UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA
AMAZONIA PERUANA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

"ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD EN EL PROCESO DE MIGRACIÓN DEL RIO UCAYALI PRÓXIMO A LA COMUNIDAD DE VILLA JENARO HERRERA"

T E S I S

Para optar el título profesional de:

INGENIERO EN GESTION AMBIENTAL

Presentado por:

ZARA LUZ TORRES MESTANZA

Bachiller en Gestión Ambiental

Iquitos – Perú

2017

ACTA DE SUSTENTACIÓN N° 023-EFPIGA-FA-UNAP-2016

En Iquitos, a los ..05..... días del mes de ..DICIEMBRE..... del 2016, a horas ..5:00 P.M.. el Jurado designado por la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería en Gestión Ambiental, intergrado por los Señores Miembros que a continuación se indica:

Ing. JORGE AQUILES VARGAS FASABI, M.Sc.	**PRESIDENTE**
Ing. RAFAEL CHAVEZ VÁSQUEZ, Dr.	**MIEMBRO**
Ing. JUAN LUIS ROMERO VILLACREZ, M.Sc.	**MIEMBRO**

Se constituyeron en el Auditorio de la Facultad de Agronomía, para escuchar la sustentación de la Tesis titulada: **"ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD EN EL PROCESO DE MIGRACIÓN DEL RÍO UCAYALI PRÓXIMO A LA COMUNIDAD DE VILLA JENARO HERRERA"**, presentada por la Bachiller en Gestión Ambiental **ZARA LUZ TORRES MESTANZA**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN GESTION AMBIENTAL** que otorga la Universidad de acuerdo a Ley y Estatuto.

Después de haber escuchado con atención y formulado las preguntas necesarias, las cuales fueron respondidas: ..... A SATISFACCION .....

El Jurado después de las deliberaciones correspondientes en privado, llegó a las siguientes conclusiones:

La Tesis ha sido ..... APROBADA POR UNANIMIDAD .....
Siendo las ..... 6:30 P.M. ..... se dio por terminado el acto ..... FELICITANDO .....
a la sustentante por su trabajo.

Ing. JORGE AQUILES VARGAS FASABI, M.Sc.
Presidente

Ing. RAFAEL CHAVEZ VÁSQUEZ, Dr.
Miembro

Ing. JUAN LUIS ROMERO VILLACREZ, M.Sc.
Miembro

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONIA PERUANA
FACULTAD DE AGRONOMIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

Tesis aprobada en sustentación pública el día 05 de diciembre del 2016, por el Jurado nombrado por la Escuela Profesional de Ingeniería en Gestión Ambiental, para optar el título de:

INGENIERO EN GESTION AMBIENTAL

JURADO:

Ing. JORGE AQUILES VARGAS FASABI, M.Sc.
Presidente

Ing. RAFAEL CHAVEZ VÁSQUEZ, Dr.
Miembro

Ing. JUAN LUIS ROMERO VILLACREZ, M.Sc.
Miembro

Ing. JORGE ENRIQUE BARDALES MANRIQUE, Dr.
Asesor

Universidad Nacional de la Amazonia Peruana
Facultad de Agronomía
REPÚBLICA DEL PERÚ
DECANO
IQUITOS

Ing. DARVIN NAVARRO TORRES, Dr.
Decano

DEDICATORIA

A todos los integrantes de mi familia que son mis grandes amores y motores de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a **Dios**, que me brindo salud, perseverancia, fortaleza y una maravillosa Familia.

A todo el personal del Servicio de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú, Así como también al Dr. Jorge Abad por su paciencia y dedicación al guiarme en el estudio de los ríos amazónicos, al Ing. Jorge Bardales por su gran motivación y guía al desarrollar este trabajo.

A mis mejores amigos, Sariah, Victoria, Giancarlo, Frida por sus palabras de aliento y las ganas que tienen cada uno de ellos de hacer de nuestra región una de las mejores.

Quiero agradecer a la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana y a cada uno de sus docentes por brindarme los conocimientos que me ayudan a desarrollar mi carrera profesional, a todos ellos mi eterna gratitud.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

ÍNDICE GENERAL 05
INDICE DE FIGURAS 06
INDICE DE GRAFICOS 09
INDICE DE TABLAS 09
INTRODUCCIÓN 10
CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 12
1.1 PROBLEMA, HIPÓTESIS Y VARIABLES 12
1.1.1 Problema 12
1.1.2 Definición del Problema 13
1.2 HIPÓTESIS GENERAL 13
1.3 IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES 13
1.3.1 Variables 13
1.3.2 Operación de las variables 14
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 14
1.4.1 Objetivo general 14
1.4.2 Objetivos específicos 14
1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA 15
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA 17
2.1 CARACTERIZACIÓN GENERALES DE LA ZONA 17
2.2 METODOS 18
CAPÍTULO III. REVISIÓN DE LITERATURA 23
3.1 MARCO TEÓRICO 23
3.2 MARCO CONCEPTUAL 32
CAPITULO IV. ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS 55
4.1 ANALISIS HISTÓRICO DE LA MIGRACION DEL RIO UCAYALI CERCA DEL DISTRITO DE JENARO HERRERA 55
4.2 MAPA DE IMÁGENES DE SATÉLITE DE 1985-2013, INTERVALOS DE CADA CINCO AÑOS 56
4.3 ANÁLISIS DE LA TASA DE MIGRACION 59
4.4 CARACTERIZACION DE SUELOS 61
4.5 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y CURVAS GRANULOMETRICAS 63
4.6 MEDICIONES HIDRODINÁMICAS Y MORFODINÁMICAS 64
4.7 RESULTADOS DE BATIMETRÍA UTILIZANDO EL ADCP 65

4.8 MODELAMIENTO HIDRODINAMICA.....68
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....70
5.1 CONCLUSIONES.....70
5.2 RECOMENDACIONES 71
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....72
A N E X O S.....79

INDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura N° 01: Ubicación del Área de Estudio. Villa Jenaro Herrera.....18
Figura N° 02: Aproximación del Río Amazonas al Río Nanay. Análisis Multitemporal 1980-2012. Mendoza et al. (2014). En cada sub figura se tiene dos imágenes satelitales 5 años separadas para observar la evolución del rio. Zonas azules representa que es agua permanente, gris representa que antes era agua ahora se ha sedimentado y la zona celeste es donde antes había deposición ahora erosión.....28
Figura N° 03: Variaciones Morfológicas del Río Amazonas registradas desde 1948. Servicio de Hidrografía y Navegación de la Amazonía de la Marina de Guerra del Perú (2012).....29
Figura N° 04: Variaciones Morfológicas del Río Ucayali (de 1975 a 2010), en las inmediaciones de la ciudad de Pucallpa. Fuente: Abad et al. (2012) 30
Figura N° 05: Migración conceptual del canal. t es la amplitud angular del eje del rio, a+b es el ancho del rio 31
Figura N° 06: Usando la digitalización de las márgenes izquierda y derecha se pueden.....31
Figura N° 07: Usando la digitalización de las márgenes obtenemos el cauce medio de un rio y las propiedades de banco.....32
Figura N° 08: Ubicación de la Cuenca del Río Ucayali del Río Ucayali. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2011 35
Figura N° 09: Niveles Históricos del Río Ucayali, Estación Requena. Servicio de Hidrografía y Navegación de la Amazonía de la Marina de Guerra del Perú, 2013.....36

Figura N° 10: Ubicación del área de estudio: el distrito de Jenaro Herrera, cuenca media del río Ucayali y las comunidades que lo limitan. Google Earth 2010 38
Figura N° 11: Formación de una tipishca por estrangulamiento de un meandro. Servicio de Hidrografía y Navegación de la Amazonía, 2012.....40
Figura N° 12: Migración de un meandro vista en planta (una longitud de onda completa). Domínguez, 2012 42
Figura N° 13: Los modos de la migración de los meandros. ORE Hybam, octubre 2009 43
Figura N° 14: Balance de erosión y sedimentación. ORE Hybam, octubre 2009 43
Figura N° 15: Parámetros geométricos de los meandros del río Ucayali. ORE Hybam, octubre 2009.....44
Figura N° 16: (a) curvatura (=1/Rc, donde Rc es el radio de curvatura) local del rio, (b) aplicación de la técnica de wavelets para describir la longitud de onda (l*, normalizada por el ancho del rio), (c) aplicación de las transformadas de Fourier para describir las longitudes de onda dominantes (l*=15.316). Este análisis corresponde al rio Pariamanu, Perú (imagen 1990) 44
Figura N° 17: (a) equipo geodésico para geo referenciar las mediciones de niveles de agua, (b) equipo de estación total para verificar las mediciones con reglas de nivel, (c) mediciones del nivel del agua mediante reglas, (d) Hidro IV, embarcación para las mediciones con ADCP, (e) Stiglich, buque plataforma que se utilizó para realizar las mediciones de este estudio, (f) embarcación para realizar mediciones con el ecosonda multihaz, (g) Hidro IV mostrando el instrumento ADCP 46
Figura N° 18: Ecosonda monohaz hidrográfica del SHNA para realizar batimetría.....48
Figura Nº 19: Triángulo textural según clasificación del USDA. Zavaleta (2002) 54
Figura N° 20: Serie de la evolución morfológica del Río Ucayali, las líneas de colores representan la digitalización del curso del río Ucayali de los años 1991, 1996, 2001, 2006, 2011 y 2012 superpuestas sobre la imagen de satélite del año 1985.....56
Figura N° 21: Serie de imágenes de satélite Landsat sobre el Río Ucayali, de los años 1985 a 2013, donde se muestra la migración de meandros y el lugar de corte de meandro.....58
Figura N° 22: Mapa de Ubicación de la recolección de muestras de suelo.....61
Figura N° 23: Mapa geológico de la zona de Jenaro Herrera.....62
Figura Nº 24: Mapa geomorfológico de la zona de Jenaro Herrera.....62

Figura N° 25: Batimetría del rio Ucayali (medida usando el ecosonda monohaz) y de la planicie de inundación (data del STRM, USGS). Se muestra que la villa Jenaro Herrera presenta profundidades importantes 64
Figura N° 26: Secciones transversales donde se colectaron perfiles de velocidades usando el ADCP 65
Figura N° 27: Ejemplo de toma de velocidades usando el programa WinRiver (Teledyne RDI instruments).....66
Figura N° 28: Secciones de velocidades post-procesadas para las mediciones efectuadas en mayo 2013. Los contornos de colores indican las velocidades longitudinales mientras que los vectores indican el patrón de velocidades.....66
Figura N° 29: Secciones de velocidades post-procesadas para las mediciones efectuadas en agosto 2013. Los contornos de colores indican las velocidades longitudinales mientras que los vectores indican el patrón de velocidades transversales 67
Figura N° 30: Malla numérica utilizada para las simulaciones. Se utilizaron triángulos en la planicie de inundación, así como en el canal principal. Se observa la mayor resolución en el Rio Ucayali, tanto en el canal principal como en los secundarios, para obtener mayor detalle en el patrón de velocidades.....68
Figura N° 31: Vectores de velocidades (promediadas en la vertical) simuladas a lo largo del tramo en estudio. Los contornos muestran los esfuerzos de corte, y se observa que cerca de la zona de corte, los esfuerzos de corte ejercidos por el agua son importantes, es decir, este tramo seguirá migrando 69
Figura N° 32: Comparación de velocidades medidas usando ADCP (promediadas en la vertical) con velocidades modeladas. Se observa que el patrón de velocidades es capturado. Umag muestra las magnitudes de las velocidades. Se observa la mayor velocidad cerca al poblado de Jenaro-Herrera 69

INDICE DE GRAFICOS

Pág.

Gráfico N° 01: Distribución de las Tasas de Migraciones del Río Ucayali en su cuenca media 60
Gráfico N° 02: Distribución Granulométrica de la Muestra S1.....63
Gráfico N° 03: Distribución Granulométrica de la Muestra S2.....63
Gráfico N° 04: Distribución Granulométrica de la Muestra S3.....64

INDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla N° 01. Clasificación de las partículas del suelo según el United States Departament of Agriculture 53
Tabla N° 02: Resultados de las Tasas de Migraciones del Río Ucayali en la cuenca media 59
Tabla N° 03: Resultados Muestra S1 80
Tabla N° 04: Resultados Muestra S2 80
Tabla N° 05: Resultados Muestra S3 80

INTRODUCCIÓN

Los ríos son sistemas naturales dinámicos y complejos. Su principal función es el transporte de agua y a su vez: transportar sedimentos y nutrientes, proveer a la planicie de inundación con estos nutrientes, construir zonas de deposición en la región rio-mar, renovar ambientes acuáticos y ribereños. En tal sentido, el objetivo principal de los ríos es de crear y mantener corredores ribereños que, si estuvieran bien conservados, serían las grandes autopistas ecológicas del territorio, entretejiendo conexiones entre todos los espacios naturales. Por tanto, la red fluvial constituye un elemento clave en la dinámica ambiental y en la planificación territorial.

La Amazonía es parte de un sistema natural que tiene un equilibrio propio, el cual es muy fácil alterar o romper, sabemos que toda transformación producida por los seres humanos en la naturaleza tiene consecuencias, muchas desfavorables para el ecosistema que rodea al rio. Sin embargo, estas consecuencias no son necesariamente observables en el corto tiempo, sino luego de muchos años de influencia.

Es por ello que el presente trabajo de investigación trata sobre un proceso natural que pueda ocurrir en un poblado cerca al Rio Ucayali, en el futuro cercano. Utilizando la tecnología como es la teledetección o SIG y los modelos matemáticos de predicciones abordamos la migración natural del río Ucayali en las zonas próximas a la comunidad de Jenaro Herrera y presentamos como resultados predicciones científicas sobre el corte de meandros que pueda afectar el normal desenvolvimiento económico, ambiental, social y político del poblado de Jenaro Herrera. Este proceso también puede tener efectos en las diversas actividades económicas de las comunidades aledañas a Jenaro Herrera.

Se han realizado varios trabajos en las cuencas del Amazonas y del Ucayali analizando estos cambios en la dinámica fluvial utilizando aerofotografías e imágenes de satélite. Todos estos trabajos realizados son muy útiles para comprender el proceso natural de migración de los ríos, sin embargo, estas investigaciones solo analizan los cambios y hechos ocurridos debido a este proceso natural, mas no desarrollan modelos de predicciones.

El fin de esta investigación es que pueda ser de beneficio para los investigadores y tomadores de decisiones para tomar acciones de prevención en cuanto a las comunidades, ajustes en cuanto a proyectos de infraestructuras futuras y otras actividades que se verían afectadas y así poder adaptarnos a la migración natural del río, pues es un proceso natural de los ecosistemas que sucede a lo largo del tiempo y el cual no se debe forzar a las necesidades del hombre, sino viceversa.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 PROBLEMA, HIPÓTESIS Y VARIABLE

1.1.1 Problema

Los ríos son sistemas naturales en equilibrio dinámico que están ajustándose permanentemente, en el espacio y en el tiempo, a las fluctuaciones de los caudales líquidos y sólidos, lo que se traduce en migración lateral de los cauces de los ríos, cambios verticales de la morfología en el fondo del rio. Estos cambios verticales y horizontales de la morfología del rio, produce estructuras geomorfológicas, el cual contribuye a producir una alta biodiversidad, garante de la riqueza y de diversidad de estos sistemas naturales. Estrategia Nacional de Restauración de ríos (2007). Estos patrones son tan variables en el caso de grandes ríos (Gutierrez et al., 2013; Gutierrez y Abad, 2014).

A su vez (MEZA 2010) sostiene que las variaciones del clima a lo largo de los años y a través del tiempo producen cambios en el ambiente. Es por ello, que es necesario monitorear los ríos no solamente mediante imágenes aéras o satelitales, si no también, mediante la instalación de estación limnimétricas. Hasta ahora todavía es tema de investigación en cuanto influye los cambios climáticos en la morfología altimétrica y planimétrica de los ríos, Abad et al. (2013).

En este caso, especialmente en el área de estudio de Jenaro Herrera, las trasformaciones en el paisaje son debidas a diversos procesos y regiones (e.g. los llanos inundables (bajiales) y pantanales (tahuampas), los cauces de ríos que se encuentran en permanente alteración debido a las crecientes y a las vaciantes). Estas transformaciones desarrollan un mosaico de geoformas que impactan positivamente en el ambiente, así como en la vida y la actividad del hombre.

Le evolución de los cursos de los ríos originan una serie de cambios que pueden afectar a la población, a los recursos naturales y a la infraestructura, entre otros; por lo tanto, es necesario realizar trabajos de investigación que contribuyan a entender los procesos físicos bajo los cuales, los ríos evolucionan y a convivir con la infraestructura necesaria para el desarrollo humano.

En este sentido, este estudio contribuye de forma original a la predicción de la dinámica en planta de unos de los ríos más importantes de la amazonia peruana, el rio Ucayali, y como la migración natural del mismo afecta al poblado de Jenaro-Herrera, siendo una de las principales actividades económicas el comercio de productos agrícolas y ganaderos, utilizando como vía de transporte el río Ucayali.

1.1.2 Definición del problema

¿De qué manera la migración natural del rio Ucayali generará cambios significativos en la morfología del río cercana a la comunidad de Jenaro Herrera?

1.2 HIPÓTESIS GENERAL

La migración natural de rio Ucayali próxima a la comunidad de Jenaro Herrera, generará cambios significativos en la morfología del río y por ende impactos sociales, económicos, de transporte fluvial y otros al poblado de Jenaro-Herrera.

1.3 IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES

1.3.1 Variables

<u>Variable Independiente:</u>

X: La migración natural de rio Ucayali.

<u>Variables Dependientes:</u>

Y1: Datos históricos de la migración natural del rio Ucayali.

Y2: Comportamiento del Rio Ucayali

Y2.1: Evolución del cauce

Y2.2: Registros del nivel de rio

Y2.3: Resultados de modelos matemáticos de la migración natural del rio Ucayali

1.3.2 Operación de las variables

variables Independiente(x)	**Indicadores**	**Índices**
Migración natural del rio Ucayali	Dinámica (Inestabilidad)	
Variables Dependientes(y)	Indicadores	Índices
Y1: Datos históricos de la migración natural del rio Ucayali. **Y2: Comportamiento del Rio Ucayali** **- Y2.1: Evolución del cauce** **- Y2.2: Registros del nivel de rio** **- Y2.3: Resultados de modelos matemáticos de la migración natural del rio Ucayali**	Tazas de migración Análisis textural. Registros batimétricos Simulación de la migración natural del rio Ucayali.	m/ años Arena, limo y arcilla. Datos limnimétricos Mapas

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo general

Estudiar la variabilidad en el proceso de migración del rio Ucayali próximo a la comunidad de villa Jenaro Herrera.

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar las series históricas de la migración natural del rio Ucayali próximo a la villa Jenaro Herrera. Estimar una tasa de migración del rio, y predecir en cuanto tiempo

ocurrirá el corte de meandros que podría aislar a Jenaro Herrera del acceso al rio Ucayali.

- Desarrollar campañas de mediciones hidrodinámicas y morfo dinámicas para entender las zonas de erosión y deposición para así monitorear el cambio en planta del rio debido a las altas velocidades y esfuerzos de corte del flujo.
- Caracterizar la dinámica geomorfológica del Rio Ucayali en la zona cercana del poblado de Jenaro-Herrera. Esta caracterización incluirá tasas de migraciones locales, y estimaciones de la escala a la cual el rio Ucayali producirá un corte de meandro que podría aislar a Jenaro-Herrera
- Describir la hidro-geomorfología de la curva de Jenaro-Herrera, esta descripción incluirá la parte hidrodinámica del flujo (usando ADCP), el tipo de sedimentos en las márgenes y el fondo del rio (análisis de laboratorio), así como la batimetría del rio (usando monohaz).
- Los objetivos anteriores servirán para calibrar un modelo hidrodinámico y después desarrollar un modelo morfológico para la predicción del corte de meandro.
- Presentar una metodología novedosa para el estudio de los ríos y su efecto en los aspectos sociales, económicos, ambientales de los poblados que se ubican a lo largo de los ríos.

1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Debido a la gran importancia de los cambios en forma de los ríos, en esta investigación se pretende mostrar evidencia científica que nos permitan estudiar y explicar los fenómenos que inciden en la situación actual del rio Ucayali que expondría Villa Jenaro Herrera a una situación vulnerable, ya que al producirse un cambio de curso del río principal, ocurriría como consecuencias el aislamiento de la población de una vía de transporte principal como es el río, mayor distancia para comercializar sus productos y por ende menores ingresos económicos,

mayor riesgo ante eventualidades de emergencia, hasta incluso la disminución de la población. A partir de este estudio, futuras investigaciones podrían implementar medidas para la prevención y/o mitigación, así como estudiar los cambios económicos, ambientales, ecológicos, y otros que puedan darse por este cambio en la morfología del rio Ucayali cerca de Jenaro Herrera. El presente estudio si bien no comprende estos temas por su gran gama de temas en los que influye, es único en la predicción de patrones de ríos y su interrelación con poblaciones.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 CARACTERIZACIÓN GENERALES DE LA ZONA

2.1.1 Localización

La presente investigación se llevará a cabo en la cuenca del río Ucayali, en las zonas próximas a la comunidad de Jenaro Herrera.

El Área de Estudio

El área de estudio comprende la cuenca media del río Ucayali, en las inmediaciones del distrito Jenaro Herrera (Figura 1).

El distrito de Jenaro Herrera está ubicado en la margen derecha del río Ucayali al norte de la provincia de Requena, Región Loreto, tal como se muestra en la figura N° 15. La capital del distrito es la localidad de Villa Jenaro Herrera y está ubicado en las siguientes coordenadas: 04°54 ´13.2" de latitud sur y 73 °40 ´13.6" de longitud oeste, con una altitud de 98 m.s.n.m.

En esta área de la cuenca se ha identificado la migración del río Ucayali, a través de la observación de series de imágenes de satélite Landsat de los años 1985 al 2012, lo cual, según los resultados que posteriormente se presentarán, el río Ucayali se alejará de Jenaro Herrera y tendrá un nuevo curso.

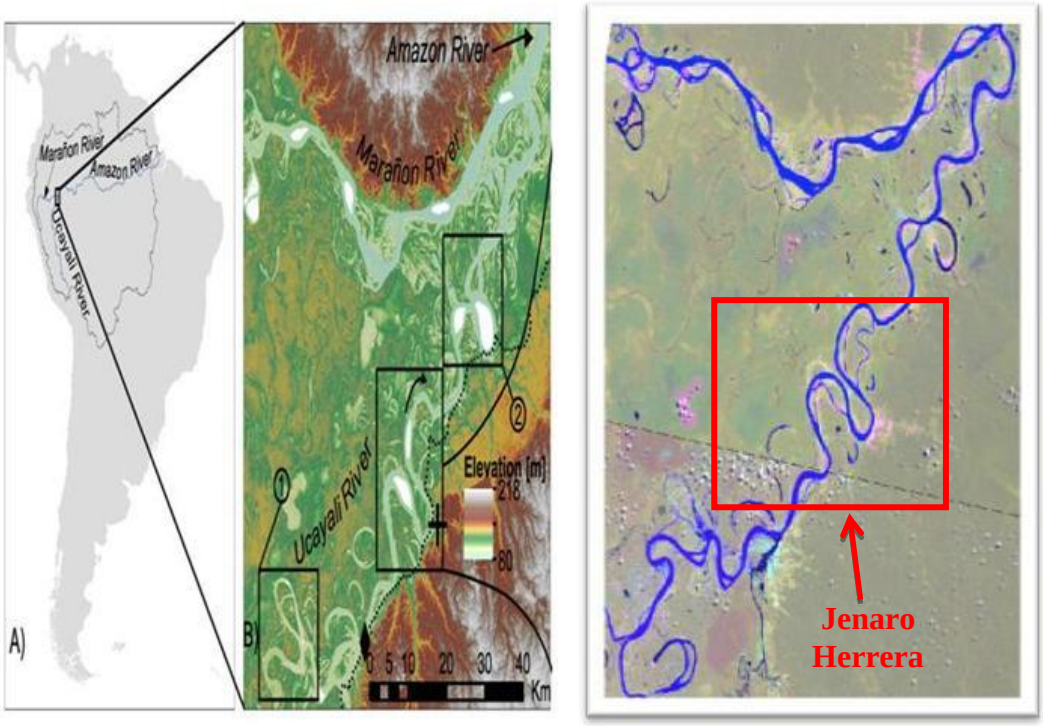


Figura N° 01: Ubicación del Área de Estudio. Villa Jenaro Herrera.

2.2 METODOS

La metodología que se empleó para ejecutar el presente trabajo de investigación se realizó con las siguientes etapas:

Etapas del Estudio:

1. Se Desarrolló y analizo series históricas de la migración (patrones y tasas) natural del rio Ucayali próximo a la Villa Jenaro Herrera, utilizando imágenes satelitales de los años 1985 hasta el 2012, en series de 5 años. Las escenas utilizadas en este análisis corresponden al satélite LANSADT TM; ZONA 18M UTM Latitud sur. Estas escenas son path row: 06-62, 06-63. En esta etapa se elaboró mapas históricos de la migración natural del rio Ucayali y se estimó la tasa temporal de migración del cauce del rio. Esto servirá para estimar en cuanto tiempo se produciría el corte de meandros que podría afectar villa Jenaro Herrera.

2. Recolección de muestras de suelo diferentes áreas, márgenes exteriores del río, las cuales son propensas a erosión, en el fondo del rio, así como también en la planicie de inundación, para ver si estos suelos son erosionables.

3. Recolección, acopio y sistematización de información hidrodinámica mediante el uso de perfiladores acústicos conocidos como ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler). Estas mediciones se realizaron en dos campañas, para caudal alto (mes de mayo) y en transición de caudal alto a bajo (agosto). Esta medición no solo nos permitirá estimar las descargas de agua, también los patrones de velocidades, y si observaran si existen velocidades capaces de erosionar la margen externa cerca al tramo donde posiblemente se producirá el corte de meandros.

4. Recolección, acopio y sistematización de información batimétrica de toda el área de estudio, en cortes transversales del rio con distancia de 500 m a 250 m a lo largo del rio Ucayali, para entender las zonas de erosión y deposición, y de esta manera monitorear el cambio en planta debido a las altas velocidades y esfuerzos de corte del flujo. Estas mediciones y estimaciones de esfuerzo de corte en las márgenes, podrán ser combinadas con el tipo de suelo en la planicie de inundación y márgenes (en etapa anterior) para determinar posibles tasas de migraciones.

5. Desarrollo de un modelo matemático bi-dimensional para extrapolar las mediciones hidrodinámicas descritas anteriormente. Este modelo permitió conocer los esfuerzos de corte cerca de las márgenes externas, y así basado en las mediciones del tipo de suelo, podremos afirmar o no si estos sobrepasan el esfuerzo de corte crítico del material y por ende se seguirá produciendo migración del rio.

a). **Tipo de Investigación**

El tipo de Investigación será cuasi - experimental, ya que el trabajo proceso se adecuo de la siguiente manera:

1. Factores Hidrológicos.
   a. imágenes Satelitales:

      Se utilizó modelos matemáticos (hidrodinámicos y morfo dinámicos) que puedan predecir la migración del río Ucayali, así como el corte de meandro que afectaría a la Villa Jenaro Herrera

2. Factores Geomorfológicos.
   a. Granulometría del terreno.

      La evaluación de la granulometría es de importancia con el fin de determinar el tipo de sedimentación, en base a la dinámica fluvial del río, para ello se realizó análisis físico químico de suelos en las diferentes parcelas de evaluación, como la evaluación del perfil del suelo mediante la observación en barrenos.

METODOLOGIA UTILIZADA PARA EL ANALISIS

Para la determinación de la textura del suelo tanto en la muestra sedimentos de fondo y planicie utilizamos el método del Hidrómetro de Bouyucos:

Se recolectaron muestras de dos formas:

a) Sedimentos de fondo de rio
b) Muestras de suelo de planicie de inundación

En la primera haciendo uso del muestreador de sedimentos en el cual obtuvimos 10 muestras de sedimentos en las márgenes derecha, medio, izquierdo del rio Ucayali en 3 secciones y en la segunda utilizando 5 cilindros metálicos de 75 cm aproximadamente en las cuales extraemos muestras en el camino del transecto a lo largo de 500 metros aproximadamente de caminata.

Trabajo de gabinete

- Pesamos 50g de muestra tamizada por malla de 2m.
- Colocamos las muestras en un vaso de precipitación. Agregamos tres cuartas partes de agua y 10 ml de solución dispersarte (NaPO3)6 sodio esamefosfato.
- Licuar por 10 min en un vaso de licuadora de suelos.
- Trasvase a la probeta de sedimentación para completar un litro
- Tape el cilindro y agite vigorosamente por 30 min.
- Colóquelo en la mesa, agregue 2 gotas de alcohol amílico en caso de que se forme espuma.
- Lleve a cabo la primera lectura con el hidrómetro a los 40 segundos (no sumerja el hidrómetro bruscamente).
- Luego llevamos a cabo la lectura en las siguientes 2 horas.
    - Se ha demostrado experimentalmente que las arenas son depositadas a los 40 segundos de comenzado el procesado de sedimentación, en tanto que los limos lo hacen en un periodo no menor de 2 horas. Lo que quedaría en suspensión, luego de ese tiempo corresponde al componente coloidal o de arcillas. Las fórmulas para calcular los porcentajes relativos de arenas, limos y arcillas.

    - Las formulas necesarias para calcular los porcentajes relativos de arenas, limos y arcillas son las siguientes:

% del material en suspensión = (lectura corregida 40”x100/peso muestra.
% Arenas totales= 100-% material en suspensión 40”
% arcillas totales = (lectura corregida 2 horasx100)/peso muestra
% limos totales= 100- (%arenas+ %arcillas)

- El siguiente paso luego de determinar los contenidos porcentuales de los componentes arenas, limos y arcillas, es determinar el nombre textural, lo cual se hace con la ayuda del triángulo de texturas, para ello:

  Tomamos cada uno de los porcentajes y refiérales a su correspondiente lado en el triángulo; el punto donde se interceptan las líneas es el nombre textural.

CAPÍTULO III

REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 MARCO TEÓRICO

DINÁMICA FLUVIAL DE LOS RÍOS AMAZÓNICOS.

Ollero, O. (2008), define a la dinámica fluvial como un conjunto de procesos complejos activos y metamórficos de los sistemas fluviales en su componente espacial como en su evolución temporal, generando de ella una morfología fluvial que va a analizar y estudiar las formas fluviales resultantes de los procesos fluviales (principalmente erosión, transporte y sedimentación).

Así mismo **Ollero, O. (2008),** indica que el sistema fluvial se estructura en cuencas hidrográficas y en una red de drenaje compuesta por un sistema jerarquizado de cursos fluviales, desde pequeños surcos hasta ríos, que confluyen unos a otros hasta configurar el colector principal de la cuenca.

En ella, la llanura de inundación o cauce mayor es una forma de relieve construida por la corriente fluvial en su régimen de crecidas, de topografía básicamente llana, casi siempre ligeramente cóncava, aunque en cursos bajos puede ser levemente convexa si el cauce menor se ha elevado en sus propios sedimentos, quedando enmarcado por diques naturales; dentro de la llanura de inundación puede diferenciarse el corredor Ribereño, espacio que incluye el cauce menor y las riberas y cuyo límite externo viene a estar marcado por la propia movilidad lateral del cauce, englobando los paleo cauces más recientes.

Elosegui, A. (2009), manifiesta que la gran heterogeneidad espacial de los ríos se corresponde con su elevado dinamismo temporal. Las variaciones de caudal determinan que las comunidades de organismos que habitan en época de aguas altas nos sean las mismas que se encuentran en situaciones de aguas bajas. La llegada de materiales disueltos y particulado varía con el tiempo y con las variaciones hidrológicas y los cambios en el medio terrestre circundante, al igual como lo hace la disponibilidad de luz. La composición de la biota responde a la disponibilidad de material (materia orgánica y nutriente) y de energía (luz, velocidad del agua), con lo cual varía tanto espacial como temporalmente.

En los últimos años gracias a la colaboración del Servicio de Hidrografía y Navegación de la Amazonia (SHNA) de la Marina de Guerra del Perú y del grupo de Procesos de la tierra y ambientales liderado por el Dr. Abad de la Universidad de Pittsburgh, por primera vez ha desarrollado investigación a nivel internacional de alto impacto en los ríos principales de la Amazonia peruana. Estos trabajos son: Dauer et al. (en preparación), Frias et al., (en revisión), Mendoza et al. (en revisión), Gutiérrez y Abad (2014), Gutiérrez et al. (2014), Abad et al. (2013b), Abad et al. (2013c), Abad et al. (2012a), Abad et al. (2012b), Abad et al. (2011), Abad et al. (2010). Esta investigación también presenta esta colaboración de estas instituciones (SHNA y Universidad de Pittsburgh) así como también de la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana (UNAP) gracias a la plataforma de CREAR (Center for Research and Education of the Amazonian Rainforest, www.crearamazonia.org).

Los tipos de ríos que se encuentran en nuestra Amazonia corresponden a ríos meándricos (e.g. Ucayali, Nanay, Yavari) y del tipo anastomosos (e.g. Marañon, Amazonas). Abad et al. (2010) describió las diferencias y similitudes de estas configuraciones de ríos. La configuración meandrícos tienden a tener una tasa de migración mucha mayor que los anastomosos.

DINÁMICA FLUVIAL DE LOS ECOSITEMAS INUNDABLES.

La dinámica fluvial juega un papel importante en la recuperación de la fertilidad de los suelos (con el aporte de nuevos sedimentos ricos en nutrientes) y en la aparición de nuevos suelos. En los suelos recientemente depositados se inicia una nueva vida a partir de especies pioneras de playa y de barrial. El proceso de sedimentación no es uniforme, sino que da origen a formas de diques lenticulares y otras varias formaciones sedimentarias; entre los diques (llamados regionalmente "restingas") se forman pequeños pantanos y cochas, en las depresiones más profundas. En estas cochas, después de las crecientes, quedan los alevinos, e incluso adultos, de muchas especies de peces que sirven para el sustento de las poblaciones humanas.

Por otra parte, la migración lateral o meándrica de los ríos forma las "tipishcas", cochas nuevas formadas por meandros recientemente abandonados que tienen forma de herradura; las dimensiones son mayores a las de las cochas lenticulares mencionadas arriba. Estos ambientes acuáticos pueden ser temporales o permanentes, y juegan un rol importante en la conservación de la diversidad, especialmente de especies hidrobiológicas.

Sin embargo, es conveniente mencionar que, mientras en una orilla se forman nuevas sucesiones vegetales, en la otra orilla, por el proceso de erosión lateral o desbarrancamiento, se está perdiendo suelos y con ellos los bosques que los cubren, de tal manera que lo que por un lado se pierde, por otro se gana, manteniendo un equilibrio en las formaciones vegetales, siempre evolucionando y cambiantes.

A estas formaciones se las llama "complejos de orillares", y a las formaciones que las cubren "vegetación priserial" y "bosques transicionales".

Los hábitats de diferentes edades de formación albergan también animales adaptados a cada uno de ellos **(BIODAMAZ. IIAP. 2005)**.

MIGRACIONES EN EL RIO AMAZONAS EN LAS ÚLTIMAS DECADAS, SECTOR CONFLUENCIA RIOS UCAYALI Y MARAÑON - ISLA DE IQUITOS.

En un estudio de **Eeva Tuukki; Jokinen y Kalliola (1996)** se explica que el problema de Iquitos es una parte de un proceso normal de la dinámica fluvial: la migración del río. La migración del río Amazonas en el noreste peruano es permitida por la topografía casi plana de la llanura amazónica. Fuerzas hidráulicas, fluctuaciones en el volumen y velocidad del agua y procesos de erosión y deposición provocan la migración del río. Los procesos fluviales crean meandros en el río; la erosión se concentra al lado cóncavo y la deposición al lado convexo de los meandros.

Los meandros son una expresión del patrón del curso del río. Los factores que determinan un patrón de curso son la cantidad y el carácter de carga de sedimentos traídos por los ríos, y su descarga. Los ríos pueden clasificarse de acuerdo al patrón de sus cursos **(Reineck y Singh, 1980; Morisawa, 1985)**: los ríos de curso directo y meándrico presentan un solo cauce, mientras que los ríos de cursos trenzados y anastomosados contienen divisiones sucesivas y rejuntamientos de los canales alrededor de las islas aluviales. En ríos anastomosados las islas son más estables que en las de cursos trenzados.

La migración del río Amazonas, el río más largo y caudaloso del mundo, es uno de los hechos más citados de la Amazonía. El comportamiento caprichoso del Amazonas ya fue registrado en el año 1761 por el misionero jesuita San Joaquin de Omaguas que viajó por el Amazonas (Uriarte, 1986). En el libro "*El río que se aleja* de García (1987) se han acumulado las fuentes históricas del comportamiento del Amazonas cerca de la ciudad de Iquitos.

Posteriormente, se han realizado varios estudios de la migración del río Amazonas frente a la ciudad de Iquitos para intentar detener la erosión que afecta los puertos de la misma (entre otros: McCreary-Koretsky-Engineers (MKE), 1965; Repetto, 1991; y Observaciones del Servicio de Hidrografía y Navegación de la Amazonía (SHNA)). García & Bernex de Falen (1994) han expandido los estudios cerca de Iquitos para concernir las interrelaciones entre la dinámica fluvial, la vegetación y el crecimiento poblacional durante los últimos veinte años. Kalliola *et al.* (1992b) han realizado un estudio sobre la migración de los ríos Ucayali, Marañón y Amazonas entre los años 1979 y 1983, y la distribución de la vegetación en los ríos de diferentes patrones.

Además de los anteriores, se han realizado otros estudios científicos sobre el movimiento del río Amazonas en Brasil (Sternberg, 1960; Mertes 1985), y de los ríos Ucayali y Marañón en el Perú (Dumont et al., 1990).

VARIACIONES MORFOLÓGICAS DEL RÍO AMAZONAS.

La Figura 2 muestra la dinámica del rio Amazonas cerca de la ciudad de Iquitos (Mendoza et al., 2014). Se observa que esta configuración del rio Amazonas es del tipo anastomoso, y que el 1980 se observan dos brazos principales.

A medida que pasan los años se observa que uno de los brazos presenta mayor tasa de migración y colapsa en el otro brazo y por ende produce una restructuración de la estructura del rio cerca de Iquitos.

Esto produjo que el rio Amazonas se haya alejado de alguna manera y que se tenga el problema de la barra de deposición en la boca del rio Itaya. La técnica desarrollada en la Figura 2 ayuda a entender las zonas de erosión y deposición temporal, así como la evolución de la estructura.

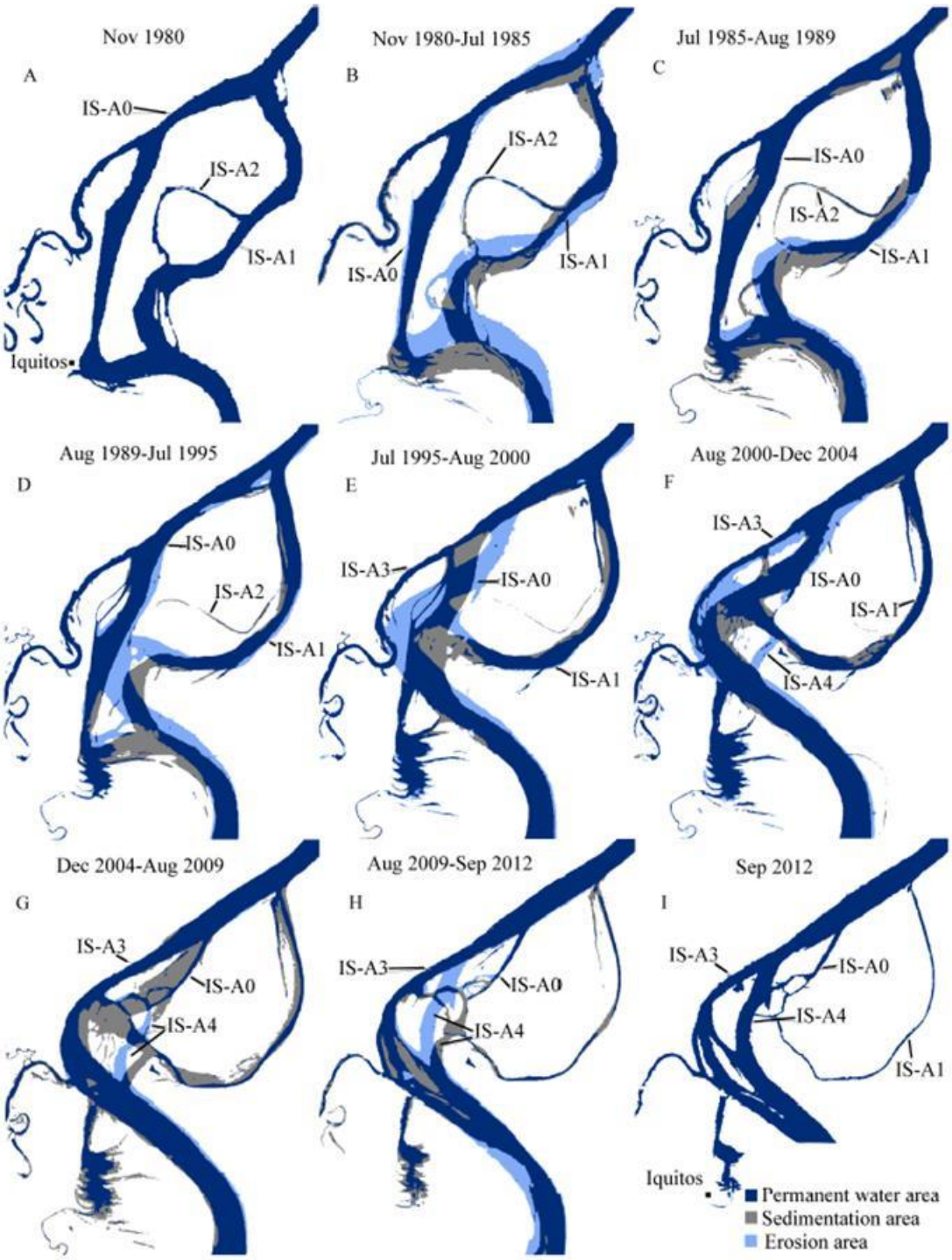


Figura N° 02: Aproximación del Río Amazonas al Río Nanay. Análisis Multitemporal 1980-2012. Mendoza et al. (2014). En cada sub figura se tiene dos imágenes satelitales 5 años separadas para observar la evolución del rio. Zonas azules representa que es agua permanente, gris representa que antes era agua ahora se ha sedimentado y la zona celeste es donde antes había deposición ahora erosión.

Por su parte, el Servicio de Hidrografía y Navegación de la Amazonía (SHNA) de la Marina de Guerra del Perú (2012), realizó una serie de registros de las variaciones morfológicas del Río Amazonas, que se muestran en la Figura 3, donde se observa cómo la dinámica del río afecta a las poblaciones cercanas.

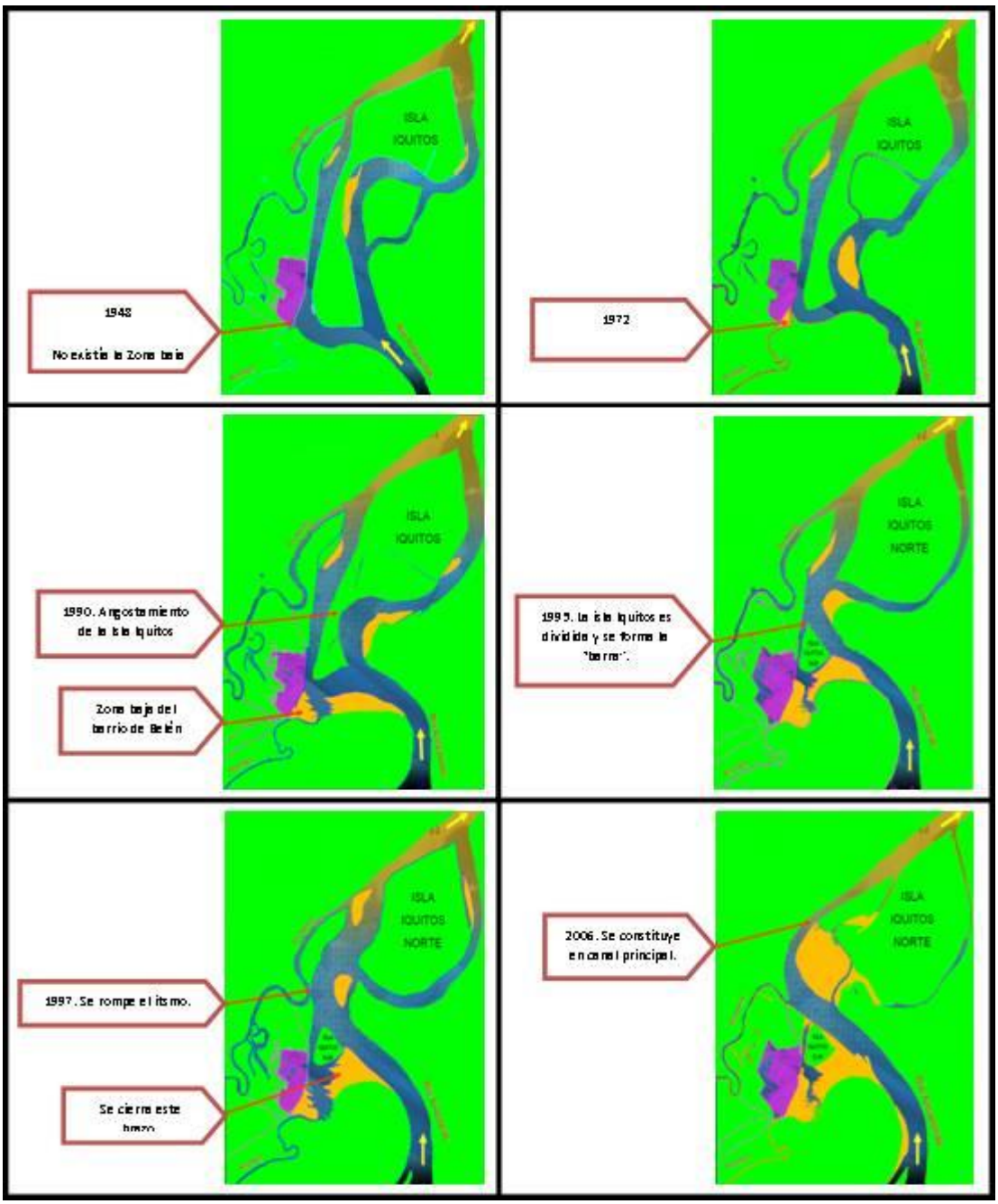


Figura N° 03: Variaciones Morfológicas del Río Amazonas registradas desde 1948. Servicio de Hidrografía y Navegación de la Amazonía de la Marina de Guerra del Perú (2012).

VARIACIONES MORFOLÓGICAS DEL RÍO UCAYALI.

Abad et al. (2010, 2012) indica que el rio Ucayali por su característica meándrica presenta tasas de migración importantes. Los procesos de estrangulamiento de meandros (aparición de tipishcas) y el aumento en la migración de meandros próximos es el resultado del mantenimiento de una condición de equilibrio por parte del río. Esta condición de equilibrio morfológico es debido al balance de la descarga de agua, la descarga de sedimentos, la pendiente del rio, el tamaño de los sedimentos en suspensión y de transporte de fondo, entre otros. Las imágenes de satélite contribuyen mucho en el análisis de estas variaciones. La Figura 4 muestra le evolución del rio Ucayali cerca a la ciudad de Pucallpa, en el cual se observan que los meandros mantienen un balance de corte y migración, algo que Gutierrez y Abad (2014) denominan balance de energía.

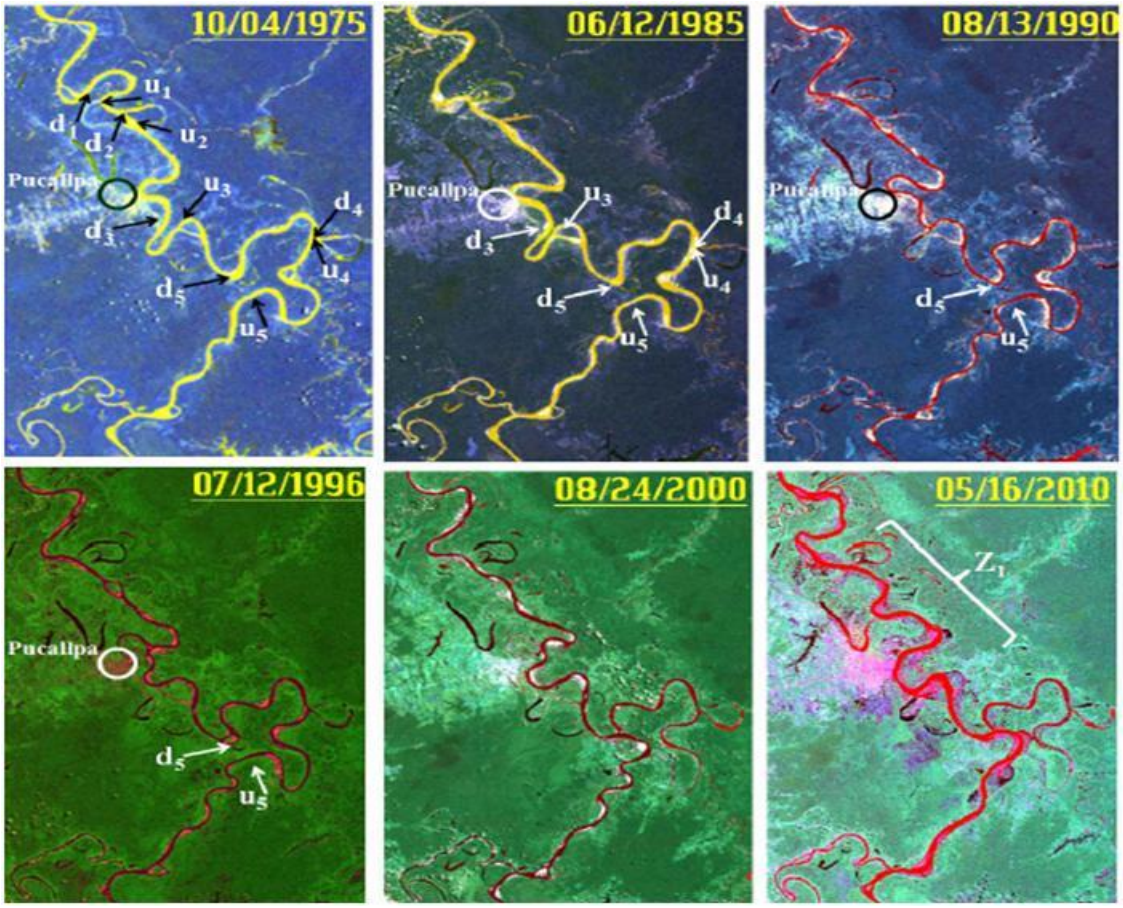


Figura N° 04: Variaciones Morfológicas del Río Ucayali (de 1975 a 2010), en las inmediaciones de la ciudad de Pucallpa. Fuente: Abad et al. (2012).

PLANFORM STATISTICS TOOLS 2.0.PP (**Lauer, 2006),** programa incorporado para utilizarse conjuntamente con el ARCGIS versión 9 o 10. Estas herramientas automatizan varios de los aspectos que requieren mucho tiempo de estas mediciones en puntos discretos a lo largo de un río. Nos permite obtener características de forma en planta, curvatura, tasa de migración.

Las herramientas realizan tres funciones principales:

1) Interpolar la línea central de dos líneas (es decir, dos bancos que han sido digitalizados). Anchura y radio locales de curvatura en cada punto uniformemente espaciadas a lo largo de la línea central se guardan en un archivo de texto.

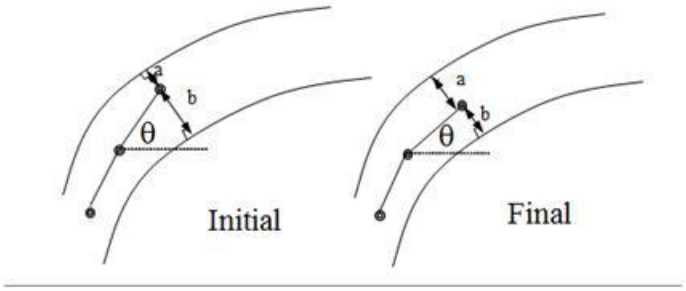


Figura N° 05: Migración conceptual del canal. t es la amplitud angular del eje del rio, a+b es el ancho del rio.

2) Estimar las medias distancias normales laterales en incrementos uniformes entre dos líneas desarrolladas utilizando la herramienta (es decir, entre las líneas centrales de los canales del río en dos puntos en el tiempo).

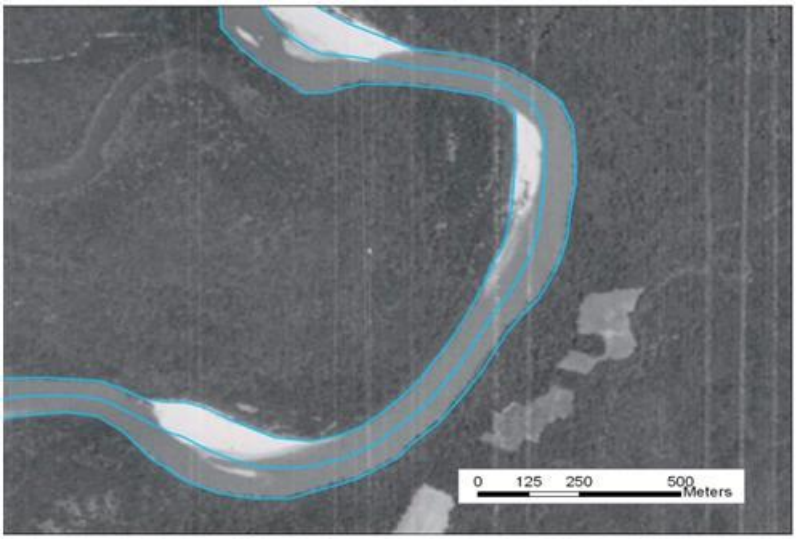


Figura N° 06: Usando la digitalización de las márgenes izquierda y derecha se pueden

3) Generar un archivo de forma poligonal de cajas junto a las orillas de los canales que se corresponden con un determinado punto central. Estas cajas son útiles si el usuario desea para correlacionar una propiedad de banco con una de las estadísticas observadas.

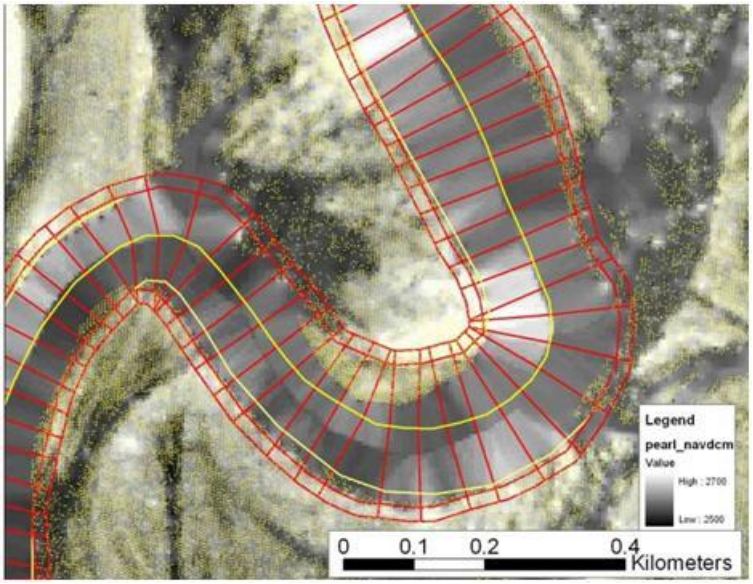


Figura N° 07: Usando la digitalización de las márgenes obtenemos el cauce medio de un rio y las propiedades de banco.

3.2 MARCO CONCEPTUAL

CUENCA

Una cuenca hidrográfica es el territorio definido por los límites de la zona por donde escurren las aguas superficiales que llegan a un mismo cauce. Es un elemento importante para el desarrollo de nuestras vidas. El curso de agua va sufriendo diversas transformaciones debido a la intervención de diferentes actores ***(http://educacionambiental.conaf.cl/).***

Una cuenca tiene tres partes:

- *Cuenca alta*, que corresponde a la zona donde nace el río, el cual se desplaza por una gran pendiente.

- *Cuenca media*, la parte de la cuenca en la cual hay un equilibrio entre el material sólido que llega traído por la corriente y el material que sale. Visiblemente no hay erosión.

- *Cuenca baja*, la parte de la cuenca en la cual el material extraído de la parte alta se deposita en lo que se llama cono de deyección.

CUENCA DEL RÍO UCAYALI

Un estudio realizado por **Peña herrera (1986)** sobre el río Ucayali menciona que «… la velocidad estimada en cuatro nudos durante la época de crecientes, por un lecho con numerosas curvas que evolucionan constantemente dando origen a un gran número de lagunas, cochas o tipishcas que se alinean en ambas márgenes y a lo largo de todo su recorrido. Su lecho mayor de inundación anual es muy amplio y cubre grandes áreas de la Selva Baja, llenando con sus aguas los numerosos cauces –cochas– que abandonó por evolución de sus meandros y ocasionando una gran variación anual del nivel de estas cochas o tipishcas que a veces quedan convertidas en gramalotales pantanosos, cuando la estación seca se prolonga. En este sector tienen numerosas sacaritas, llamados también caños, que conectan su lecho meándrico o que comunican sus aguas con la de sus afluentes».

Según el **SENAMHI (2011)** 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:

. **Alto Ucayali,** que se extiende desde su origen en Atalaya y la desembocadura del río Pachitea. 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. Grandes extensiones de fértiles tierras, se pueden apreciar en sus orillas durante las épocas de vaciante o estiaje, las cuales son utilizadas para sembrar arroz o maní. Con la creciente se inundan, cubriéndose de una capa delgada de limo fértil. Todo el curso inferior está cubierto de arena, sobre la que depositan sus huevos la "charapa" o tortuga fluvial.

. **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 fluvial del Perú y terminal de la Carretera Central, Contamana y Requena, emplazados todos ellos en áreas elevadas en relación con el resto de la Llanura Amazónica, denominados altos.

Los principales afluentes del Ucayali con los que cuenta el Alto Ucayali son los ríos Pachitea, Aguaytía, Urubamba, Tambo, Perené, Ene, Mantaro y Apurímac. La estación hidrológica Requena del Senamhi, permite cuantificar el recurso hídrico proveniente de la cuenca del río Ucayali (ver Figura 05).

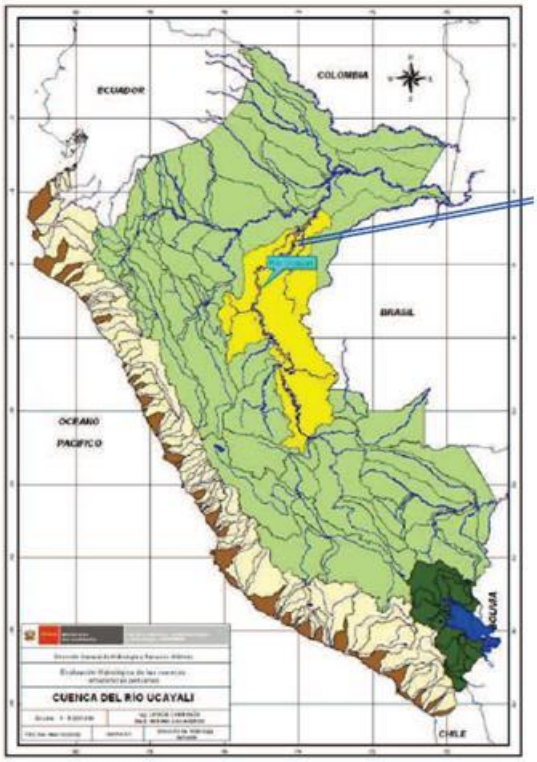


Figura N° 08: Ubicación de la Cuenca del Río Ucayali del Río Ucayali. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2011.

NIVELES DEL RÍO UCAYALI

De acuerdo con los datos del Servicio de Hidrografía y Navegación de la Amazonía de la Marina de Guerra del Perú, los niveles históricos del río Ucayali se muestra la variabilidad de la superficie de agua en la estación de Requena (aguas arriba de Jenaro Herrera). La Figura 06 muestra que las épocas de mayor caudal se encuentran entre los meses de abril y mayo, y los de menor caudal de agua entre los meses de agosto a octubre.

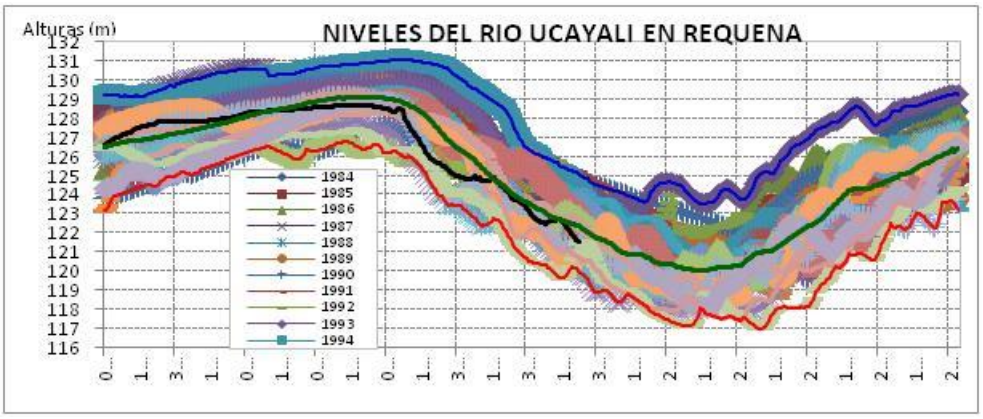


Figura N° 09: Niveles Históricos del Río Ucayali, Estación Requena. Servicio de Hidrografía y Navegación de la Amazonía de la Marina de Guerra del Perú, 2013

Fisiografía: La selva baja de la Amazonía peruana abarca alrededor de 680,000 km^2 (DOUROJEANNI, 1990), en esta área, los ríos constituyen la más importante infraestructura, así como los llanos inundables significando más del 12% de la superficie total (SALO et al., 1986).

Existen tres grandes ríos en el área de Loreto: el Marañón que viene de la parte nor oriental, el Ucayali que nace en la parte sur del Perú y el Amazonas que tiene su origen en la confluencia de los dos anteriormente mencionados. Estos ríos son ricos en sedimentos, los cuales originan la formación de nuevas tierras dando lugar al establecimiento y la sucesión de la vegetación.

Así mismo **Encarnación, F. (1993)**, indica que los bosques son una manifestación de la diversidad biológica, presentando cierta similaridad en relación al clima, así para condiciones de suelos inundables los clasifica como Clase II, bosque bajial, sub clase A. diferenciables en dos grupos de bosques, IRMLER (1977). 1. Expuesto al flujo de agua blanca; tahuampas, pungales, arenales, barriales, restingas. 2. Expuestas a aguas Negras.

En estos ecotonos destacan especies herbáceas y leñosas medianas como *Heliconia marginata, H. episcopalis, Ficus insípida, Maquira sp, Clarisia sp., Cecropia spp., Inga spp., Spondias mombin, Calycophyllum spruceanum*, entre otras especies que se desarrollan en estos suelos de restinga,

El río Ucayali se extiende desde la confluencia del Tambo y el Urubamba hasta su desembocadura en el Amazonas. La cuenca alta es la correspondiente al Departamento de Ucayali y la cuenca baja se ubica en el Departamento de Loreto.

Geomorfología: **Meza (2006)** nos dice que de selva baja del sector medio del río Ucayali El relieve es llano y corresponde a la zona morfoestructura sedimentaria, con pequeñas colinas que atraviesa el río principal Ucayali y presentan las siguientes geoformas:

. *Llanura de inundación:* Es el área de inundación durante la estación lluviosa, es decir los meses de noviembre a abril donde el río aumenta su caudal cubriendo de este modo esta llanura de inundación, alcanzando varios metros.

. *Meandros de llanura aluvial:* también llamados meandros libres o meandros divagantes, es cuando la sinuosidad del río es independiente o a menor escala que la del trazado del valle o que se aparta sin motivo aparente de su dirección de escorrentía, para volver a ella después de describir una profunda curva. El río Ucayali divaga dentro de la llanura de inundación formando sinuosidades desarmónicas y casi armónicas.

. *Restingas:* terrenos adyacentes al río se inundan varios kilómetros hacia adentro quedando solo pequeñas franjas de terrenos altos denominados restingas; raras veces son inundadas, constituyen la cresta del conjunto de los meandros abandonados.

. *Bajiales:* se denominan así a todas las depresiones del terreno que son susceptibles a inundación durante la estación de lluvia y durante el estiaje su extensión es reducida, pero mantienen cierta cantidad de agua.

. *Planicies:* son superficies relativamente onduladas que ocupan los diferentes niveles de terrazas dejadas por el río.

. *Superficie de colinas:* se caracterizan por tener superficies onduladas, suaves, ovaladas, carecen de escarpes, debido a la naturaleza del suelo, las pendientes tienen inclinación moderada y de fácil acceso.

. *Montañas:* conjunto de cerros que sirven de divisoria de aguas entre los ríos.

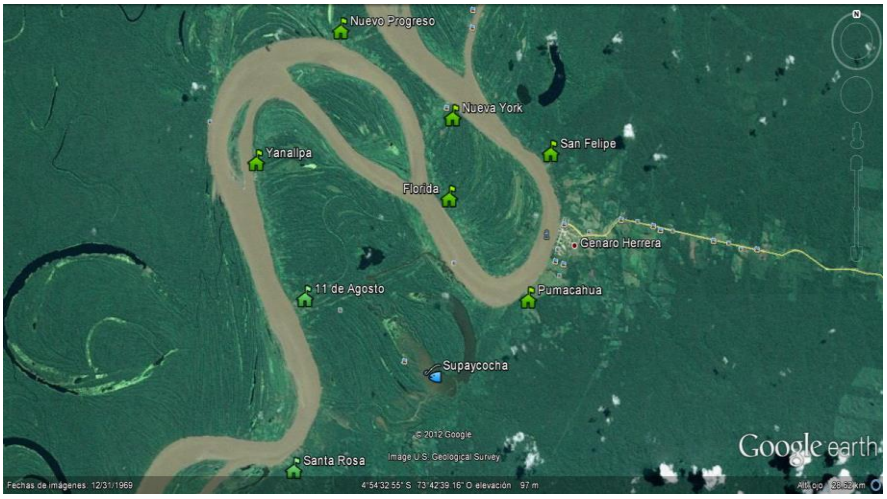


Figura N° 10: Ubicación del área de estudio: el distrito de Jenaro Herrera, cuenca media del río Ucayali y las comunidades que lo limitan. Google Earth 2010

La dinámica del rio Amazonas influyo en el transporte fluvial de Iquitos (Mendoza et al, 2014) y la dinámica del rio Ucayali cerca de la ciudad de Pucallpa también es una preocupación constante para el planeamiento de puertos (Abad et al., 2012), se observa en la Figura 07 que existen diversos pueblos alrededor de la zona en estudio. El poblado más importante es Jenaro-Herrera, puesto que los otros poblamos más pequeños pueden de alguna manera acomodarse a la migración del rio (siguen la dinámica en planta), mientras que Jenaro Herrera ya tiene cierta infraestructura y muchas de las actividades económicas depende de la interacción pueblo y río.

HIDRÁULICA FLUVIAL DE LOS RÍOS AMAZÓNICOS

En nuestra Amazonía los ríos tienen cauces de poca pendiente y se discutio anteriormente de tipo meandrícos y anastomosos (Abad et al. 2010), discurren en un suelo aluvial y los caudales fluctúan en gran medida, entre la época de estiaje (vaciante) y la de avenidas (creciente).

Fundamentalmente poseen cursos meándricos constituidos por curvas alternadas en forma de "S" y poseen la característica de presentar aguas abajo y aguas arriba de los puntos de máxima inflexión de las curvas, trechos relativamente rectos llamados "estirones".

La función que cumplen estos meandros, es atenuar la velocidad de las masas de agua en función de la disminución de la pendiente del lecho.

Al aumentar el recorrido horizontal la pendiente disminuye, hasta que el meandro genera un corte el cual incrementa nuevamente la pendiente y por ende la dinámica del rio se reactiva.

En su desarrollo intervienen factores geológicos, hidrológicos, hidráulicos y fuerzas gravitacionales como la de Coriolis para el caso de ríos grandes. Los conocimientos actuales no

alcanzan a solucionar completamente el problema de formación de meandros en los ríos, pero gran avance se ha realizado en los últimos años (e.g. Abad y Garcia, 2009a, 2009b, Gutierrez y Abad, 2014).

El estudio de máximas avenidas es fundamental, pero no se cuenta con datos históricos lo suficientemente extensos. El transporte de sedimentos se incrementa considerablemente con la deforestación de los bosques, sin embargo, en cuanto afecta la morfología en planta de los ríos es algo que todavía requiere de mucha investigación de campo y modelamiento matemático.

En la selva baja, los estratos duros o afloramientos del terciario (restingas), constituyen los contrafuertes entre los cuales se mueven los cauces de los ríos. La presencia de vegetación contribuye con la fijación del curso en el llano.

La Figura 11 muestra el corte de meandros para formar un nuevo cauce.

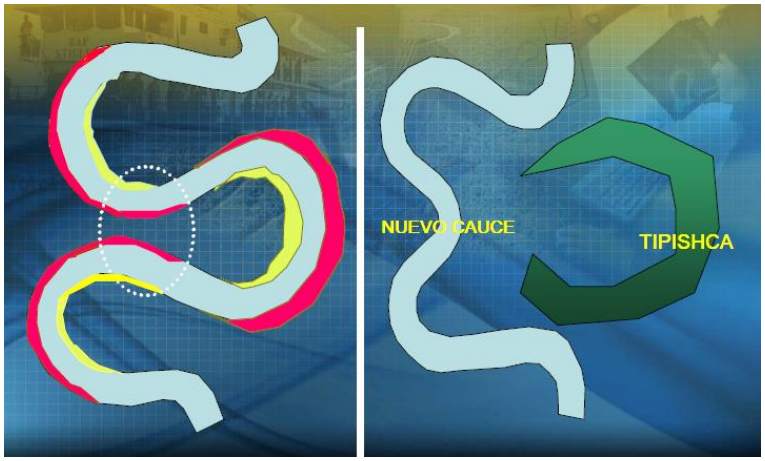


Figura N° 11: Formación de una tipishca por estrangulamiento de un meandro. Servicio de Hidrografía y Navegación de la Amazonía, 2012.

LOS MEANDROS

Se ubican en la parte distal de los sistemas fluviales, son muy anchos y de poca pendiente, indican inmadurez de la topografía, congestión del drenaje, tornándose sinuoso, tortuoso y biodinámico.

En el lado cóncavo del Meandro predomina la erosión lateral y de ribera, hay una migración del cauce hacía el exterior del meandro generando una curvatura más acentuada, donde las corrientes atacan las riberas mediante flujos circulares que erosionan (Abad y Garcia, 2009a, 2009b), desmoronan, derrumban los barrancos y redistribuyen los sedimentos y nutrientes tanto horizontal como vertical; los materiales de mayor diámetro son depositados en el medio del cauce, para ser trasladados luego aguas abajo, entretanto los materiales de tamaño mediano a fino

son llevados hacia el lado convexo donde la velocidad es menor depositando arenas, limos y arcillas; aquí, la energía cinética es menor, propiciando mayor sedimentación que prograda hacia el eje del canal formando cuerpos sedimentarios oblicuos y granodecrecientes (**Campoblanco y Gomero, 2000**). Odgaard y Abad (2008) muestran los detalles del flujo y de la batimetría típica de estos cauces meandriformes.

MIGRACIÓN DE LOS MEANDROS

Desde el punto de vista de la hidráulica fluvial, todos los ríos están sujetos en mayor o menor grado a procesos de erosión o degradación, equilibrio y sedimentación o agradación como se muestra en la figura N° 07. Un río se considera en estado de equilibrio cuando no varía el perfil del fondo y de las márgenes del cauce y por lo tanto, existe compensación entre los sedimentos que son transportados hacia el sitio y desde el sitio. Unas importantes variedades de problemas

de ingeniería hidráulica requieren de una descripción apropiada de estos procesos morfológicos **(Rocha, 2009; Chang, 1988**).

Desde la perspectiva ingenieril resulta interesante poder reunir elementos cuantitativos de análisis que permitan inferir estas tendencias de evolución morfológica a fin de poder planificar con cierta racionalidad actividades humanas en el ambiente fluvial, tanto sobre el cauce como sobre la planicie de inundación **(Chang, 1988; Maza Alvarez, 1988; Melville & Coleman, 2000; Neill, 1973).**

El interés por desarrollar nuevas técnicas y herramientas para el estudio de la migración de los ríos, surge por la necesidad de prever situaciones donde se ponga en riesgo la vida humana. Abad y Garcia (2006) describe una herramienta útil para predecir la migración de ríos meandrícos así como también para calcular la tasa de migración de estas.

La gran diferencia con la antigüedad, es que actualmente se cuenta con un sinfín de herramientas que permiten llegar a lugares que antes se consideraban inaccesibles, por su localización y morfología. Un ejemplo de esto son los sistemas de información geográfica, que por medio de software de imágenes satelitales hacen posible la recolección, edición y análisis de datos de cualquier lugar del mundo y para todo tipo de investigación, e incluso demostrar que la información recolectada por este medio posee un alto grado de confiabilidad.

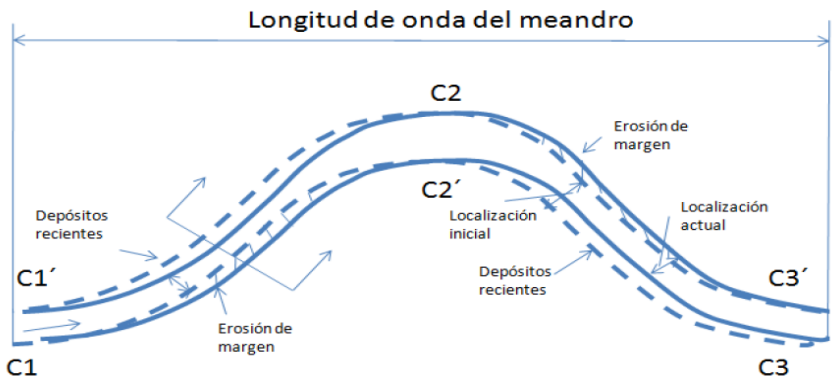


Figura N° 12: Migración de un meandro vista en planta (una longitud de onda completa). Domínguez, 2012.

La Figura 12 muestra un meandro en el cual se erosionan las márgenes externas del canal, y los sedimentos se depositan en la parte interna del canal.

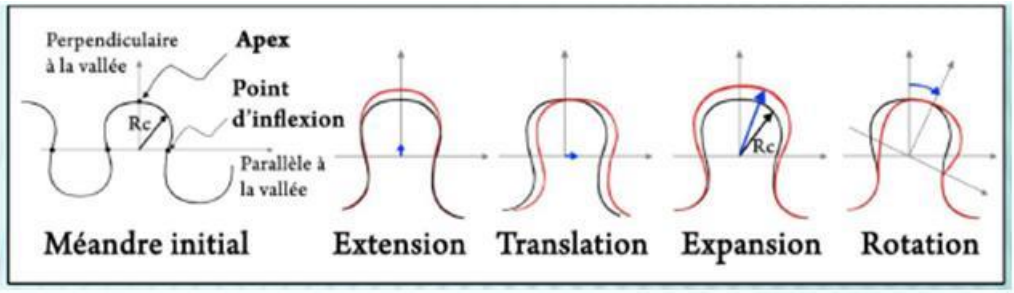


Figura N° 13: Los modos de la migración de los meandros. ORE Hybam, octubre 2009.

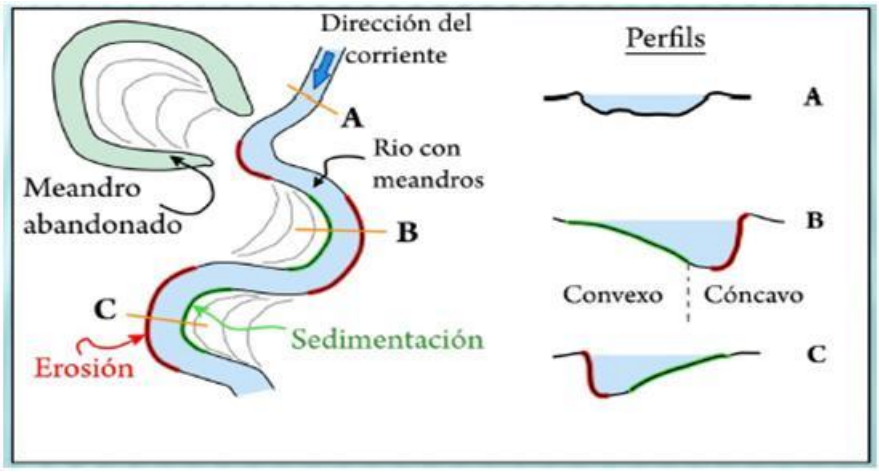


Figura N° 14: Balance de erosión y sedimentación. ORE Hybam, octubre 2009.

Los parámetros de control de la migración de los meandros son:

Parámetros de coacción: Pendiente y el caudal del río.

Parámetros de resistencia: Naturaleza y granulometría de material erosionado.

Parámetros geométricos: Se explica en la figura N° 15:

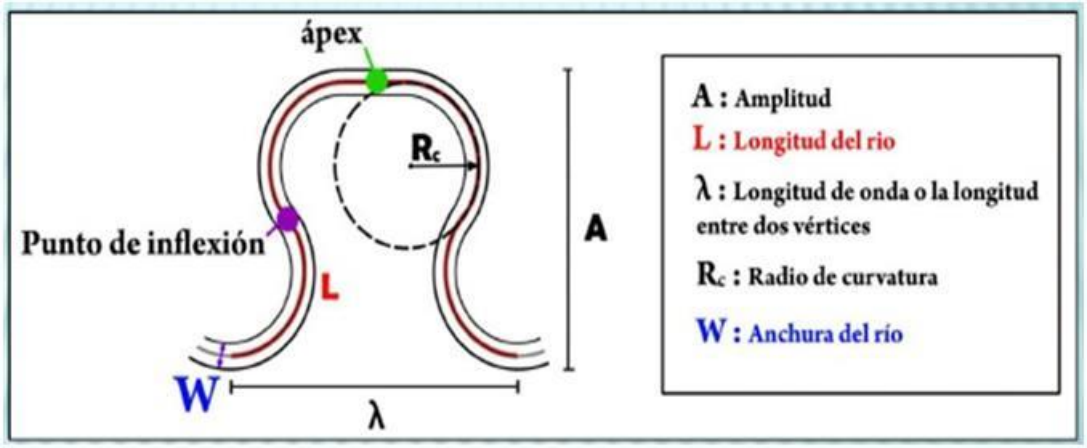


Figura N° 15: Parámetros geométricos de los meandros del río Ucayali. ORE Hybam, octubre 2009.

Recientemente, Gutierrez y Abad (2014) utilizaron la teoría de "wavelets" u "onditas" para calcular la longitud de ondas de ríos meándricos. La Figura Nº 16.

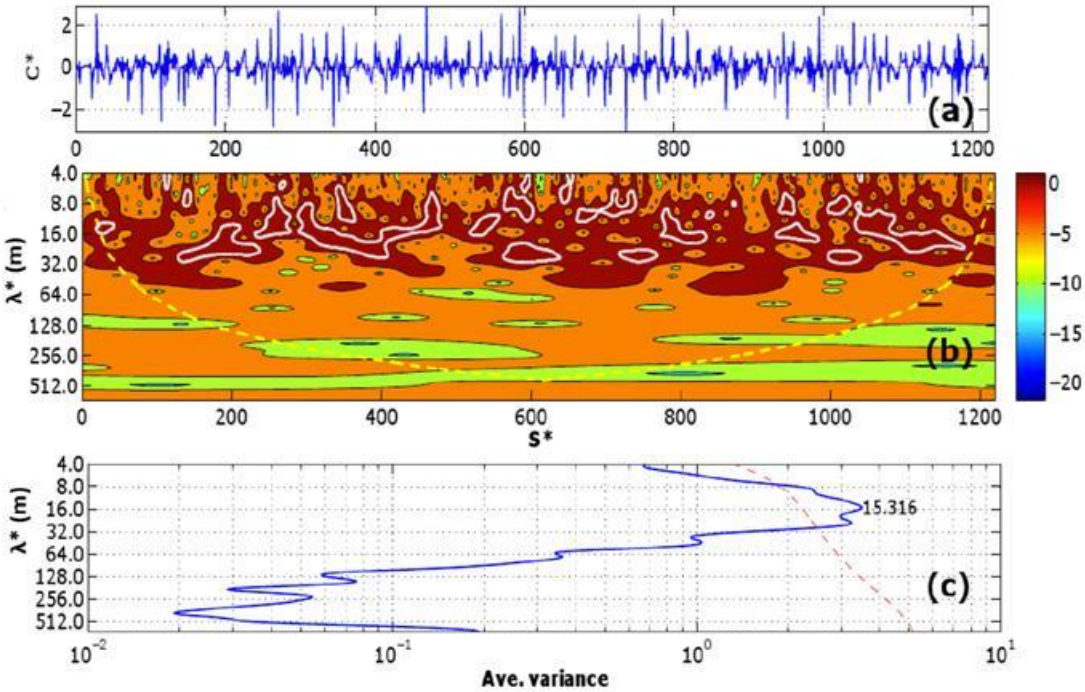


Figura N° 16: (a) curvatura (=1/Rc, donde Rc es el radio de curvatura) local del rio, (b) aplicación de la técnica de wavelets para describir la longitud de onda (l*, normalizada por el ancho del rio), (c) aplicación de las transformadas de Fourier para describir las longitudes de onda dominantes (l*=15.316). Este análisis corresponde al rio Pariamanu, Perú (imagen 1990).

BATIMETRÍA

CONCEPTOS DE BATIMETRÍA

El Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española lo define como “el arte de medir las profundidades”.

Según **Farjas (2006)** en Topografía se entiende por batimetría el levantamiento del relieve de superficies subacuáticas, tanto los levantamientos del fondo del mar, como de cursos de agua de embalses, etc.

Al igual que en levantamientos convencionales, en las batimetrías la finalidad será la obtención de las coordenadas (x,y,z) de todos estos puntos. La parte más compleja y que caracteriza a los diversos métodos de levantamientos batimétricos es la determinación de la profundidad. Esta tarea se denomina operación de sondeo o simplemente sondar. La profundidad de un punto se obtendrá midiendo la distancia vertical entre el nivel del agua y la superficie del fondo.

Para obtener la verdadera cota del punto levantado se deben tener en cuenta una serie de correcciones entre las que se incluye la corrección por marea.

Los antecedentes de los trabajos batimétricos se remontan a los egipcios que los realizaban con la ayuda de piedras atadas a una cuerda. La longitud de la cuerda definía la profundidad.

Los métodos han ido evolucionando con el tiempo. Las últimas tecnologías apuntan hacia el empleo de equipos con observaciones de satélite y determinación de la profundidad por técnicas sónicas digitales, todo ello computarizado y controlado en tiempo real por un potente software capaz de gestionar la información de sendos equipos. El desarrollo técnico e informático hace que las tareas en un levantamiento batimétrico se reduzcan, disminuyendo tiempos de ejecución,

aminorando gastos y mejorando las precisiones finales, tanto en planimetría como en la determinación de la profundidad.

Figura N° 17: (a) equipo geodésico para geo referenciar las mediciones de niveles de agua, (b) equipo de estación total para verificar las mediciones con reglas de nivel, (c) mediciones del nivel del agua mediante reglas, (d) Hidro IV, embarcación para las mediciones con ADCP, (e) Stiglich, buque plataforma que se utilizó para realizar las mediciones de este estudio, (f) embarcación para realizar mediciones con el ecosonda multihaz, (g) Hidro IV mostrando el instrumento ADCP.

LEVANTAMIENTOS BATIMÉTRICOS

De acuerdo con metodologías del SHNA, el levantamiento batimétrico se realiza mediante líneas de batimetría transversales al cauce del río con una separación entre ellas de 100 metros, por todo el ancho de los canales que se encuentran en las proximidades del territorio área de estudio.

Las profundidades se registran con ecosonda hidrográfico de manera continua en metros, analógicamente en papel y digitalmente en la memoria de una laptop en archivos del programa Hypack Max. La calibración del ecosonda se realiza al inicio y término de cada día de sondaje, mediante el uso de una sondaleza graduada corrigiendo la profundidad por variación de la velocidad del sonido (1450 m/seg) para agua dulce. La resolución de la ecosonda utilizada es de 5 cm. por cada 100 metros de profundidad medida.

El software Hypack Max desarrollado para levantamientos batimétricos, usa sistemas de posicionamiento global diferencial (DGPS), con una estación en tierra o con una señal diferencial satelital, que no requiere el concurso de ninguna estación fija, otorgando una precisión sub-métrica superior a la que se puede obtener trabajando con sistemas convencionales, vale decir midiendo ángulos y distancias con equipos topográficos desde estaciones en tierra hacia una embarcación en movimiento.

En la embarcación que se realiza la batimetría, se tiene el control total del trabajo, el posicionamiento horizontal es manejado a través de las coordenadas dadas por el DGPS, dando por medio de un gráfico en la pantalla de la laptop, la posición del bote sobre las líneas planificadas en tiempo real, sirviendo de esta manera de guía para que el timonel pueda conducir el bote con bastante exactitud por las líneas planificadas previamente. Mientras que, con el concurso de un ecosonda digital se van registrando automáticamente y grabando en archivos del

programa Hypack (datos brutos), las profundidades con sus correspondientes coordenadas, para su posterior procesamiento en gabinete. El registro de profundidades es continuo en papel y a intervalos de 1 a 10 segundos en forma digital.

Figura N° 18: Ecosonda monohaz hidrográfica del SHNA para realizar batimetría.

SIG Y TELEDETECCIÓN

TELEDETECCIÓN

La teledetección es un procedimiento que sin estar en contacto directo, nos permite estudiar los fenómenos físicos y humanos en la superficie de la tierra, asimismo, nos da a conocer las evoluciones que se producen en dichos espacios geográficos que están vinculados estrechamente con la actividad natural y socioeconómica del hombre.

E. Chuvieco (1990) menciona que «es la técnica que permite obtener información sobre un objeto, área o fenómeno a través del análisis de los datos adquiridos por un instrumento que no está en contacto con el objeto, área o fenómeno bajo investigación (*remote senging*). Para interpretar nos brinda dos alternativas:

1) Abordar un análisis visual, basándose en similares principios a la fotointerpretación clásica, y

2) Optar por el tratamiento digital de la imagen, aprovechando los vastos recursos que el ordenador aporta al análisis de datos. Las cuales nos dan a conocer los espacios adecuados para planificar el futuro desarrollo sostenido de las áreas **(Meza, 2006)**.

La observación de la Tierra desde el espacio ha experimentado en los últimos años un vertiginoso desarrollo, y ha llegado a ser un aliado cada vez más importante e imprescindible en el seguimiento de procesos ambientales de gran impacto para nuestro planeta. El deterioro de la capa de ozono, la detección precoz del fenómeno de El Niño, el avance de la desertificación o la deforestación tropical son ejemplos relevantes de las múltiples aplicaciones ambientales que brindan la teledetección y el Sistema de Información Geográfica. Sin embargo, en ésta como en otras nuevas tecnologías, resulta clave realizar un importante esfuerzo en la educación continua **(Montalvo A., 2006)**.

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Los Sistemas de Información Geográfica son programas que proporcionan, de forma modular o integrada, herramientas para la introducción, almacenamiento, gestión, análisis y representación gráfica de datos que se caracterizan por la existencia de una componente espacial, por tanto se trata de datos georreferenciados.

Los SIGs son una herramienta que permiten analizar, buscar y mapear datos con ubicación geográfica precisa. Combinan capas de información de un lugar para lograr un mejor entendimiento del mismo y ayudan al proceso de toma de decisiones. Las capas de información a utilizar dependen del propósito de estudio.

Esta herramienta además permite integrar la tecnología GPS que facilita la ubicación de diferentes puntos de interés para complementar los estudios con datos de campo.

Permite análisis multi-temporales y espaciales, pudiendo realizar estudios de cambios en los recursos naturales, mapear condiciones anteriores y posteriores a una acción específica y determinar el impacto de la misma sobre un área de estudio **(INIA, 2001)**.

Esta convergencia de SIG y teledetección se ha visto favorecida por su desarrollo en el mismo tipo de entornos de trabajo y por similares requerimientos en cuanto a hardware y software, en definitiva, ambas tratan con información espacial georreferenciada de la que se pretenden extraer conclusiones relevantes desde un punto de vista medioambiental o de planificación.

La teledetección y los SIG surgen en principio como tecnologías independientes. Sin embargó, uno de los objetivos del primer SIG, el Sistema de Información Geográfica de Canadá (CSIG) desarrollado por Roger Tomlinson en los sesenta, fue el almacenamiento y procesado de fotografía aérea.

Los Sistemas de Información Geográfica son programas que proporcionan, de forma modular o integrada, herramientas para la introducción, almacenamiento, gestión, análisis y representación gráfica de datos que se caracterizan por la existencia de una componente espacial, por tanto, se trata de datos georreferenciados.

La teledetección se concibió en principio como una herramienta para la obtención de información medioambiental, sin un interés claro por su integración con otras capas de información. La razón estriba probablemente tanto en las deficiencias técnicas del momento como en el carácter global de muchas de las primeras imágenes.

En los años setenta cuando se difunden las primeras imágenes de los satélites Landsat se concibe la posibilidad de integrar información cartográfica con imágenes de satélite. El aumento de resolución permite por una parte una mayor capacidad de discriminación de objetos y clases

por lo que ya pueden utilizarse, por ejemplo, para obtener mapas de usos del suelo. Sin embargo esta clasificación de las imágenes no resulta sencilla y se beneficia de la incorporación de toda la información que sea posible. En los años 80 se empieza a considerar a la teledetección como una fuente de información para un SIG, especialmente útil para su actualización. Ya no sería necesario hacer campañas de campo intensivas para determinar el estado de la vegetación, sino que bastaría con procesar una serie de imágenes.

IMÁGENES LANDSAT

Las imágenes capturadas por los satélites Landsat son de alta resolución espacial, 30 x 30 metros de tamaño de píxel, y baja resolución temporal con una frecuencia de visita de cada 7 días. Cada imagen abarca una superficie de 180 por 180 km aproximadamente. La mayor resolución espacial de este satélite permite hacer estudios a escala departamental, predios y de pequeñas unidades productivas en particular.

DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA DEL SUELO Y SEDIMENTOS DE FONDO.

La textura se refiere a la proporción relativa de arena, limo y arcilla; esta categorización refiere a las partículas menores de 2mm.; Las partículas mayores a 2mm corresponden a gravas y piedras que no son tomadas como textura. Propiedad muy importante; relacionada directamente con la mayoría de propiedades físicas del suelo: presenta grandes gran influencia por medio del componente arcilla, sobre las propiedades químicas e indirectamente sobre las biológicas del suelo **(Zavaleta, 2002)**.

La granulometría es una de las características más estables y puede considerarse una determinación básica de cada horizonte de un suelo.

El interés de conocer la granulometría reside en que permite inferir en otras propiedades y características directamente relacionadas con el uso y comportamiento del suelo **(J. Porta; Acevedo & C. Roquero 1999)**:

- Capacidad de retención de agua disponible para las plantas y de suministro
- Facilidad para la circulación del agua.
- Facilidad para el laboreo
- Riesgo de erosión hídrica
- Riesgo de erosión eólica
- Capacidad de almacenar nutrientes

- Utilidad: Permite una deducción aproximada de las propiedades generales del suelo, y así ajustar las prácticas de manejo, labranza, riego, y fertilización requeridos. Además puede utilizarse para evaluar y valorar tierras de acuerdo a su capacidad de uso, clasificar suelos, etc.

  Influye directamente en: Espacio aéreo, porosidad total, consistencia, movimiento y almacenaje de agua, etc. Al disminuir el tamaño de partícula, aumenta inversamente el área superficial expuesta, lo que es igual al término “superficie específica” para referirse al área por unidad de masa de suelo (m2/g).

  Esta característica es la que determina principalmente que la textura influya mucho sobre las propiedades físicas y químicas, especialmente en la proporción y magnitud de las reacciones. El componente más importante es la arcilla, con un tamaño <2u, son las partículas más pequeñas.

Punto de vista física: dan al suelo las características de plasticidad y pegajosidad y tienen una influencia directa sobre movimiento y almacenaje del agua.

Punto de vista químico: están relacionadas con la fertilidad de los suelos.

Punto de vista mineralógico: el término arcilloso, es genérico ya que existen muchos tipos de arcillas de comportamiento diferente en el suelo (arcilla 1:1, 2:1, etc.) y que varían en sus propiedades físicas y químicas notablemente.

El procedimiento analítico mediante el que se separan las partículas de una muestra de suelo se le llama análisis mecánico o granulométrico y consiste en determinar la distribución de los tamaños de las partículas. Este análisis proporciona datos de la clasificación, morfología y génesis del suelo, así como, de las propiedades físicas del suelo como la permeabilidad, retención del agua, plasticidad, aireación, capacidad de cambio de bases, etc. Todos los suelos constan de una mezcla de partículas o agrupaciones de partículas de tamaños similares por lo que se usa su clasificación con base en los límites de diámetro en milímetros.

Tabla N° 01. Clasificación de las partículas del suelo según el United States Departament of Agriculture.

Nombre de la partícula límite del diámetro en milímetros	**TAMAÑO**
Arena	0.05 a 2.0
Muy gruesa	1.0 a 2.0
Gruesa	0.5 a 1.0
Mediana	0.25 a 0.5
Fina	0.10 a 0.25
Muy fina	0.05 a 0.10
Limo	0.002 a 0.05
Arcilla	menor de 0.002

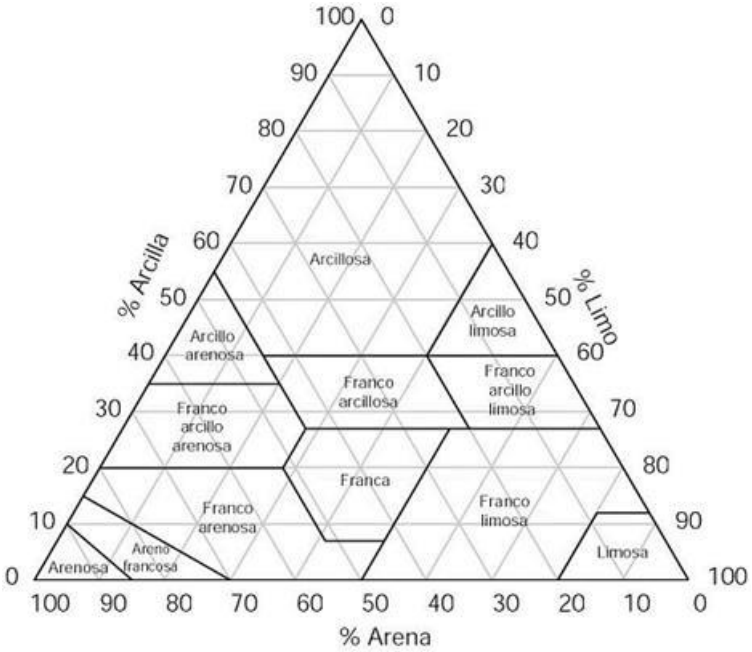


Figura 19: Triángulo textural según clasificación del USDA. Zavaleta (2002)

MODELO

Es un conjunto de relaciones o informaciones que busca seguir el mundo real que simula y posibilita predecir el comportamiento del fenómeno de interés. Existen tres clases de modelos: modelos de simulación, modelos de predicción y modelos de decisión **(Meza A., 2006)**.

Modelos de Simulación: Muestran simplemente un escenario, no predicen ni recomiendan. Un mapa es el ejemplo más representativo.

Modelo de Predicción: Relacionan variables dependientes e independientes y permiten responder preguntas del tipo: "¿qué pasaría si...?".

Modelos de Decisión: Son aquellos que permitan plantear alternativas ciertas que conduzcan hacia la óptima solución de un problema.

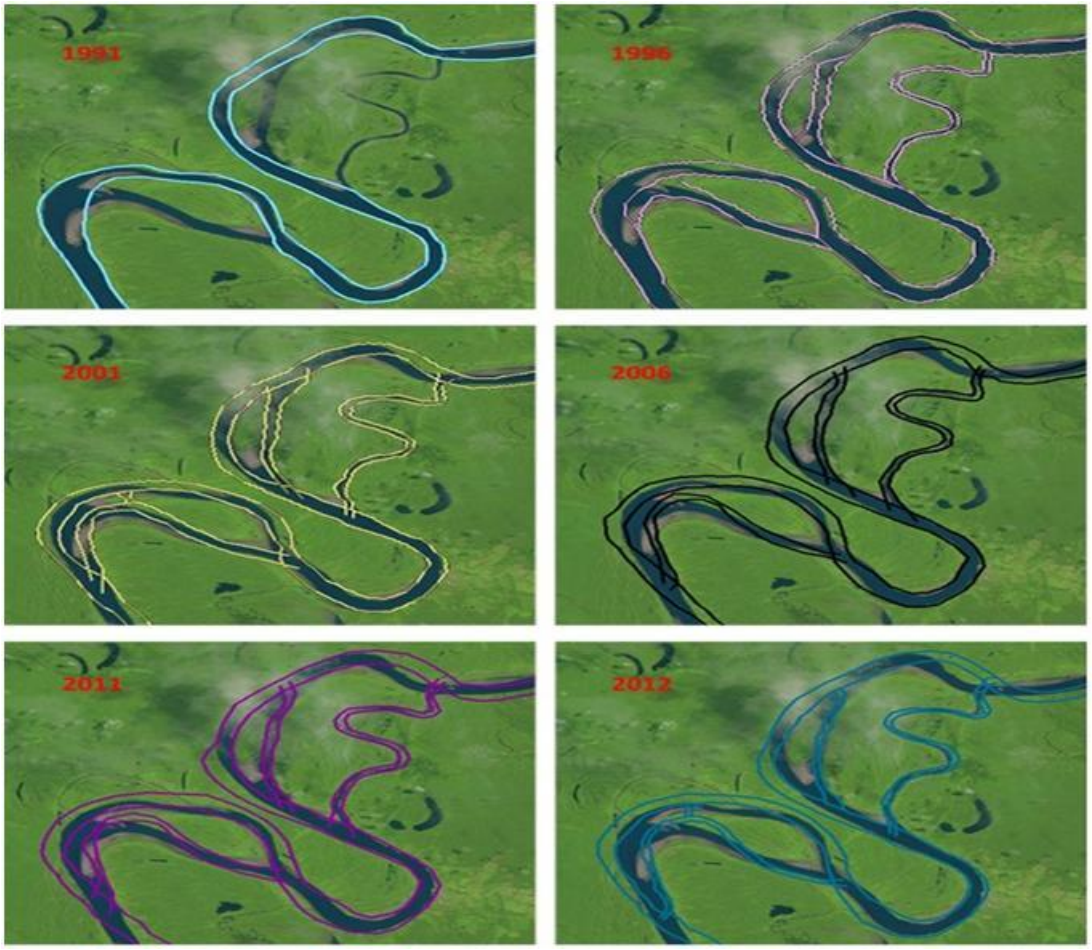
CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 ANALISIS HISTÓRICO DE LA MIGRACION DEL RIO UCAYALI CERCA DEL DISTRITO DE JENARO HERRERA

4.1.1 Mapa de la evolución del río Ucayali (1991-2012)

El rio Ucayali presenta tasas de migración importantes por su característica meándrica. La condición de equilibrio morfológico del río se debe al balance de la descarga de agua, la descarga de sedimentos, la pendiente del rio, el tamaño de los sedimentos en suspensión y de transporte de fondo, entre otros (Abad et al, 2012).



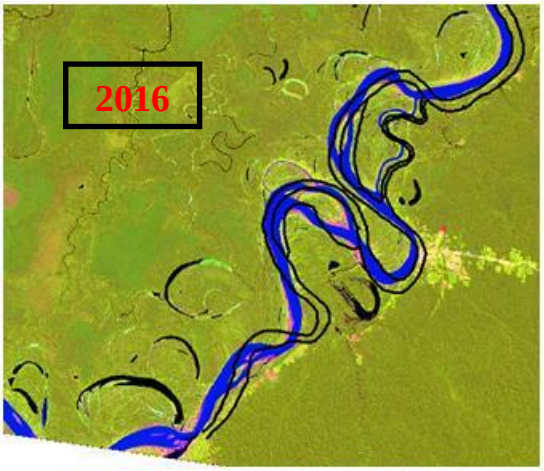


Figura N° 20: Serie de la evolución morfológica del Río Ucayali, las líneas de colores representan la digitalización del curso del río Ucayali de los años 1991, 1996, 2001, 2006, 2011 y 2012 superpuestas sobre la imagen de satélite del año 1985.

En la Figura 20, se muestra una serie de la evolución morfológica del río Ucayali en su cuenca media cerca de la villa de Jenaro Herrera, de cómo los procesos de estrangulamiento de meandros y el aumento en la migración de meandros próximos a la localidad de Jenaro Herrera indican un futuro corte de meandro, lo que dejará sin salida próxima al río Ucayali a dicha localidad. Para esto se presentan digitalizaciones del río Ucayali de los años 1991, 1996, 2001, 2006, 2011,2012 y 2016 (líneas de colores), las cuales están superpuestas sobre el río Ucayali de la imagen de satélite de 1985, mostrando así la variación o cambios en el curso del río Ucayali en esta parte de la cuenca en 27 años. Se observan que los canales secundarios de la zona en estudio no migran considerablemente, la principal migración es ejercida por el canal principal. La digitalización de las márgenes izquierda y derecha del canal principal y canal secundario sirvió para determinar el eje central del rio, y para así calcular la tasa de migración el cual se describirá posteriormente.

4.2 MAPA DE IMÁGENES DE SATÉLITE DE 1985-2013, INTERVALOS DE CADA CINCO AÑOS

El equilibrio del río Ucayali no se mantiene estático, sino es muy dinámico. Los meandros migran continuamente en la planicie de inundación y para mantener este equilibrio dinámico, se

producen cortes de meandro (reducción de la longitud local del meandro, incrementando la pendiente local), y como consecuencia, se incrementa la tasa de migración de meandros en la cercanía de los cortes, principalmente donde se producen procesos de sedimentación por consecuencia del corte de meandros.

En la Figura 20 se muestra la variación morfológica producida entre los años 1985 al 2013, en el área de estudio del río Ucayali, donde se aprecia la migración de meandros y el corte de meandro que tendrá a ocurrir.

Con el uso del programa ArcGis, se realizó la medición aproximada de la reducción que viene sufriendo el terreno del área de estudio de aproximadamente 1109.73 metros desde el año 1985 hasta el 2012, donde se vienen produciendo estos cambios debido a la fuerte erosión por la velocidad del río y la baja pendiente, el cual indica que a futuro se producirá un corte de meandro.

Análisis realizado de la figura N° 20, en base a la distancia existente en el meandro y las diferencias entre años.

Imagen (año)	Longitud (m)	Diferencias
1985	1511.71	523.55
1991	988.16	8.42
1996	979.74	92.14
2001	887.60	145.19
2006	742.41	235.04
2011	507.37	105.39
2012	401.98	46.90
2016	355.08	

Fuente: Elaboración Propia.

Posteriormente se analizó la tasa de migración, la cual nos indica que esta va en aumento y que a futuro se producirá un corte del meandro en la zona en estudio, para lo cual posteriormente se estará determinando el modelo de predicción del corte de meandro.

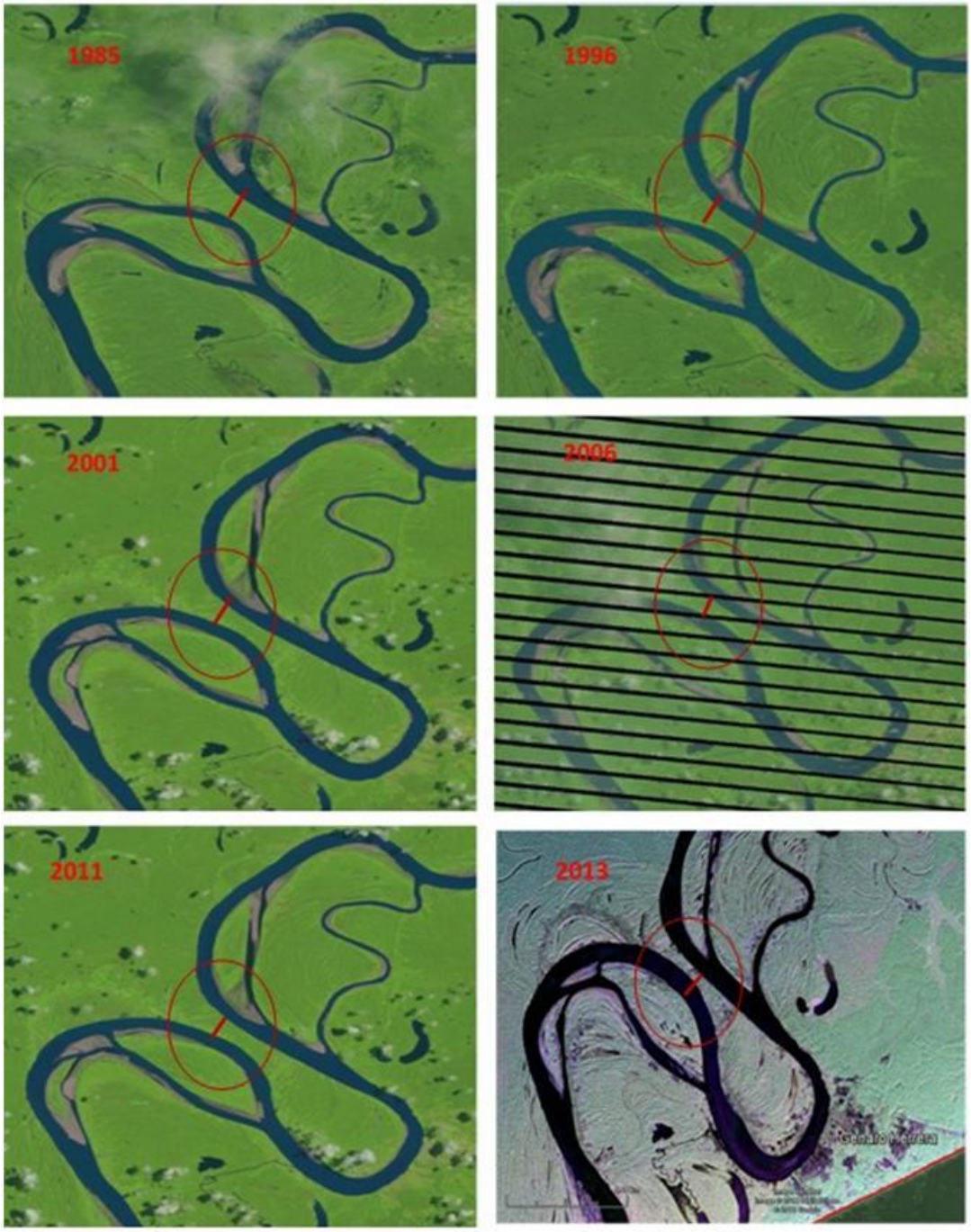


Figura N° 21: Serie de imágenes de satélite Landsat sobre el Río Ucayali, de los años 1985 a 2013, donde se muestra la migración de meandros y el lugar de corte de meandro.

4.3 ANALISIS DE LA TASA DE MIGRACION

Para el análisis de las tasas de migración se realizó la digitalización de las imágenes satelitales de los años 1985 al 2012 (Figura 20).

TABLA DE RESUMENES DE TASAS DE MIGRACIONES

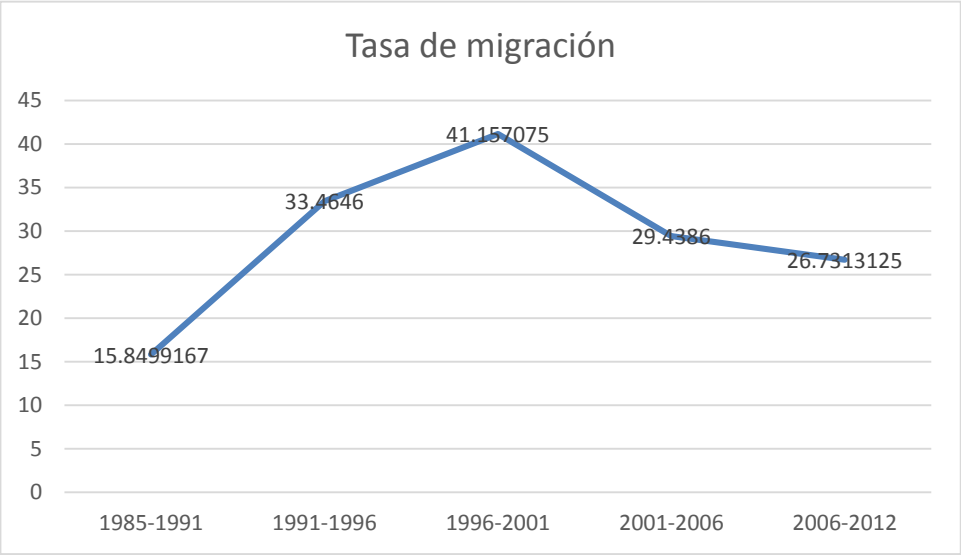
Realizando el análisis de las tasas de migraciones por 5 años de intervalos, de los años 1985-1991, 1991-1996, 1996-2001, 2001-2006, 2006-2012, se obtuvieron los resultados, los cuales se muestran en la Tabla N° 02, que nos indican que esta va en aumento.

Tabla N° 02: Resultados de las Tasas de Migraciones del Río Ucayali en la cuenca media.

AÑOS	TASAS DE MIGRACIÓN (%)
1985-1991	15.8499167
1991-1996	33.4646
1996-2001	41.157075
2001-2006	29.4386
2006-2012	26.7313125

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 01: Distribución de las Tasas de Migraciones del Río Ucayali en su cuenca media.



En el gráfico se observa como la migración del meandro en el área de estudio presenta una tasa que va en aumento, para el análisis de una serie de 27 años (años 1985 al 2012). Se observa en los primeros años (1985-1996) un aumento hasta alcanzar un pico de elevación en los años 1996-2001, esto debido al acontecimiento de cortes de meandros aguas abajo entre esos años. En los años 2001-2012 la tasa de migración va decreciendo debido al estado de equilibrio que debe mantener el río, siendo igualmente esta constante y mayor que la migración de los primeros años de estudio.

4.4 CARACTERIZACION DE SUELOS

4.4.1 Mapa mostrando los lugares de las mediciones (fondo, márgenes, planifice)

En la siguiente imagen se muestra el mapa de ubicación de las zonas donde se realizó la recolección de muestras de suelo y de las muestras de sedimentos de fondo, los cuales fueron posteriormente sometidos a análisis físicos (textura y granulometría) en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana.

Figura N° 22: Mapa de Ubicación de la recolección de muestras de suelo.

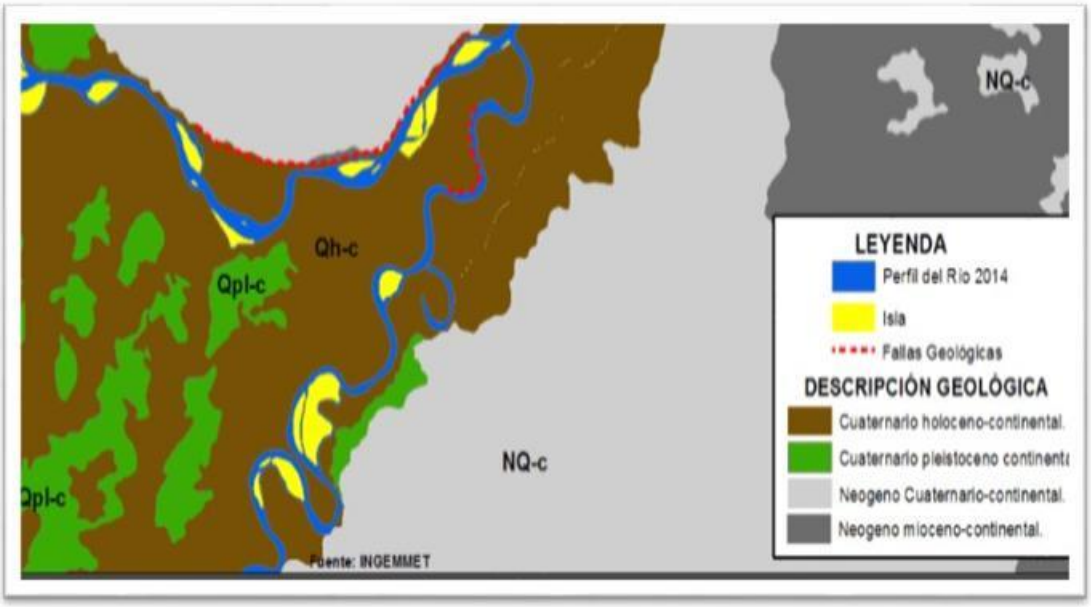


Figura N° 23: Mapa geológico de la zona de Jenaro Herrera

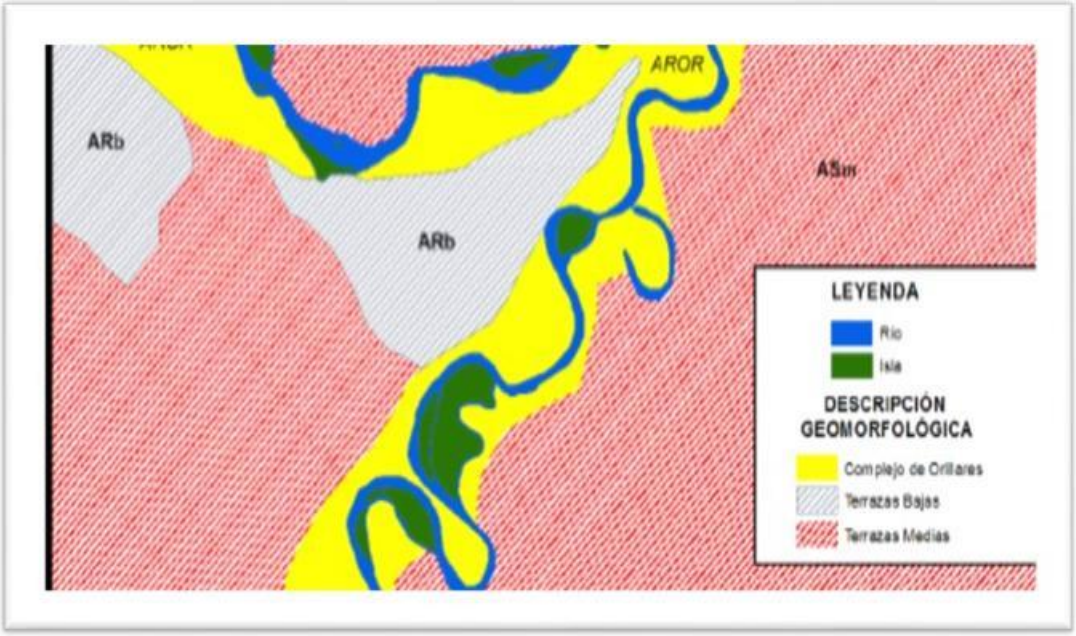


Figura Nº 24: Mapa geomorfológico de la zona de Jenaro Herrera

4.5 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y CURVAS GRANULOMETRICAS

Gráfico N° 02: Distribución Granulométrica de la Muestra S1.

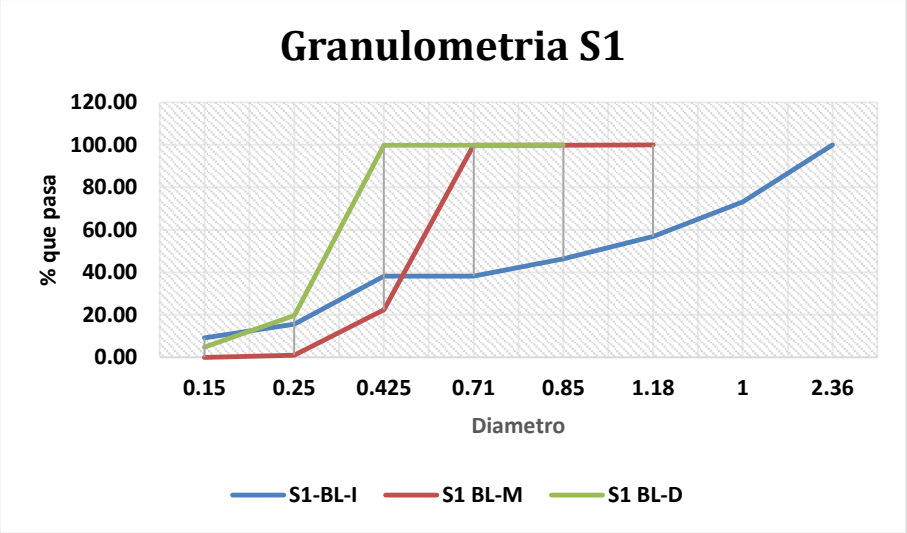


Gráfico N° 03: Distribución Granulométrica de la Muestra S2.

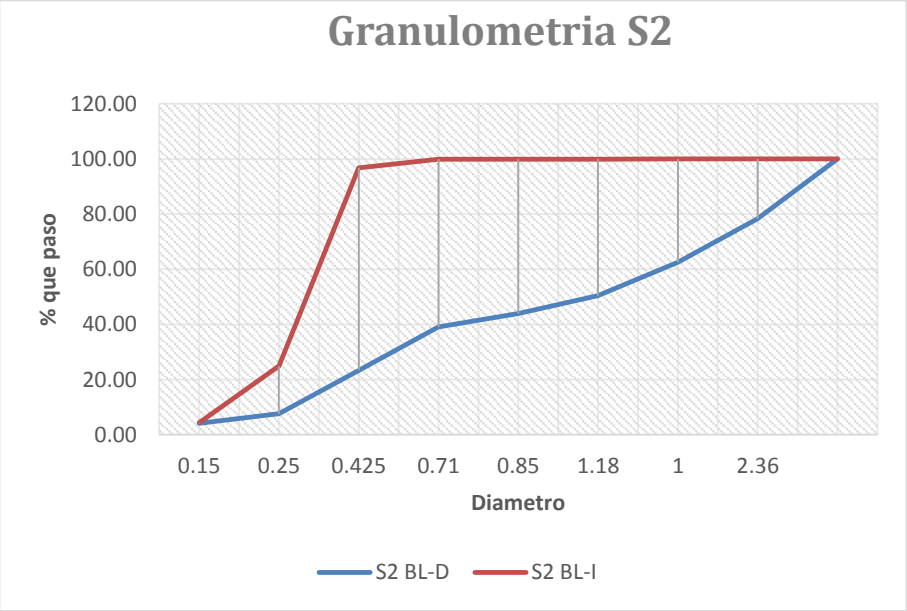


Gráfico N° 04: Distribución Granulométrica de la Muestra S3.

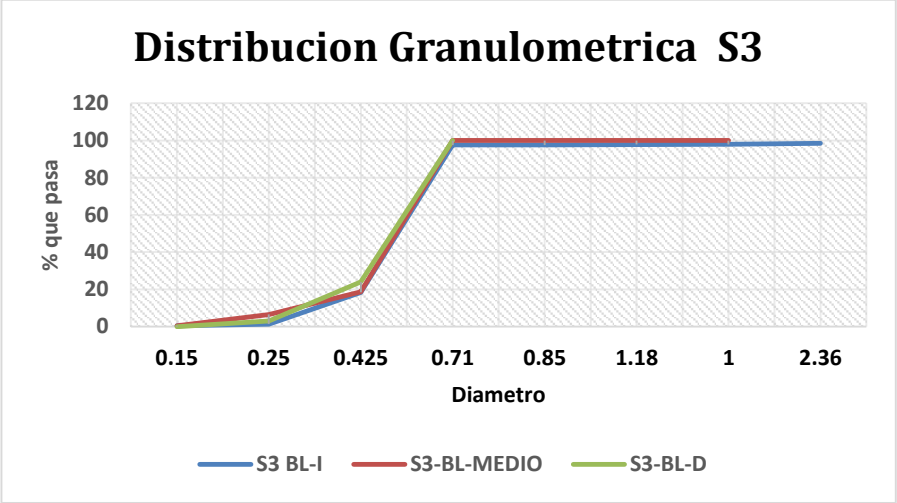


Grafico N° 02, 03 y 04: Muestra las secciones 1,2,3 de donde se tomó la muestra de sedimentos de fondos ambos lados laterales del rio y en medio, se observa la curva granulométrica de la estructura del suelo arenoso-Franco. Que indica que este tipo de suelo aluvial inestable propenso a seguir migrando.

4.6 MEDICIONES HIDRODINÁMICAS Y MORFODINÁMICAS

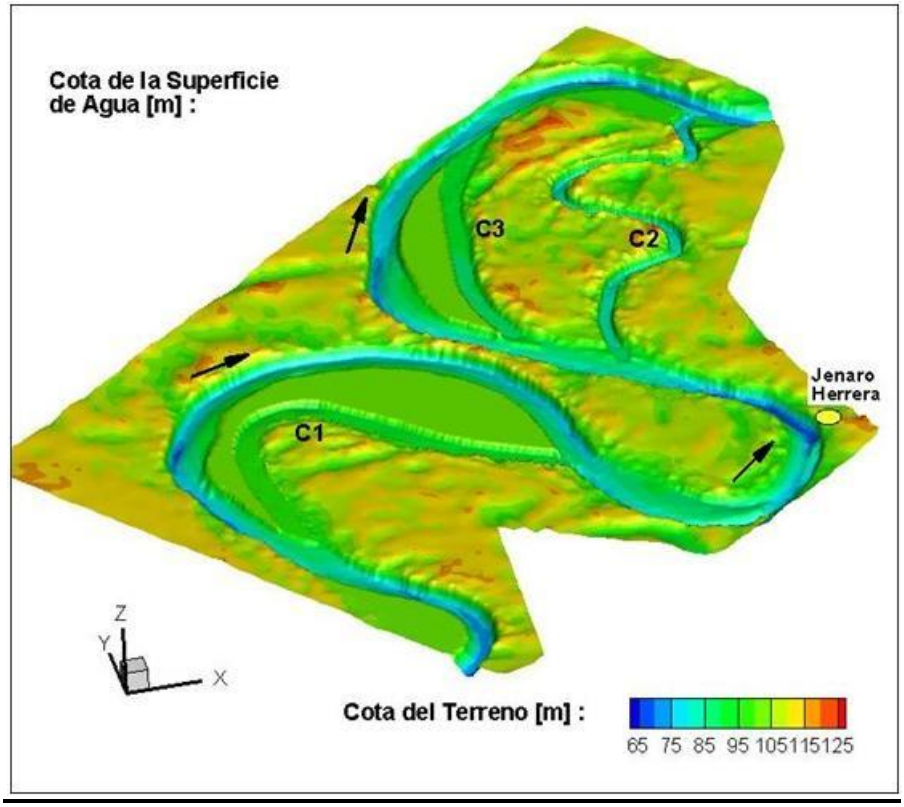


Figura N° 25: Batimetría del rio Ucayali (medida usando el ecosonda monohaz) y de la planicie de inundación (data del STRM, USGS). Se muestra que la villa Jenaro Herrera presenta profundidades importantes.

La Figura 25 muestra la batimetría del rio Ucayali y de su planicie de inundación. La cual nos permite identificar las zonas de deposición y erosión a lo largo de cauce del rio Ucayali. Se observar que la zona cerca de la villa Jenaro Herrera presenta una profundidad importante con respecto a las otras zonas, esto debería indicar que el meandro tendería a migrar lateralmente, pero debido a que las zonas geológicas donde se ubica Jenaro Herrera es bastante resistente al esfuerzo de cortes ejercidos del rio, la migración del meandro es suprimida. Durante la campaña de mediciones, no fueron posibles medir la batimetría en los canales secundarios en su totalidad, aquí para completarlos se asume un régimen uniforme en los canales secundarios así construirlos usando la técnica descrita en el modelo simplificado bi-dimensional (Abad y García, 2006).

4.7 RESULTADOS DE BATIMETRÍA UTILIZANDO EL ADCP

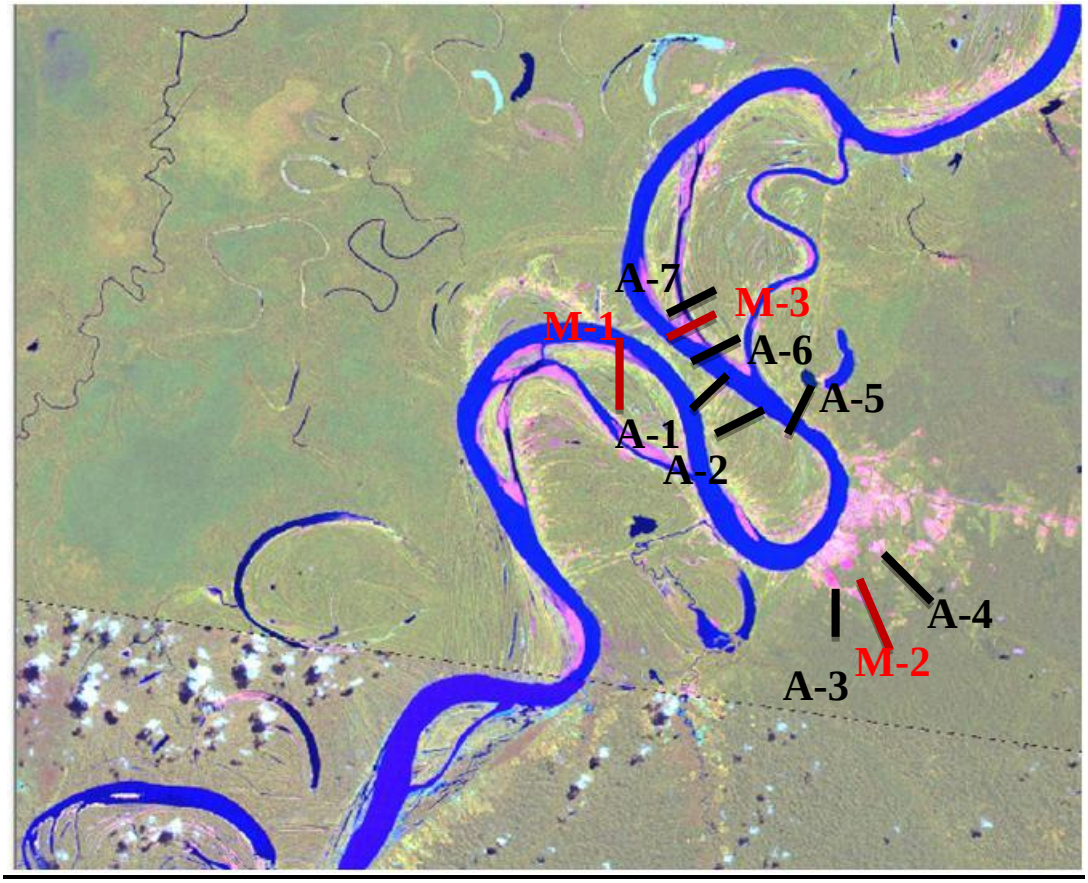


Figura N° 26: Secciones transversales donde se colectaron perfiles de velocidades usando el ADCP.

En la figura 26 se muestra las secciones transversales donde se colectaron perfiles de velocidades usando el ADCP; los puntos M-1, M-2 y M-3 son las secciones para mayo 2013, mientras que A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 y A-7 son las secciones para agosto 2013. Como se observan las mediciones se realizaron en los canales principales mas no en los canales secundarios pues las profundidades no permitían el acceso de las embarcaciones del SHNA.

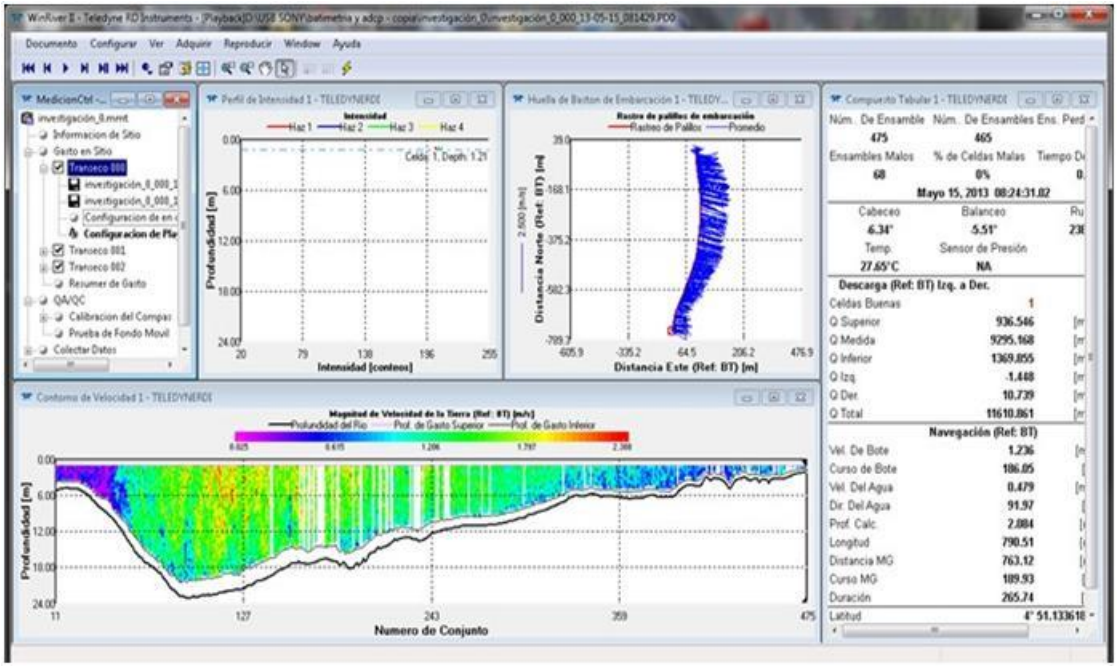


Figura N° 27: Ejemplo de toma de velocidades usando el programa WinRiver (Teledyne RDI instruments).

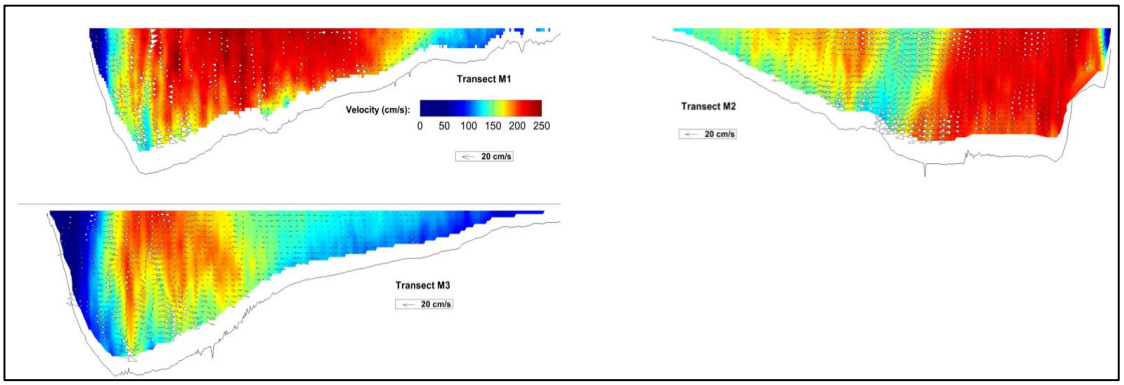


Figura N° 28: Secciones de velocidades post-procesadas para las mediciones efectuadas en mayo 2013. Los contornos de colores indican las velocidades longitudinales mientras que los vectores indican el patrón de velocidades

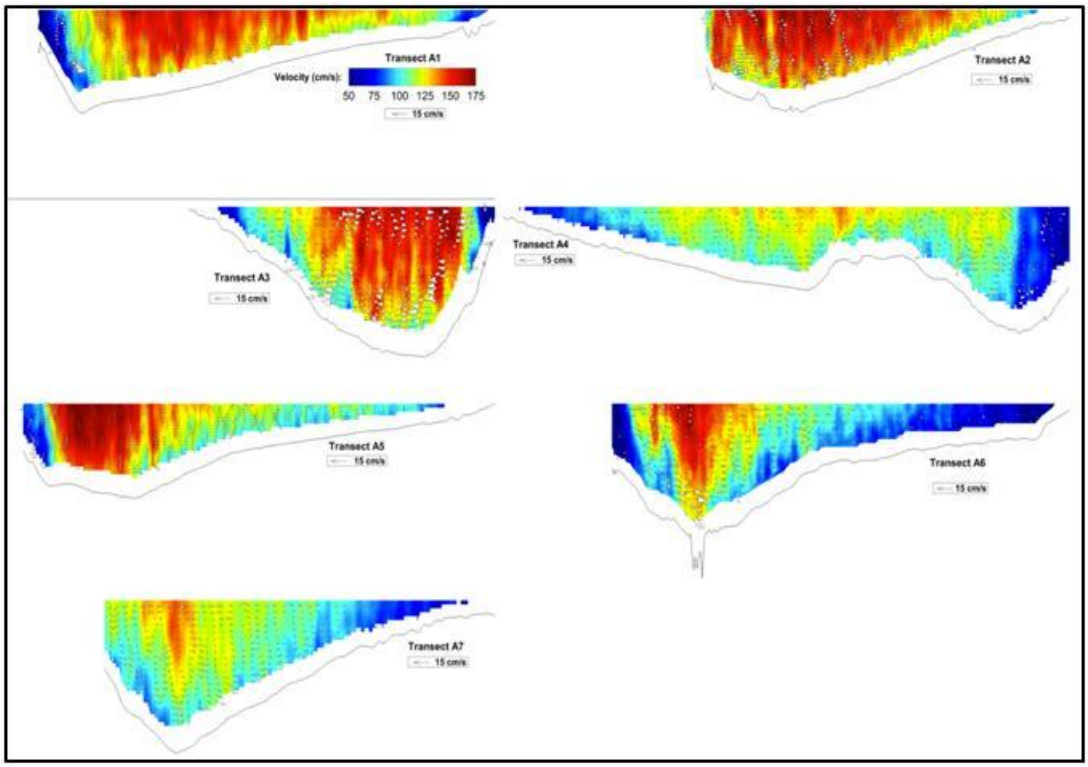


Figura N° 29: Secciones de velocidades post-procesadas para las mediciones efectuadas en agosto 2013. Los contornos de colores indican las velocidades longitudinales mientras que los vectores indican el patrón de velocidades transversales.

4.8 MODELAMIENTO HIDRODINAMICA

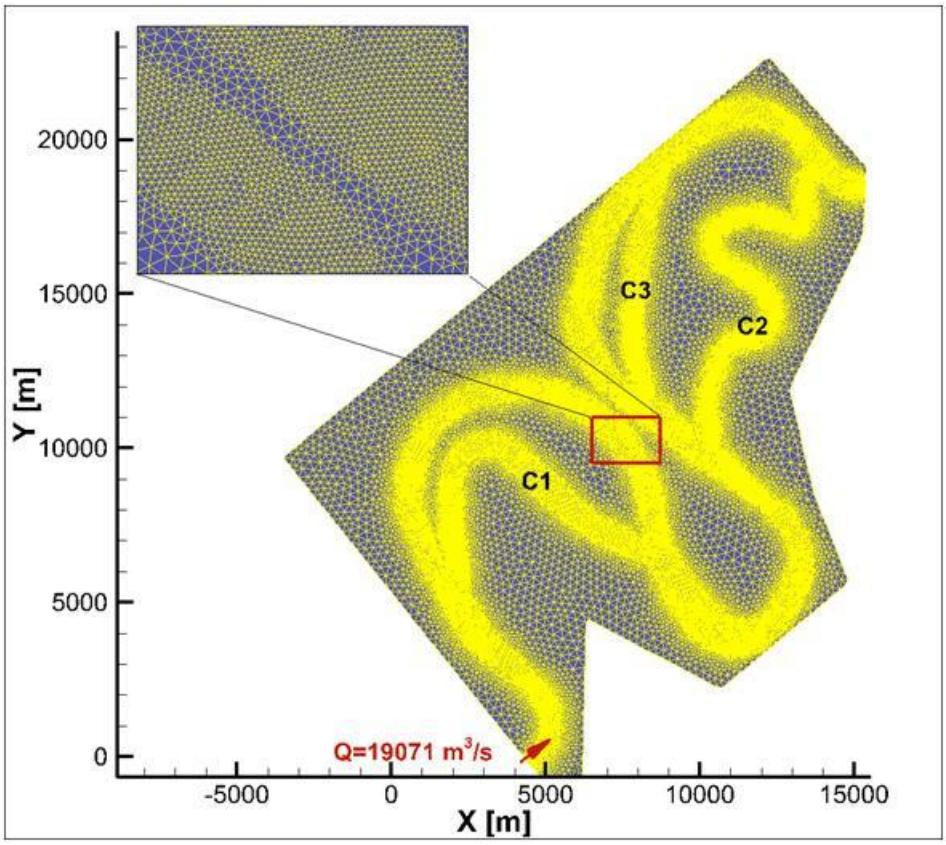


Figura N° 30: Malla numérica utilizada para las simulaciones. Se utilizaron triángulos en la planicie de inundación, así como en el canal principal. Se observa la mayor resolución en el Rio Ucayali, tanto en el canal principal como en los secundarios, para obtener mayor detalle en el patrón de velocidades

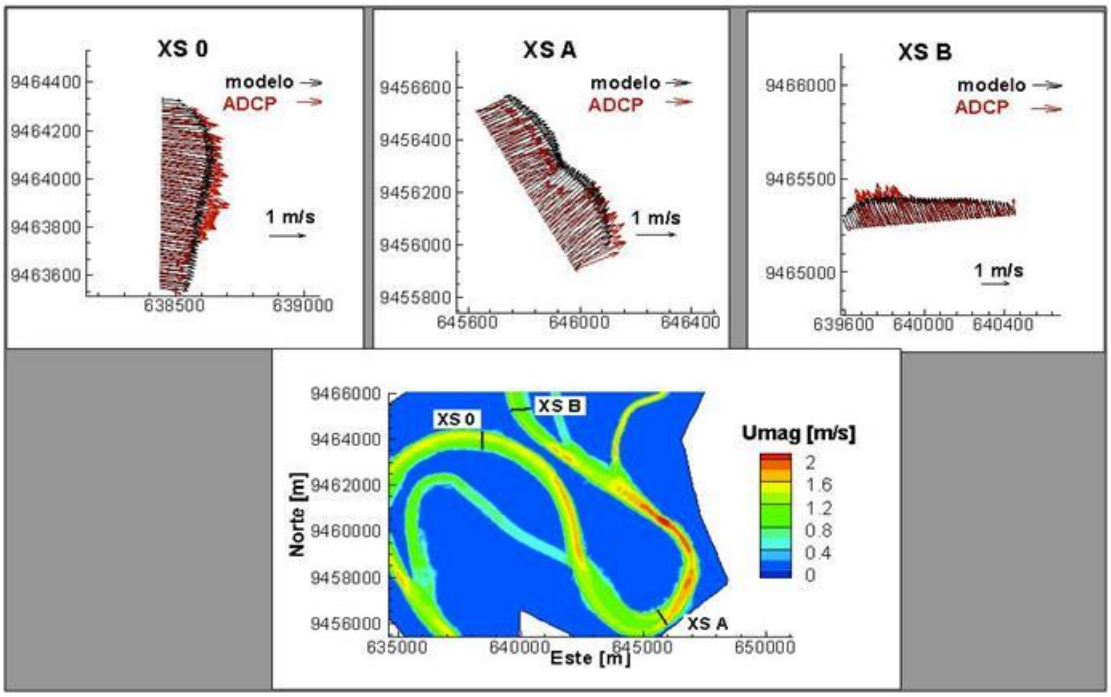


Figura N° 31: Vectores de velocidades (promediadas en la vertical) simuladas a lo largo del tramo en estudio. Los contornos muestran los esfuerzos de corte, y se observa que cerca de la zona de corte, los esfuerzos de corte ejercidos por el agua son importantes, es decir, este tramo seguirá migrando.

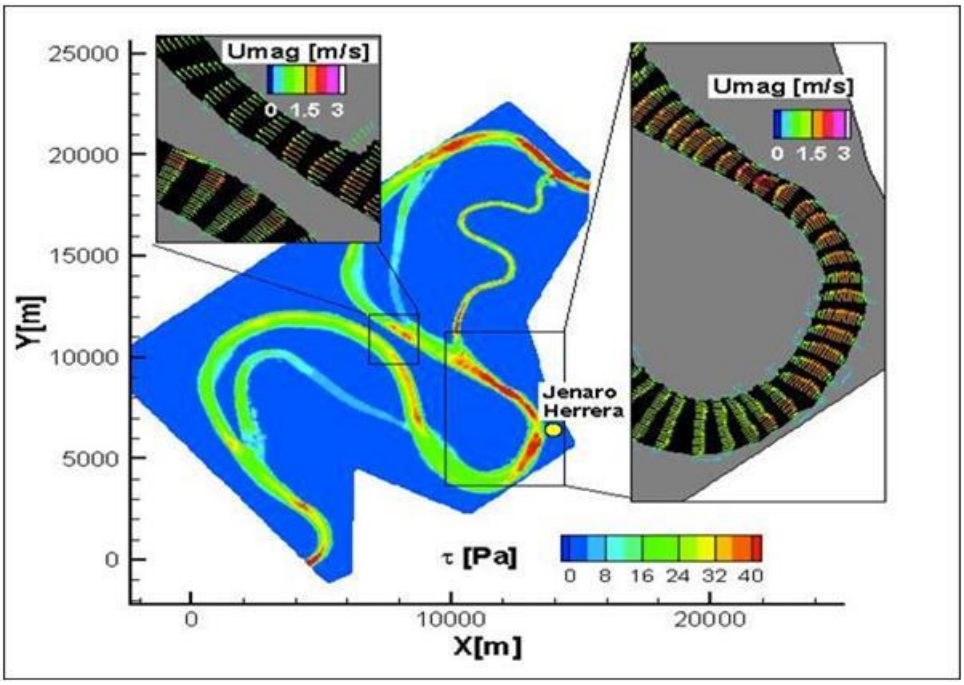


Figura N° 32: Comparación de velocidades medidas usando ADCP (promediadas en la vertical) con velocidades modeladas. Se observa que el patrón de velocidades es capturado. Umag muestra las magnitudes de las velocidades. Se observa la mayor velocidad cerca al poblado de Jenaro-Herrera.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

1. En el análisis mediante sensoramiento remoto se obtiene como resultado la migración del rio Ucayali en intervalos de 5 años siendo este último de 355.08 metros de distancia próximo a ocurrir el estrangulamiento del rio. El análisis de la tasa de migración de meandro muestra que esta va en aumento.

2. Como resultado de las mediciones hidrodinámicas y morfológicas se muestra que la batimetría del rio Ucayali (Fig: 26) presenta profundidades importantes frente a otras zonas esto indica que el meandro debería migrar, pero debido a geología de la zona donde se ubica JH (terraza media), la migración es suprimida. Sin embargo, se observa en la zona de corte, que tiene profundidades importantes, sugiriendo una constante migración del rio.
3. Los vectores de velocidades mostrados en la fig 32, indican que los contornos que muestran los esfuerzos de corte ejercidos cerca de la zona de JH son importantes indican que el tramo seguirá migrando.

4. Los resultados de los análisis granulométricos indican que tanto el sedimento de fondo como de los márgenes obtenidos de la zona corte, es característico de un suelo arenoso-limoso, que indica que son considerados como complejo de orillales, indicando también que esta zona tiende a migrar.

5. Los resultados obtenidos mediante sensoramiento remoto, análisis de tasas de migraciones y mediciones de campo indican que la curva de Jenaro Herrera cortara en los próximos años.

Esto es importante describirlo puesto que las autoridades deberán tomar acciones para evitar que el poblado de Jenaro Herrera quede aislado del rio Ucayali, y se realicen labores de prevención en cuanto a las comunidades, ajustes en cuanto a proyectos de infraestructura futuras y otras actividades que se verían afectadas y así adaptarse a la migración natural del rio.

5.2 RECOMENDACIONES

1. Para el estudio del comportamiento de los ríos es necesario mirar a los ríos como riqueza, como recursos naturales, como fuentes de vida, es decir como posibilidades de aprovechamiento en beneficio de la humanidad.

2. Es impredecible realizar estudios de sensoramiento remoto utilizando imágenes con 20 o 30 años de antigüedad puesto que se obtendrá una tasa de migración óptima.

3. Para realizar los trabajos fue imprescindible contar con el apoyo de las instituciones involucradas en este caso del Servicio de Hidrografía y Navegación de la Amazonia (SHNA) ya que estas proporcionaron los materiales, equipos de medición, y software para el desarrollo de las mediciones en campo que sin estos datos no sería posible la realización de los trabajos, así como también del laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN ANTERIORES

1. **URIARTE, P.M.J.** Diario de un misionero de Maynas. Crónica "El Itaya desemboca en el Nanay y este en el Amazonas" 1761.
2. **SÁNCHEZ RANGEL, Hipólito.** "El Amazonas se alejó…Iquitos bordeado por el Itaya" 1808.
3. **ARRIAGA, Mgr**. "El Amazonas rompe en dirección del Itaya" 1849.
4. **TUUKKI, EEVA; JOKINEN, PÄIVI; KALLIOLA, RISTO.** "Migraciones en el Rio Amazonas en las últimas décadas, Sector confluencia ríos Ucayali Y Marañón - Isla de Iquitos". Folia Amazónica VOL. 8(1) -1996
5. **MEZA ARQUIÑIGO, CARLOS.** "Aplicación del Sistema de Información Geográfica (SIG) en el modelamiento del río Ucayali. Identificación de los cambios y su influencia ambiental (Sector Pucallpa), 2009.
6. **ABAD, J. D., PERALTA, B., PAREDES, J., FRIAS, C., GUTIERREZ, R., MONTORO, H. (2012**). "The meandering Ucayali River, a cyclic adaptation of cutoff and planform migration". River Flow 2012. September 5-7, San Jose, Costa Rica.
7. **ABAD, J. D., VIZCARRA, J., PAREDES, J., MONTORO, H., FRIAS, C., HOLGUIN, C. (2013).** "Morphodynamics of the Upper Peruvian Amazonian Rivers, Implications into Fluvial Transportation". First International Conference IDS2013 – Amazonia, July 17-19, Iquitos, Peru.
8. **ABAD, J. D., FRIAS, C., BUSCAGLIA, G., GARCIA, M. (2013A).** "Modulation of the flow structure by progressive bedforms in the Kinoshita Meandering channel", Earth Surface Processes and Landforms, 38: 1612–1622.
9. **ABAD, J. D., MONTORO, H., LATRUBESSE, E. (2013B).** "TROPICAL RIVERS 2012: IGCP Annual Symposium, August 8 to August 12 of 2012", EOS, AGU, 94 (3), pp. 32.

10. **ABAD, J. D., VIZCARRA, J., PAREDES, J., MONTORO, H., FRIAS, C., HOLGUIN, C. (2013C).** "Morphodynamics of the Upper Peruvian Amazonian Rivers, Implications into Fluvial Transportation". First International Conference IDS2013 – Amazonia, July 17-19, Iquitos, Peru

11. **ABAD, J. D., PERALTA, B., PAREDES, J., FRIAS, C., GUTIERREZ, R., MONTORO, H. (2012A).** "The meandering Ucayali River, a cyclic adaptation of cutoff and planform migration". River Flow 2012. September 5-7, San Jose, Costa Rica.

12. **ABAD, J. D., PERALTA, B., PAREDES, B., FRIAS, C., GUTIERREZ, R. R., MONTORO, H. (2012B).** "Cyclic adaptation of a large meandering channel, from cutoff to planform migration". American Association of Geographers, AAG Annual Meeting, New York, New York, USA. February 24-28.

13. **ABAD, J. D., PERALTA, B., PAREDES, J., FRIAS, C., GUTIERREZ, R., MONTORO, H. (2011**). "Self-adaptive planform patterns in the meandering Ucayali river", AGU Fall Meeting, San Francisco, CA, USA.

14. **ABAD, J. D., PAREDES, J. R., MONTORO, H. (2010**). "Similarities and differences between a large meandering river and an anabranching river: the Ucayali and Amazon River cases". AGU Fall Meeting, San Francisco, CA, USA.

15. **ABAD, J. D., AND M. H. GARCIA (2009**), "Experiments in a high-amplitude Kinoshita meandering channel: 1. Implications of bend orientation on mean and turbulent flow structure", Water Resources Research, 45, W02401.

16. **ABAD, J. D., AND M. H. GARCIA (2009**), "Experiments in a high-amplitude Kinoshita meandering channel: 2. Implications of bend orientation on bed morphodynamics", Water Resources. Research, 45, W02402.

17. **ABAD, J. D., BUSCAGLIA, G. AND GARCIA, M. H. (2008**) "2D Stream Hydrodynamic, sediment transport and bed morphology model for engineering applications". Hydrological Processes, 22: 1443-1459.

18. ABAD, J. D., RHOADS, B. L., GUNERALP, I., GARCÍA, M. H. (2008) "Flow structure at different stages in a meander-bend with bendway weirs". Journal of Hydraulic Engineering, 138 (8): 1052-1053.

19. ABAD J. D. AND GARCÍA, M. H. (2006). "RVR Meander: A toolbox for re-meandering of channelized streams". Computers & Geosciences, 32: 92-101.

20. ARRIAGA, Mgr. "El Amazonas rompe en dirección del Itaya" 1849.

21. BIODAMAZ. IIAP. "Sistematización de Resultados sobre Manejo sostenible de ecosistemas inundables en el Área Piloto Dos de Mayo-San Miguel (Río Amazonas)". Documento Técnico N° 06- 2007. Iquitos – Perú.

22. CAMPOBLANCO DÍAZ, HONORIO; GOMERO TORRES, JULIA. "Importancia de los ríos en el Entorno Ambiental". Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas de la UNMSM. Vol 03-N° 05. Lima- Perú 2000.

23. CATANO, Y., ABAD, J. D., GARCIA, M. H. (2013). "Experimental and numerical study of the flow structure around two partially buried objects on a deformed bed". Journal of Hydraulic Engineering, 139 (3): 269-283.

24. CATANO, Y., ABAD, J. D. AND GARCIA, M. H. (2009). "Characterization of bedform morphology using wavelet analysis". Ocean Engineering, 36: 617-632, doi:10.1016/j.oceaneng.2009.01.014.

25. CHANG, H. H. "Fluvial Processes in River Engineering". J. Wiley and Sons, New York, USA; 1988.

26. CHUVIECO, Emilio. "*Fundamentos de teledetección espacial"*. 1990. Ediciones Rialp.S.A. Madrid.

27. CONAF. "Cuenca Hidrográfica". Colombia

28. *http://educacionambiental.conaf.cl/?seccion_id=be7a6164c6835b948931d896a30e13a0&unidad=7*

29. DAUER, K., TORRES, Z., ABAD, J. D., FRIAS, C., J., MONTORO, H., VIZCARRA, J., BARDALES, J. "How can river migration impact the town of Jenaro-Herrera?, Peru". In preparation for Journal of Hydraulic Engineering, ASCE

30. **DOMÍNGUEZ RUBEN, LUCAS GERARDO; FARIAS, HECTOR; REUTER, ALFREDO**. "Migraciones del Curso y forma en planta observadas en ríos meandriformes de varias regiones Argentinas". Universidad Nacional Santiago del Estero, Argentina, 2012.

31. **ELOSEGUI, A. (2009**),

32. **EL KADI ABDERREZZAK, K., ABAD, J. D., LANGENDOEN, E. (2014**) "Moveable-bed models", accepted, Journal of Hydro-Environment Research.

33. **FARJAS, M**. "Levantamiento Batimétricos". Tema 13. España, 2006.

34. **FRIAS, C. E., MENDOZA, A., ABAD, J. D.,, DAUER, K., MONTORO, H., PAREDES, J**. "Morphodynamic stages of the anabranching in the upper Amazon River basin", in review, Water Resources Research, AGU.

35. **FRIAS, C., ABAD, J. D. (2013**). "Mean and turbulent flow structure during the amalgamation process in fluvial bed forms", Water Resources Research, 49: 6548–6560, doi:10.1002/wrcr.20456.

36. **GUNERALP, I., ABAD, J. D., ZOLEZZI, G., HOOKE, J. (2012).** "Advances and challenges in meandering channels research", Geomorphology, 163-164: 1-9.

37. **GUTIERREZ, R., ABAD, J. D., PARSONS, D. R., BEST, J. L. (2013**) "Discrimination of bedforms scales using robust spline and wavelet transforms: methods and application to Synthetic Signals and the Parana River, Argentina", Journal of Geophysical Research-Earth-Surface, 118: 1400–1419, doi:10.1002/jgrf.20102.

38. **GUTIERREZ, R., ABAD, J. D., (2014)** "On the analysis of the medium term planform dynamics of meandering rivers", aceptado, Water Resources Research, AGU.

39. **GUTIERREZ, R., ABAD, J. D., CHOI, M., MONTORO, H. (2014)** "On the morphodynamics of free meanders confluences at the Upper Amazon Basin", in press, Geomorphology.

40. **INIA**. "La Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica, algunas aplicaciones en el Uruguay". Uruguay, 2001.

41. LATRUBESSE, E., WILKINSON, J. ABAD, J. D. (2014) "Large rivers and megafans". Sedimentary Geology, 301: 91-92.

42. LAUER, W. (2006), NCED Stream Restoration Toolbox - Channel Planform Statistics And ArcMap Project, National Center for Earth-Surface Dynamics (NCED).

43. LEROUX, JÉROME; CRAVE, ALAIN; ESPINOZA, RAUL; MARTINEZ, JEAN-MICHEL Y MATTOS, JORGE. "Análisis de Meandros del Río Ucayali". Tercera Reunión Científica del ORE Hybam. Tabatinga, Octubre 2009.

MAZA ALVAREZ, J.A. "Introduction to River Engineering". Universitá Italiana per Stranieri, Perugia, Italia; 1988.

44. MELVILLE, B. W. & COLEMAN, S. E. "Bridge Scour. Water Resources Publications". Littleton, Colorado, USA; 2000.

45. MENDOZA, A., FRIAS, C. E., ABAD, J. D., DAUER, K., PAREDES, J., VIZCARRA, J., MONTORO, H. "Dynamics of the Amazonian anabranching structure near Iquitos City". En revision, Earth Surface Processes and Landforms.

46. MEZA 2010

47. MEZA ARQUIÑIGO, CARLOS. "La teledetección aplicada a los problemas fluviales: caso Pucallpa". Investigaciones sociales, págs. 405-415. Lima – Perú, 2006.

48. MEZA ARQUIÑIGO, CARLOS. "Modelamiento SIG para identificar los cambios del Río Ucayali y su influencia ambiental (Sector Pucallpa)" Marco Teórico referencial. Tesis para optar el Grado de Magister en Geografía, Mención en Ordenamiento y Gestión Ambiental. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima – Perú, 2006.

49. MEZA ARQUIÑIGO, Carlos. "Aplicación del Sistema de Información Geográfica (SIG) en el modelamiento del río Ucayali. Identificación de los cambios y su influencia ambiental (Sector Pucallpa)". Lima-Perú, 2009.

50. MORISAWA, M.. "RIVERS. FORM AND PROCESS". 1985. New York, Estados Unidos.

51. MOTTA, D., LANGENDOEN, E. J., ABAD, J. D., GARCIA, M. H. "Meander migration in horizontally and vertically heterogeneous floodplains: how and why bank mass failure process matter", in press, Journal of Geophysical Research-Earth Surface, AGU

52. MOTTA, D., ABAD, J. D., LANGENDOEN, E. J., GARCIA, M. H. (2012). "The effects of floodplain soil heterogeneity on meander planform shape", Water Resources Research, 48, W09518, 17 pp.

53. MOTTA, D., ABAD, J. D. AND GARCIA, M. H. (2010). "A modeling framework for organic sediment resuspension and oxygen demand: the case of Bubbly creek in Chicago, Illinois", Journal of Environmental Engineering, 136 (9): 952-964.

54. MOTTA, D., ABAD, J. D., LANGENDOEN, E. J. AND GARCIA, M. H. (2012). "A simplified 2D model for long-term meander migration with physically-based bank evolution", Geomorphology, http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.06.036, 163-164: 10-25.

55. MULLER, D., ABAD, J. D., GARCIA, C., GATNER, J. W. AND GARCIA, M. H. (2007). "Errors in Acoustic Doppler Velocity measurements caused by flow disturbance". Journal of Hydraulic Engineering, 133 (12): 1411-1420.

56. NEILL, C. R. (ED.). "Guide to Bridge Hydraulics". Roads and Transportation Assoc. of Canada, University of Toronto Press, Toronto, Canada; 1973.

57. OHI. "NORMAS DE LA OHI PARA LEVANTAMIENTOS HIDROGRÁFICOS (S-44)" 5ta. Edición 2008.

58. ODGAARD, A. J., ABAD, J. D. (2008). "Chapter 8: River meandering and channel stability". In ASCE Manual of Practice 110: Sedimentation Engineering," M.H. Garcia (ed), Reston, VA, USA, pp. 439-459.

59. OLLERO, O (2008)

60. PARKER, G., SHIMIZU, Y., WILKERSON, G. V., EKE, E. C. ABAD, J. D., LAUER, J. W., PAOLA, C., DIETRICH, W. E. AND VOLLER, V. R. (2011). "A new framework for

modeling the migration of meandering rivers". Earth Surface Processes and Landforms, 36: 70-86.

61. PEÑAHERRERA DEL ÁGUILA, CARLOS. *"Geografía física del Perú".* Edición Mejía Baca. 1986

62. REINECK H.E. & SINGH, I. B. "Depositional sedimentary environments with reference to terrigenous clastics". Segunda edición. Springer-Verlag, Berlin, Alemania, 1980.

63. ROCHA FELICES, A. "La Morfología Fluvial y su Incidencia en la Estabilidad de las Obras Viales". VII Congreso Internacional de Obras de Infraestructura Vial. Academia Peruana de Ingeniería. Lima, Perú, 2009.

64. RODRIGUEZ, J. F., BOMBARDELLI, F. A., GARCÍA, M. H., FROTHINGHAM, K., RHOADS, B. L., ABAD, J. D. (2004). "High-resolution numerical simulations of flow through a highly sinuous river reach". Water Resources Management, 18: 177-199, Kluwer Academic Publishers.

65. SERVICIO DE HIDROGRAFÍA Y NAVEGACIÓN DE LA AMAZONÍA- MARINA DE GUERRA DEL PERÚ (SHNA). "Monitoreo Hidrográfico del río Ucayali en las inmediaciones de la ciudad de Pucallpa" – Informe Técnico. Junio, 2011.

66. SÁNCHEZ ANGEL, HIPÓLITO. "El Amazonas se alejó…. Bordeado por el Itaya". 1808.

67. SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA (SENAMHI). Evaluación hidrológica de las cuencas Amazónicas Peruanas. Octubre 2011. Lima-Perú.

68. TUUKKI, EEVA; JOKINEN, PÄIVI Y KALLIOLA, RISTO. "Migraciones en el Rio Amazonas en las últimas décadas, Sector confluencia ríos Ucayali Y Marañón - Isla de Iquitos". Folia Amazónica VOL. 8(1) -1996

69. URIARTE, P.M.J. Diario de un misionero de Maynas. Crónica "El Itaya desemboca en el Nanay y este en el Amazonas" 1761.

70. ZAVALETA GARCÍA, Amaro. "EDAFOLOGÍA: El Suelo en relación con la producción". Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú, 2002.

A N E X O S

ANÁLISIS TEXTURAL DE SUELO

Tabla N° 03: Resultados Muestra S1

S1	1 LEC 40´	T	2 LEC 60´	T	% Arenas	% Arcillas	% Limos	Clase textural
BL-D	9	24	01	24	98.02	0.2	1.6	Arenosa
BL-M	7	24	01	24	98.6	0.2	1.2	Arenosa
BL-I	43	24	20	25	91.4	4	4.6	Arenosa

Tabla N° 04: Resultados Muestra S2

S2	1 LEC 40	T	2 LEC 60	T	% Arenas	% Arcillas	% Limos	Clase textural
BL-I	3	24	1	25	99.4	0.2	0.4	Arenosa
BL-D	32	24	6	25	87.2	2.4	10.4	Arena francosa

Tabla N° 05: Resultados Muestra S3

S3	1 LEC 40	T	2 LEC 60	T	% Arenas	% Arcillas	% Limos	Clase textural
BL-D	5	24	1	24	98	0.4	1.6	Arenosa
BL-M	8	24	1	24	96.8	0.4	2.8	Arenosa
BL-I	5	24	1	24	98	0.4	2.8	Arenosa