

**Universidad Científica del Perú - UCP**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERIA AMBIENTAL**



**TESIS:**

**EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS GENERADOS SOBRE EL TRÁNSITO FLUVIAL ANTE LOS ÚLTIMOS DESPLAZAMIENTOS DEL RÍO AMAZONAS EN EL SECTOR DE INGRESO AL TERMINAL PORTUARIO DE IQUITOS Y EL POSICIONAMIENTO DEL RÍO ITAYA SOBRE ESE SECTOR, 2021.**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTORES: BACH. SILVA VILLACORTA, GRECIA MILAGROS**

**BACH. DAVILA DEL CASTILLO, BRUNO ALEXANDER**

**ASESOR: ING. GUSTAVO FERNANDO GAMARRA RAMIREZ, Mg.**

San Juan Bautista – Loreto – Maynas – Perú

2022

## **Dedicatoria.**

*Dedico con todo corazón a mi madre María Mercedes, que se ha convertido en mi ángel, que desde el cielo me ilumina y me da las fuerzas necesarias para aprender hacer fuerte y valiente como fue ella y así sobrellevar las dificultades que se me presentan.*

*Por eso te doy mi trabajo en ofrenda por tu paciencia y amor madre mía.*

*Grecia Milagros*

*En primer lugar, a DIOS, el padre celestial, por guiarme por el mejor camino, quien nunca me abandona a pesar de los errores cometidos, y por bendecirme con una familia maravillosa, llena de valores que siempre está apoyándome.*

*A mi mamá, GLADYS DEL CASTILLO, que siempre está ahí apoyándome en todo, brindándome los mejores consejos para que nunca pierda la humildad.*

*A mi papá (QEPD), ALEXANDER DAVILA CANELO, que me está cuidando desde el cielo, y me guía para ser una mejor persona cada día.*

*A mi padrastro, JULIO FLORIDAS PORTOCARRERO, que está siempre presente, apoyándome en todo lo necesario, por brindarme todas tus enseñanzas y a mantener los pies sobre la tierra y por quererme como si fuera tu hijo.*

*Bruno Alexander*

## **Agradecimiento.**

*Agradezco a Dios, ser divino por darme la vida y guiar mis pasos día a día.*

*A mis padres, German y María quienes han sido el pilar fundamental en mi formación profesional, especialmente a mi madre a quien estoy eternamente agradecida por todo el sacrificio y apoyo incondicional.*

*A mis hermanos, Manoela, Jhony, Ema, Mercedes, Sara, Lery y Tesoro gracias por estar siempre ahí apoyándome y por siempre impulsarme hacer mejor.*

*Y a todas las personas que de una u otra forma me apoyaron en la realización de este trabajo.*

*Grecia Milagros*

*Agradezco a DIOS, por ser la mejor guía y darme fortaleza, por regalarme la vida y una hermosa familia.*

*Agradezco de todo corazón a mis padres, por darme la vida y brindarme las mejores enseñanzas para ser una mejor persona.*

*A mi familia, que siempre me está apoyando.*

*Agradezco a todos los miembros que estuvieron presentes para la elaboración de la tesis.*

*Bruno Alexander*

**CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN  
DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP**

El presidente del Comité de Ética de la Universidad Científica del Perú - UCP

Hace constar que:

La Tesis titulada:

**"EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS GENERADOS SOBRE EL TRÁNSITO FLUVIAL ANTE LOS ÚLTIMOS DESPLAZAMIENTOS DEL RÍO AMAZONAS EN EL SECTOR DE INGRESO AL TERMINAL PORTUARIO DE IQUITOS Y EL POSICIONAMIENTO DEL RÍO ITAYA SOBRE ESE SECTOR, 2021"**

De los alumnos: **SILVA VILLACORTA GRECIA MILAGROS Y DAVILA DEL CASTILLO BRUNO ALEXANDER**, de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, pasó satisfactoriamente la revisión por el Software Antiplagio, con un porcentaje de **5% de plagio**.

Se expide la presente, a solicitud de la parte interesada para los fines que estime conveniente.

San Juan, 29 de Marzo del 2022.



Dr. César J. Ramal Asayag  
Presidente del Comité de Ética - UCP

## Document Information

Analyzed document	ucp_ingenieria_2022_tesis_greciasilva_brunodavila_v1.pdf (D131179280)
Submitted	2022-03-22T14:55:00.0000000
Submitted by	Comisión Antiplagio
Submitter email	revision.antiplagio@ucp.edu.pe
Similarity	5%
Analysis address	revision.antiplagio.ucp@analysis.arkund.com

## Sources included in the report

<b>SA</b>	<b>TESIS VILLALOBOS MONDRAGON.docx</b> Document TESIS VILLALOBOS MONDRAGON.docx (D54583950)	 6
<b>SA</b>	<b>Universidad Científica del Perú / UCP_Negocios_2021_TESIS_AldoTello_V1.pdf</b> Document UCP_Negocios_2021_TESIS_AldoTello_V1.pdf (D122274519) Submitted by: revision.antiplagio@ucp.edu.pe Receiver: revision.antiplagio.ucp@analysis.arkund.com	 1
<b>W</b>	URL: <a href="https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/tesis/Ingenie/Paredes_B_J/cap2.htm">https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/tesis/Ingenie/Paredes_B_J/cap2.htm</a> Fetched: 2022-03-22T14:55:44.9670000	 1
<b>W</b>	URL: <a href="http://www.iiap.org.pe/upload/publicacion/zin/caracterizaci%C3%B3n.htm">http://www.iiap.org.pe/upload/publicacion/zin/caracterizaci%C3%B3n.htm</a> Fetched: 2022-03-22T14:55:43.0700000	 1
<b>W</b>	URL: <a href="https://portal.mtc.gob.pe/transportes/acuatico/documentos/estudios/Investigaciones%20r%C3%ADo%20Putumayo%20(Yaguas-G%C3%BCeppi).pdf">https://portal.mtc.gob.pe/transportes/acuatico/documentos/estudios/Investigaciones%20r%C3%ADo%20Putumayo%20(Yaguas-G%C3%BCeppi).pdf</a> Fetched: 2021-07-06T15:44:10.1770000	 2
<b>SA</b>	<b>submission.docx</b> Document submission.docx (D76143773)	 1

HOJA DE APROBACIÓN



---

PRESIDENTE DEL JURADO

Ing. Carmen Patricia Cerdeña del Aguila, Dra.



---

MIEMBRO DEL JURADO

Lic. Ecol. Jose Lisbinio Cruz Guimaraes, M.Sc.



---

MIEMBRO DEL JURADO

Ing. Marco Antonio Paredes Riveros, M.Sc.



---

ASESOR

Ing. Gustavo Fernando Gamarra Ramirez, Mgr.

“Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional”

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

### FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Con Resolución Decanal N°867-2021-UCP-FCEI del 24 de noviembre del 2021, la FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP designa como Jurado Evaluador de la sustentación de tesis a los señores:

- |  |            |
|--|------------|
| • Ing. Carmen Patricia Cerdeña del Aguila, Dra.  | Presidente |
| • Lic. Ecol. Jose Lisbinio Cruz Guimaraes, M.Sc. | Miembro    |
| • Ing. Marco Antonio Paredes Riveros, M.Sc.      | Miembro    |

Como Asesor: al **Ing. Gustavo Fernando Gamarra Ramirez, Mgr.**

En la ciudad de Iquitos, siendo las 10:00 horas del día 26 de abril del 2022, a través de la plataforma ZOOM supervisado en línea por el Secretario Académico del programa Académico de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Universidad Científica del Perú., se constituyó el Jurado para escuchar la sustentación y defensa de la Tesis: **“EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS GENERADOS SOBRE EL TRÁNSITO FLUVIAL ANTE LOS ÚLTIMOS DESPLAZAMIENTOS DEL RÍO AMAZONAS EN EL SECTOR DE INGRESO AL TERMINAL PORTUARIO DE IQUITOS Y EL POSICIONAMIENTO DEL RÍO ITAYA SOBRE ESE SECTOR, 2021”.**

Presentado por los sustentantes: **GRECIA MILAGROS SILVA VILLACORTA**  
Y  
**BRUNO ALEXANDER DAVILA DEL CASTILLO**

Como requisito para optar el título profesional de: **INGENIERO AMBIENTAL**

Luego de escuchar la sustentación y formuladas las preguntas las que fueron: **ABSUELTAS**  
El Jurado después de la deliberación en privado llegó a la siguiente conclusión:

La sustentación es: **APROBADO POR UNANIMIDAD**

En fe de lo cual los miembros del Jurado firman el acta.



Presidente



Miembro



Miembro

Contáctanos:

Iquitos – Perú  
065 - 26 1088 / 065 - 26 2240  
Av. Abelardo Quiñones Km. 2.5

Filial Tarapoto – Perú  
42 – 58 5638 / 42 – 58 5640  
Leoncio Prado 1070 / Martines de Compañon 933

Universidad Científica del Perú  
www.ucp.edu.pe

## Contenido

<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>12</b>
<b>CAPITULO II: MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2 METODOS.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2.1 Ubicación.....</b>	<b>14</b>
<b>CAPITULO III: MARCO TEORICO.....</b>	<b>17</b>
<b>3.1 ANTECEDENTES .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2 BASES TEORICAS .....</b>	<b>21</b>
<b>3.3 DEFINICION DE TERMINOS BASICOS.....</b>	<b>22</b>
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>24</b>
<b>4.1 RESULTADOS .....</b>	<b>24</b>
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>53</b>
<b>5.1. CONCLUSIONES.....</b>	<b>53</b>
<b>5.2. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>54</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>56</b>

## Relación de Graficos

Ilustración 1.- Área de estudio - sector Itaya .....	14
Ilustración 2.- Vista de las progresivas del río Itaya hasta la confluencia con el Amazonas.....	24
Ilustración 3.- Imagen Satelital LANDSAT del sector de Estudio (diciembre 1985) .....	27
Ilustración 4.- Imagen Satelital LANDSAT del sector de Estudio (febrero 2005) .....	28
Ilustración 5.- Imagen Satelital LANDSAT del sector de estudio (julio 2002 +85).....	29
Ilustración 6.- Imagen Satelital LANDSAT del sector de estudio (setiembre 2011) .....	30
Ilustración 7.- Imagen satelital LANDSAT del sector de estudio (marzo 2013).....	31
Ilustración 8.- Imagen satelital LANSAT el sector de estudio (setiembre 2013) .....	32
Ilustración 9.- Imagen Satelital LANDSAT del sector de estudio (setiembre 2017) .....	33
Ilustración 10.- Desplazamiento de la desembocadura del Itaya sobre al amazonas entre 1985 y 2013.....	36
Ilustración 11.- Flujo del parque naviero TPI 2019 .....	37
Ilustración 12.- % acumulado de Embarcaciones que fluyen al TPI Vs Calado .....	37
Ilustración 13.- Número de Embarcaciones que ingresan y salen del TPI (2019) .....	38
Ilustración 14.- Niveles Medios Diarios del río Amazonas .....	39
Ilustración 15.- Cantidad de carga y descarga que fluye a través del TPI, 2019 .....	40
Ilustración 16.- distancia crítica del río Itaya desde el TPI .....	41
Ilustración 17.- Características Hidráulicas del río Itaya sector crítico .....	42
Ilustración 18.- Flujo de velocidades del río Itaya – progresiva 1+935 (11/11/2021) .....	42
Ilustración 19.- Ubicación de las secciones transversales obtenidas con el ADCP-Batimetría (1/3/22) .....	44
Ilustración 20.- Sección transversal del Itaya en la progresiva 1+935 (1/3/22).....	44
Ilustración 21.- Sección transversal del Itaya en la progresiva 1+578 (1/3/22).....	45
Ilustración 22.- Sección transversal del Itaya en la progresiva 1+049 (1/3/22).....	45
Ilustración 23.- Sección transversal del Itaya en la progresiva 0+491 (1/3/22).....	46
Ilustración 24.- Sección transversal del Itaya en la progresiva 0+000 (1/3/22).....	46
Ilustración 25.- Nivel Medio del río Amazonas Vs Nivel 2021 .....	48
Ilustración 26.- Proceso de Formación de un Meándro.....	50
Ilustración 27.- Secuencia desde la meandrización (a y b) hasta la migración del cauce por medio de procesos de corte (c).....	51
Ilustración 28.- Parámetros morfométricos de un canal meándrico .....	51

## Resumen

Se ha evaluado el impacto en el flujo del transporte fluvial de carga ocasionado por la migración del río Amazonas en el sector del Terminal Portuario de Iquitos. Para ello, se utilizó la técnica multitemporal de imágenes LANDSAT, la batimetría y el seccionamiento del río Itaya con ADCP. El río Amazonas se ha desplazado 5288 m entre 1985 al 2000 y tiene una migración neta de 5997 m hasta la actualidad con una velocidad de 166 m/año. Se comprobó que el río Itaya en la actualidad cubre el cauce dejado por el río Amazonas formando un estirón de agua, el caudal del río Itaya representa el 0.5% del río Amazonas, por lo tanto, la diferencia de los tirantes de agua entre ambos ríos es muy significativo, ocasionando dificultades en el flujo de naves que embarcan y desembarcan en la ciudad Iquitos, las evaluaciones indican que, mientras continúe el proceso de migración del Amazonas hacia el Este, más difícil será el flujo de transporte pesado a nuestro TPI por el bajo tirante de agua del río Itaya, que conlleva a realizar dragados más frecuentes, encareciendo el costo de vida en la región. El tramo crítico en el río Itaya desde el TPI hasta la confluencia con el Amazonas es de 2250 m

**Palabras Claves:** Migración, Itaya, Amazonas, Puerto de Iquitos.

## **Abstract**

The impact on flow of river freight transport caused by migration of Amazon River in Iquitos Port Terminal sector has been evaluated. For this, the LANDSAT multi-temporal imaging technique, bathymetry and sectioning of Itaya River with ADCP were used. The Amazon River has moved 5,288 m between 1985 and 2000 and has a net migration of 5,997 m to date with a speed of 166 m/year. It was found that Itaya River currently covers the course left by Amazon River forming a water spurt, the flow of the Itaya River represents 0.5% of the Amazon River, therefore, the difference in the water straps between both rivers is very significant, causing difficulties in the flow of ships that embark and disembark in Iquitos city, the evaluations indicate that, while the process of migration from the Amazon continues to East, more difficult it will be flow of heavy transport to our TPI through the low water depth of Itaya River, which leads to more frequent dredging, increasing the cost of living in Loreto. The critical section in the Itaya River from the TPI to the confluence with the Amazon is 2,250 m

**Keywords:** Migration, Itaya, Amazonas, Port of Iquitos.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La cuenca hidrográfica del Río Amazonas es la más grande del mundo. Su vertiente cubre alrededor de 6,5 millones de km<sup>2</sup> y su caudal medio es el mayor del mundo, estimado en 200 000 m<sup>3</sup>/s [1], Debido a su extensión geográfica, la cuenca del Amazonas se caracteriza por una fuerte variabilidad espacial de las lluvias y de los regímenes hidrológicos (I, 2014).

En nuestro país, la región Amazónica representa el 60% de la superficie total del territorio, se caracteriza por presentar terrenos relativamente bajos, cubiertos de densa vegetación, que son recorridos por innumerables cursos de agua, provenientes del deshielo de nevados andinos y de precipitaciones pluviales (Paredes, 2004). Los suelos de los ríos son de característica aluvial, el fondo del **suelo se forma** a partir del aluvión y transportados por aguas en movimiento **como** la de lluvia o de los ríos.

Los ríos aluviales son esencialmente móviles, es decir, que sus características no tienen estabilidad ni permanencia. Se desplazan y modifican más de lo que suele imaginarse. Esta movilidad fluvial representa un peligro para las obras de ingeniería ubicadas sobre el lecho fluvial y en sus inmediaciones, las que por su propia naturaleza deben ser estables. En consecuencia, para el diseño de estas obras, que incluye especialmente las viales, se debe conocer el comportamiento del río, lo que implica identificar las diferentes formas fluviales (Rocha Felices, 2011).

“Los ríos de selva se caracterizan por carecer de estabilidad y desplazarse continuamente, un fenómeno que representa un peligro inminente para las obras civiles ubicadas ya sea sobre el lecho fluvial como en su zona de inundación” (Olivares, 2016).

En vista de ello, la presente investigación se enfoca en Evaluar los impactos generados en el transito fluvial frente al posicionamiento del río Itaya en el anterior curso del río Amazonas en el sector de ingreso al Terminal Portuario de Iquitos en el 2021.

## **CAPITULO II: MATERIALES Y METODOS**

### **2.1 MATERIALES**

Imágenes satelitales del sector del río Itaya confluencia con el Amazonas.

Computadora personal

Bote deslizador con motor de 60 HP

Software ARCGIS versión 11.0

Software Riversurveyour Live, correspondiente al ADCP

Software Global Mapper versión 18, educativo.

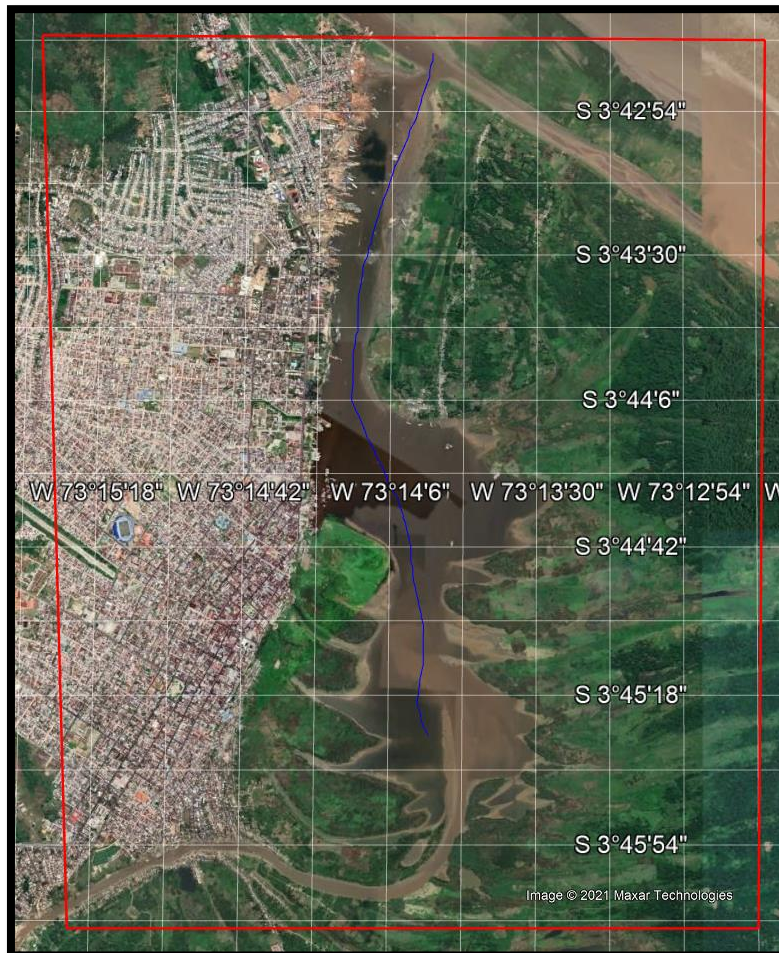
Información Hidrológica del río Amazonas, sector Itaya

Batimetría del río Itaya, sector desembocadura con el Amazonas (2022)

## 2.2 METODOS

### 2.2.1 Ubicación

El presente trabajo de investigación sobre el río Itaya confluencia con el río Amazonas, en el acceso fluvial al Terminal Portuario de Iquitos (TPI), ubicado en el distrito de Punchana, provincia de Maynas en el departamento de Loreto.



*Ilustración 1.- Área de estudio - sector Itaya*

### **2.3. Tipo y Diseño de investigación**

El presente trabajo será de del tipo de investigación es No Experimental y el diseño es Descriptivo.

### **2.4. Población y muestra**

#### **2.4.1. Población**

Está constituida por los ríos amazónicos ubicados en el departamento de Loreto.

#### **2.4.2. Muestra**

Está representada por el tramo del río Itaya cercano a la confluencia con el río Amazonas, en el acceso fluvial al Terminal Portuario de Iquitos (TPI), desde la progresiva 0+000 a la 2+250.

### **2.5. Técnicas, Instrumentos y Procedimientos de Recolección de Datos**

#### **2.5.1. Técnicas de Recolección de Datos**

Para la técnica de recolección de datos emplearan fuentes secundarias con la revisión de documentos, informes, publicaciones, libros sobre el tema a investigar, se complementará con el uso de información primaria básicamente con el uso de fichas de recolección de información del tránsito fluvial.

Asimismo, se obtuvo información de imágenes satelitales del sector de estudio para diferentes años, con lo cual se evaluará el desplazamiento del río.

#### **2.5.2. Instrumentos de Recolección de Datos**

El instrumento que se empleara para la recolección de datos fue la Ficha técnica.

#### **2.5.3. Procedimientos de Recolección de Datos**

Para la recolección de datos será el siguiente:

- a) Elegir el instrumento de medición
- b) Levantamiento de información en campo con ECOSONDA y ADCP.

Para los trabajos del presente informe se ha utilizado el equipo Aforador y Batimétrico denominado ADCP (Acustic Doppler Current Profiler - Perfilador Acústico de Corrientes tipo Doppler).

El equipo va conectado a un PC sobre cualquier tipo de embarcación para cruzar el río e ir realizando las mediciones batimétricas y de velocidad del agua en todos los puntos de la sección, de modo que al final del recorrido el equipo ya dispone de la integración de todos los datos, y, por tanto, del caudal total.

## CAPITULO III: MARCO TEORICO

### 3.1 ANTECEDENTES

(Olivares, 2016) a través de su trabajo de investigación estudia, identifica y analiza los patrones de cambio morfológico y meándrico de 13 ríos ubicados en la Región Hidrográfica del Amazonas en el rango de años comprendido entre 1987 y 2011 mediante la aplicación del modelo multitemporal de comparación de imágenes satelitales y de herramientas informáticas proporcionada por los sistemas de información geográfica (SIG). Con ello, se busca obtener los ratios de migración y la tendencia que siguen estos ríos amazónicos y expresarla en función de fórmulas empíricas. Además, se destaca la importancia de los estudios de fluviomorfología para el desarrollo del país.

La zona de estudio escogida se encuentra ubicada dentro de la Selva Amazónica, en la denominada Región Hidrográfica del Amazonas que involucra, principalmente, al departamento de Loreto (Perú). Aquí es donde se delimitan los 13 ríos que han sido analizados. Estos se caracterizan por carecer de estabilidad y desplazarse continuamente, un fenómeno que representa un peligro inminente para las obras civiles ubicadas ya sea sobre el lecho fluvial como en su zona de inundación. Como consecuencia, los ingenieros deben tener en cuenta el comportamiento de un río e identificar sus características morfodinámicas para poder diseñar este tipo de construcciones.

Con el fin de determinar los patrones de cambio fluviomorfológico y meándrico se procedió a aplicar la metodología del análisis multitemporal, el cual se basa en digitalizar imágenes satelitales adecuadamente recopiladas de acuerdo al rango de años de estudio preestablecido y, utilizando el software SIG, obtener los ratios de migración de los ríos seleccionados. De esta manera, se obtiene un patrón de tendencia de comportamiento que pueda aplicarse a toda la zona de estudio y se la compara con otras investigaciones similares. Además, se describen las propiedades geométricas de los ríos y se analizan las interrelaciones entre los distintos parámetros, tales como ancho de río, longitud de meandro, entre otros.

Con los resultados obtenidos, se comprobó que el comportamiento de los ríos meándricos guarda una tendencia global que se diferencia según las propiedades geométricas y el ecosistema al cual pertenecen. Finalmente, se

destacó la importancia de estos estudios de fluviomorfología para el desarrollo del país.

(Martin Vide, Rodriguez Mañez, Nuñez Gonzales, Ferrer Boix, & Maruny Vilalta, 2012) menciona que la dinámica de las formas fluviales (morfoodinámica) tiene cada vez más presencia en la planificación de los ríos, pero sus objetivos, alcance y métodos no están consolidados. El río Fluvià en Cataluña (NE de la península Ibérica) tiene una notable movilidad y en él se planea la restauración de meandros cortados por canalizaciones. En el artículo explica en qué consistió el estudio morfoodinámico de dicho río, teniendo en cuenta los escasos recursos que se pudieron emplear. Con granulometría y análisis de formas fluviales en el campo, con cartografía y fotografía aérea, y con unas pocas batimetrías, se ha analizado el perfil longitudinal del río, el papel de algunas presas derivadoras en la dinámica fluvial, la disponibilidad de gravas en las barras aluviales del cauce, el movimiento de los meandros y la capacidad de transporte sólido de fondo. También se ha analizado un episodio singular de corte de meandros y cuáles son los riesgos morfoodinámicos de una restauración.

(Quintana Cobo, 2015), menciona que, normalmente los ríos meándricos generan desplazamientos laterales a lo largo de su recorrido formando complejas llanuras de inundación. Si bien los procesos dinámicos de avulsión condicionan los patrones de sedimentación y génesis de las llanuras de inundación, aún se desconocen las causas exactas de la meandrización y de la posterior migración fluvial. Trabajos previos de investigación presentan dos enfoques diferentes para el análisis de la meandrización: uno, más tradicionalista, basado en el estudio de factores externos geoestructurales e hidroclimáticos, y otro que considera factores internos como la auto-organización y la inherencia. Existen también divergencias en lo que a la escala espacial y temporal de la metodología aplicada en estos estudios se refiere. Una primera aproximación a estos antecedentes muestra la identificación de tantas causas, y combinación de estas, como trabajos de investigación se han realizado, lo que da una idea de la complejidad del estudio de la meandrización. Esta situación se

ve acentuada en el caso de los ríos tropicales, por carecer de metodologías específicas de análisis en estas zonas climáticas así como por el escaso nivel de detalle sobre los mecanismos implicados en sus dinámicas fluviales. Además, a la disponibilidad de una gran variedad de metodologías para el estudio de la meandrización se une la problemática que conlleva trabajar en los medios tropicales, donde el método de observación directa en campo desde el terreno en medios de grandes ríos tropicales no es un método eficiente.

Se han seleccionado dos métodos de estudio de la tasa de migración de entre la variedad de métodos existentes al efecto: i) a partir de puntos específicos del meandro, los ápices y los puntos de inflexión, y ii) a partir de áreas desplazadas. Estos métodos han sido aplicados a un área de estudio dentro la Amazonía peruana, la llanura de inundación del río Ucayali, seleccionada por el gran número de mecanismos de avulsión distribuidos a lo largo del recorrido y por la posibilidad de observar sus huellas a lo largo de un periodo de 40 años. Las imágenes LANDSAT permiten constatar la velocidad de estos procesos que, en unas decenas de años, dan lugar al nacimiento y muerte de un meandro. La mayoría de los procesos se producen por reocupación de superficies ya sometidas a avulsión y la anexión de formas movilizadas ya en el pasado. Los eventos que originan estos procesos, y sobre todo la frecuencia de su ocurrencia, no son claros y se solapan, probablemente, tanto en el plano temporal y como en el espacial, lo que dificulta la determinación de los instantes de inicio y finalización de cada uno de los factores implicados a lo largo del periodo estudiado en esta Tesis.

Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que el río Marañón y el río Ucayali tienen dinámicas bien diferenciadas en los últimos 40 años. Durante este periodo el río Marañón y sus tributarios responden a una dinámica más lenta que la del río Ucayali, sin embargo, se observan huellas de un pasado anterior activo aun sin presentar un patrón tan sinuoso como el del río Ucayali. Sus tributarios por la margen izquierda, Pastaza, Morona y Tigre, tampoco son activos en los últimos 40 años. Por su parte, el río Ucayali tiene una dinámica mucho más activa, presentando tasas de migración muy importantes con respecto a otros grandes ríos tropicales (145 m/año de promedio).

Las tasas de migración no son progresivas pero existen a lo largo de todo el periodo, siendo mayores en intervalos de tiempo que no coinciden con las

mayores descargas hídricas, salvo en el periodo 1998-1999. Los tributarios del río Ucayali experimentan igualmente procesos de abandono, tanto los que drenan la Cordillera Subandina como los que proceden del propio Llano Amazónico.

(Pantevis Giron & Torres Barboza, 2020), realizaron el estudio denominado **“Geomorfología y Dinámica Fluvial del Río Amazonas a la altura de Leticia, aplicado a zonas de inundación”**, donde se definió las zonas más susceptibles a inundaciones en el casco urbano de Leticia, a partir del estudio de la dinámica fluvial del río Amazonas y la determinación de las características geomorfológicas del área.

El análisis fotointerpretativo de la dinámica fluvial multitemporal, evidencia un canal meándrico, con una extensión apreciable como llanura de inundación, donde se generan curvas pronunciadas, conocidas como meandros. Para que se lleve a cabo lo anterior, el caudal debe presentar niveles altos.

Una vez hechos los estudios correspondientes, se procedió a digitalizar y georreferenciar toda la información cartografiable y posteriormente comparar datos de los últimos 50 años, en donde se obtuvieron productos finales que incluyen la geomorfología, la dinámica fluvial y la definición de los barrios más afectados por inundación en el municipio de Leticia. Los resultados obtenidos del presente documento sobre zonas susceptibles a inundación, pueden llegar a ser un material de apoyo importante en la actualización del PBOT del municipio, actualización que está en curso.

(Morales Aquitari & Soplín Ríos, 2014), en su tesis El transporte fluvial y la navegabilidad de los ríos Huallaga, Marañón, Ucayali y Amazonas, 2014; tuvo como objetivos específicos, evaluar el transporte fluvial en los ríos Huallaga, Marañón, Ucayali y Amazonas, en el año 2014; así como evaluar las condiciones de su navegabilidad. Se efectuó un estudio mixto, de tipo descriptivo-correlacional, y entrevistas estructuradas para la obtención de información. La población de estudio estuvo conformada por los ríos de la cuenca amazónica y otros ríos navegables. La muestra la constituyó los ríos Huallaga, Marañón, Ucayali y Amazonas –en el tramo que corresponde al territorio peruano-.

Concluyen que, las condiciones de navegabilidad de los ríos Huallaga, Marañón, Ucayali y Amazonas, no influyen en el transporte fluvial de esos ríos; toda vez que su no existe relación de significancia. Los puertos sometidos a análisis fueron de Pucallpa, Iquitos y Yurimaguas. En consecuencia, estos ríos que fueron sometidos al estudio, son perfectamente navegables los 365 días del año; teniendo en consideración el parque automotor de embarcaciones y la capacidad del transporte fluvial que cubren las rutas de los ríos indicados.

## **3.2 BASES TEORICAS**

### **Los Ríos**

Un río es una corriente natural de agua que fluye con continuidad, posee un caudal, rara vez constante a lo largo del año; y, desemboca en el mar, en un lago o en otro río. Cuando el río es corto y estrecho, recibe el nombre de caño, riachuelo o arroyo. Los ríos y sus afluentes por la fuerza del agua y los sedimentos que arrastran, tallan rutas de navegación a lo largo de la tierra, denominados cauces o lechos, abasteciendo agua dulce a los humedales, a los lagos y al mar. Llevan nutrientes a través de sus flujos a los ecosistemas acuáticos, uno inundable y el otro no inundable o de tierra firme, con sus características biofísicas peculiares, y en ambos casos manteniendo miles de especies vivas, elementos que a la vez son vitales para las civilizaciones humanas y además son fuentes de energía potencial (Dourojeanni, Barandiarán, & Dourojeanni, 2010)

### **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 (BIODAMAZ, IIAP, 2007).

### **3.3 DEFINICION DE TERMINOS BASICOS**

#### **MEANDRO**

“El origen del término meandro se deriva del nombre Menderes, un río en Turquía, cuyo valle fue cuna de muchas culturas. Un meandro está constituido por la unión de dos arcos obteniendo la forma de la letra S” (Wbeimar Ramírez, 2012).

#### **THALWEG**

“También denominado Vaguada o “camino del valle” (por su significado proveniente del alemán). En términos simples, es la línea imaginaria que une las máximas profundidades de la sección transversal de un río” (Rocha, 2009)

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 RESULTADOS

Se ha realizado el análisis fotointerpretativo de la dinámica fluvial multitemporal, para ello, se trabajó con todas las imágenes satelitales desde el año 1985 a través del software libre Google Earth, en especial del LANDSAT, que cubre la ciudad de Iquitos, sin embargo, se tuvo que trabajar con dos cuadrantes de trabajo, uno a nivel micro y otro a nivel macro.

El nivel micro abarca como punto central la zona de confluencia del río Itaya sobre el río Amazonas en el año 1985 hasta la actualidad.

El nivel macro abarca la zona desde Munich hasta la desembocadura actual del Itaya donde recién se puede apreciar un canal meándrico, con una extensión apreciable como llanura de inundación.

Los puntos de referencia en ambas imágenes serán la ubicación actual de Terminal Portuario de Iquitos (TPI) y la Base Naval de la Marina de Guerra del Perú – DICAPI.

*Ilustración 2.- Vista de las progresivas del río Itaya hasta la confluencia con el Amazonas*



## Desplazamiento del río Itaya

Los primeros informes que se tienen de la configuración del río Amazonas en el área de Iquitos, datan del año 1,761. Según relato del padre Jesuita Manuel Uriarte, en su libro "**DIARIO DE UN MISIONERO DE MAYNAS**" señala que para arribar al caserío de Iquitos se navegaba por el Marañón (Amazonas) hasta la boca del río Nanay, luego se surcaba este río hasta encontrar al Itaya (el cual no desembocaba en el Amazonas como ahora), a cuya margen izquierda se ubicaba el caserío de San Pablo de Nuevo Napianos (Iquitos). Esta información fue confirmada en 1,808 por Fray Hipólito de Rangel, Obispo de Maynas (Paredes, 2004) .

Con la imagen del LANDSAT del año 1985 como referencia (ver imagen 2), el Terminal Portuario de Iquitos (TPI) se encontraba en la margen izquierda del río Amazonas, cercano a ellos se encontraban la Base Naval. Tal como lo menciona abad (Abad, 2021), el Amazonas es un río del tipo Anabranching (con varios ramales) en todo su recorrido, confirmado lo que nos muestra la imagen 2, donde se aprecia tres ramales y daban la formación dos Islas reconocidas por las cartas geográficas, la primera frente a Iquitos a la altura de la plaza de armas como extremo sur y la segunda isla ubicado más al Este.

En la cuenca peruana del río Amazonas existen dos tipos principales de sistemas fluviales: los meandros (como el Huallaga y el Ucayali) y multicanal o *anabranching* (como el Marañón y el Amazonas). La planimetría (por ejemplo, tasas de migración, formación de islas y canales, patrones de erosión y deposición, sedimentación de llanuras aluviales) y altimetría (por ejemplo, tipo de lecho, transporte de sedimentos de carga de cama, rugosidad macro y efectos sobre la elevación de la superficie del agua) que describen el comportamiento morfodinámico de estos ríos es diferente para cada uno. Hasta ahora, no existe un estudio de base que caracterice, tanto espacial como temporalmente, la hidrodinámica, el transporte de sedimentos (carga de fondo y carga suspendida) y la morfología del fondo de cada tipo de río (Abad, 2021).

A lo largo de los años se ha venido desplazamiento el meandro principal de la sinuosidad del río Amazonas (del sector Iquitos), acción conocida como migración, el cual es un proceso normal en la dinámica amazónica.

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 (Tuukki, Jokinen, & Kalliola, 1996)

La migración del Amazonas ha permitido que la desembocadura del río Itaya sobre el Amazonas se desplace 6204 m, obtenida a través de la multitemporalidad en dos imágenes LANDSAT del años 2005 y 1985, ver ilustración 3, haciendo una velocidad de migración de 310.2 m/año. Al ocurrir este proceso, prácticamente da pase a que el agua del Itaya cubra el cauce anterior del Amazonas, por lo tanto, la infraestructura del Terminal Portuario de Iquitos (TPI), DICAPI, Puertos privados, etc queden posesionados en la margen izquierda del río Itaya, ver ilustración 6.

Ilustración 3.- Imagen Satelital LANDSAT del sector de Estudio (diciembre 1985)



Ilustración 4.- Imagen Satelital LANDSAT del sector de Estudio (febrero 2005)



Ilustración 5.- Imagen Satelital LANDSAT del sector de estudio (julio 2002 +85)

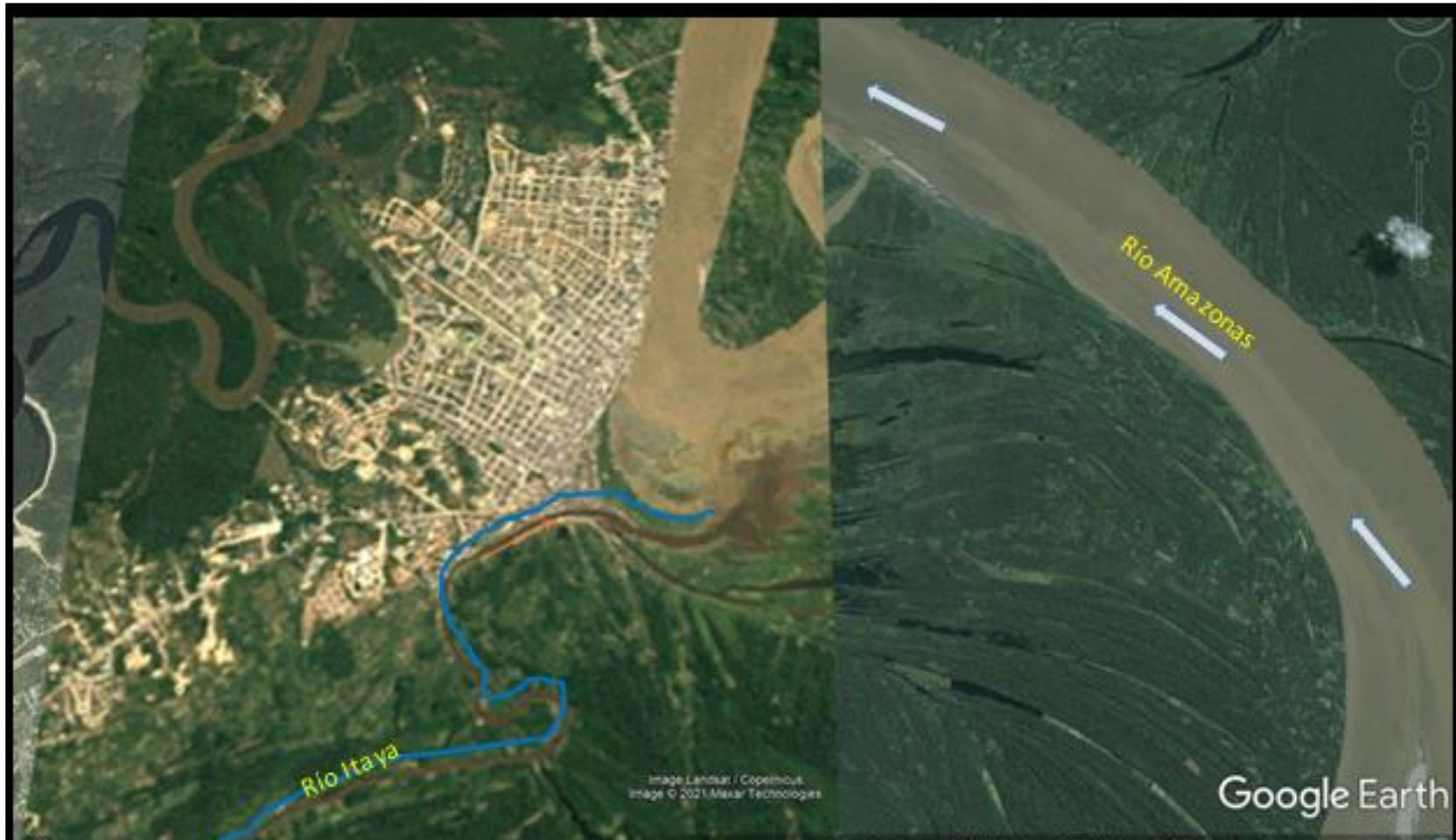


Ilustración 6.- Imagen Satelital LANDSAT del sector de estudio (setiembre 2011)

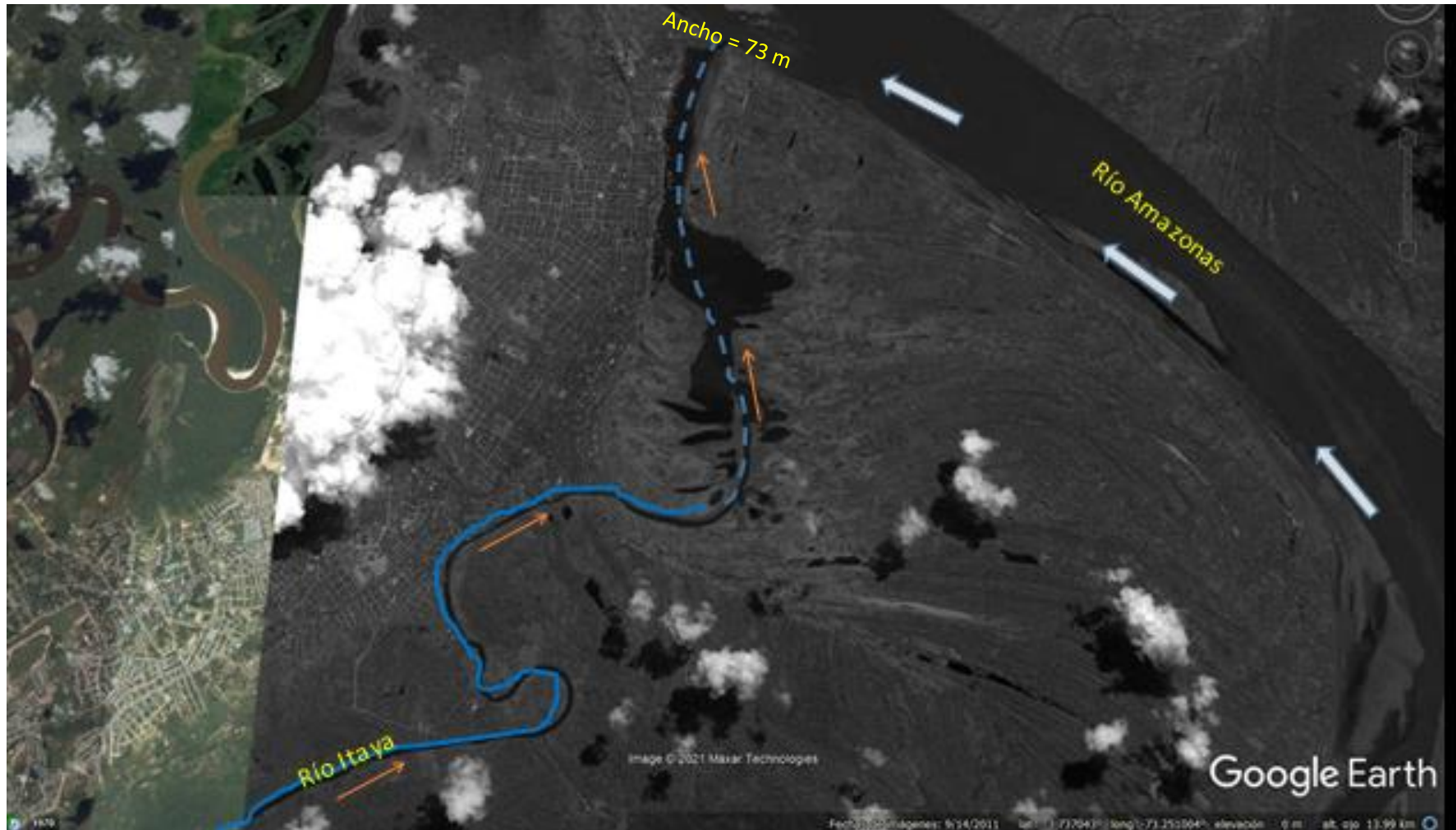


Ilustración 7.- Imagen satelital LANDSAT del sector de estudio (marzo 2013)



Ilustración 8.- Imagen satelital LANSAT el sector de estudio (setiembre 2013)



Ilustración 9.- Imagen Satelital LANDSAT del sector de estudio (setiembre 2017)



Asimismo, se ha evaluado el desplazamiento del río Amazonas en el sector de Iquitos, con la misma metodología del análisis multitemporal, para ello, se evaluado 07 imágenes LANDSAT que cubre el sector de Iquitos, el cuadro 1 presenta las migraciones contabilizadas entre imágenes, tomando como punto de partida la primera imagen del año 1985 (no se pudo conseguir imágenes anteriores). Parte de la migración se presenta en la imagen 09, donde nos indica el valor del thalweg del río Amazonas en diferentes periodos del año, se puede visualizar que el mayor desplazamiento se ha registrado entre el año 1985 al 2022 con 5288 m. Dejando el curso anterior que se cubierto por el río Itaya.



El cuadro 1, representa los resultados de los desplazamientos de los últimos años, en el registro existen valores negativos (que el cauce principal trata de regresar), sin embargo, la tendencia es a seguir desplazándose al Este. Los últimos años han sido muy oscilantes en su posición final, es decir, no ha cambiado significativamente, lo que pareciera que estaría llegando al límite de su desplazamiento.

CUADRO 1.- Distancias del Thalweg del río Amazonas desplazadas a lo largo de los últimos años.

Año	UBICACIÓN		Distancia Desplazada (m)
	Este	Norte	
1985	695913.90	9584787.03	
2002	699687.60	9588491.30	5288
2004	699734.69	9588575.08	96
2005	699697.04	9588519.24	-67
2011	699894.45	9588695.91	265
2012	699898.55	9588679.80	17
2013	700052.27	9588839.95	222
2015	700110.86	9588890.90	78
2016	700125.49	9588912.75	-26
2017	700110.83	9588905.49	16
2018	700301.26	9589109.46	279
2021	700191.41	9588978.30	-171

Cuadro 2.- Desplazamiento de la desembocadura del río Itaya

Punto de control	Este	Norte	Desplazamiento
Desembocadura Itaya (1985)	696336	9583539	6031 m
Desembocadura Itaya (2013)	696348	9589410	

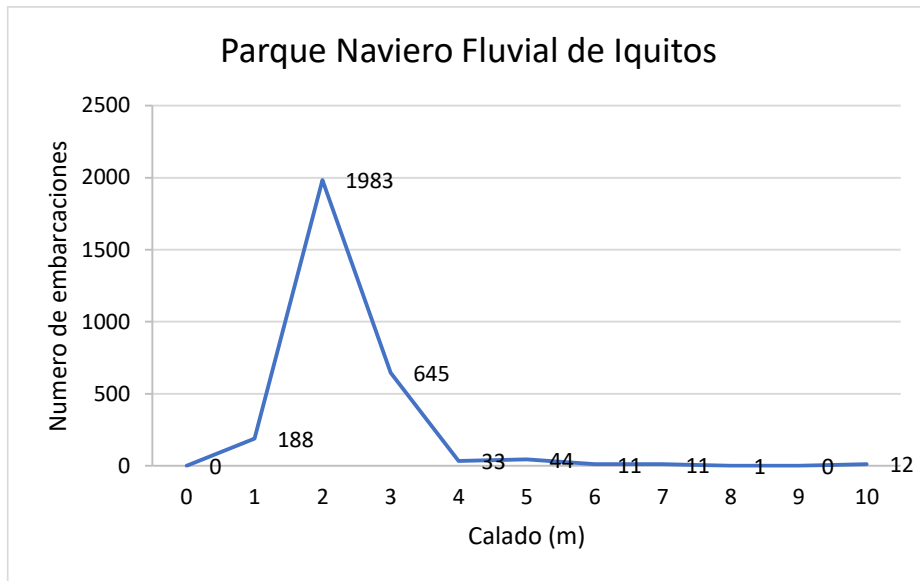
## IMPACTOS SOBRE EL FLUJO DE TRANSPORTE NAVIERO

Para analizar el flujo de embarcaciones que llegan al TPI, se ha hecho uso de la estadística promedio de las características de las embarcaciones o naves que atracan en el TPI por año proporcionado por ENAPU, la principal característica evaluada es el calado de las naves o embarcaciones y el cabotaje de las naves del año 2019, considerado como normal ante de la ocurrencia de la pandemia COVID 19. El cuadro 3.

*Ilustración 10.- Desplazamiento de la desembocadura del Itaya sobre al amazonas entre 1985 y 2013*

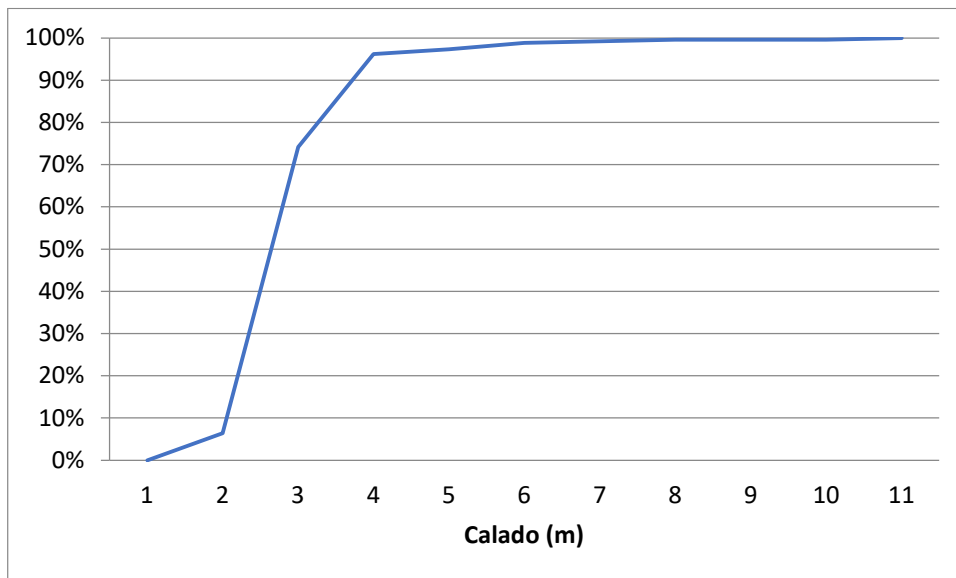


Ilustración 11.- Flujo del parque naviero TPI 2019



El grafico 10, nos muestra que 1983 embarcaciones que llegan al TPI tienen entre 1 a 2 m de calado, representando el 68% del total. Ver gráfico 10.

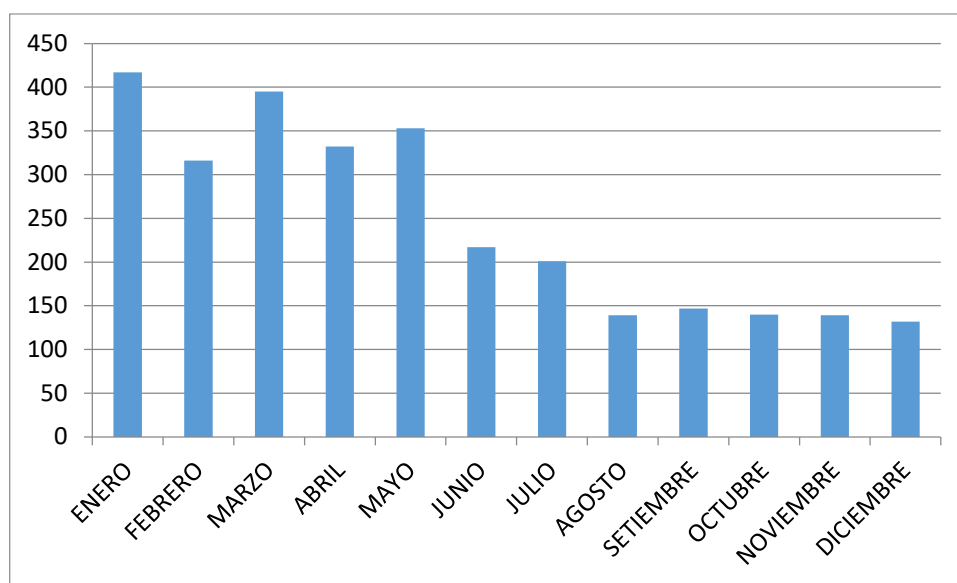
Ilustración 12.- % acumulado de Embarcaciones que fluyen al TPI Vs Calado



En segundo lugar, tenemos a 645 embarcaciones que tienen un calado entre 2 a 3 metros equivalente a un 22% y 188 embarcaciones tienen un calado menor a 1 m equivalente al 6%, totalizando el 96% de embarcaciones con calado menor a 3 m que transitan por el río Amazonas e ingresan al río Itaya con dirección al TPI. Ver gráfico 11.

Asimismo, se analiza que la mayor cantidad de naves que arriban al TPI transitan en los meses de enero a mayo coincidente con la época de avenidas, comúnmente llamada en la Selva como “Creciente”, en este periodo los niveles de los ríos se encuentra altos, los tirantes de agua favorecen a la circulación de las naves de gran tonelaje, en el grafico 12 se aprecia un promedio de 350 embarcaciones que ingresaron o salieron del TPI en el periodo enero a mayo.

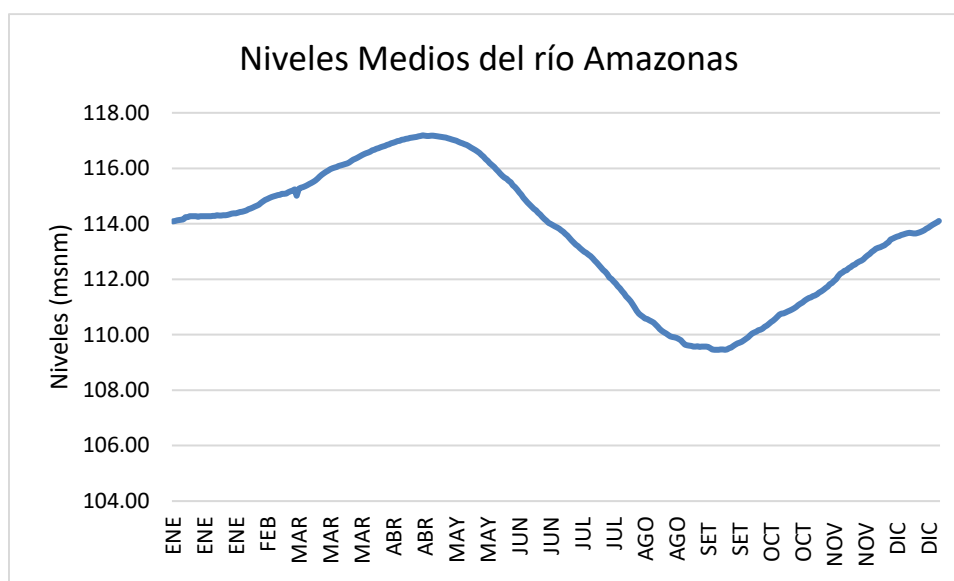
*Ilustración 13.- Número de Embarcaciones que ingresan y salen del TPI (2019)*



*Fuente: Enapu*

Para el periodo junio a julio el flujo de embarcaciones tiene una tendencia a disminuir con un promedio de 200, debido a que se encuentran en pleno proceso de transición de avenida a estiaje (de creciente a vaciante). Sin embargo, para el periodo de agosto a diciembre la cantidad de embarcaciones disminuye a las 139 unidades, debido al ingreso de la época de estiaje (niveles mínimos del río), destacamos que la oscilación vertical de los niveles medios del río Amazonas es de 12 m entre las épocas extremas de avenida a estiaje (creciente a vaciante) lo que se aprecia a través de la ilustración 14, (SENAMHI, 2020).

Ilustración 14.- Niveles Medios Diarios del río Amazonas



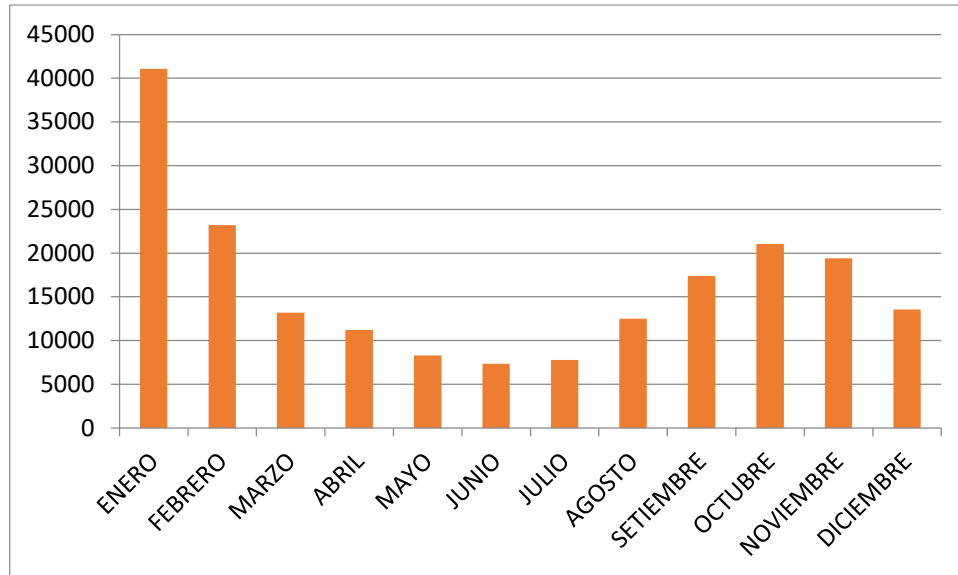
Cuadro 3.- Movimiento comercial del Terminal Portuario de Iquitos, 2019

MES	IMPORTACIONES (Tm)	EXPORTACIONES (Tm)	CABOTAJE		TOTAL	Cantidad de Naves
			DESCARGA	EMBARQUE		
ENERO	0	0	36675.11	4394.92	41070.03	417
FEBRERO	5992.55	47.14	14889.19	2279.87	23208.75	316
MARZO	0	32	10783.15	2372.39	13187.54	397
ABRIL	23.09	0	8186.88	2986.89	11196.86	332
MAYO	291.19	30.81	5912.02	2048.65	8282.67	353
JUNIO	0	0	4735.29	2597.15	7332.44	217
JULIO	0	0	5750.43	2033.17	7783.6	201
AGOSTO	1500	0	8427.95	2547.47	12475.42	139
SETIEMBRE	898.17	0	13940.56	2557.47	17396.2	147
OCTUBRE	1756.96	0	16138.8	3136.48	21032.24	140
NOVIEMBRE	1304.61	61.73	15830.51	2203.17	19400.02	139
DICIEMBRE	288.81	0	11061.17	2187.11	13537.09	112
TOTAL	12055.38	171.68	152331.06	31344.74	195902.86	2910
	12227.06		183675.8			

En cuanto a las cargas que ingresan a la ciudad de Iquitos a través del TPI, coincidimos que la cantidad de carga transportada esta en relación directa con el nivel del río, es decir, mientras embarcaciones de mayor tonelaje circulan en los meses de enero a abril, lo cual, coincide con la época de avenida o niveles altos de los ríos del Sur de la ciudad de Iquitos, el total de carga que se manifiesta a través del TPI en los meses mencionados totalizando 88663 Toneladas, sin embargo, el TPI solo representa uno de los pocos puertos formales de nuestro departamento y se estima que fluye el 20% de las embarcaciones que ingresan

o salen de Iquitos (Vargas Grandez & Flores Valdivia, 2019), es decir que el 80% de embarcaciones y carga que llega la ciudad de Iquitos es informal, equivalente al 783 611 Toneladas.

*Ilustración 15.- Cantidad de carga y descarga que fluye a través del TPI, 2019*



La ilustración 15, representa la cantidad de carga que ingresa o sale del TPI, siendo enero el de mayor valor, relacionado a las fiestas navideñas, carnavales y época escolar como las principales.

Como vemos, el flujo de naves o embarcaciones que fluyen al TPI es directamente proporcional a las características del río, en especial, el nivel del río, el análisis multitemporal de imágenes satelitales del sector de estudio indica un tramo crítico de 2087 m que va desde el TPI hasta la confluencia con el Amazonas, ver cuadro 1 e ilustración 16, tramo aluvial que pertenece a la llanura de inundación del cauce anterior del río Amazonas (antes de la migración) por lo que el ancho comienza a aumentar desde la progresiva 0+000 a la 2+000, ver ilustración 17, sin embargo, comienza a ocurrir un proceso hidráulico adverso en la zona de confluencia la acumulación de sedimentos en la zona de contacto entre ambos ríos, proceso conocido como “formación de barra”, que es la acumulación de partículas en suspensión y que va reduciendo el ancho del río, el cual en época de creciente no tiene problema alguno, pero si en la época de vaciante donde puede llegar a tener hasta 50 m de ancho con profundidades

menores a 1.0 m (3 pies) como máximo, ver gráfico 4 y 9 donde el ancho del río Itaya llego a varias desde un 1053 m en máxima avenida hasta 73 m en la época de estiaje.

Ilustración 16.- distancia crítica del río Itaya desde el TPI



Cuadro 4.- Distancia del río Amazonas con respecto al TPI

Punto de control (TPI)	Este	Norte	Distancia al Amazonas
TPI Inicial	695785	9587458	2087 m
Desembocadura Itaya (2013)	696348	9589410	

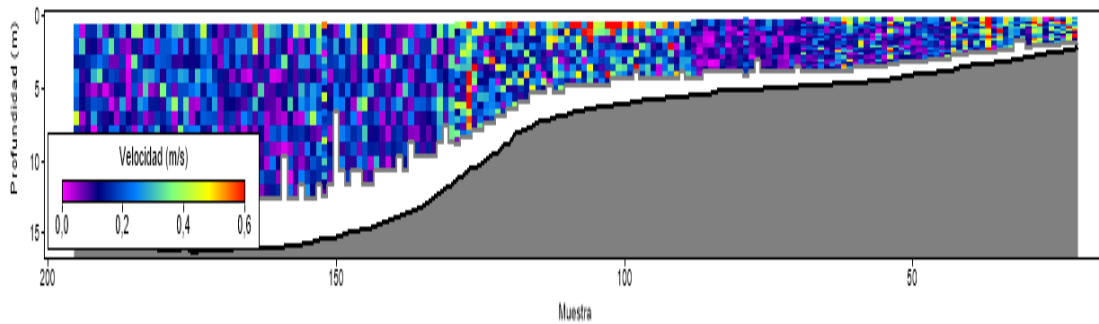
Ilustración 17.- Características Hidráulicas del río Itaya sector crítico



## RESULTADOS DE PERFIL VERTICAL EN LA DESEMBOCADURA DEL ITAYA

Para evaluar las profundidades del río y si estas perjudica o dificulta el tránsito fluvial en el tramo de ingreso al TPI, se utilizó el ADCP (Acoustic Doppler Current Profile) modelo M9, se realizó el día 11 de noviembre del 2021, periodo en el cual se visualiza en la ilustración 18, el nivel del río estaba en 111.41 msnm (luego de haber sido dragado), la sección es cercana a la desembocadura. Las velocidades determinadas en este día y sector tienen como máximo 0.6 m/s, es decir muy bajo, las profundidades máximas para ese día eran de 12.00 m y en su época crítica de estiaje o vaciante falta descender 6.03 m con lo que llegaría a 105.38 m, si es que el proceso de sedimentación estuviera estático, sin embargo, este proceso es dinámico más aún, en sectores donde confluyen dos o más ríos, como en este caso. El proceso mencionado da lugar a la formación de la “barra” en la zona de confluencia entre Itaya y Amazonas.

Ilustración 18.- Flujo de velocidades del río Itaya – progresiva 1+935 (11/11/2021)



Para la determinación de las características actuales del sector crítico del ingreso al TPI, se realizó una batimetría complementaria en 20 secciones, de las cuales solo 5 entran en el presente estudio, las secciones S1 al S5 se encuentran dentro del acceso al terminal portuario, ver ilustración 19. En ella podemos visualizar que la profundidad máxima al momento de la batimetría era de 6.50 m (107.31 msnm) frente al TPI y se va reduciendo a medida que nos acercamos a la desembocadura donde la profundidad máxima es de 2.40 m (111.41 msnm) ubicada en la progresiva 1+935, lo que es una limitante para embarcaciones de mayor calado, el cuadro xxx nos muestra la profundidad máxima por sección transversal, si se compara con el valor mínimo de la serie histórica de los niveles obtenidos de la estación H-Enapu Perú en los últimos 40 años, que llegó a la cota 105.38 msnm en el año 2010, prácticamente este sector se quedaría como una isla y pertenecería a la formación suelo aluvial terrestre. Lo que conlleva a dragados más frecuentes en este sector, impactando en la economía del consumidor final.

(Paredes, 2004) Realizó una propuesta de las dimensiones y forma del canal que debería tener las embarcaciones que ingresan al TPI, el cual deberá dar acceso a naves de alto bordo en épocas de media creciente o media vaciante, o sea que deberá existir una cota del nivel de río mayor o igual a 111 m.s.n.m. para dar acceso a naves con las siguientes dimensiones máximas:

Calados Máximo 29.5 pies (9 m.)

Manga 30 m.

Eslora 150 m.

La cota del lecho = cota del espejo – calado máximo – factor de seguridad

Cota del lecho =  $111 - 9 - 2 = 100$  (m.s.n.m.)

El lecho del canal deberá tener un ancho que sea el doble de la manga más una luz de 10 metros, considerando que existirá tránsito de dos embarcaciones a la vez. Así:

Base del canal =  $30 \times 2 + 10 = 70$  m.

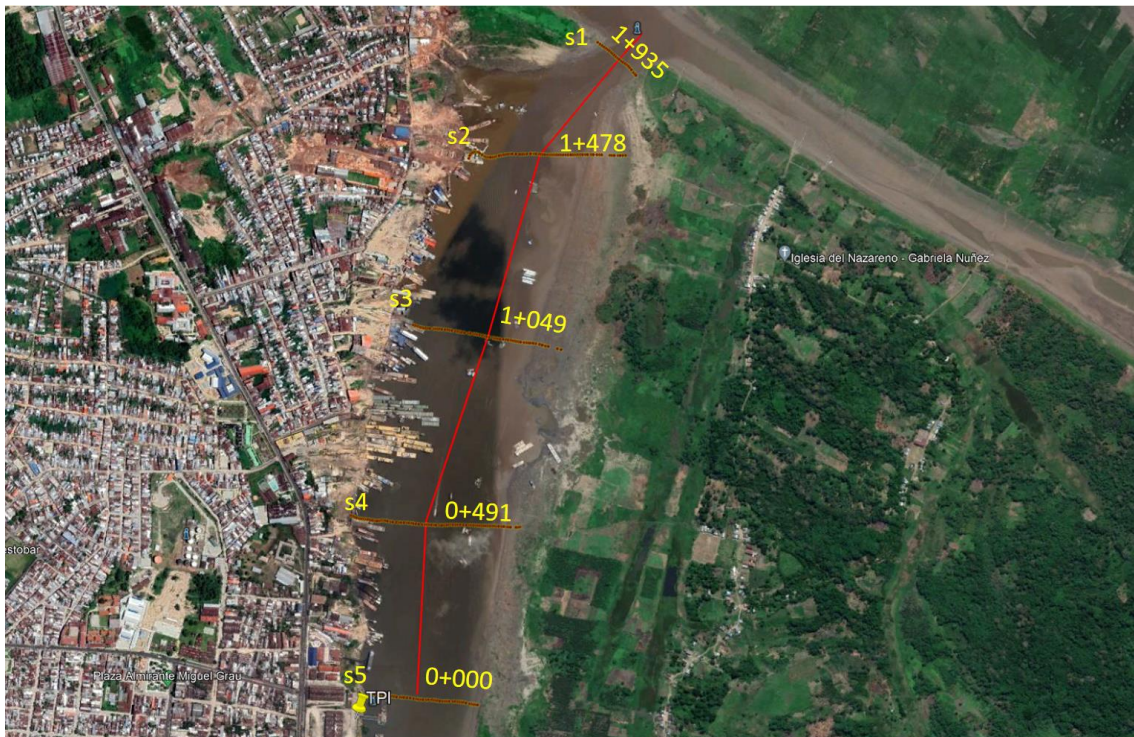
En el área de maniobras (A.M.), se ha considerado que la nave debe girar  $180^\circ$  frente al muelle para poder salir por el mismo canal. Para ello se ha hecho uso de la eslora más un factor de seguridad.

Base del A.M. =  $150 + 50 = 200$  m.

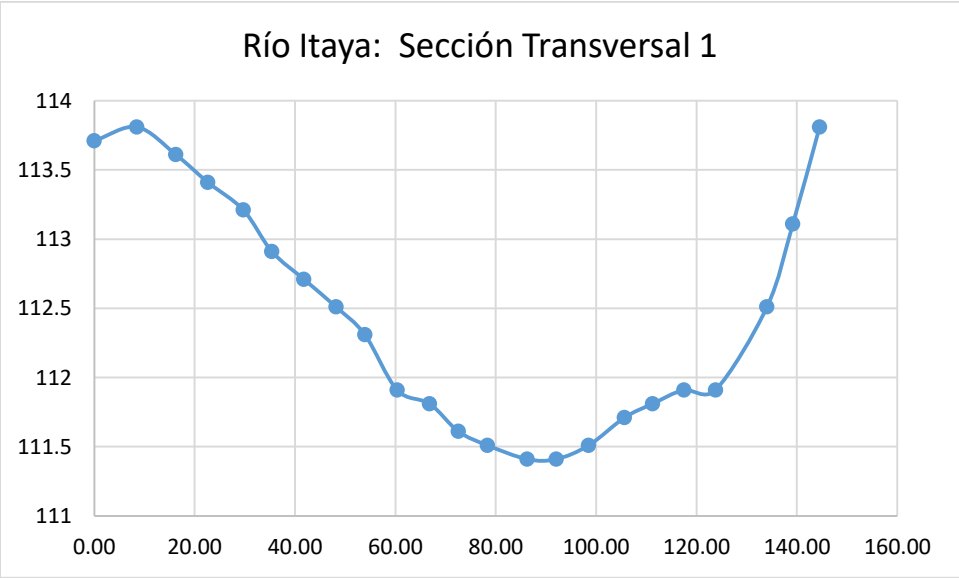
Para el largo del área de maniobras se ha considerado la longitud total del área portuaria.

Largo del A.M. = 400 m.

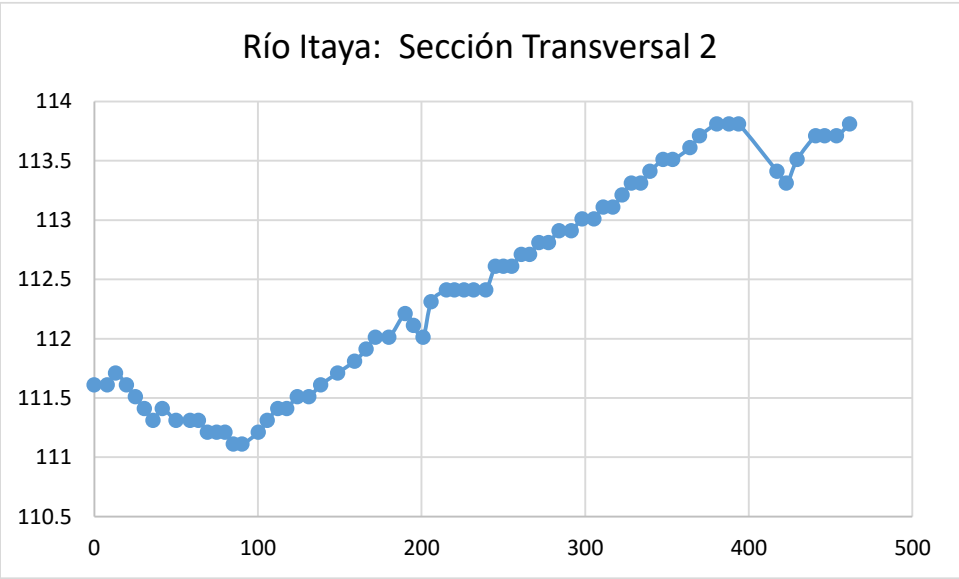
*Ilustración 19.- Ubicación de las secciones transversales obtenidas con el ADCP-Batimetría (1/3/22)*



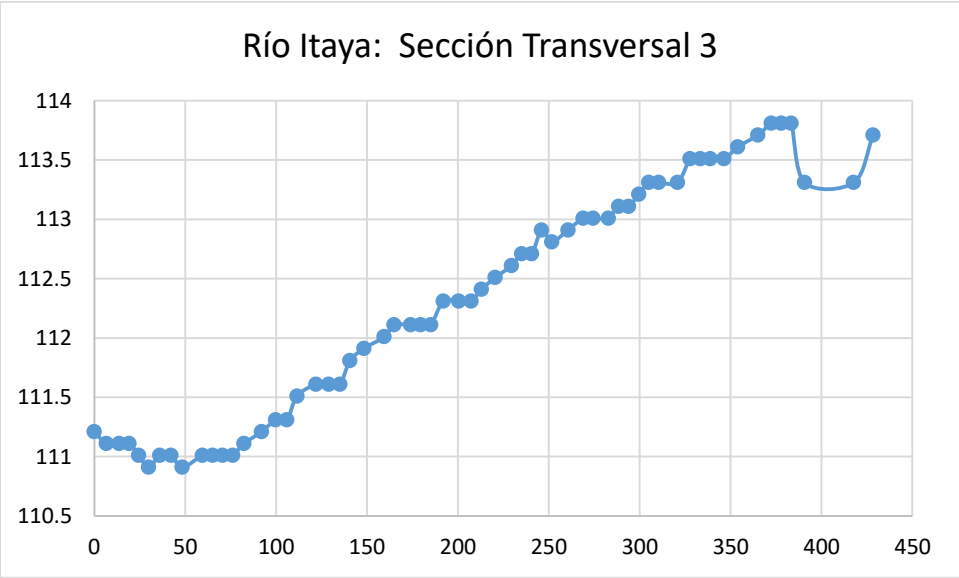
*Ilustración 20.- Sección transversal del Itaya en la progresiva 1+935 (1/3/22)*



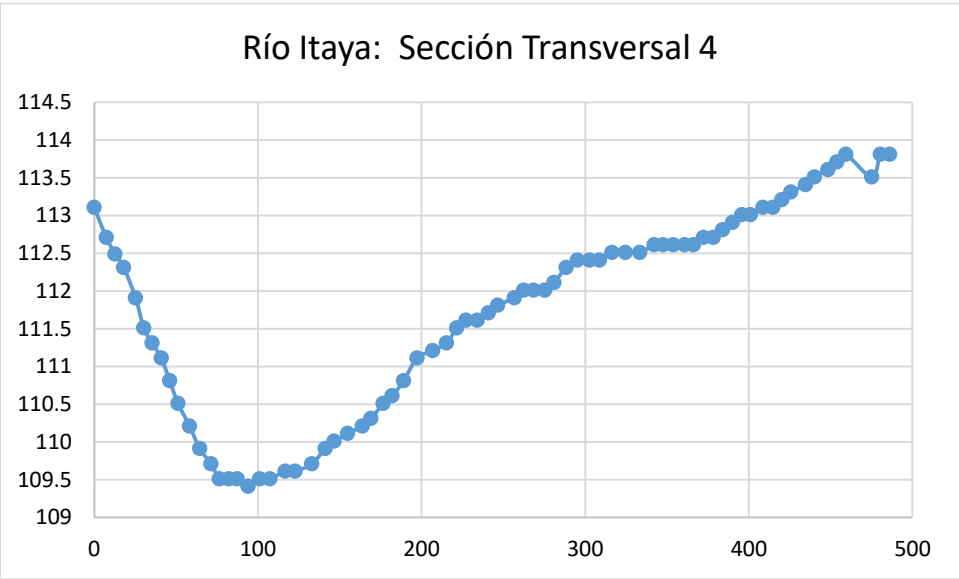
*Ilustración 21.- Sección transversal del Itaya en la progresiva 1+578 (1/3/22)*



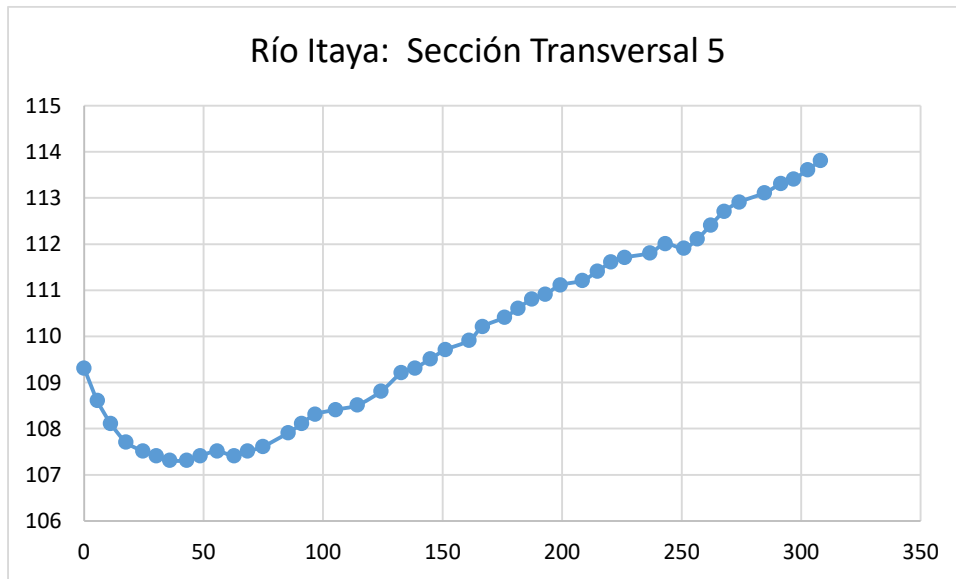
*Ilustración 22.- Sección transversal del Itaya en la progresiva 1+049 (1/3/22)*



*Ilustración 23.- Sección transversal del Itaya en la progresiva 0+491 (1/3/22)*

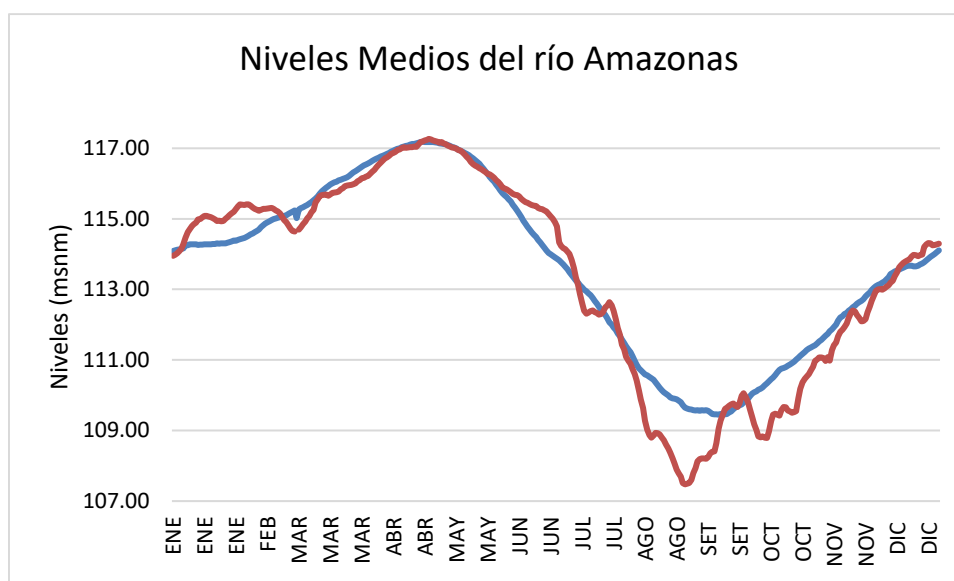


*Ilustración 24.- Sección transversal del Itaya en la progresiva 0+000 (1/3/22)*



Como se aprecia en las ilustraciones del 20 al 24, ninguna de las secciones llega a cumplir el canal requerido para grandes embarcaciones, si evaluamos el ancho del río, sucede un proceso similar de 305 m frente al TPI hasta 144 m en la zona de confluencia con el río Amazonas.

Ilustración 25.- Nivel Medio del río Amazonas Vs Nivel 2021



Cuadro 5.- características de las secciones transversales obtenidas por batimetría

SECCION	Prof. Maxima (m)	Cota (msnm)	Ancho (m)	Progresiva
Sección 1	2.40	111.41	144.53	1+935
Sección 2	2.70	111.11	461.74	1+478
Sección 3	6.03	110.91	428.41	1+049
Sección 4	4.40	109.41	486.22	0+491
Sección 5	6.50	107.31	308.04	0+000

### 3.2. Discusión

En la cuenca peruana del río Amazonas existen dos tipos principales de sistemas fluviales: los meandros (como el Huallaga y el Ucayali) y multicanal o *anabranching* (como el Marañón y el Amazonas) (Abad, 2021).

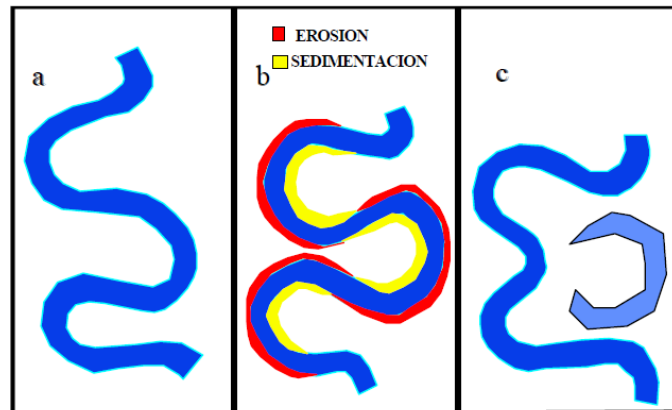
Un río se puede definir como meándrico cuando su sinuosidad es mayor que 1,5, entendiendo la sinuosidad (S) como la relación existente entre la longitud del cauce principal ( $L_r$ ) y la del valle que drena ( $L_v$ ); entonces:  $S = \frac{L_r}{L_v} > 1,5$  (Leopold & Wolman, 1960). Parece existir cierta relación fundamental entre el ancho de un cauce y la longitud del meandro y entre el ancho del cauce y el radio de curvatura (Richards, 1982; Nanson & Hickin, 1983).

La técnica utilizada en la presente investigación para calcular la migración del Amazonas y el desplazamiento del río Itaya sobre el anterior cauce del Amazonas ha sido en análisis multitemporal de las imágenes LANSAT con lo que nos permite evaluar la velocidad de desplazamiento a lo largo de un periodo de años, este mismo procedimiento ha sido utilizado por muchos autores, tenemos a Quintana que se “seleccionó dos métodos de estudio de la tasa de migración de entre la variedad de métodos existentes al efecto: i) a partir de puntos específicos del meandro, los ápices y los puntos de inflexión, y ii) a partir de áreas desplazadas” (Quintana Cobo, 2015).

Las imágenes presentadas en el año 1985 del LANDSAT muestran que, el Terminal Portuario de Iquitos estaba en la margen izquierda del río Amazonas, lo cual permitía el arribo de embarcaciones de gran calado que provenían de los grandes puertos europeos y se encuentra en un gran meandro. El TPI es un puerto mayor que sirve a la Ciudad de Iquitos y está administrado por Empresa Nacional de Puertos denominado ENAPU. Tiene como espacio natural de entrada al Puerto de Iquitos que está beneficiada con una actividad económica durante todo el año. La primera visualización al LANDSAT del año 1985 indica que el TPI se encontraba en la margen izquierda dentro del gran meandro del Amazonas.

Una característica típica de los ríos Amazónicos es la presencia de cauces con gran cantidad de meandros y en algunos casos combinados con cauces trenzados, como es el caso del río Amazonas el cual presenta gran cantidad de curvas e islas durante su recorrido. Los meandros constituyen la configuración sinuosa de un río con curvas en forma de “S”, aguas abajo y aguas arriba de los puntos de máxima inflexión de los meandros, formándose por lo general trechos relativamente rectos llamados “estirones”. En los meandros, en aquellas partes de las riberas en donde la velocidad del flujo de agua es mayor, se produce la erosión del talud, mientras que en las riberas donde la velocidad del flujo es menor, se depositan los sedimentos en suspensión. Estos dos fenómenos traen como consecuencia la permanente evolución del cauce de estos ríos, produciendo el fenómeno de la migración de los meandros y/o la creación de lagunas (tipishcas) (Paredes, 2004).

Ilustración 26.- Proceso de Formación de un Meándro



Fuente: (Paredes, 2004)

El proceso de meandrización comienza cuando aparecen en el lecho depósitos de sedimento regularmente espaciados que obstruyen y desvían el flujo. El flujo desviado tiende a erosionar la orilla hacia la cual se dirige y a depositar los sedimentos en la orilla opuesta. Eventualmente, el canal adoptará una forma primero sinuosa y luego curvas meándricas con mayor curvatura (Figura 3.1). Este tipo de experiencias expone el desarrollo del patrón sinuoso a través de los procesos de erosión y deposición en los canales, pero no explica las razones por las cuales el río serpentea, a partir de las leyes físicas que rigen esos procesos (Leopold, 1994). Los meandros son una forma ubicua, los encontramos en todas las partes del mundo, incluso en formas no fluviales. Cualquier fluido es capaz de generar meandros.

No está claro el origen de la meandrización. Existen varias teorías que tratan de explicar tales mecanismos; la teoría del equilibrio, la de la mínima varianza, la de dinámica de fluidos, etc. En base a esta hipótesis, Langbein & Leopold (1964), y también Smith (1974) de forma independiente, desarrollaron valores teóricos para las combinaciones de mínima varianza (máxima probabilidad) entre los exponentes hidráulicos de ancho, profundidad y velocidad (Quintana Cobo, 2015).

Ilustración 27.- Secuencia desde la meandricación (a y b) hasta la migración del cauce por medio de procesos de corte (c)

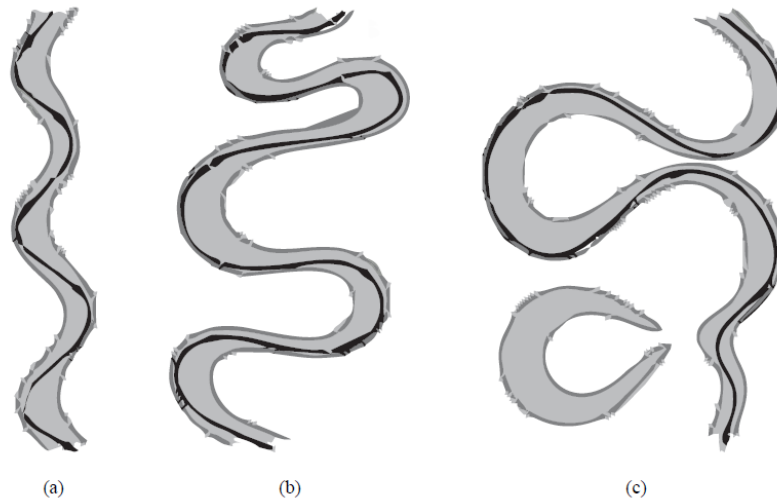
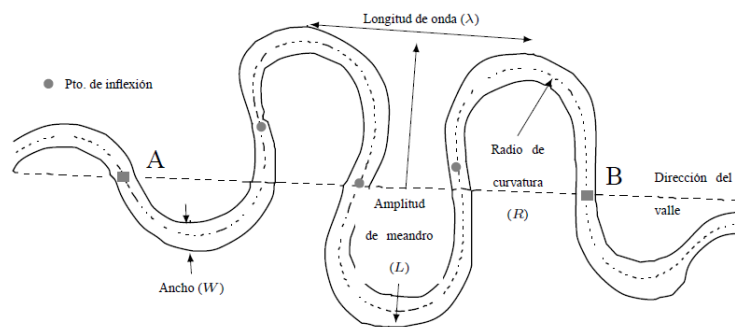


Ilustración 28.- Parámetros morfométricos de un canal meándrico



Esto último demuestra que los canales no son sinuosos porque el sedimento se deposita en los cauces; el meandro es un fenómeno puramente hidrodinámico (Leopold, 1994).

La planta del meandro puede ser cuantitativamente definida por la sinuosidad, la longitud de onda, la amplitud del meandro y el ancho de canal. La curvatura de canal muestra el grado de cambio en la dirección del canal a lo largo del eje de la corriente, donde los puntos de inflexión marcan la localización donde la

curvatura del canal cambia. La curvatura del canal es un buen indicador de complejidad. La morfología intrincada de cada curva genera meandros multilobulados que es la característica de los meandros complejos. La planta en la evolución de los ríos meándricos es el resultado de ajustes entre las formas y los procesos (Brice, 1974). La interacción entre el flujo del río, el transporte de sedimentos y morfología de canal determinan el patrón espacio de la evolución de los ríos meándricos (Parker & Andrew, 1986).

Algunos procesos geomórficos determinan la evolución en planta de los ríos meándricos. Los procesos de migración y corte (*cut-off*) son fundamentales en los cambios a largo plazo de la llanura de inundación (Allen, 1965) (Hickin & Nanson, 1975) (Hooke & Yorke, 2010)

Durante la evolución morfodinámica de los meandros libres se produce un elongamiento, amplitud y sinuosidad. Al contrario, los *cut-off* (suele ser la fase final de ese elongamiento) provocan una reducción en la amplitud y sinuosidad por acortamiento de la longitud del canal y así incrementa la pendiente.

## **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. CONCLUSIONES**

En el análisis multitemporal de las imágenes LANDSAT se obtiene como resultado la migración del río Amazonas de 5997 m, tomando como referencia el año 1985.

El análisis de la tasa de migración del río Amazonas muestra que está llegando a su tope por las oscilaciones del desplazamiento en los últimos años.

El TPI en la década del 85 al 95 se encontraba en la margen izquierda del río Amazonas, en la actualidad ante la migración del Amazonas ese cauce ha sido cubierto por el río Itaya, es decir, que el TPI se encuentra en la margen izquierda del río Itaya.

El caudal del Itaya representa el 0.5% del caudal medio del Amazonas, lo que manifiesta en la proporcionalidad de los tirantes de agua, que dificulta el tránsito fluvial de naves de carga.

El mayor porcentaje del calado de las embarcaciones que llegan o salen del TPI son menores a 3 metros, que representan el 96% del total, por lo que en ciertas temporadas del año el río Itaya no logra satisfacer tal requerimiento, dificultando el tránsito fluvial, en especial, el tramo comprendido desde el TPI hasta la desembocadura con el Amazonas.

Existe un tramo crítico de aproximadamente 2 Km que se inicia desde el TPI hasta la desembocadura del río Itaya con el río Amazonas, que no satisface el requerimiento mínimo de las grandes embarcaciones (6 m de calado mínimo), por lo que se tiene que realizar la actividad de dragado en forma permanente en la época de estiaje o niveles mínimos.

El impacto directo de la migración del Amazonas y el posicionamiento del Itaya sobre su anterior cauce es el tirante bajo del río, que ocasiona que no puedan circular naves de gran tonelaje, en especial,

La mayor cantidad de naves que arriban al TPI transitan en los meses de enero a mayo coincidente con la época de avenidas, comúnmente llamada en la Selva como “Creciente”, en este periodo los niveles de los ríos se encuentran altos, los tirantes de agua favorecen a la circulación de las naves de gran tonelaje.

El periodo de agosto a diciembre la cantidad de embarcaciones disminuye, debido al ingreso de la época de estiaje (niveles mínimos del río).

En cuanto a las cargas que ingresan a la ciudad de Iquitos a través del TPI, coincidimos que la cantidad de carga transportada esta en relación directa con el nivel del río, es decir, mientras embarcaciones de mayor tonelaje circulan en los meses de enero a abril, lo cual, coincide con la época de avenida o niveles altos.

El flujo de carga que se manifiesta a través del TPI en un año promedio es 88 663 Toneladas, sin embargo, el TPI solo representa uno de los pocos puertos formales de nuestro departamento y se estima que fluye el 20% de las embarcaciones que ingresan o salen de Iquitos (Vargas Grandez & Flores Valdivia, 2019), es decir que el 80% de embarcaciones y carga que llega la ciudad de Iquitos es informal, equivalente al 783 611 Toneladas que evade o minimiza los impuestos al erario fiscal.

Para que el flujo de carga y descarga del TPI se incremente y el aprovisionamiento de materiales, equipos, viveres, etc, sea constante a lo largo del año, se debe realizar el dragado, lo que crea sobrecostos de los productos y tiene que ser cargado al usuario final, lo cual es un impacto directo sobre la economía familiar y por ende regional, repercutiendo en el PBI de nuestra región

## **5.2. RECOMENDACIONES**

Seguir con el monitoreo de los niveles críticos del río, en especial, el seguimiento a la migración del río Amazonas en el sector de Iquitos.

Realizar las simulaciones hidráulicas del posible desplazamiento del río Itaya, con la finalidad de tomar acciones futuras que disminuyan el impacto económico en la región Loreto. Esto servirá para proponer un nuevo puerto fluvial con menos costo de operatividad y que albergue el arribo de grandes embarcaciones a lo largo del año (calados mayores a 6 m)

## Bibliografía

- Abad, J. *Cuán poco conocemos sobre la dinámica de los ríos amazónicos [UTEC]*. Repositorio Institucional, Lima.
- Allen, J. (1965). A Review of the origin and characteristic of recent alluvial sediments. *Sedimentology*, 5(2), 89-191.
- BIODAMAZ, IIAP. (2007). *Sistematización de Resultados sobre Manejo sostenible de ecosistemas inundables en el Área Piloto Dos de Mayo-San Miguel (Río Amazonas)*. Documento Técnico, Repositorio Institucional, IIAP, Loreto, Iquitos.
- Brice, J. (1974). Evolution of meander loops. *Geological Society of America Bulletin*, 85(4), 581-586.
- Dourojeanni, M., Barandiarán, A., & Dourojeanni, D. (2010). Amazonia Peruana en 2021. *ProNaturaleza/DAR/SPDA/ICAA*, 182.
- Hickin, E., & Nanson, G. (1975). The character of channel migration on the beatton rive, northeast british columbia, Canada. *Geological Society of America Bulletin*, 86(4), 487-494.
- Hooke, J., & Yorke, L. (2010). Rates, distributions and mechanisms of change in meandre morphology over decadal timescales, river dane, uk. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35(13), 1601-1614.
- I. (2014). Eventos hidrológicos extremos en la cuenca amazónica peruana: presente y futuro. En J. C. Espinoza, W. Lavado Casimiro, J. L. Guyot, W. Santini, & I. Éditions (Ed.), *EL PERU FRENTE AL CAMBIO CLIMATICO: RESULTADOS DE INVESTIGACIONES FRANCO - PERUANAS* (págs. 47-57). Marseille, Francia: González Molina, S., & Vacher, J. (Eds.).
- Martin Vide, J. P., Rodriguez Mañez, E., Nuñez Gonzales, F., Ferrer Boix, C., & Maruny Vilalta, D. (2012). Estudio de la dinámica morfológica del río Fluvià. Alcances y métodos frente a la escasez de datos. *Tecnologías y Ciencias del Agua*, III(3), 115-133.
- Morales Aquitari, C., & Soplin Ríos, J. *El transporte fluvial y la navegabilidad de los ríos Huallaga, Marañón, Ucayali y Amazonas, 2014 [Tesis, Universidad Científica del Perú]*. Repositorio Institucional UCP, Iquitos, Loreto, Perú.
- Olivares, E. E. PATRONES DE CAMBIO MORFOLÓGICO Y MEÁNDRICO DE 13 RÍOS PERTENECIENTES A LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL AMAZONAS [Tesis, Pontificia Universidad Católica del Perú]. *PATRONES DE CAMBIO MORFOLÓGICO Y MEÁNDRICO DE 13 RÍOS PERTENECIENTES A LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL AMAZONAS*. Repositorio Institucional, PUCP., Lima, Lima, Perú.
- Pantevis Giron, M., & Torres Barboza, V. *GEOMORFOLOGÍA Y DINÁMICA FLUVIAL DEL RIO AMAZONAS A LA ALTURA DE LETICIA, APLICADO A ZONAS DE INUNDACIÓN EN LA*

ZONA DE LETICIA, [Tesis, Universidad de Santo Tomas]. Universidad de Santo Tomas, Bogota, Colombia.

Paredes, J. R. *Proyecto de dragado para la rehabilitación del terminal fluvial de la ciudad de Iquitos* [Tesis, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio Institucional UNMSM, Lima, Lima, Perú.

Parker, G., & Andrew, E. (1986). On the time development of meander bends. *Journal of fluid Mechanics*, 162, 139-156.

Quintana Cobo, I. Dinámica de meandros del Alto [Tesis Doctoral, Universidad de Cantabria]. *Dinámica de meandros del Alto* [Tesis Doctoral, Universidad de Cantabria]. Repositorio Institucional IRD, Cantabria, España.

Rocha Felices, A. (2011). LA MORFOLOGÍA FLUVIAL Y SU INCIDENCIA EN LA ESTABILIDAD DE LAS OBRAS VIALES. VIII CONGRESO INTERNACIONAL OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL (pág. 1). Lima: UNI.

SENAMHI. (2020). Boletín Hidroclimatológico de Loreto. 4.

Tuukki, E., Jokinen, P., & Kalliola, R. (1996). MIGRACIONES EN EL RIO AMAZONAS EN LAS ULTIMAS DECADAS, SECTOR CONFLUENCIA RIOS UCAYALI Y MARAÑÓN - ISLA DE IQUITOS. *FOLIA AMAZONICA*, 8(1).

Vargas Grandez, K., & Flores Valdivia, L. *COMPETITIVIDAD DEL TRANSPORTE FLUVIAL EN EL PUERTO DE IQUITOS, AÑO 2019* [Tesis, Universidad Científica del Perú]. Repositorio Institucional, UCP, Iquitos, Loreto, Perú.

Wbeimar Ramírez, E. *Modelo matemático para Meandros*, [Tesis, Universidad del Valle]. Repositorio Institucional Universidad del Valle, Bogota.

## ALBUM FOTOGRAFICO



Foto 1.- zona critica, evaluando la zona de la barra, ingreso al río Itaya



Foto 2.- Utilización de equipos y tecnología de punta para evaluar la migración del amazonas

