impacts and consequences for glaciation and water resources*. Part I, II and III. A report for CONAM and the World Bank.
- White, D.S., S. Velarde, J. Alegre & T. Tomich. [Editores]. (2005). *Alternatives to slash-andburn (ASB) in Peru*. *Summary findings and synthesis of Phase II*. Nairobi Kenia.
- wwf, (2012).

-
- Wu, H., Hayes, M.J., Weiss, A. y Hu, Q. (2001): *An evaluation of the standardized precipitation index, the china-z index and the Statistical zscore. International Journal of Climatology* 21: 745-758.
 - Xing Yun, Shengfa Yang and Liang Qihua. (2016). *Effect of Floodplain Roughness on Velocity Distribution in Mountain River. Science Direct.* 154(2016). pp. 467 – 475.
 - Yang K, Nie R, Liu X, et al. (2012). *Modeling depth-averaged velocity and boundary shear stress in rectangular compound channels with secondary flows. Journal of Hydraulic Engineering.*
 - Zhang, Qiang, Shi, Yafeng, Chen, Zhongyuan and Jiang, Tong. (2008). *ADCP measured flow current of the middle-lower Changjiang river channel. Frontiers of Earth Science in China.* 2(1). pp. 1 – 9.