



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y**  
**APLICADAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**

**DETERMINACIÓN DE FRECUENCIAS DE EVENTOS HIDROLÓGICOS EN  
LA CUENCA DEL RÍO CUTUCHI CON LA TRANSFORMADA DE FOURIER**

PROPUESTA DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE  
INGENIERO HIDRÁULICO

**AUTOR(ES):**

Elvis David Iza Sánchez

**TUTOR:**

Mg. Andy Miguel Giler Ormaza

**LATACUNGA, Marzo, 2026**

Latacunga, 09 marzo del 2026

### **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

Yo Elvis David Iza Sánchez declaro ser autor del proyecto de titulación “Determinación de frecuencias de eventos hidrológicos en la cuenca del río Cutuchi con la transformada de Fourier.”, siendo el Ing. Andy Miguel Giler Ormaza M.Sc. tutor del presente trabajo de titulación; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo de titulación, son de mi exclusiva responsabilidad.



---

Elvis David Iza Sánchez

CC.\_0550228589

## CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **ELVIS DAVID IZA SÁNCHEZ**, identificado con cédula de ciudadanía No.0550228589 de estado civil casado, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA.** – **EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Hidráulica, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**EVALUACIÓN DE ÍNDICES ESPECTRALES COMO PREDICTORES DE HUMEDAD DEL SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO CUTUCHI**”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

### **Historial Académico**

Inicio de la carrera: Octubre 2020 – Marzo 2021

Finalización de la carrera: Octubre 2025 – Marzo 2026

Aprobación en Consejo Directivo: 11 de Marzo del 2026

Tutor: Ing. Rudys Rafael Cusme Intriago, MSc

Tema: “**EVALUACIÓN DE ÍNDICES ESPECTRALES COMO PREDICTORES DE HUMEDAD DEL SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO CUTUCHI**”

**CLÁUSULA SEGUNDA.** - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

**CLÁUSULA TERCERA.** - Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

**CLÁUSULA CUARTA.** - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

f) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.

g) La publicación del trabajo de grado.

h) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.

h) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.

i) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.

j) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

**CLÁUSULA QUINTA.** - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que LA CESIONARIA no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

**CLÁUSULA SEXTA.** - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

**CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.** - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

**CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

**CLÁUSULA NOVENA.** - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

**CLÁUSULA DÉCIMA.** - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.** - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 11 días del mes de marzo del 2026.

Elvis David Iza Sánchez

**EL CEDENTE**

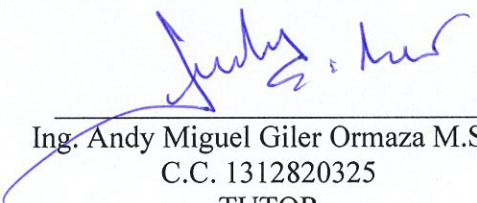
Ing. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.

**LA CESIONARIA**

Latacunga, 09 marzo del 2026

### **AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: “Determinación de frecuencias de eventos hidrológicos en la cuenca del Río Cutuchi con la transformada de Fourier”, propuesto por el estudiante Elvis David Iza Sánchez de la Carrera de Ingeniería Hidráulica, considero que dicho proyecto de titulación cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos al tribunal de lectores.



---

Ing. Andy Miguel Giler Ormaza M.Sc.  
C.C. 1312820325  
TUTOR

Latacunga, 11 de marzo de 2026

### **AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN**


En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y, por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, el postulante: Iza Sánchez Elvis David con el título del Proyecto de Investigación: **“DETERMINACIÓN DE FRECUENCIAS DE EVENTOS HIDROLÓGICOS EN LA CUENCA DEL RÍO CUTUCHI CON LA TRANSFORMADA DE FOURIER”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.


Para constancia firman:

  
Ing. Rudys Rafael Cusme  
Intriago MSc.  
C.C.: 1313770891

**LECTOR 1 (PRESIDENTE)**

  
Ing. Xiomara Alejandra Zambrano  
Navarrete MSc.  
C.C.: 1313058453

**LECTOR 2 (MIEMBRO)**

  
Ing. Marco Antonio Riofrio Guevara MSc.  
C.C.: 1600682916

**LECTOR 3 (MIEMBRO)**

## **AGRADECIMIENTO**

*El desarrollo de esta investigación no habría sido posible sin el apoyo incondicional de quienes estuvieron presentes a lo largo de este camino.*

*A mi tutor, Ing. Andy Giler, por su guía experta, su dedicación y la confianza depositada en este trabajo. Sus observaciones y orientación académica fueron fundamentales para el logro de los objetivos planteados.*

*A mis Padres, por ser el pilar que sostiene cada uno de mis esfuerzos. Su apoyo constante, su paciencia y su aliento en los momentos más exigentes de este proceso fueron la motivación más genuina para seguir adelante.*

*A mi novia, por su amor, su paciencia y su apoyo incondicional durante este proceso. Su presencia y palabras de aliento en los momentos más difíciles fueron un refugio y una fuente inagotable de motivación.*

*A mis amigos, por su compañía, por las palabras de aliento en los momentos de duda y por hacer más llevadero este proceso. Su presencia fue un apoyo invaluable durante esta etapa.*

*¡A todos ellos, mi más sincero agradecimiento!*

## **DEDICATORIA**

*Con profunda gratitud y amor, dedico este trabajo a mis padres, Segundo Iza y María Sánchez, quienes han sido el pilar fundamental de mi vida y el apoyo incondicional en cada paso de mi camino. Gracias por sus sacrificios, por su esfuerzo constante y por inculcar en mí valores que me han permitido perseverar y no rendirme ante las dificultades. Este logro es también suyo, porque sin su guía, su paciencia y su confianza en mí, alcanzar esta meta no habría sido posible.*

*A mis hermanos, por su compañía, sus consejos y por brindarme siempre palabras de aliento que me motivaron a seguir adelante en los momentos más desafiantes. Su apoyo ha sido una fuente de fortaleza a lo largo de este proceso.*

*Finalmente, a toda mi familia, quienes con su cariño, apoyo y confianza han estado presentes en cada etapa de este camino. A todos ustedes les dedico este logro, como una muestra de agradecimiento por creer siempre en mí y acompañarme en la construcción de mis sueños.*

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

**TÍTULO: “DETERMINACIÓN DE FRECUENCIAS DE EVENTOS  
HIDROLÓGICOS EN LA CUENCA DEL RÍO CUTUCHI”**

**Autor:** Iza Sánchez Elvis David

**RESUMEN**

La presente investigación tiene como objetivo principal determinar las frecuencias de eventos hidrológicos en la cuenca del Río Cutuchi, mediante la aplicación de la transformada de Fourier y el análisis de Ondeletas. Se fundamenta en el análisis de series históricas de caudales de las estaciones Río Cutuchi, Río Pita, Río San Pedro y Río Yanahurco, con un periodo de estudio desde 1991 hasta el 2013, donde la metodología consistió en relleno de los datos faltantes en las estaciones para posterior hacer la transformada y el análisis, identificando las periodicidades dominantes y lograr una localización de tipo-frecuencia que permitiera identificar núcleos de alta energía en las escalas multianuales. Presentándose una correlación directa con eventos climáticos globales como el fenómeno del niño en el tiempo de 1997-1998 con una coincidencia de la misma magnitud en el periodo de tiempo 2008-2010, concluyendo que ambas herramientas matemáticas proporcionan una comprensión holística de la dinámica fluvial, en la diferencia entre ciclos constantes y eventos episódicos de alta varianza, constituyéndose como un aporte significativo para la ingeniería hidráulica y la gestión de riesgos al ofrecer una base científica para futuras infraestructuras capaces de adaptarse a la variabilidad climática.

Palabras claves: Transformada de Fourier, caudales, variabilidad climática, ondeletas

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**  
**THEME: DETERMINATION OF FREQUENCIES OF HYDROLOGICAL EVENTS**  
**IN THE CUTUCHI RIVER BASIN'**

**Author:** Iza Sánchez Elvis David

**ABSTRACT**

The main objective of this research is to determine the frequencies of hydrological events in the Cutuchi River basin by applying Fourier transform and wavelet analysis. It is based on the analysis of historical flow series from the Cutuchi River, Pita River, San Pedro River, and Yanahurco River stations, with a study period from 1991 to 2013. The methodology consisted of filling in the missing data at the stations for subsequent transformation and analysis, identifying the dominant periodicities and achieving a frequency-type location that would allow the identification of high-energy nuclei on multi-year scales. A direct correlation was found with global climatic events such as the El Niño phenomenon in 1997-1998, with a coincidence of the same magnitude in the period 2008-2010, concluding that both mathematical tools provide a holistic understanding of river dynamics, in the difference between constant cycles and episodic events of high variance, constituting a significant contribution to hydraulic engineering and risk management by offering a scientific basis for future infrastructures capable of adapting to climate variability.

**KEYWORDS:** Fourier transform, Flows, Climate variability, Wavelets

Latacunga, 11 de marzo del 2026

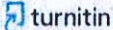
## CERTIFICACIÓN DE INFORME DE SIMILITUD

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el tema: "Determinación de frecuencias de eventos hidrológicos en la cuenca del río Cutuchi con la transformada de Fourier.", de Elvis David Iza Sánchez, de la carrera de Hidráulica, remito la captura de pantalla del reporte del sistema de reconocimiento de texto Turnitin, con un porcentaje de coincidencias del 4 %; y, expreso una vez más, mi conformidad en cuanto a la dirección del trabajo de titulación.

### Tesis Elvis Iza Tesis Elvis Iza

#### TESIS ELVIS IZA

- Quick Submit
- Quick Submit
- Universidad Técnica De Cotopaxi

 turnitin Página 2 de 43 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega: trnoid::13505106758




### 4% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

#### Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 12 palabras)

#### Fuentes principales

- 4%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 1%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

*Andy Miguel Giler Ormaza*  
1312820325

  
Ing. Andy Miguel Giler Ormaza M.Sc.  
C.C. 1312820325  
TUTOR

## \*% detectado como IA

La detección de IA incluye la posibilidad de que haya falsos positivos. Aunque cierto texto en esta entrega se generó probablemente con IA, los puntajes inferiores al umbral del 20 % no aparecen porque tienen una mayor probabilidad de falsos positivos.

**Precaución: Se necesita revisión.**

Es esencial comprender los límites de la detección de IA antes de tomar decisiones acerca del trabajo del estudiante. Te alentamos a obtener más información acerca de las funciones de detección de IA de Turnitin antes de usar la herramienta.

### Aviso legal

Nuestra evaluación de escritura con IA está diseñada para ayudar a los académicos a identificar texto que podrían haberse preparado mediante una herramienta de IA generativa. Es posible que nuestra evaluación de escritura con IA no siempre sea precisa (existe la posibilidad de que identifique erróneamente redacciones probablemente generadas por humanos como generadas por IA, y redacciones probablemente generadas por IA como generadas por humanos), por lo que no debe usarse como único fundamento para aplicar sanciones a un estudiante. Para determinar si es un caso de deshonestidad académica, se necesita de un escrutinio mayor y el juicio humano, junto con la aplicación de las políticas académicas específicas de la organización.

## Preguntas frecuentes

### ¿Cómo debería interpretar los falsos positivos y el porcentaje de escritura con IA de Turnitin?

El porcentaje que se muestra en el reporte de escritura con IA es la cantidad del texto calificado en la entrega que el modelo de detección de escritura con IA de Turnitin determina se generó probablemente con IA desde un modelo de lenguaje de gran tamaño.

Los falsos positivos (que marcan incorrectamente alertas de texto escrito por humanos como generado con IA) son una posibilidad en los modelos de IA.

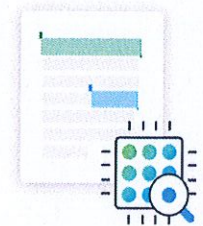
Los puntajes de detección de IA inferiores al 20 %, que no aparecen en reportes nuevos, tienen una mayor probabilidad de ser falsos positivos. Para reducir la probabilidad de malinterpretación, no se atribuye ningún puntaje o resaltado y se indican con un asterisco en el reporte (\*%).

El porcentaje de escritura con IA no debe ser el único fundamento para determinar si ha ocurrido una mala conducta. El revisor/instructor debería usar el porcentaje como un medio para iniciar una conversación formativa con sus estudiantes o usarlo para examinar el ejercicio entregado según las políticas de la escuela.

### ¿Qué significa 'texto calificado'?

Nuestro modelo sólo procesa texto calificado en la forma de escritura de formato largo. La escritura de formato largo se refiere a los enunciados individuales en párrafos que constituyen una parte más grande del trabajo escrito, como un ensayo, una disertación, un artículo, etc. El texto calificado que se ha determinado que se generó probablemente con IA se resaltarán en color cian en la entrega.

El texto no calificado, como viñetas, bibliografías comentadas, etc., no se procesará y puede crear disparidad entre los puntos destacados de la entrega y el porcentaje mostrado.



## ÍNDICE

<b>1. INFORMACIÓN GENERAL</b> .....	1
<b>2. INTRODUCCIÓN</b> .....	2
<b>2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA</b> .....	4
<b>2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	4
<b>2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN</b> .....	5
2.3.1 Objeto de Investigación .....	5
2.3.2 Campo de Acción .....	5
<b>2.4 BENEFICIARIOS</b> .....	5
2.4.1 Directo .....	5
2.4.2 Indirecto.....	5
<b>2.5 JUSTIFICACIÓN</b> .....	5
<b>2.6 OBJETIVOS</b> .....	6
2.6.1 General.....	6
2.6.2 Específicos.....	6
<b>2.7 SISTEMAS DE TAREAS</b> .....	6
<b>3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	7
<b>3.1 ANTECEDENTES</b> .....	7
<b>3.2 PRECIPITACIÓN</b> .....	8
<b>3.3 HUMEDAD</b> .....	8

<b>3.4 VIENTO</b> .....	8
<b>3.5 EVAPOTRANSPIRACIÓN</b> .....	8
<b>3.6 ESTACIONES HIDROLÓGICAS</b> .....	9
<b>3.7 NIVEL</b> .....	10
<b>3.8 CAUDAL</b> .....	10
<b>3.9 CUENCA HIDROGRÁFICA</b> .....	10
<b>3.10 FRECUENCIA</b> .....	12
<b>3.11 PERIODO</b> .....	13
<b>3.12 ONDAS SINUSOIDALES</b> .....	13
<b>3.13 SERIES DE FOURIER</b> .....	14
<b>3.14 WINDOWED FOURIER TRANSFORMS (WFT)</b> .....	14
<b>3.15 DATOS FALTANTES</b> .....	14
<b>3.16 RELLENO DE INFORMACIÓN</b> .....	15
<b>3.17 SOFTWARES</b> .....	15
<b>3.18 HIPÓTESIS</b> .....	17
<b>4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS</b> .....	17
<b>4.1 ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	17
<b>4.2 VARIABLES</b> .....	18
4.2.1 Esquema metodológico de la investigación .....	18
<b>4.3 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN</b> .....	19
<b>4.4 RELLENO DE DATOS</b> .....	21

<b>4.5 MÉTODO DE CURVA DE DESCARGA .....</b>	<b>21</b>
<b>4.6 MÉTODO NORM.PREDICT .....</b>	<b>22</b>
<b>4.7 TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER .....</b>	<b>23</b>
<b>4.8 ONDELETAS .....</b>	<b>24</b>
<b>5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>26</b>
<b>5.1 RECOPIACIÓN DE LOS DATOS HISTÓRICOS HIDROLÓGICOS.....</b>	<b>26</b>
<b>5.2 TRANSFORMADA DE FOURIER.....</b>	<b>28</b>
<b>5.3 ONDELETAS .....</b>	<b>32</b>
<b>5.4 COMPARACIÓN ENTRE LA TRANSFORMADA DE FOURIER Y ONDELETAS .....</b>	<b>38</b>
<b>5.5 DISCUSIÓN .....</b>	<b>39</b>
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>40</b>
<b>6.1 CONCLUSIONES .....</b>	<b>40</b>
<b>6.2 RECOMENDACIONES .....</b>	<b>41</b>
<b>7. REFERENCIAS .....</b>	<b>41</b>
<b>8. ANEXOS .....</b>	<b>1</b>

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1 Diseño de una estación hidrométrica .....	9
Figura 2 Cuencas hidrográficas [31] .....	11
Figura 3 División de una cuenca hidrográfica [31] .....	11

Figura 4 Delimitación de la cuenca .....	17
Figura 5 Esquema metodológico de la investigación .....	18
Figura 6 Esquema metodológico de la dinámica temporal.....	20
Figura 7 Esquema metodológico de relleno de datos MICE.....	22
Figura 8 Esquema metodológico de la transformada de Fourier.....	24
Figura 9 Ondeletas de Morlet [48] .....	25
Figura 10 Esquema metodológico de las ondeletas.....	25
Figura 11 Diagrama de dispersión de caudales en el Rio Cutuchi .....	26
Figura 12 Diagrama de dispersión de caudales en el Rio Pita.....	27
Figura 13 Diagrama de dispersión de caudales en el Rio San Pedro .....	27
Figura 14 Diagrama de dispersión de caudales en el Rio Yanahurco .....	28
Figura 15 Transformada de Fourier en el Río Cutuchi.....	29
Figura 16 Transformada de Fourier en el Río Pita .....	30
Figura 17 Transformada de Fourier en el Río San Pedro .....	31
Figura 18 Transformada de Fourier en el Río Yanahurco.....	32
Figura 19 Ondeletas en el Río Cutuchi.....	33
Figura 20 Ondeletas en el Río Pita .....	34
Figura 21 Ondeletas en el Río San Pedro .....	36
Figura 22 Ondeletas en el Río Yanahurco.....	37

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Áreas Conocimientos Unesco.....	2
Tabla 2 Sistema de Tareas del Plan de Titulación.....	6
Tabla 3 Parámetros de la cuenca .....	18
Tabla 4. Estaciones hidrológicas .....	19
Tabla 5. Datos registrados de la estación .....	20
Tabla 6 Análisis de la estación H789 Cutuchi.....	29
Tabla 7 Análisis de la estación H158 Pita .....	30
Tabla 8 Análisis de la estación H159 Río San Pedro – Machachi .....	31
Tabla 9 Análisis de la estación H722 Yanahurco.....	32
Tabla 10 Análisis de comparación H789 Cutuchi.....	34
Tabla 11 Análisis de comparación H158 Pita .....	35
Tabla 12 Análisis de comparación H159 San Pedro .....	36
Tabla 13 Análisis de comparación H722 Yanahurco .....	38

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Frecuencia.....	12
Ecuación 2 Tiempo de retorno.....	13
Ecuación 3 Sinusoidales .....	13
Ecuación 4. Transformada de Fourier .....	23

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

**Tema del proyecto:** Determinación de frecuencias de eventos hidrológicos en la cuenca del Río Cutuchi con la transformada de Fourier.

### Modalidad de Titulación:

MODALIDAD DE TITULACIÓN	HOMOLOGACIONES PARA INFORME FINAL DE TITULACIÓN	SELECCIÓN
<b>Propuesta tecnológica</b>	Informe de propuesta tecnológica	
	Patente, Modelo de utilidad, Certificado de propiedad intelectual.	
	Artículo científico	
<b>Proyecto de investigación</b>	Informe de Proyecto de investigación	X
	Artículo científico	
	Patente, Modelo de utilidad, Certificado de propiedad intelectual.	
<b>Examen de indicadores de RDA</b>		

**Trabajo de Titulación Vinculado al Proyecto:** AguaQuest: potenciando la investigación en recursos hídricos aplicados a la solución de problemas reales del medio.

**Equipo de Trabajo del Trabajo de Titulación:** Iza Sánchez Elvis David, Ing. Giler Ormaza Andy Miguel Mg,

**Área de Conocimiento:**

Tabla 1. Áreas Conocimientos Unesco.

		2509.04 hidrometeorológica
25 ciencias de la		
tierra y del	2508 hidrología	2509.09 predicción numérica meteorológica
Espacio		
		2509.11 predicción operacional meteorológica

**Línea de investigación:** Meteorología, hidrología, mecánica de fluidos, sistemas y obras hidráulicas.

**Sub-líneas de investigación de la Carrera:** Gestión y manejo sostenible y/o sustentable de recurso hídricos.

## 2. INTRODUCCIÓN

La investigación de frecuencias utilizando la metodología de Fourier y ondeletas, presenta versatilidad en el análisis de eventos para modelos hidrológicos [1], siendo esta una de las características más complejas y determinantes en la gestión de los recursos hídricos, especialmente en países andinos como el Ecuador. En donde se han presentado eventos globales como El niño y La niña [2]. El evento del niño registrado a nivel del Ecuador, en el estudio para Manabí asocia anomalías positivas en la temperatura superficial con el desplazamiento hacia el sur de la zona convergencia intertropical y a la inestabilidad atmosférica amazónica – generaron afectaciones severas en el ámbito social, económico y ambiental con evidencias en inundaciones urbanas y rurales, desbordamientos de ríos y esteros, deslizamientos de tierra, colapso de alcantarillados y suspensión del servicio de agua potable por la fuerte sedimentación, siendo estas vinculadas con los daños en viviendas, pérdida de enseres, interrupción de vías y erosión acelerada de los suelos [3]. El análisis de series temporales hidrológicas se ha convertido en la herramienta para comprender los patrones de fenómenos como crecidas, sequías o alteraciones de los caudales bases [4], [5]., estas frecuencias permiten no solo la predicción y mitigación de desastres con una planificación adecuada y estrategias de manejo sostenibles de recursos hídricos [6], sin embargo, en la práctica regional ecuatoriana persisten limitaciones metodológicas. Hay estudios enfocándose en los análisis estadísticos sin incorporar técnicas modernas de análisis espectral a diferentes escalas temporales [7], [8]. Dentro de esos estudios importantes está el realizado en Eslovaquia, donde se utiliza caudales

medios anuales, temperatura del aire y precipitación de dos estaciones, ofreciendo resultados con ventajas en la identificación de la variabilidad multi anual en los ciclos presentes sino también reconocer en que momentos ocurren entre los 2 y 12 años de frecuencias temporales para las series hidrológicas y climatológicas [9]. Al determinarse con exactitud en que momentos ocurren los ciclos de mayor energía en las series hidrológicas, es posible anticipar periodos críticos de vulnerabilidad, transformando los datos históricos como una herramienta de decisión que permitan una planificación territorial resiliente al frente de la creciente incertidumbre climática que afecta a varias regiones a nivel global y local.

En el Ecuador se ha realizado varios estudios como la aplicada en el Río Coca donde se analiza los datos de caudal en el periodo de estudio de 1991 al 2013 identificando una frecuencia dominante de 11.5 eventos por cada 12 años con el método de Fourier, mientras que el análisis de wavelets se detectaron patrones cíclicos y temporales más finos en la frecuencia [10], así como también el estudio en Río Toachi durante el mismo periodo de trabajo, donde con la metodología Fourier identificando dos frecuencias de 11 y 11.5 eventos por cada 12 años, mientras que con wavelets son ciclos más finos en escalas temporales de 1 año y 0.50 año evidenciando la estacionalidad de flujos altos y bajos en la cuenca [11]. Siendo esto la constitución de una herramienta para la caracterización hidrológica, donde la técnica de Fourier permitió precisar las frecuencias dominantes y los ciclos de variabilidad a largo plazo y la técnica de Ondeletas aportaron una resolución temporal superior al identificar la estacionalidad y los eventos extremos a corta duración, validando así el enfoque para el análisis de la variabilidad climática en las cuencas ecuatorianas.

En la zona de estudio que es la cuenca del Río Cutuchi, situada en la provincia de Cotopaxi, naciente de los deshielos del volcán y sus paramos circundantes. Esta cuenca abastece a los cantones de Latacunga, Salcedo, Pujilí y Saquisilí, mostrando inestabilidad en su comportamiento fluvial, factores que se están valorando por medio del cambio climático, deforestación en las zonas altas y el crecimiento urbano no planificado que han modificado drásticamente los proceso de escorrentías y recarga del sistema, en los informes del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI) donde se evidencian alteraciones importantes en los caudales medios mensuales, limitando la capacidad de gestión preventiva y dificultad el diseño de la infraestructura hidráulica capaz de adaptarse a la variabilidad climática. Por ello la presente investigación

propone un cambio de paradigma en la cuenca del Río Cutuchi, al trabajar con la Transformada Discreta de Fourier, se busca descomponer la señal compleja de caudales diarios en una suma de funciones sinusoidales, permitiendo identificar los componentes más dominantes, sumado al uso de ondeletas se tendrá una localización tiempo-frecuencia, superando las limitaciones de Fourier al analizar señales no estacionarias, y para garantizar la fiabilidad del análisis, tomando en cuenta que los informes proporcionan alteraciones en los datos. Se aborda con una metodología de relleno de datos faltantes en las series históricas, estas metodologías son técnicas como la curva de descarga, algoritmos de aprendizajes para entornos de programación.

## **2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA**

En la cuenca del Río Cutuchi, ubicada en la provincia de Cotopaxi, ha mostrado una notable variabilidad en su comportamiento hidrológico, caudales extremos que se expresan tanto en crecidas como en periodos de sequías, afectando la seguridad hídrica en el cantón Latacunga, esta inestabilidad se relaciona con factores como el cambio climático, la deforestación en las zonas altas y el crecimiento urbano no planificado, modificando los procesos escorrentías y recarga del sistema [12]. En los informes del INAMHI evidencia alteraciones importantes en los caudales medios mensuales registrados en varios puntos de control de la cuenca del Río Cutuchi, sin patrones de frecuencias [13], limitando la capacidad de gestión preventivas y dificultades en el diseño de la infraestructura hidráulicas resilientes [14]. Aun así, existen brechas metodológicas en el uso de análisis espectrales aplicados a datos hidrológicos a nivel de cuencas, lo que evidencia la necesidad de incorporar herramientas matemáticas avanzadas que permitan comprender con mayor precisión la dinámica fluvial [15]. Por lo tanto, la implementación de las técnicas de Fourier y Ondeletas en esta investigación dará una respuesta técnica al permitir un desglose de la señal de caudal y proveer un análisis que sustente la planificación hídrica.

## **2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Cuáles son las principales frecuencias de ocurrencias de eventos hidrológicos y como puede su identificación mediante las técnicas de la transformada de Fourier y Ondeletas contribuir al entendimiento y gestión de la dinámica fluvial en la cuenca del Río Cutuchi.

## **2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN**

### 2.3.1 Objeto de Investigación

Determinar las frecuencias de eventos hidrológicos mediante el análisis de la transformada de Fourier y ondeletas.

### 2.3.2 Campo de Acción

2509.11 predicción operacional meteorológica.

## **2.4 BENEFICIARIOS**

### 2.4.1 Directo

- Comunidad científica, estudiantes y docentes de la Universidad Técnica de Cotopaxi

### 2.4.2 Indirecto

- Moradores de la cuenca del Río Cutuchi

## **2.5 JUSTIFICACIÓN**

La investigación se justifica por la necesidad de fortalecer el análisis técnico de los eventos hidrológicos en la cuenca del Río Cutuchi mediante el uso de herramientas matemáticas que permitan reconocer patrones de frecuencias en los registros históricos de los caudales, la ausencia de investigaciones locales que integren simultáneamente la transformada de Fourier y el análisis por ondeletas limita la comprensión de la dinámica fluvial y reduce la capacidad de las instituciones para planificar, gestionar riesgos y tomar decisiones, desde el ámbito académico es un aporte metodológico para la ingeniería hidráulica al vincular conceptos hidrológicos con técnicas modernas de análisis. Siendo aprovechados por las entidades respectivas para optimizar los modelos predictivos y orientar el diseño de las obras hidráulicas más eficientes y contribuir al manejo sostenible de los recursos hídricos, respondiendo a la creciente demanda de incorporar métodos de análisis más precisos que influyan directamente a una gestión sostenible del recurso hídrico en el cantón de Latacunga y sus zonas de influencia, este trabajo no solo contribuirá a la mitigación sino a establecer una base científica para la toma de decisiones frente a los desafíos impuestos por el cambio climático.

## 2.6 OBJETIVOS

### 2.6.1 General

Determinar las frecuencias de los eventos hidrológicos utilizando la transformada de Fourier y ondeletas para el entendimiento fluvial de la cuenca del Río Cutuchi.

### 2.6.2 Específicos

- Recopilar los datos hidrológicos para la depuración – corrección y relleno de información.
- Realizar la transformada discreta de Fourier y ondeletas para el análisis de frecuencias de eventos hidrológicos.
- Comparar la transformada discreta de Fourier y ondeletas para la localización de los eventos hidrológicos en las frecuencias.

## 2.7 SISTEMAS DE TAREAS

Tabla 2 Sistema de Tareas del Plan de Titulación.

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
<b>Recopilar los datos hidrológicos para la depuración – corrección y relleno de información.</b>	Recopilación de datos históricos diarios de caudales.	Obtención de datos de caudales diarios.	Bases de datos hidrológicos
	Relleno y depuración de los caudales diarios.	Base de datos estructurada.	Instrumentos – Anuarios hidrológicos del INAMHI.
<b>Realizar la transformada discreta de Fourier y ondeletas para el análisis de frecuencias de eventos hidrológicos.</b>	Conversión y procesamiento de los caudales diarios mostrando las intensidades de diferentes frecuencias.	Estudio de frecuencias por la transformada de Fourier y Ondeletas.	Técnica – Visualización Instrumentos – Excel y RStudio

---

<b>Comparar la transformada discreta de Fourier y ondeletas para la localización de los eventos hidrológicos en las frecuencias.</b>	Estudio comparativo de los resultados de la transformada de Fourier y Ondeletas	Interpretación de los resultados de la investigación.	Técnicas – Visualización Instrumentos – Excel y RStudio
--	---	---	---

---

### 3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### 3.1 ANTECEDENTES

En la caracterización de las variabilidades hidrológicas mediante técnicas de análisis espectrales, las cuales han cobrado una relevancia significativa en las últimas décadas para regiones con alta complejidad topográfica y climática, como lo sería las cuencas nacientes en la cordillera de los Andes. El estudio de las series temporales de caudales permite identificar los patrones cíclicos que no son perceptibles mediante métodos estadísticos convencionales, según [16], la aplicación de estas prácticas en el análisis espectral en hidrología facilitan la comprensión de los procesos físicos subyacentes, permitiendo diferenciar entre variaciones estacionales de corto plazo y ciclos climáticos de largo alcance, como los influenciados por fenómenos naturales como lo son el niño – oscilación del sur (ENOS). A nivel internacional, el análisis de frecuencias ha demostrado su eficacia en la identificación de tendencias climáticas, en Europa central se ha determinado que las fluctuaciones en las series hidrológicas suelen presentar ciclos de variabilidad entre 2 a 12 años, asociados a las oscilaciones atmosféricas, siendo precedentes que subrayan la necesidad de aplicar de transformada de Fourier en la cuenca del Río Cutuchi. Donde la variabilidad del caudal impacta directamente en la seguridad hídrica y la planificación de obras en la ingeniería hidráulica.

En el país se han desarrollado investigaciones fundamentales que sirven como base técnica para este tipo de investigaciones, por ejemplo, en [17] realizó el análisis de estacionalidad y la dinámica del régimen fluvial aplicado en el río Guayllabamba, demostrando que el uso de herramientas avanzadas que permite una gestión más precisa del recurso hídrico al entender la periodicidad de los eventos extremos. Estudios similares

que han aplicado en otras cuencas estratégicas, investigaciones precisas en los ríos Coca y Toachi para el periodo de tiempo de 1991-2013. Utilizando la transformada de Fourier, identificando las frecuencias dominantes de aproximadamente 11.50 eventos por cada 12 años, sugiriendo una fuerte influencia de ciclos multianuales en la escorrentía superficial en la región interandina.

### **3.2 PRECIPITACIÓN**

La precipitación proviene de los procesos naturales actuando en una escala global, regional o local sujeta a fluctuaciones temporales, siendo el parámetro de medición en unidades de milímetros a través de diferentes redes como las estaciones que contienen pluviómetros en su interior [18]. Esta se reconoce como la variable de entrada crítica al sistema hídrico, cuya medición precisa es el primer paso para entender la escorrentía superficial.

### **3.3 HUMEDAD**

Se utiliza en la meteorología para determinar la medida de vapor de agua contenida en la atmósfera, siendo un volumen de aire determinado, este vapor de agua es muy variable tanto a nivel local, este valor depende de la temperatura de aire [19]. En sí la humedad actúa como un regulador indirecto de la disponibilidad hídrica al influir en la estabilidad atmosférica de la cuenca, comprender su variabilidad permite contextualizar los periodos de saturación que se anteceden a los eventos de precipitación.

### **3.4 VIENTO**

Siendo el movimiento del aire dentro de la superficie terrestre, produciéndose por los gradientes de presión atmosféricas originados por los diferentes calentamientos en las superficies y por efecto de las fuerzas de gravedad y Coriolis, está siendo una fuerza debida a la rotación del planeta [20]. El viento desempeña un papel en el transporte de humedad y en la dinámica de la evapotranspiración dentro de las cuencas, aportando datos sobre la circulación atmosférica siendo estos que alimentan a los ciclos hídricos.

### **3.5 EVAPOTRANSPIRACIÓN**

La evaporación es el paso continuo de una sustancia del estado líquido al de vapor, efectuándose en la superficie del líquido relacionando la temperatura hasta su saturación en el espacio inmediato [21], este proceso es un sistema que depende del tamaño de área

expuesta, tipo de sustancia y del porcentaje que se tiene [22], logrando alcanzar un proceso regido por el equilibrio entre el vapor y el líquido., pudiendo concentrar una solución compuesta de un soluto no volátil y disolvente volátil [23]. Para llegar a la evapotranspiración se necesita de la transpiración, la cual un proceso fisiológico dentro del balance de energía y una medida significativa del rendimiento de un cultivo, donde se es absorbida por estos mismos [24], siendo así que la evapotranspiración es la suma de ambos procesos, representando la pérdida total del agua desde la superficie hasta la atmosfera [25]. Esto representa la mayor pérdida de agua del sistema hacia la atmosfera, considerado un componente vital del balance hídrico, su cuantificación precisa es necesaria para diferenciar cuanta de la precipitación recibida se transforma en el caudal superficial que fluye por los ríos.

### 3.6 ESTACIONES HIDROLÓGICAS

Las estaciones hidrológicas bien equipadas y con un personal eficiente son capaz de realizar un trabajo con precisión, uniformidad y constancia, la recolección de información para su almacenamiento y procesamiento de los datos [26]. Por ejemplo, una estación hidrométrica que cuenca con los instrumentos como flotadores, miras, limnímetros, limnógrafos, máxímetros, entre otros elementos., todo esto con el objetivo de registrar las variaciones de ciertas características de la corriente, y facilitar el estudio del régimen [27].

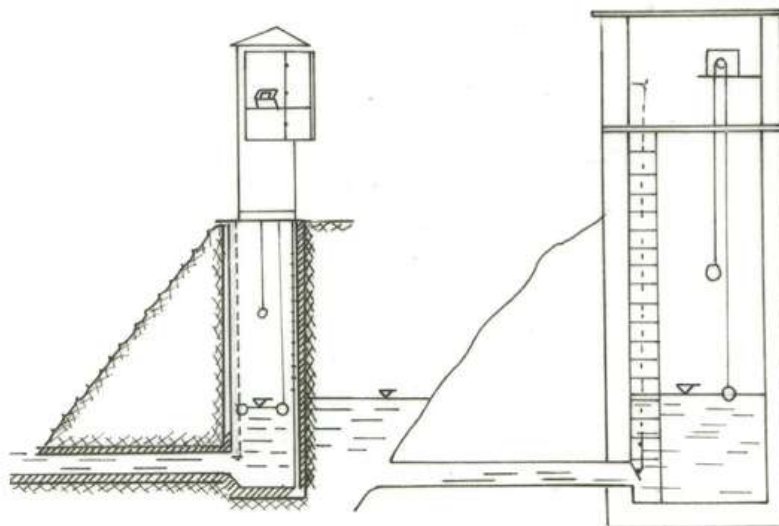


Figura 1 Diseño de una estación hidrométrica

Para el funcionamiento correcto de estas estaciones hidrométricas, se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Disponibilidad. – La estación debe tener disponibilidad para las visitas en campo, siendo más en las horas de mayor tráfico [28].
- Constancia. – El flujo debe abarcar todo el espectro durante un año mínimo [28].
- Consistencia. – Preservar la estación manteniendo características geométricas, y estar ubicado en el segmento recto para que no se perjudique la lectura del flujo constante [28].
- Continuidad. – Estas estaciones deben tener una ubicación en el sentido de las avenidas para que el comportamiento natural del agua no sea impactado con las pendientes del cauce [28].

### **3.7 NIVEL**

La medición de nivel de aguas en los cuerpos de aguas y monitorear sus condiciones, generan una variación en ciertos instrumentos, estos instrumentos de medición son los pluviómetros y escalas hidrométricas. Los pluviómetros tienden a dar datos de cantidad de agua, mientras que las escalas dan los datos de incremento de nivel en dichos cuerpos de aguas [29]. La medición del nivel es el dato primario y continuo al monitorear el pulso del río, aunque el nivel no es lo mismo que caudal en sí, el registro a través de escalas y limnigrafos permite la construcción de las series temporales.

### **3.8 CAUDAL**

Esta propiedad es la cantidad de agua fluyendo por una sección transversal del río en un periodo de tiempo determinados, manifestándose en unidades internacional de metros cúbicos por segundo o en litros por segundo [30]. El caudal es una variable que representa el volumen de agua disponible y su dinámica durante un tiempo específico, dejando que su comportamiento permita identificar los ciclos predecibles o caóticos.

### **3.9 CUENCA HIDROGRÁFICA**

Una cuenca comprende los ecosistemas terrestres como la selva, bosque, matorrales, pastizales o manglares, y sistemas acuáticos como los ríos, lagos y humedales. Sus límites están definidos por el parteaguas, desde donde drena toda el agua de lluvia hacia un punto de salida. Dentro de estas cuencas suelen distinguirse en zonas como alta, media y baja influentes en el proceso hidrometeorológicos y se utilizan los recursos del territorio [31]. Definiendo a la cuenca como una unidad de gestión y análisis pasando por procesos

físicos-químicos del agua, crucial para localizar donde se originan los eventos extremos en estudios hidrológicos.



Figura 2 Cuencas hidrográficas [31]

Dentro de las terminologías de cada parte de las cuencas hidrográficas, tenemos las siguientes:

- Cuenca. – Es un sistema integrado por varias subcuencas o microcuencas [31], [32].
- Subcuencas. – Es un conjunto de microcuencas que drenan a un solo cauce con caudal fluctuante [31], [33].
- Microcuencas. – Es toda el área en la que su drenaje va a dar al cauce principal de una subcuenca que se divide en microcuencas [31], [32].

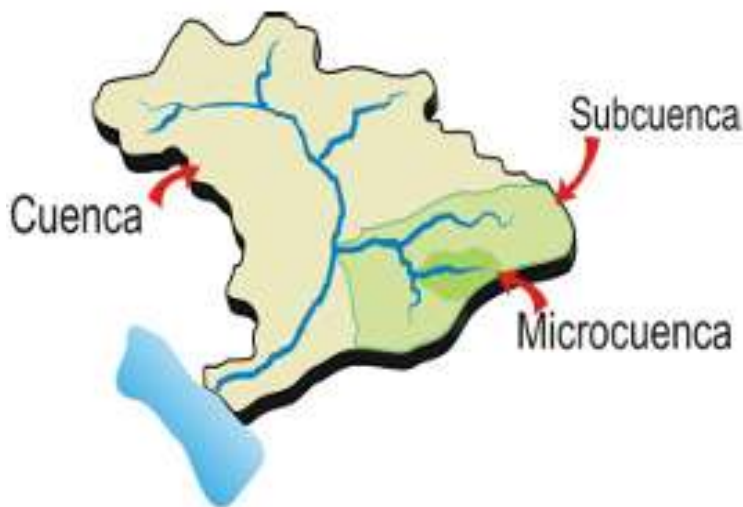


Figura 3 División de una cuenca hidrográfica [31]

- Quebradas. – Es el área que desarrolla su drenaje al cauce principal de una microcuenca [31].
- Cuenca alta. – Es el área montañosa o cabecera de los cerros, limitadas en su parte superior de las divisorias de aguas [31].
- Cuenca media. – Es la junta de aguas recogidas en las partes altas y el río principal mantiene su cauce definido [31].
- Cuenca baja. – Es donde el río desemboca a río mayores o a estuarios y humedales [31].

### 3.10 FRECUENCIA

En el estudio de [34] señala que los sistemas pueden ser afectados por las intensas lluvias, inundaciones y sequías., relacionando las frecuencias de modo que los fenómenos más severos tienden a presentarse con menor regularidad. Este análisis de frecuencia en hidrología busca establecer la relación entre la magnitud de los eventos extremos y su probabilidad de ocurrencia mediante el uso de distribuciones. Para ello los registros hidrológicos utilizados suelen considerarse como independientes y con igual distribución, por ejemplo, un régimen de precipitaciones se aborda como un proceso estocástico, sin dependencia del espacio o tiempo, esto se expresa como ciclos por segundos asociados a la función seno, mientras que la frecuencia angular se expresa en radianes por segundo, siendo ambas cantidades adimensionales en su formación matemática.

$$f = \frac{1}{T} \tag{3.1}$$

Ecuación 1 Frecuencia

Donde:

f = Frecuencia (evento/año)

T = Periodo de regresión del suceso (años)

El análisis de frecuencia en hidrología es una herramienta que permite traducir la incertidumbre de la naturaleza en probabilidades matemáticas, determinando una frecuencia que implica identificar un ritmo que responde a los cambios climáticos.

### 3.11 PERIODO

El periodo de recuperación es el análisis hidrológico orientado a evaluar la frecuencia con la que se presentan los eventos extremos, como crecidas o sequías, siendo parte de una herramienta fundamental para la planificación y el diseño de obras hidráulicas y en general para la gestión sostenible del recurso. Se plantea una formula distinta a la tradicional, basada en el inverso de la probabilidad de que un evento especifico suceda están asociados al valor medio de la serie que contiene la variable dependiente [34]. El periodo de retorno es un indicador de riesgo, su estimación precisa es a partir del inverso de la frecuencia, permitiendo diseñar infraestructura que puedan resistir las crecidas históricas y adaptar a la variabilidad climática.

$$T = \frac{1}{f} \quad (3.2)$$

Ecuación 2 Tiempo de retorno

Donde:

f = Frecuencia (evento/año)

T = Periodo de regresión del suceso (años)

### 3.12 ONDAS SINUSOIDALES

Las ondas son representaciones graficas suaves y periódicas en una forma particular de “S”, siendo figuras para el análisis de comportamientos hidrológicos y con la técnica de la transformada de Fourier, en función del tiempo [35]. Estas ondas se forman en bloques de cualquier señal compleja, la capacidad de representar un comportamiento es mediante las funciones de seno y coseno, permitiendo una aplicación exitosa de la transformada de Fourier.

$$Y(t) = A * Sen(2\pi ft + \varphi) = A * Sen(\omega t + \varphi) \quad (3.3)$$

Ecuación 3 Sinusoidales

Donde:

f = Frecuencia (evento/año)

A = Amplitud

$\omega$  = Frecuencia angular

$\varphi$  = Fase

t = Tiempo

### **3.13 SERIES DE FOURIER**

Las frecuencias pueden ser continuas, aperiódica o discreta., la combinación de dos de tres características genera cuatro series de familias a evaluar [36]. Estas series permiten descomponer las señales periódicas y discretas en componentes más simples, facilitando la interpretación técnica, una descomposición que separa el ruido de los datos hídricos de las señales verdaderamente significativas en la gestión del recurso.

- Aperiódica – continua. – Exponenciales decrecientes y curva de Gauss [36].
- Periódica – continua. – Ondas sinusoidales, cuadradas entre otras [36].
- Aperiódica – discreta. – Intervalos discretos desde el infinito positivo hasta el negativo [36].
- Periódica – discreta. – Señales discretas que se repiten de forma periódica [36].

### **3.14 WINDOWED FOURIER TRANSFORMS (WFT)**

La transformada de Fourier es una herramienta matemática que permite analizar simultáneamente una señal con respecto al tiempo y frecuencia, la ventana actúa como un filtro que únicamente selecciona la señal correspondiente al tiempo determinado. Este enfoque es útil para señales no estacionarias o con variaciones temporales, que se dan en las vibraciones de las obras, fluctuaciones de caudales o en la presión de tuberías, identificando la evolución temporal de sus componentes frecuenciales, aspectos dinámicos de los sistemas, posibilitando un análisis continuo que detecta tanto los cambios suaves como las alteraciones más bruscas en la frecuencia [37]. Esta técnica actúa como un puente hacia el análisis más complejo al permitir una localización temporal de las frecuencias, el enfoque es vital para detectar las alteraciones bruscas en la presión o en el caudal, permitiendo un monitoreo continuo de la evolución de los componentes frecuenciales en el tiempo de estudio.

### **3.15 DATOS FALTANTES**

Los datos faltantes hacen una referencia a la ausencia de información necesaria para describir el fenómeno de interés, estas diversas circunstancias que comprometen la calidad de los registros de las variables estudiadas, un ejemplo común es en los datos climáticos en especial en las series históricas de precipitaciones por las estaciones

meteorológicas. Estas series presentan vacíos o inconsistencias debido al desplazamiento de instrumentos, cambios de condiciones del entorno o fallas en el registro de los datos, derivando en la pérdida o ausencia de la información [38]. Estos datos representan el mayor obstáculo para la integridad de los análisis, reconocer los vacíos en las series históricas es un paso técnico obligatorio para evitar interpretaciones erróneas en las dinámicas de los ríos.

### 3.16 RELLENO DE INFORMACIÓN

Este relleno de información se puede dar por el método de curva de descarga, conocida como curva de gasto o la relación entre altura y caudal, siendo una herramienta fundamental en la hidrología – hidráulica describiendo como varía el caudal por un río o cauce en función del nivel del agua, es decir, que nos va a permitir conocer la cantidad de agua que atraviesa una sección dependiendo de la altura observada en el área especificada. Para elaborar esta curva se requiere de recopilar la información de los datos de niveles y caudales en el tiempo especificado, de esa forma se grafica en el plano cartesiano, donde el eje horizontal corresponde a los niveles de agua y el eje vertical a los caudales [39]. El relleno no es una intervención en los datos, sino más una reconstrucción científica basada en modelos físicos o empíricos, estos modelos o métodos aseguran que la serie de tiempo mantenga una coherencia necesaria para el análisis de frecuencias a una precisión alta.

### 3.17 SOFTWARES

Entre los softwares, en esta investigación se requiere de utilizar QGIS y RStudio, el cual el RStudio es un entorno desarrollado para el lenguaje de programación de R, debido a la estadística y gráficos., apoyado por la ejecución del código con herramientas para el trazado, depuración y gestión del espacio de trabajo [40], entre los paquetes encontrados en el programa tenemos los siguientes:

- **Curva de descarga.** – Este es un método constituye en una aproximación, basándose en una relación empírica entre el nivel del agua y el caudal observado, transformando los registros de niveles limnómetros en datos de caudal mediante una ecuación de potencia, logrando así rellenar los vacíos en las series de caudales, siempre y cuando se disponga del registro de niveles y manteniendo la coherencia del flujo en el cauce.
- **PMM (Predictive mean matching).** – Es un método semi paramétrico que imputa valores faltantes, seleccionando los valores observados como donantes que

tienen predicciones similares, preservando la estructura real de los registros y evitando la creación de valores imposibles, por ejemplo, valores negativos en la serie.

- **MIDASTOUCH (Weighted predictive mean matching).** – Este es un método más avanzado que el PMM, incorporando una selección ponderada de los donantes en base a la proximidad de sus valores predichos, en hidrología es un método que permite capturar con mayor precisión las fluctuaciones locales, dándole más peso a los que registros que mejor se representan en el comportamiento estacional de la cuenca.
- **SIMPLE (Random sample from observed values).** – Este es un procedimiento de imputación básica que consiste en completar los vacíos mediante un muestreo aleatorio de los valores observados en la misma estación, utilizando principalmente un punto de referencia inicial o para vacíos de muy corta duración donde la autocorrelación no es el factor dominante.
- **CART (Classification and regression trees).** – Es una herramienta de aprendizaje automático, generando modelos predictivos basados en una estructura de árbol que segmenta los datos según la característica, es altamente efectivo para la detección de patrones no lineales en los caudales, permitiendo una imputación robusta cuando la relación entre las variables es compleja.
- **RF (Random Forest imputations).** – Este método es la evolución de los árboles de decisión, utilizando múltiples árboles para promediar las predicciones, maneja las altas dimensiones y las interacciones completas que pueda existir entre estaciones, al no ser un método no paramétrico, captura con precisión tanto caudales base como los caudales picos o crecidas extremas.

Así entre otros, mientras que el software QGIS es un código abierto para la información geoespacial con herramientas complementarias como GRASS y SAGA para el análisis de esta información, definiendo el alcance del estudio y el almacenamiento del procesamiento de la información [41]. La integración de los softwares constituye un estándar moderno de la investigación, estas herramientas van a permitir el procesamiento de volúmenes masivos de datos y aplicar algoritmos avanzados de imputación, garantizando resultados reproducibles y claros.

### 3.18 HIPÓTESIS

Al usar la transformada de Fourier y Ondeletas las series de tiempo hidrológicas permitirá una localización más precisa de los componentes de frecuencia y estimación de los periodos de retornos de los eventos hidrológicos en la cuenca del Río Cutuchi.

## 4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

### 4.1 ÁREA DE ESTUDIO

La investigación se desarrolla en la cuenca del Río Cutuchi, siendo una de las unidades hidrológicas más importantes en la sierra central del Ecuador, esta cuenca se sitúa en la provincia de Cotopaxi, extendiéndose principalmente sobre los cantones de Latacunga, Salcedo, Pujilí y Saquisilí., alimentada por diversos afluentes que nacen desde los deshielos del volcán Cotopaxi y en los páramos circundantes, teniendo un carácter bimodal con dos periodos de máximas precipitaciones (marzo-mayo) – (octubre-noviembre) y sus respectivos periodos de estiajes. Según el INAMHI las precipitaciones varían debidamente a la cota y a las temperaturas que están entre 9 a 15°C con una humedad relativa en la cuenca.

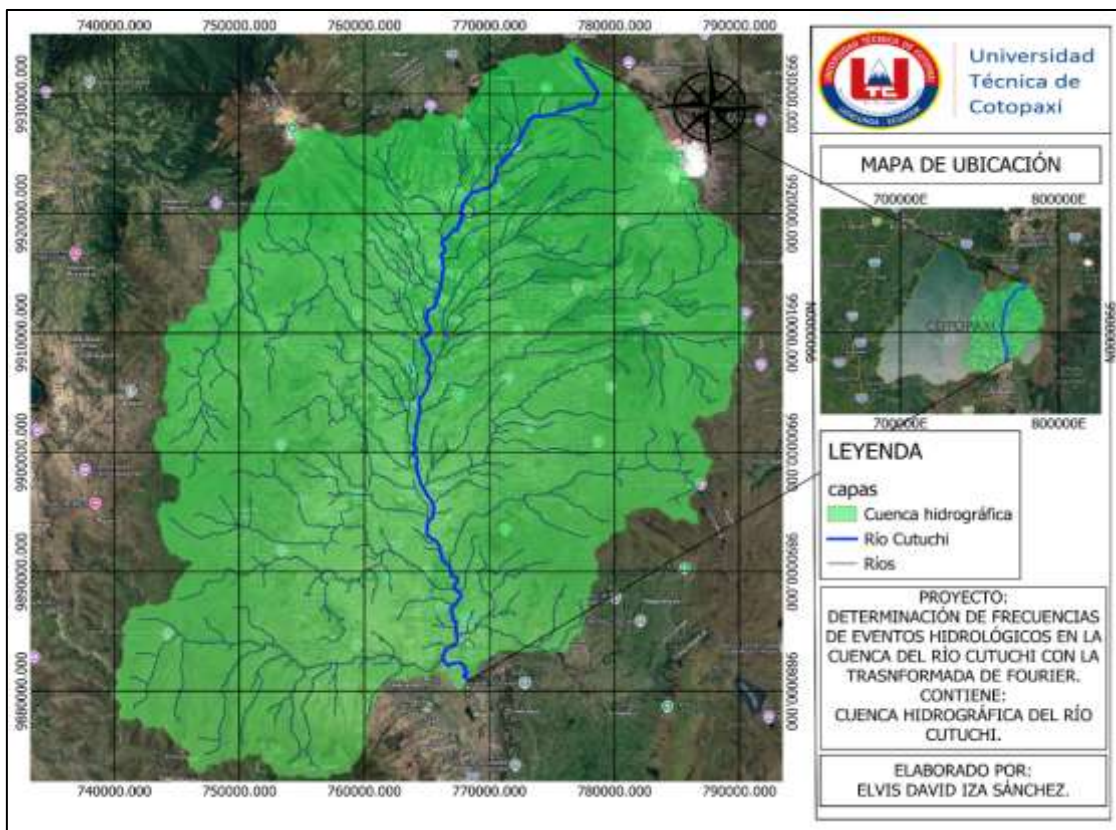


Figura 4 Delimitación de la cuenca

Tabla 3 Parámetros de la cuenca

Cuenca	Área(km)	Longitud del cauce principal (km)	Perímetro (km)
1	2003.601	72544.135	288.04

## 4.2 VARIABLES

En esta investigación se trabaja con dos variables, entre ellas las dependientes e independientes, siendo las dependientes las variables a explicar en función de otros elementos y las independientes las variables explicativas o susceptibles a explicar en base a las variables dependientes [42], en base a la parte metodológica las variables dependientes son la transformada de Fourier y ondeletas en base a las independientes que son el caudal y la cobertura vegetal en unidades de m<sup>3</sup>/s y Km<sup>2</sup> respectivamente.

### 4.2.1 Esquema metodológico de la investigación

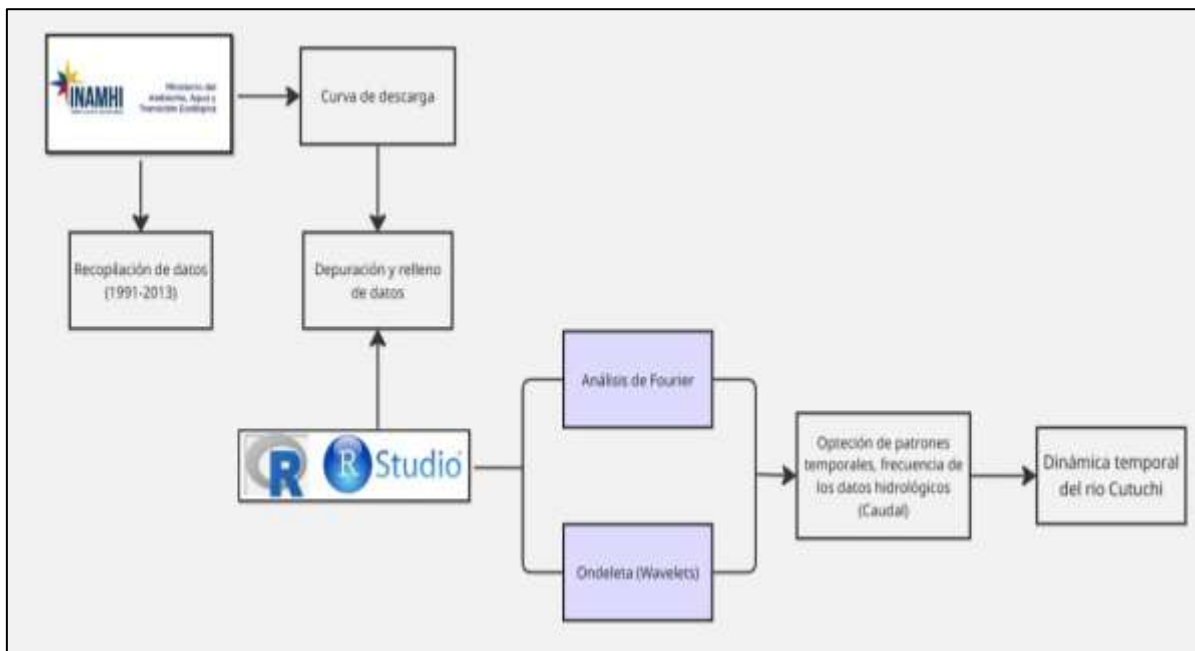


Figura 5 Esquema metodológico de la investigación

Este es el flujo general de la investigación, estructurada en un proceso lineal – secuencial, comenzando por la recopilación de datos históricos en un periodo de 1991 – 2013, con la transición al procesamiento en el entorno RStudio, ejecutando fases de depuración y relleno de datos mediante algoritmos de imputación y finalizando con el proceso de espectro dual (Fourier y Ondeletas). Con la finalidad de obtener patrones temporales y

frecuencias de caudales que confluyen en la comprensión de la dinámica temporal del Río Cutuchi.

### 4.3 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

En el Ecuador, la institución responsable del monitoreo, recopilación y análisis de los datos hidrológicos y meteorológicos es el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), durante la década de los ochenta, esta entidad publicaba su información proveniente de aproximadamente mil estaciones pertenecientes tanto al INAMHI como otras instituciones ya desaparecidas en la actualidad. Paralelamente, los datos hidrológicos de caudales y nivel son ubicados estratégicamente en las cuencas hidrográficas del país y medidos diariamente en periodos de 24 horas, siendo difundidos mediante los anuarios, para el año 2023 los pronósticos del tiempo y los avisos meteorológicos emitidos por el INAMHI. En síntesis, la red de estaciones ha quedado reducida a un número limitado, lo que ha obligado a complementar la información nacional con bases de datos globales, cuyo uso requiere de análisis de datos [43]. Para la presente investigación se realiza una recolección de datos en el periodo de tiempo desde 1991 hasta el 2013, de las siguientes estaciones hidrológicas:

Tabla 4. Estaciones hidrológicas

<b>Código</b>	<b>Estación</b>
H792	Río Cutuchi
H722	Río Yanahurco
H159	Río San Pedro
H158	Río Pita

De estas estaciones se le recolectan la información hidrológica en su estado puro, el siguiente modelo constituye una manera de recolección organizada, estructurada y eficiente para el estudio, al tener un tiempo de estudio de 23 años se aproximan una recolección de 84001 registro de caudales, en la siguiente tabla se presenta el modelo de recolección por el mes de enero en las estaciones.

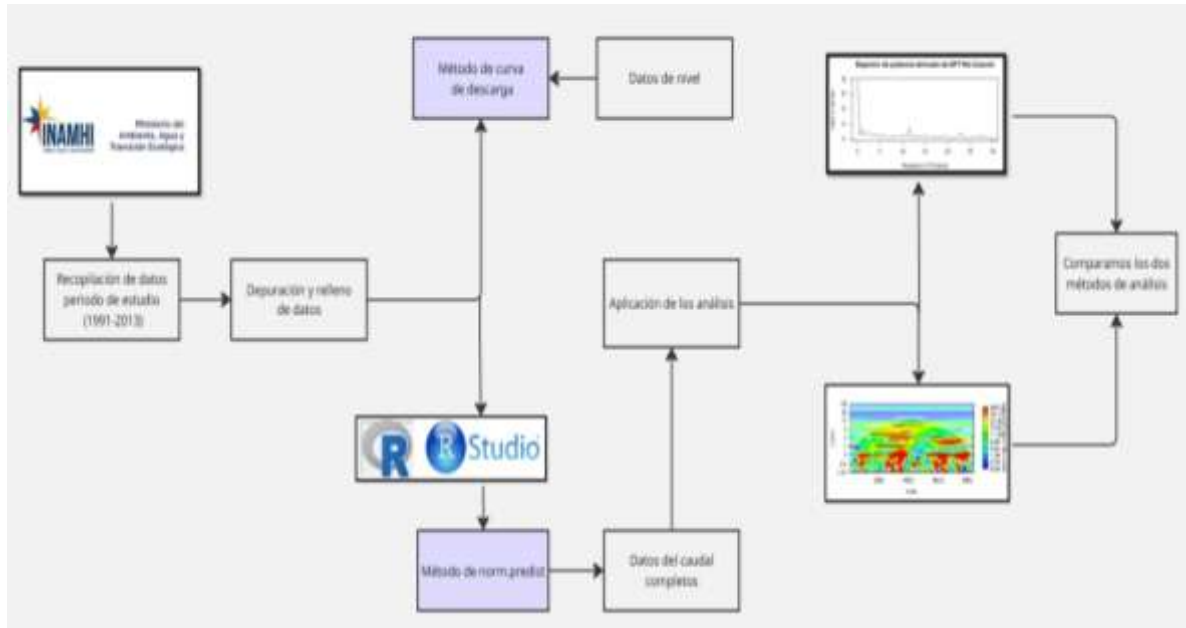


Figura 6 Esquema metodológico de la dinámica temporal

Tabla 5. Datos registrados de la estación

Dia	Datos							
	H792		H722		H159		H158	
	Caudales (m3/s)	Niveles (m)	Caudales (m3/s)	Niveles (m)	Caudales (m3/s)	Niveles (m)	Caudales (m3/s)	Niveles (m)
1	14.403	74	3.08	107	4.505	84	0.913	91
2	14.372	74	3.609	113	4.719	85	1.309	97
3	13.01	70	3.429	111	4.297	83	1.381	98
4	12.695	69	3.252	109	4.739	85	1.309	97
5	11.434	65	3.079	107	3.53	79	1.457	99
6	10.233	61	3.079	107	3.901	81	1.694	102
7	12.36	68	2.994	106	4.434	84	1.694	102
8	9.148	57	2.994	106	3.53	79	1.613	101
9	7.614	51	2.828	104	3.593	79	1.457	99
10	9.691	59	2.994	106	5.25	87	1.237	96
11	9.405	58	2.952	106	7.808	96	0.977	92
12	9.957	60	2.952	106	9.109	100	0.741	88
13	8.872	56	3.165	108	9.259	100	1.068	94
14	7.614	51	3.165	108	12.256	109	1.101	94
15	7.614	51	3.566	113	11.04	106	1.036	93
16	13.356	71	3.993	117	10.084	104	0.973	92
17	12.675	69	3.297	110	12.953	110	0.942	92
18	21.122	91	3.563	113	38.909	133	0.912	91
19	20.668	90	3.252	109	8.637	99	0.797	89
20	11.73	66	3.08	107	9.637	101	0.714	88
21	10.834	63	2.994	106	9.379	101	0.857	90
22	9.957	60	2.994	106	12.71	109	0.973	92
23	9.148	57	2.869	105	10.209	102	1.004	93
24	8.624	55	2.828	104	7.885	97	0.973	92

25	8.624	55	3.08	107	11.545	105	1.004	93
26	8.606	55	3.165	108	6.38	91	0.942	92
27	9.672	59	3.165	108	6.993	94	0.973	92
28	16.97	81	3.165	108	7.074	94	1.101	94
29	23.428	96	3.621	113	9.464	100	1.309	97
30	22.94	95	3.708	114	8.946	99	1.381	98
31	27.339	104	3.611	113	6.629	92	1.495	100

En este flujo se profundiza el procesamiento de señales, resaltando la importancia de la calidad de los datos, donde se somete a un proceso de relleno de vacíos utilizando metodologías como curva de descarga y el algoritmo norm.predict para completar las series de caudales en las estaciones, para luego proceder a realizar de forma simultánea las técnicas de Fourier y Ondeletas.

#### **4.4 RELLENO DE DATOS**

El relleno de la información es una técnica utilizada en la hidrología, para completar las series de datos ya sea en caudales o niveles, este proceso es esencial para la continuidad y precisión de los análisis, obteniendo una comprensión de las tendencias y comportamientos a lo largo del tiempo [17]. Entre los estudios se encuentran métodos de datos hidrológicos, entre ellos están [44]:

- Curva de descarga
- Linear regression
- Linear regression ignoring model error
- Linear regression using bootstraps
- Lasso linear regression

#### **4.5 MÉTODO DE CURVA DE DESCARGA**

El método se basa en la relación física y empírica existente entre el nivel del agua y el caudal que circula sobre la sección transversal específica del cauce, la curva de descarga es una herramienta fundamental en la hidráulica fluvial que permite transformar registros continuos de niveles en series temporales de caudales, esto es una relación que se expresa generalmente mediante una ecuación de potencia donde el caudal y la altura, con sus respectivos factores depende de las características geométricas y de rugosidad de la sección [45].

Este método requiere que se realice una campaña previa de aforos directos para calibrar la curva, establecida la relación matemática, los periodos con datos de caudal faltantes

con registros de nivel disponibles pueden ser completados con un alto grado de confianza, donde la precisión de este método va a depender de la estabilidad de la sección transversal, siendo ideal para cada estación de control hidráulico permanente [45].

#### 4.6 MÉTODO NORM.PREDICT

La hidrología ha integrado técnicas de inteligencia artificial y aprendizaje automático para el tratamiento de datos masivos, el algoritmo con bosques aleatorios, implementado en entornos de programación como RStudio, se presenta alternativa robusta frente a las regresiones lineales tradicionales, consistiendo en la construcción de una multitud de árboles de decisión durante el periodo de entrenamiento, en el que rellena la información con un modelo que toma las variables predictoras de los datos de estaciones meteorológicas o hidrológicas cercanas, presentando una alta correlación con la estación de objeto de estudio. A diferencia de los métodos determinísticos, este tiene la capacidad de capturar las relaciones no lineales y complejas entre las variables climáticas. Esto es eficiente para manejar datos faltantes en series temporales con alta varianza, promediando los resultados múltiples de árboles para reducir el error de predicción y evitar el sobreajuste [44].

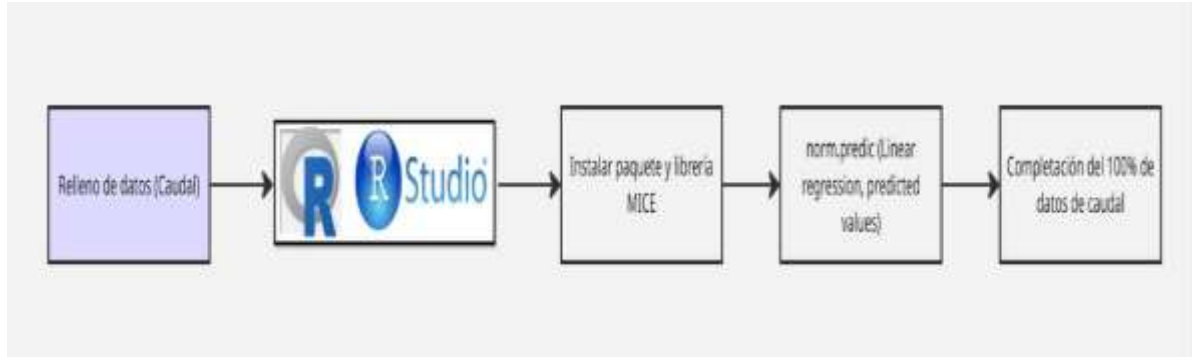


Figura 7 Esquema metodológico de relleno de datos MICE

Este flujo es el proceso de imputación múltiple mediante el paquete MICE, detallando la secuencia de instalación de librerías necesarias y la aplicación del método norm.predict, empleando regresiones lineales para la estimación de valores predichos en base a una correlación entre estaciones cercanas. Este procedimiento es esencial para garantizar que las frecuencias no se vean sesgadas por la ausencia de datos.

#### 4.7 TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER

La representación basada en características consiste en emplear funciones capaces de medir la similitud entre objetos, esta puede resultar insuficiente para que los modelos estadísticos relativamente simple como la regresión lineal puedan relacionarse las interacciones entre características. Estas limitaciones se recurren al uso de Kernels, en términos generales, esta función se asigna a cada par de objetos de entrada a un valor numérico que refleja la similitud. Se aplican a pares de datos, variantes suavizadas y la estimación de densidad, siendo el propósito de ser sustancialmente distintos dentro del análisis estadístico [45]. Esto realiza la transformada de Fourier en la distribución calórica, tratándose de una distribución especial, aunque sea temporal, descomponiéndose en una suma de distribuciones de sinusoidales, reconociéndose así a la serie de Fourier para extenderla a señales aperiódicas [46]. Esta transformada es integral del dominio del tiempo de la frecuencia y asume una función no periódica tendiendo el tiempo al infinito [16], con esto nos queda la siguiente ecuación:

$$G(t) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t)e^{-2\pi ft} dt \quad (4.1)$$

*Ecuación 4. Transformada de Fourier*

Donde:

f = Frecuencia (evento/año)

g(t) = Señal de prueba

$e^{-2\pi ft}$  = Fasor de sondeo

G(f) = Espectro en función de la frecuencia

t = Tiempo

La transformada discreta de Fourier utiliza números enteros para representar las entradas y salidas, siendo estos datos con un valor de cero en la señal discreta y no periódica, informando que se requiere un número infinito de sinusoides para la realización de la señal. Las secuencias de datos discretos actuando sobre la descomposición en los componentes de las frecuencias [36].

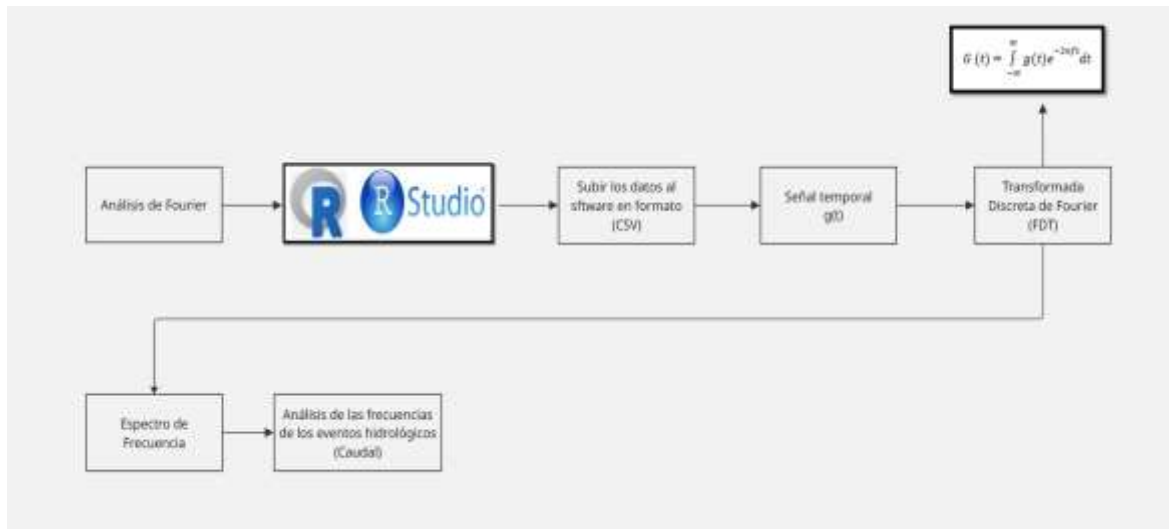


Figura 8 Esquema metodológico de la transformada de Fourier

En este flujo se detalla la ejecución de la Transformada Discreta de Fourier, desde la carga de datos en formato CSV hasta la descomposición de la señal temporal  $g(t)$  en sus componentes sinusoidales mediante la ecuación integral de Fourier, el resultado final será un espectro de frecuencia que permitirá identificar los rankings de periodicidades más fuertes proporcionando una visión global de los ciclos.

#### 4.8 ONDELETAS

En los últimos tiempos la transformada de ondeletas se ha consolidado como una herramienta ampliamente utilizada en el análisis de señales, debido a su capacidad de revelar la información espectral y temporal dentro de una serie de una forma simultánea, esta técnica superar la limitación fundamental del análisis de Fourier, proporcionando la información promediada de manera global y pierde detalles locales., la transformada de ondeletas permite realizar un preprocesamiento adecuado por la descomposición de series de tiempos en subcomponentes, estas descomposiciones son valiosas para mejorar el desempeño de los modelos de pronóstico y capturan patrones y estructuras relevantes que pueden no ser visibles en la señal original. También se cuenta con posibilidad de descomponer series no estacionarias en múltiples escalas ofrece una interpretación más clara de su estructura en múltiples escalas ofrece una estructura más clara para permitir la extracción información significativa en la evolución reduciendo los coeficientes [47]. Por estas razones esta transformada se convirtió en una técnica ampliamente adoptada en el análisis de series de tiempos en las señales no estacionarias, motivando a la comunidad hidrológica como una herramienta analítica.

Dentro de la transformada de ondeletas están las ondículas de Morlet para el análisis de tiempo – frecuencia, en los espectros de potencias por las ventas de periodos de duración del análisis, esto al multiplicar por una senoide a una gaussiana [48].

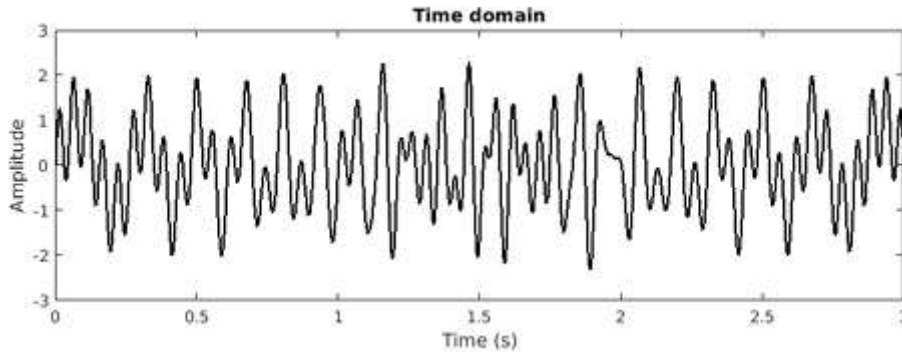


Figura 9 Ondeletas de Morlet [48]

La transformada se basa fundamentalmente en la convolución de una compleja con la señal original, a lo largo del eje temporal en un proceso conocido como traslación, siendo este procedimiento el complemento con el uso de ondeletas de diferentes frecuencias mediante el denominado escalamiento, con una escala alta correspondiente a frecuencias y una escala baja asocia frecuencias altas [49]. En contraste, las ondeletas de baja frecuencia ofrecen una menor precisión temporal, aunque proporcionan una visión más general de las variaciones de largo presentes en la señal. Al aplicar este proceso en el software RStudio, se debe comenzar con la instalación de paquetes y terminar en la verificación de clases del análisis de las ondículas.

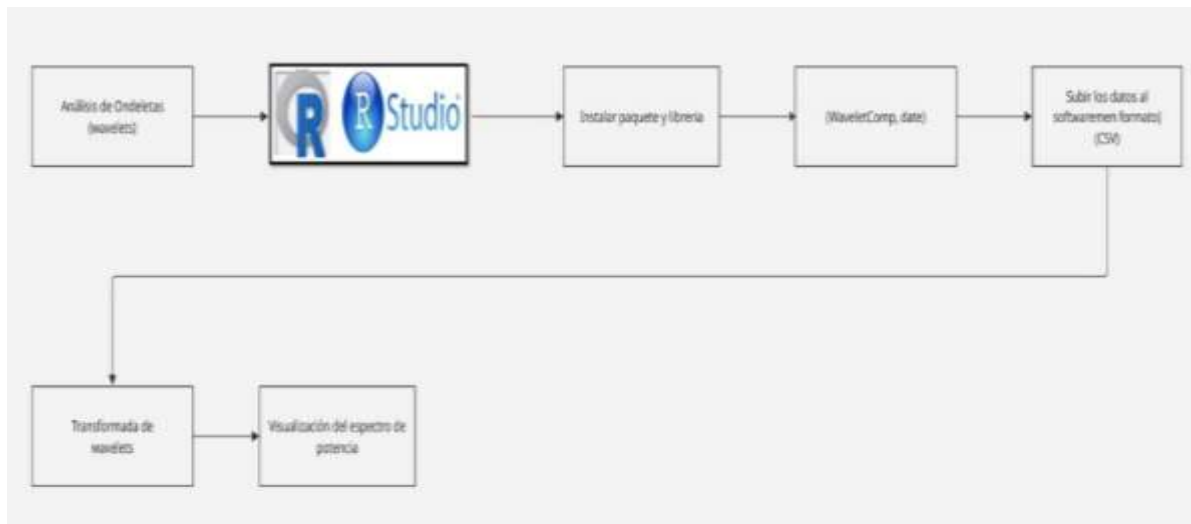


Figura 10 Esquema metodológico de las ondeletas

El flujo presenta el análisis de Ondeletas, donde su proceso inicia con la implementación de la librería WaveletComp en RStudio, seguida por la carga de datos y la ejecución de la transformada que descompone la serie en múltiples escalas, finalizando con la visualización del espectro de potencia, siendo que los núcleos de alta energía se identifican no solo por la frecuencia sino también por el momento histórico exacto de ocurrencia.

## 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En la investigación, se trabajó para el periodo de tiempo de 1991-2013 de datos hidrológicos (caudales) para la cuenca del Río Cutuchi, entre esto se tiene cuatro estaciones de trabajo y los parámetros de la delimitación del área de este afluente principal.

### 5.1 RECOPIACIÓN DE LOS DATOS HISTÓRICOS HIDROLÓGICOS

Esta es la fase inicial que se centra en la caracterización visual y estadísticas de las series temporales de los caudales, siendo fundamental para identificar la huella hidrológica de cada afluente antes de proceder la transformación matemática al dominio de la frecuencia.

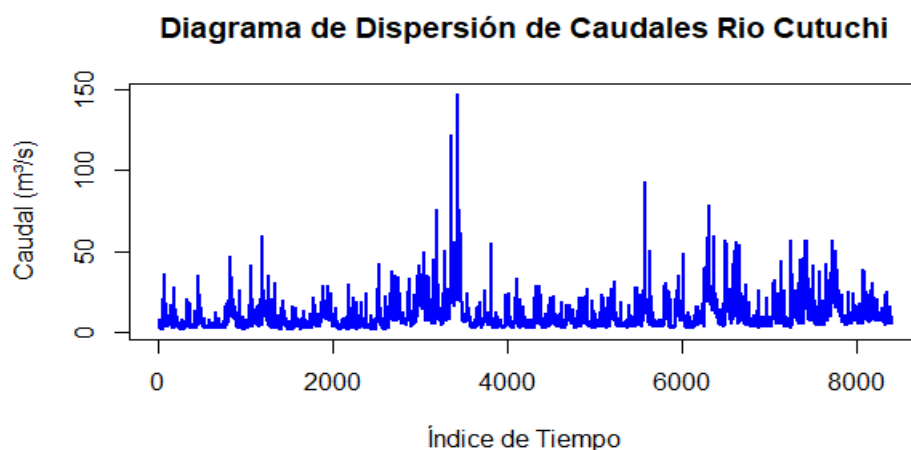


Figura 11 Diagrama de dispersión de caudales en el Río Cutuchi

En la cuenca del Río Cutuchi, presenta el comportamiento del eje hidrográfico principal del estudio, este diagrama de dispersión revela una cuenca con una dinámica extremadamente vigorosa y una marcada sensibilidad estacional, observando que la base de la serie se mantiene con caudales moderados, con eventos de crecida súbita que alcanzan magnitudes superiores a los 150 m<sup>3</sup>/s. Estos picos no representan únicamente

variaciones estacionales, sino la evidencia de la respuesta hidrológica a eventos meteorológicos extremos, con una alta densidad de puntos en la zona inferior del régimen permanente del flujo.

**Diagrama de Dispersión de Caudales Rio Pita H158**

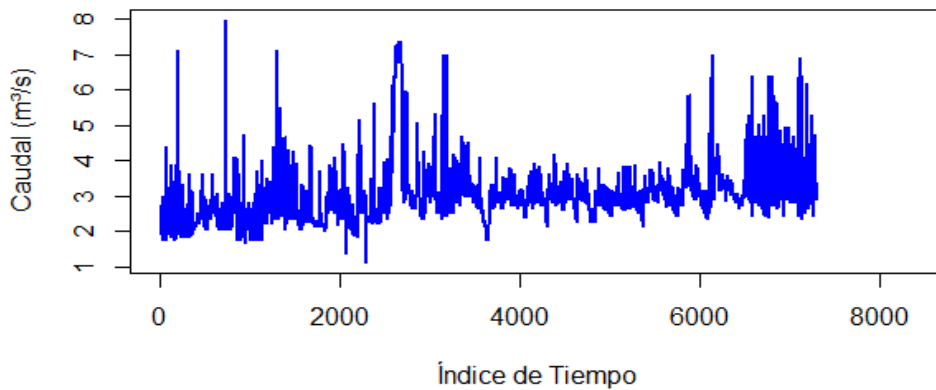


Figura 12 Diagrama de dispersión de caudales en el Rio Pita

En contraste al cauce del Río Cutuchi, el Río Pita exhibe una serie temporal con magnitudes significativamente menores, concentrándose la mayoría de los registros en un rango de 1 a 10 m<sup>3</sup>/s, a pesar de su menor volumen de descarga, presenta una variabilidad persistente que refleja la influencia de la geomorfología y su regulación hídrica de los páramos circundantes. La estabilidad relativa de sus caudales mínimos nos sugiere un aporte constante de flujo base, probablemente derivado de acuíferos o deshielos controlados, identificando periodos mayores de fluctuación hacia el final del registro de los datos.

**Diagrama de Dispersión de Caudales Rio San Pedro H159**

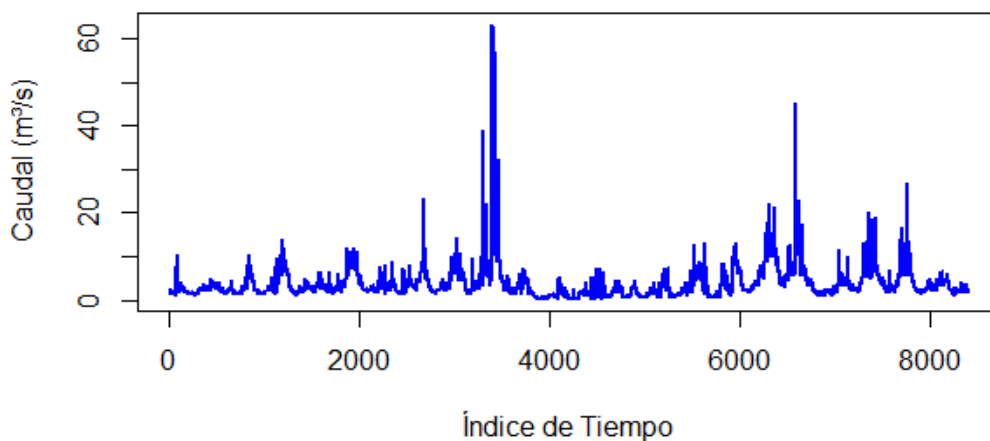


Figura 13 Diagrama de dispersión de caudales en el Rio San Pedro

El Río San Pedro presenta un comportamiento que integra características de las dos estaciones anteriores, donde los caudales máximos llegan a los 60 m<sup>3</sup>/s, este río actúa como un conector crítico dentro del sistema hídrico, al analizar los datos se percibe una sincronía notable con los eventos registrados en el Río Cutuchi, especialmente en los años donde los picos se descargan con mayor frecuencia. Esto sugiere que es altamente susceptible a los mismos fenómenos de escala regional, como la actividad de la zona de convergencia y la inestabilidad atmosférica provenientes de las cuencas amazónicas.

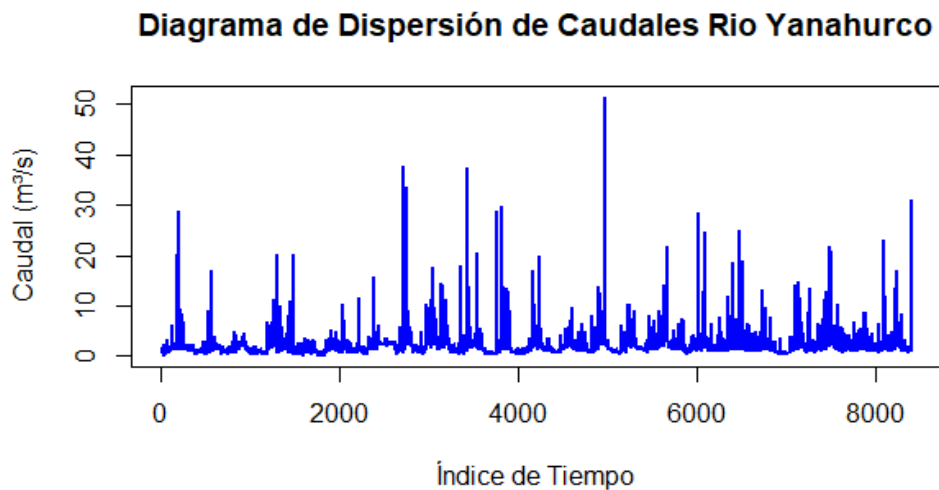


Figura 14 Diagrama de dispersión de caudales en el Río Yanahurco

En el Río Yanahurco, es la más relevante desde el punto de vista de procesamiento de datos, se muestra un río de respuesta rápida con alteraciones constantes entre caudales bases y picos de 50 m<sup>3</sup>/s, no obstante, los gaps de información, representados como espacios en blanco en la cronología, son el fundamento que obligo a la implementación de los métodos de relleno.

Al analizar los cuatros estaciones, se permite determinar que la cuenca del Río Cutuchi es un sistema complejo, no estacionario y con una alta variabilidad temporal, donde identificar estas tendencias y limitaciones en los datos brutos es lo que le da el paso a la siguiente fase de la investigación.

## **5.2 TRANSFORMADA DE FOURIER**

Una vez realizadas las series de tiempo, se procede con la aplicación de la transformada discreta de Fourier, esta herramienta matemática permitió descomponer la señal compleja de los caudales en una suma de funciones sinusoidales, presentados en los espectros de

potencia, identificando las periodicidades ocultas y entender la magnitud de la variabilidad cíclica en cada estación hidrológica.

### Espectro de potencia derivado de DFT Rio Cutuchi

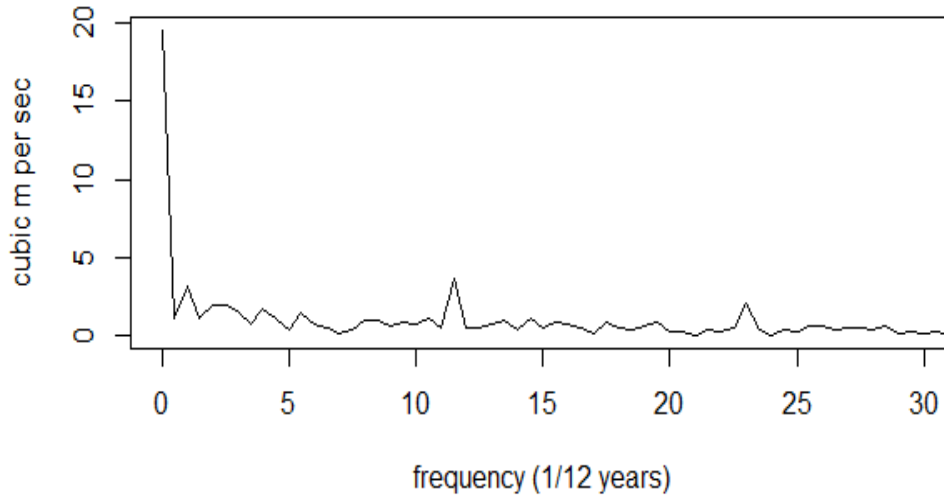


Figura 15 Transformada de Fourier en el Río Cutuchi

Tabla 6 Análisis de la estación H789 Cutuchi

Ranking de frecuencias más fuertes.	Frecuencia 1/12 años.	Periodo	Comentarios.
1	0.083	12 años	En este ciclo anual de 1 evento en 12 años, un periodo de cada 12 años.
2	0.33	3 años	En este ciclo anual de 4 eventos en 12 años, existe un periodo de cada 3 años.
3	0.46	2 años	En este ciclo de 5.5 eventos en 12 años existe un periodo de cada 2 años
4	0.96	1 año	En este ciclo anual como podemos ver de 11.5 eventos en 12 años existe un periodo de cada 1 años.
5	1.92	0.5 años	En este ciclo anual como podemos observar es de 23 eventos en 12 años y existe un periodo de cada 0.5 años

En esta transformada para el Río Cutuchi se observan cinco rankings de frecuencias más fuertes o cinco eventos durante el periodo de tiempo de estudio, en el cual sus magnitudes están de forma aproximada en los picos generados.

### Espectro de potencia derivado de DFT Río Pita H158

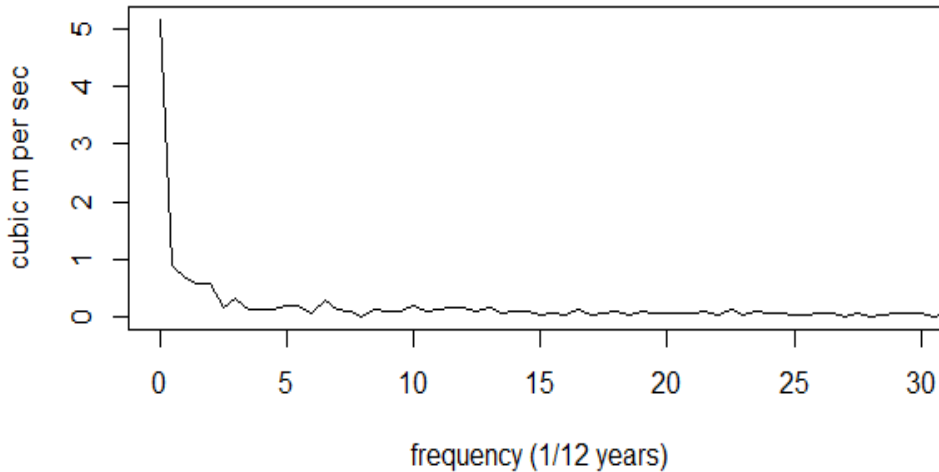


Figura 16 Transformada de Fourier en el Río Pita

Tabla 7 Análisis de la estación H158 Pita

Ranking de frecuencias más fuertes.	Frecuencia 1/12 años.	Periodo	Comentarios.
1	0.17	6 años	Esto significa que este ciclo anual de 1,99 eventos en 12 años, un periodo de 6 años
2	0.25	4 años	Esto significa que este ciclo anual de 2.99 eventos en 12 años, existe un periodo de cada 4 años.
3	0.54	2 años	Esto significa que este ciclo anual de 6.5 eventos en 12 años, existe un periodo de cada 2 años.

En esta transformada para el Río Pita se observan tres rankings de frecuencias más fuertes o tres eventos durante el periodo de tiempo de estudio, en el cual sus magnitudes están de forma aproximada en los picos generados el primer pico se puede observar 1.99 (Eventos/12 años), la segunda se observa en 2.99 (Eventos/12 años), la tercera se observa en 6.5 (Eventos/12 años).

## Espectro de potencia derivado de DFT Rio San Pedro H159

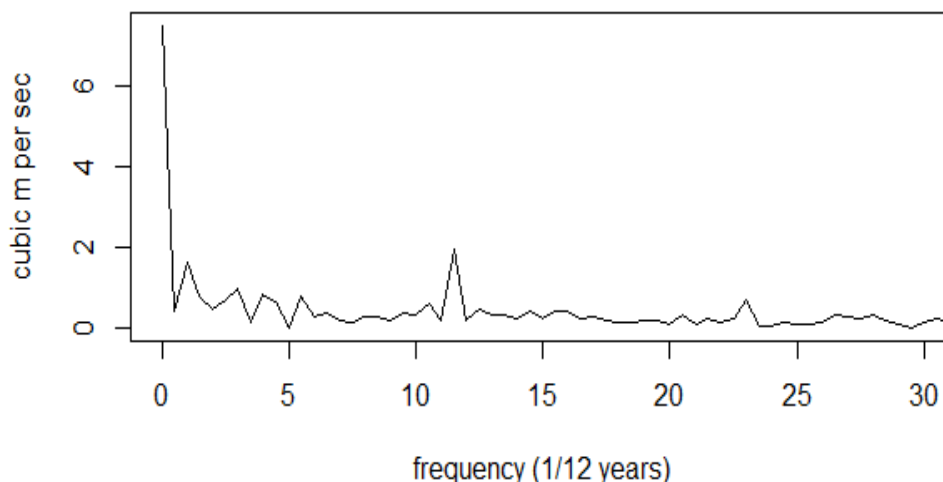


Figura 17 Transformada de Fourier en el Río San Pedro

Tabla 8 Análisis de la estación H159 Río San Pedro – Machachi

Ranking de frecuencias más fuertes.	Frecuencia 1/12 años.	Periodo	Comentarios.
1	0.083	12 años	Esto significa que este ciclo de 1 evento en 12 años, y existe un periodo de cada 12 años.
2	0.25	4 años	Esto significa que este ciclo de 2.99 eventos en 12 años, y existe un periodo cada 4 años.
3	0.33	3 años	Esto significa que este ciclo de 4 eventos en 12 años, y existe un periodo de cada 3 años.
4	0.96	1 años	Esto significa que este ciclo de 11.5 eventos en 12 años, y existe un periodo de cada 1 año.
5	1.92	0.5 años	Esto significa que este ciclo de 23 eventos en 12 años, y existe un periodo de cada 0.5 años

En esta transformada para el Río San Pedro se observan cinco rankings de frecuencias más fuertes o cinco eventos durante el periodo de tiempo de estudio, en el cual sus magnitudes están de forma aproximada en los picos generados el primer pico se puede observar 1 (Eventos/12 años), la segunda se observa en 2,99 (Eventos/12 años), la tercera

se observa en 4 (Eventos/12 años), la cuarta se observa 11,5 (Eventos/12 años), finalmente la quinta se observa 23 (Eventos/12 años).

### Espectro de potencia derivado de DFT Rio Yanahurco H722

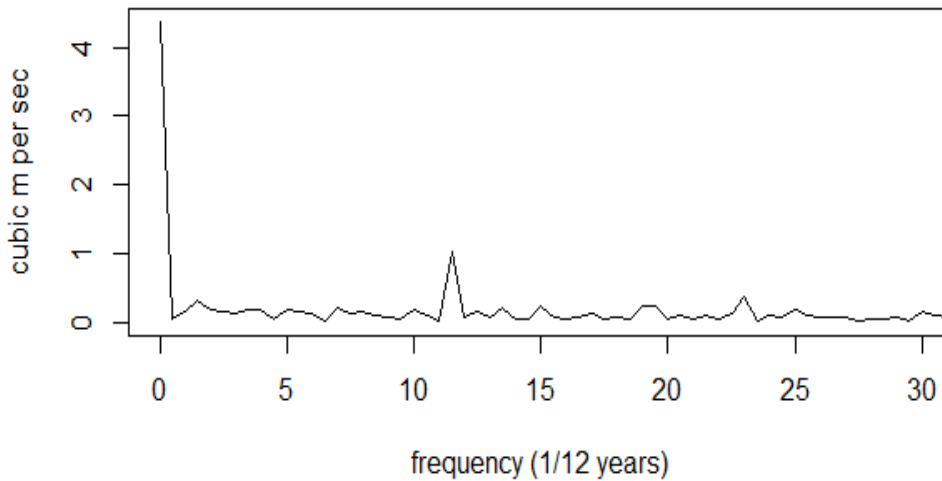


Figura 18 Transformada de Fourier en el Río Yanahurco

Tabla 9 Análisis de la estación H722 Yanahurco

Ranking de frecuencias más fuertes	Frecuencia 1/12 años	Periodo	Comentarios
1	0.96	1 año	Esto significa que este ciclo de 11.5 eventos en 12 años, y existe un periodo de 1 años.
2	1.92	0.5 años	Esto significa que este ciclo de 23 eventos en 12 años, y existe un periodo de cada 0.5 años.

En esta transformada para el Río Yanahurco se observan dos rankings de frecuencias más fuertes o dos eventos durante el periodo de tiempo de estudio, en el cual sus magnitudes están de forma aproximada en los picos generados el primer pico se puede observar 11.5 (Eventos/12 años), la segunda se observa en 23(Eventos/12 años).

### 5.3 ONDELETAS

Como podemos observar en la imagen de ondeletas a la parte de la derecha tenemos el espectro de potencia de ondeletas, entre más alto es la frecuencia indica que es más importante la presencia de una frecuencia, en nuestra señal de datos hidrometeorológicos,

y las líneas negras usualmente marcan donde hay una frecuencia significativa como podemos observar en los siguientes resultados hay algunas que pueden llegar hacer significativas, también vemos que en algunos lugares son más importantes que en otras frecuencias, bueno en las siguientes imagen como podremos ver las frecuencias más bajas están en tonos azules, entonces no es que todas las frecuencias están presentes en todo el tiempo que se realizó la medición hay algunas que están presentes significativamente en algunos periodos de tiempo y esa es precisamente la ventaja de la ondeletas respecto a Fourier, porque Fourier solo nos da la frecuencia en cambio la ondeletas nos da la localización en el tiempo de dichas frecuencias.

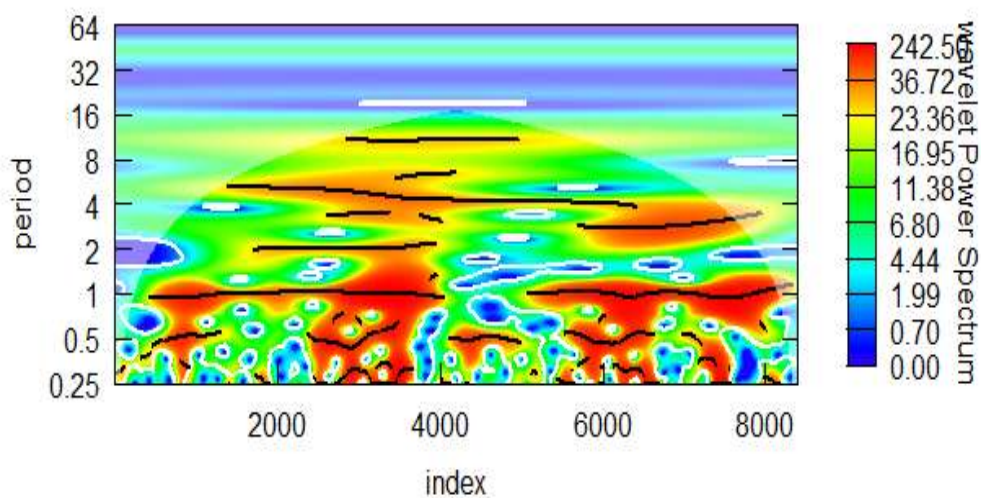


Figura 19 Ondeletas en el Río Cutuchi

Como podemos observar en el eje y tenemos el periodo siendo la inversa de la frecuencia, en de 1 año es bastante dominante, como vemos en el índice de tiempo 4000 a 4500(año 2001,2003) el clima que se comportó un poco diferente porque ahí no fue tan marcada, se puede decir que ese fenómeno regresa cada 1 año, y de ahí también podemos observar que hay algunas otras líneas de frecuencias importantes por ejemplo en la costa normalmente la de 1 año es importante ya que nos indica es el tiempo en la cual que regresa algo, el evento hidrometeorológico, y en el periodo de 2 años en el índice de 2000 a 4000 podemos observar que hay un periodo que regresa cada 2 años.

Tabla 10 Análisis de comparación H789 Cutuchi

Comparación			
	Fourier		Ondeletas
Ranking de frecuencias más fuertes	Frecuencia 1/12 años	Periodo	Comentario
1	0.083	12 años	En el periodo de cada 12 años, obtenido mediante la transformada de Fourier, se observa una línea negra significativa que marca desde el índice de 2400 hasta 5000(año 1997-2004)
2	0.33	3 años	En este periodo de cada 3 años, obtenido mediante la transformada de Fourier, se observa una línea negra significativa que marca desde el índice de 5900 hasta 7900(año 2007-2012)
3	0.46	2 años	En el periodo de cada 2 años, obtenido mediante la transformada de Fourier, se observa una línea negra significativa que marca desde el índice de 2000 hasta 4000(año 1996-2001)
4	0.96	1 año	En el periodo de cada 1 años, obtenido mediante la transformada de Fourier, se observa una línea negra significativa que marca desde el índice de 200 hasta 4000(año 1991-2001) y desde 5010 hasta 8000(año 2004-2012)

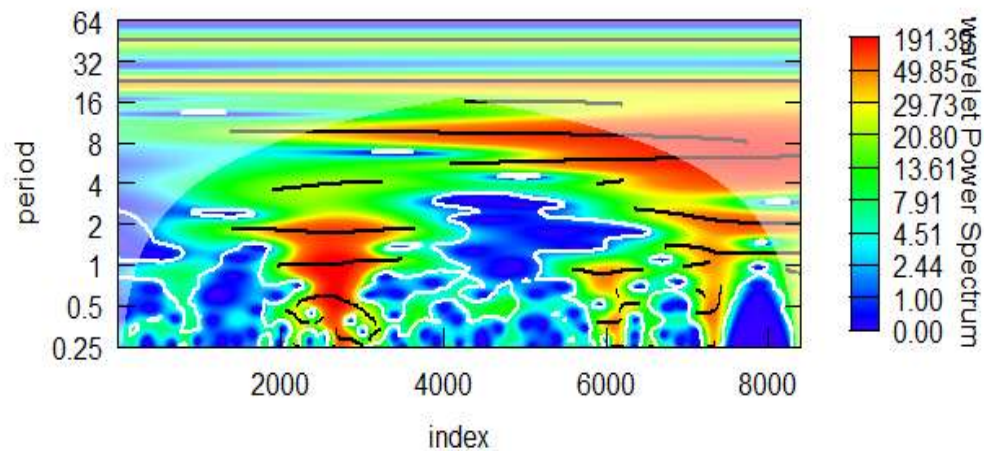


Figura 20 Ondeletas en el Río Pita

Como podemos observar en el periodo de 2 años como vemos en el índice de tiempo desde 1600 al 3800 existe una línea de frecuencia son en los años 1995 al 2001, como podemos observar en el año 2001 al 2002 el clima de nuevo se comporta un poco diferente en el índice de 3800 (año 2003), casi parecida a la cuenca del río cutuchi ese fenómeno regresa cada 2 años, como podemos observar también tenemos en el periodo de 4 años así mismo en el índice de tiempo podemos ver que desde 2000 al 3600 (año 1996 al 2000) existe una línea de frecuencia se puede decir que ese fenómeno regresa cada 4 años.

Tabla 11 Análisis de comparación H158 Pita

Comparación.			
Fourier		Ondeletas.	
Ranking de frecuencias más fuertes	Frecuencia 1/12 años	Periodo	Comentarios
1	0.17	6 años	En el periodo de cada 6 años, obtenido mediante la transformada de Fourier, se observa una línea negra significativa que marca desde el índice de 4000 hasta 7000(año 2001-2010)
2	0.25	4 años	En el periodo de cada 6 años, obtenido mediante la transformada de Fourier, se observa una línea negra significativa que marca desde el índice de 2000 hasta 3600(año 1996-2000)
3	0.54	2 años	En el periodo de cada 2 años, obtenido mediante la transformada de Fourier, se observa una línea negra significativa que marca desde el índice de 1600 a 3800(año 1995-2001) y desde 6100 hasta 8000(año 2007-2012)

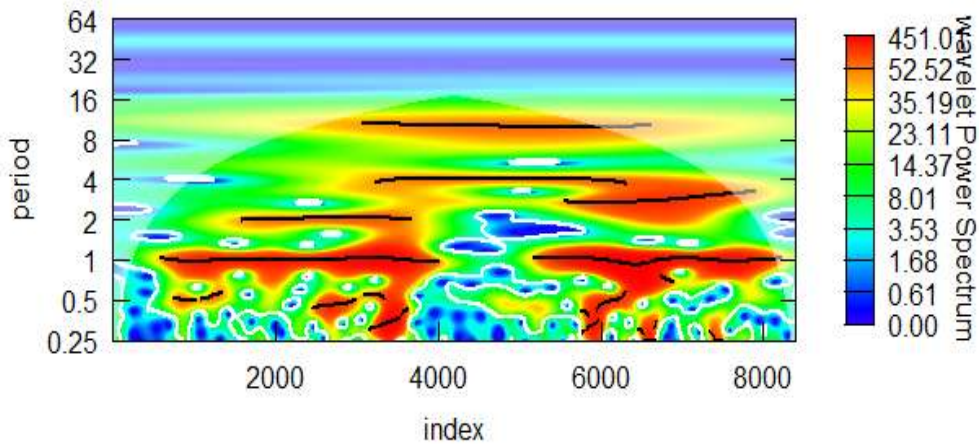


Figura 21 Ondeletas en el Río San Pedro

En el río San Pedro en el periodo de 1 años como vemos en el índice de tiempo desde 1200 a 4000 existe una línea de frecuencia son en los años 1994 al 2001, que la línea de frecuencia es marcada, y también se puede observar que ocurre lo mismo como en la río cutuchi que desde el índice de tiempo 4000 a 4500(año 2001,2003) el clima que se comportó un poco diferente porque ahí no fue tan marcada, se puede decir que ese fenómeno regresa cada 1 año, como podemos observar también tenemos en el periodo de 4 años así mismo en el índice de tiempo podemos ver que desde 3600 al 6100 (año 2000 al 2007) existe una línea de frecuencia se puede decir que ese fenómeno regresa cada 4 años, en el periodo de 0.5 años en el índice de tiempo podemos ver 2200 al 3600 (año 1997 al 2000) se puede observar una pequeña línea de frecuencia eso nos indica que cada 0.5 año regresa ese fenómeno.

Tabla 12 Análisis de comparación H159 San Pedro

Comparación			
Fourier		Ondeletas	
Ranking de frecuencias más fuertes	Frecuencia 1/12 años	Periodo	Comentarios
1	0.083	12 años	En el periodo de cada 12 años, obtenido mediante la transformada de Fourier, se observa una línea negra significativa que marca desde el índice de 3500 hasta 6000(año 200-2007)

2	0.25	4 años	En el periodo de cada 4 años, obtenido mediante la transformada de Fourier, se observa una línea negra significativa que marca desde el índice de 3600 hasta 6100(año 2000-2007)
3	0.33	3 años	En el periodo de cada 3 años, obtenido mediante la transformada de Fourier, se observa una línea negra significativa que marca desde el índice 4700 hasta 7800(año 2003-2012)
4	0.96	1 años	En el periodo de cada 1 años, obtenido mediante la transformada de Fourier, se observa una línea negra significativa que marca desde el índice de 1200 hasta 4000(año 1994-2001) y desde 4500 hasta 8401(año 2003-2013)
5	1.92	0.5 años	En el periodo de cada 0.5 años, obtenido mediante la transformada de Fourier, se observa una línea negra significativa que marca desde el índice de 1300 hasta 1600(año 1994-1995) y de 2200 hasta 3600(año 1997-2000)

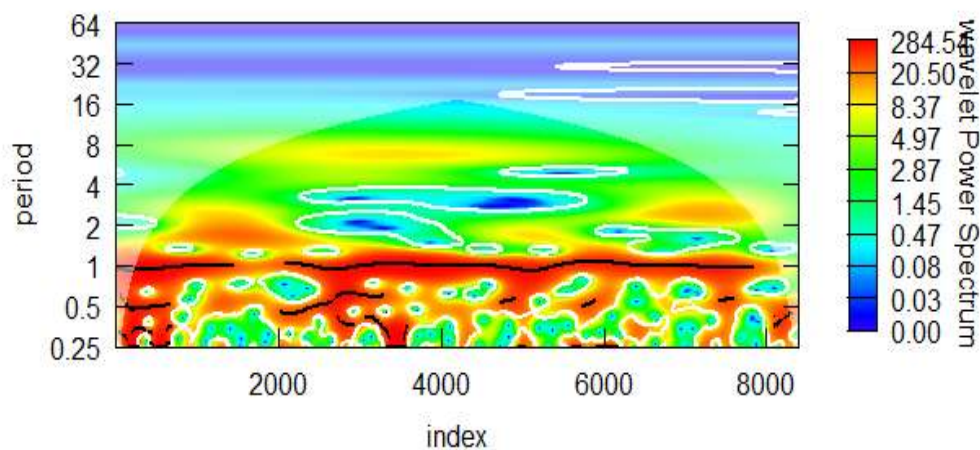


Figura 22 Ondeletas en el Río Yanahurco

En el río Yanahurco en el periodo de 1 años como vemos en el índice de tiempo desde 0 a 1600 existe una línea de frecuencia son en los años 1991 al 1995, que la línea de frecuencia es marcada, y también se puede observar que la línea se desmarca desde 1600 a 2000 (año 1995,1996), de ahí la línea sigue todo recto hasta el índice de tiempo de 7900

(año 2012)., es decir, el fenómeno regresa cada 1 año, en el periodo de 0,5 años podemos observar el índice de tiempo desde 0 a 1300 (año 1994) se observa una línea pequeña que nos dice que el fenómeno así mismo podemos observar que la line se desmarca ciertos índices de tiempo, el fenómeno regresa cada 0,5 años.

Tabla 13 Análisis de comparación H722 Yanahurco

Comparación			
Fourier		Ondeletas	
Ranking de frecuencias más fuertes	Frecuencia 1/12 años	Periodo	Comentarios
1	0.96	1 año	En el periodo de cada 1 años, obtenido mediante la transformada de Fourier, se observa una línea negra significativa que marca desde el índice de 0 hasta 1600(año 1991-1995) y desde 2000 hasta 7900(año 1996-2012)
2	1.92	0.5 años	En el periodo de cada 0.5 años, obtenido mediante la transformada de Fourier, se observa una línea negra significativa que marca desde el índice de 0 hasta 500(año 1991-1992) y desde 2000 hasta 3600(año 1996-2000)

#### 5.4 COMPARACIÓN ENTRE LA TRANSFORMADA DE FOURIER Y ONDELETAS

El estudio en la cuenca del Río Cutuchi, ubicada en la provincia de Cotopaxi, Ecuador, requiere un análisis integral que combine la caracterización geográfica, el sustento técnico de investigaciones previas y el rigor metodológico en el tratamiento de datos, la cuenca se asienta sobre los cantones de Latacunga, Salcedo, Pujilí y Saquisilí, delimitada por las cordilleras Oriental y Occidental de los Andes. Este sistema hídrico, que forma parte de la vertiente del Río Pastaza, presenta un gradiente altitudinal extremo que va desde los 2,500 m.s.n.m. en el valle hasta superar los 5,800 m.s.n.m. en las cumbres del volcán Cotopaxi, lo que condiciona un régimen climático bimodal caracterizado por dos periodos

de precipitaciones intensas y dos de estiaje, el análisis de frecuencias en hidrología permite identificar procesos físicos subyacentes y ciclos climáticos de largo alcance, como los influenciados por el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). En el contexto ecuatoriano, investigaciones previas en los ríos Coca y Toachi demostraron que la Transformada de Fourier permite detectar frecuencias dominantes de aproximadamente 11.50 eventos por cada 12 años, mientras que el análisis de ondeletas evidencia la estacionalidad en escalas temporales más finas. Estos antecedentes subrayan que el comportamiento del Río Cutuchi no es aleatorio, sino que responde a patrones de variabilidad multianual similares a los observados en otras regiones andinas y europeas, donde se han identificado ciclos de entre 2 y 12 años vinculados a oscilaciones atmosféricas globales. Para garantizar la fiabilidad de este análisis espectral, es indispensable asegurar la integridad de las series históricas de caudales, las cuales a menudo presentan vacíos de información por fallas técnicas o eventos climáticos extremos. En este sentido, la metodología de investigación integra dos enfoques de relleno de datos complementarios: el método de la curva de descarga y la imputación mediante aprendizaje estadístico. Por otro lado, el uso de algoritmos modernos como *Random Forest* e implementados en entornos como RStudio, permite manejar la no linealidad de los fenómenos hidrometeorológicos. A diferencia de las regresiones simples, estos modelos de aprendizaje automático capturan relaciones complejas entre variables climáticas y estaciones cercanas, asegurando que el proceso de relleno de datos no distorsione la estructura cíclica de la serie necesaria para la aplicación de la Transformada de Fourier y las Ondeletas, manteniendo así el rigor científico requerido en el análisis de la dinámica fluvial contemporánea.

## **5.5 DISCUSIÓN**

El análisis de las series hidrológicas mediante la Transformada de Fourier y el Análisis de Ondeletas ha permitido caracterizar una dinámica fluvial que trasciende la estadística convencional. Al contrastar los resultados de la sección anterior, la identificación de una frecuencia dominante de 1 evento/año en todas las estaciones (Ranking 4 en Cutuchi y San Pedro) guarda una relación directa con el régimen bimodal de la región interandina, definido por los periodos de precipitación de marzo-mayo y octubre-noviembre.

Sin embargo, la detección de picos secundarios en ciclos de baja frecuencia refuerza la teoría de que la cuenca responde a oscilaciones climáticas de largo alcance. En el Río

Cutuchi y San Pedro, el ciclo de 12 años (Ranking 1) sugiere una fuerte influencia de fenómenos globales como El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), validando lo observado en investigaciones previas en los ríos Coca y Toachi. La ventaja crítica de las ondeletas permitió demostrar que esta variabilidad es episódica y no estacionaria; los núcleos de alta energía localizados entre 1997-1998 y 2008-2010 confirman que la cuenca experimenta pulsos de varianza que deben ser considerados en los modelos de predicción.

Un aspecto relevante es la disparidad en la firma espectral de los afluentes. Mientras que el Río Pita muestra una regulación mayor con ciclos de 6, 4 y 2 años, el Río Yanahurco presenta una respuesta rápida con eventos de alta frecuencia (hasta 23 eventos en 12 años), lo que indica una baja capacidad de regulación y mayor vulnerabilidad ante crecidas súbitas. Finalmente, la efectividad del método *Random Forest* fue crucial en el Río Yanahurco para completar vacíos sin introducir ruido artificial, permitiendo que el análisis espectral conservara una estructura coherente a pesar de las inconsistencias originales de los datos brutos.

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1 CONCLUSIONES**

- En conclusión, se consolidó una base de datos hidrológica estructurada de 23 años (1991-2013) para cuatro estaciones estratégicas, revelando un sistema de alta variabilidad y naturaleza no estacionaria con caudales extremos que superan los 150 m<sup>3</sup>/s en el eje principal. La implementación de técnicas de relleno de datos fue determinante para garantizar la continuidad de la señal, especialmente en las estaciones Pita y Yanahurco.
- La Transformada Discreta de Fourier permitió descomponer la señal compleja en frecuencias dominantes, identificando rankings de recurrencia específicos para cada río. Se determinó que el ciclo anual es el motor de la varianza, pero la existencia de ciclos multianuales (3 a 12 años) evidencia que la cuenca del Cutuchi posee una "memoria" climática vinculada a eventos oceánicos-atmosféricos globales.
- La comparación metodológica demuestra que la gestión de recursos hídricos en el cantón Latacunga no puede depender de un único parámetro regional, sino del diagnóstico individual de sus subcuencas. La integración de Fourier y ondeletas establece un nuevo estándar de precisión para el diseño de obras hidráulicas que deban adaptarse a la variabilidad climática contemporánea.

## 6.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda a los organismos técnicos y de planificación territorial, integrar las técnicas de Fourier y Ondeletas en sus protocolos de monitoreo hídrico, siendo que estas permiten superar las limitaciones de los modelos estadísticos tradicionales y proporcionan una visión dinámica a la periodicidad de los eventos extremo.
- Es imperativo que el manejo de datos hidrométricos priorice la continuidad y calidad de los registros de nivel y caudal, implementando el uso de algoritmos avanzados para obtener series continuas o rellenadas, manteniendo una coherencia física y espectral necesaria para la identificación de los ciclos climáticos.
- Se recomienda que futuras investigaciones utilicen los núcleos de alta energía mediante el análisis de ondeletas para establecer correlaciones directas con registros históricos de daños socioeconómicos, para así tener la posibilidad de calibrar umbrales críticos de alerta temprana que protejan no tan solo la seguridad hídrica sino también las infraestructuras del sector.

## 7. REFERENCIAS

- [1] Susana Mirassou, “La Gestión Integral de los Recursos Hídricos: Aportes a un desarrollo conceptual para la gobernabilidad del agua.,” 2009.
- [2] Glenda Vanessa Chiles Arévalo, “Caracterización de la variabilidad climática de la cuenca hidrográfica del río Mira en el período 1981-2010, con base en la información hidrometeorológica disponible,” Universidad Andina Simón Bolívar, Quito, 2020.
- [3] Henry Pacheco, Argenis Montilla, Williams Méndez, María Hipatia Delgado, and Diana Zambrano, “Causes and consequences of the extraordinary rainfall of 2017 on the Ecuadorian coast: The case of the province of Manabí,” *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, vol. 48, no. 2, pp. 45–70, 2019, doi: 10.25268/bimc.invemar.2019.48.2.766.
- [4] Ali Saremi, Mohammad Karimi, Hosein Sedghi, Amin Rouzbahani, and Amin Saremi, “Simulation of River Flow Using Fourier Series Models,” 2011.

- [5] Daniel Jaramillo Chamba and Luis Chuquimarca Jiménez, “Comprehensive study of the Discrete Fourier Transform for the analysis of digital signals,” *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, vol. 9, no. 1, pp. 75–84, Jun. 2022, doi: 10.26423/rctu.v9i1.664.
- [6] Edgar Serna, “Investigación formativa en Ingeniería,” *Instituto Antioqueño de Investigación*, no. 978-958-52333-5–5, 2020, doi: 10.5281/zenodo.4031253.
- [7] Jimmy Cortés, Francisco Medina, and José Chaves, “Del análisis de Fourier a las Wavelets,” *Scientia et Technica Año XIII*, vol. 34, no. 0122–1701, pp. 151–156, May 2007.
- [8] Sacha Coya Tamba Alba, “Simulación de escenarios futuros de disponibilidad de agua bajo escenarios de cambio climático y condiciones observadas en el pasado,” Jul. 2024.
- [9] Patrik Sleziak, Kamila Hlavčová, and Ján Szolgay, “Advantages Of A Time Series Analysis Using Wavelet Transform As Compared With A Fourier Analysis,” *Slovak Journal of Civil Engineering*, vol. 23, no. 2, pp. 30–36, Jun. 2015, doi: 10.1515/sjce-2015-0010.
- [10] Blanca Beltrán and Alexander Mera, “Determinación de frecuencias de eventos hidrológicos con la transformada de Fourier y Ondeletas en la cuenca del Río Coca,” Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, 2025.
- [11] Edwin Cuzco and Kevin Iza, “Dinámica temporal de los datos hidrológicos, utilizando el análisis de Fourier y ondeletas en la cuenca del Río Toachi, provincia de Cotopaxi,” Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, 2024.
- [12] Ramiro Trajano Fernández-Zambrano, Verónica Paulina Freire-Andrade, and Jorge Iván Razo-Castillo, “Water Resources in Latacunga Canton Urban Zone (Cotopaxi-Ecuador),” *CIYA*, vol. 7, no. 2953–6588, pp. 58–70, 2023.
- [13] Cynthia Vaca, “Caracterización hidrometeorológica y estimación del balance hídrico de la cuenca del Río Cutuchi,” Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2022.

- [14] Lucia Castillo, “Análisis de las brechas de implementación del modelo normativo de gobernanza del agua en Ecuador. Estudio de caso de la subcuenca del río Cutuchi,” Universidad Central del Ecuador, Quito, 2022.
- [15] Subsecretaria de Riego y Drenaje, “plan nacional de riego y drenaje 2011 - 2026,” Nov. 2011.
- [16] Sean W. Fleming, A. Marsh Lavenue, Alaa H. Aly, and Alison Adams, “Practical applications of spectral analysis of hydrologic time series,” *Hydrol. Process.*, vol. 16, no. 2, pp. 565–574, Feb. 2002, doi: 10.1002/hyp.523.
- [17] T. I. Andrés García-Muñoz, “Seasonality analysis of the flow rate and the dynamics of the river regime: Application to the Guayllabamba river,” vol. 6, no. 6, pp. 24–39, 2021, doi: 10.23857/pc.v6i6.2740.
- [18] Marvin Quesada, “Análisis cronológico de la precipitación anual y estacional en las ciudades de Naranjo, Palmares y San Ramón, Costa Rica,” *Revista Universitaria de Geografía*, vol. 14, no. 0326–8373, pp. 85–100, 2005, [Online]. Available: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=383239391005>
- [19] Román Castillo-Ruíz, José Castillo-Archila, Elizabeth Alemán-Castillo, Octelina Castillo-Ruiz, and Gabriela Trejo-Díaz, “Alternatives for the use of cuajilote (*Parmentiera edulis*): an underutilized agro-industrial species,” *CienciaUAT*, pp. 123–138, Jul. 2022, doi: 10.29059/cienciauat.v17i1.1635.
- [20] Dannys Paola Hernández Morales, Yorlenys Romaña Torres, Alfredo Jaramillo-Vélez, Josep Pelegri, and Vladimir Toro, “Surface circulation patterns above the coastal shelf between El Uno bay and Las Vacas spit, Gulf of Urabá, Colombian Caribbean,” *Bulletin of Marine and Coastal Research*, vol. 50, no. 2, pp. 9–30, 2021, doi: 10.25268/bimc.invemar.2021.50.2.993.
- [21] Byron Corrales, Luis Jaya, Jimmy Vaca, and Xiomara Zambrano, “Control system for a cacao drying process: case study cylindrical dryer,” *In International Conference on Science, Technology and Innovation for Society*, pp. 71–80, 2023.
- [22] A. Manzur and J. Cardoso, “Velocidad de evaporación del agua,” *Revista Mexicana de Física*, vol. 61, pp. 31–34, 2015.

- [23] Randon Ortiz and Maritza Chile, “Métodos de cálculo para estimar la evapotranspiración de referencia para el Valle de Tumbaco,” *Siembra*, vol. 7, no. 1, pp. 070–079, May 2020, doi: 10.29166/siembra.v7i1.1450.
- [24] Jaime Rivera Zamarripa, Irineo Lorenzo López Cruz, José Alfredo Castillo Salazar, and José Armando Ramírez Arias, “A Comparison of Three Transpiration Models in a Tomato Crop Grown Under Greenhouse Conditions,” *Terra Latinoamericana*, vol. 31, no. 2395–8030, pp. 9–21, 2013.
- [25] Christian O Díaz-Ovalle, Emmanuel Galván-Ángeles, Erika Ramos-Ojeda, and Florianne Castillo-Borja, “Metodología para el diseño óptimo de evaporadores de película descendente,” *Av. cien. ing*, vol. 4, no. 3, pp. 49–61, 2013, [Online]. Available: [http://www.exeedu.com/publishing.cl/av\\_cienc\\_ing/49](http://www.exeedu.com/publishing.cl/av_cienc_ing/49)
- [26] SENAMHI, “Manual de georeferenciación y nivelación de la cota cero en estaciones hidrométricas,” 2019.
- [27] Ramiro Marbello Pérez, “Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica,” Medellín, 2005.
- [28] Carlos Gutiérrez Caiza, *Hidrología básica y aplicada*, 1st ed. Quito, 2014.
- [29] Organización de los Estados Americanos Unidad de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, “Medición de lluvia y nivel de agua de los ríos,” 2001.
- [30] ICC, “Manual de Medición de Caudales,” Guatemala, 2017.
- [31] Juan Julio Ordoñez Gálvez, “¿qué es cuenca hidrológica?,” Lima, 2011.
- [32] Miguel Araque Arellano *et al.*, *Cuencas Hidrográficas*, 1st ed. Quito, 2019.
- [33] Darío Paúl Arias-Muñoz, Roberth Paul Jiménez-Illapa, Jorge Renato Oquendo-Andino, and Jairo Santiago Cabrera-García, *REPORTE DE SALUD AMBIENTAL DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO AMBI-ECUADOR*, 1st ed. Ibarra, 2023.
- [34] VIJAY SINGH, *Chow’s Handbook of Applied Hydrology*, 2nd ed. Mcgraw-Hill Education, 2017.

- [35] Iván Ramírez Jiménez, Juan Ramos Gorbeña, and Solange Tuñoque Félix, “Influence of the variable magnetic field of sinusoidal wave of (22-52) khz and of 100 milligauss of magnetic induction on the growth of lactobacillus plantarum used like probiotic in foods,” *Biotempo*, vol. 14, no. 1, pp. 49–55, 2017.
- [36] Steven Smith, “Digital Signal Processors,” in *The Scientist and Engineer’s Guide to Digital Signal Processing*, 1997, ch. 28, pp. 503–534.
- [37] Gerald. Kaiser, *A friendly guide to wavelets*. Birkhäuser, 2011.
- [38] Cristófer Altamirano Espinel and Pablo Fernando Carrillo Freire, “Comparación de técnicas de relleno de datos faltantes de variables meteorológicas en la provincia de Chimborazo,” Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2023.
- [39] Xavier Román Ávila and Luis Román Sanmartín, “Diseño hidrológico para el embalse ‘Tres Piedras’, ubicado en el cantón San Fernando de la provincia del Azuay,” Universidad del Azuay, Cuenca, 2025.
- [40] David Carrera *et al.*, “Manual básico de RStudio aplicado a información levantada en estaciones meteorológicas,” May 2022. doi: <https://orcid.org/0000-0001-7648-5356>.
- [41] Luca Congedo, “Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS,” Aug. 2021. doi: <https://doi.org/10.21105/joss.03172>.
- [42] Daniel Cauas, “Definición de las variables, enfoque y tipo de investigación,” Bogota, 2015.
- [43] Luis Cáceres-Silva, “¿Ecuador está preparado para enfrentar y reducir los impactos de las variaciones naturales y antropogénicas del sistema climático?,” *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, vol. 16, no. 2, pp. 163–168, Jul. 2023, doi: [10.29166/revfig.v16i2.4847](https://doi.org/10.29166/revfig.v16i2.4847).
- [44] Bouden Toufik and Nibouche Mokhtar, *Advances in Wavelet Theory and Their Applications in Engineering, Physics and Technology*, vol. 17. InTech, 2012.

- [45] Antonio Moreno Jiménez, “Modelización cartográfica de densidades mediante estimadores Kernel’,” *Treballs de la Societat catalana de Geografia*, pp. 155–170, 1991.
- [46] Nisrine Sqalli and Samy Lahlou, “Fourier Analysis : The Catalyst of Modern Analysis,” 2010.
- [47] Arup K Sarma, Vijay P Singh, Suresh A Kartha, and Rajib K Bhattacharjya Editors, “Urban Hydrology, watershed management and socio-economic aspects,” *Water Science and Technology Library*, vol. 73, pp. 241–253, 2016, [Online]. Available: <http://www.springer.com/series/6689>
- [48] Michael X Cohen, “A better way to define and describe Morlet wavelets for time-frequency analysis,” Aug. 2018, doi: 10.1101/397182.
- [49] Karlton Wirsing, “Time Frequency Analysis of Wavelet and Fourier Transform,” in *Wavelet Theory*, IntechOpen, 2021. doi: 10.5772/intechopen.94521.

## 8. ANEXOS

### Anexo A.1. Niveles medios diarios (cm)

H792		CUTUCHI AJ YANAYACU											INAMHI
DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	
1	49	48	50	71	60	78	113	80	49	58	48	64	
2	53	49	51	68	58	75	92	77	51	66	63	62	
3	50	47	53	69	59	68	88	71	50	71	53	61	
4	72	55	53	56	59	69	77	87	48	58	50	65	
5	69	49	55	57	69	56	66	55	47	55	65	67	
6	85	48	115	55	65	53	68	56	48	53	64	71	
7	52	46	73	54	63	55	83	53	45	53	66	64	
8	51	45	69	53	60	50	91	63	48	51	63	58	
9	51	43	61	55	59	53	80	60	48	53	78	56	
10	48	42	102	58	57	52	75	58	43	52	75	57	
11	48	42	100	58	58	59	79	80	41	51	78	54	
12	47	42	98	65	57	47	81	59	39	48	100	52	
13	46	43	88	64	55	45	74	52	38	47	85	52	
14	45	44	77	74	55	47	71	61	39	48	83	53	
15	46	45	70	75	55	47	66	52	47	45	83	95	
16	47	50	74	73	56	50	68	54	47	42	83	53	
17	45	45	64	81	60	51	64	54	49	43	73	47	
18	45	45	69	72	59	53	59	55	46	44	70	48	
19	44	46	85	65	96	48	65	57	44	42	64	44	
20	42	57	86	64	85	48	67	58	47	41	62	48	
21	41	58	83	67	79	48	69	60	47	43	64	46	
22	39	51	66	61	78	50	72	65	50	44	70	48	
23	41	50	85	62	90	57	67	63	49	45	68	50	
24	47	105	94	70	88	65	61	37	47	50	79	56	
25	53	79	77	72	73	66	59	56	46	55	105	59	
26	51	73	88	69	76	57	57	52	48	50	95	62	
27	49	59	85	72	73	50	53	48	48	47	76	60	
28	60	51	78	72	69	68	53	50	63	45	71	58	
29	59	82	82	71	67	68	54	60	65	46	67	56	
30	56	82	67	67	70	110	50	57	57	48	63	54	
31	63	80	80	65	65	49	49	48	47	47	49	49	
Nivel Max	74	110	160	89	100	146	120	80	66	74	110	120	
Dia	4	24	6	23	23	30	1	1	29	3	25	15	
Hora	17	7	17	7	17	17	7	7	7	7	7	7	
Nivel Min	38	43	50	50	52	44	48	46	38	40	45	42	
Dia	22	11	1	8	13	13	30	27	13	20	1	19	
Hora	17	7	7	17	17	17	17	17	7	17	17	17	
Nivel Medio	51	52	78	66	67	58	70	59	48	49	72	57	

NOTA: \* DATO LIMNIMETRICO

### Anexo B.1 Caudales medios diarios (m3/s)

H792		CUTUCHI AJ YANAYACU											Area Drenaje:2018Km2	INAMHI
DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.		
1	3.172	3.021	3.394	7.823	5.202	8.899	25.357	10.314	3.244	4.791	3.035	6.069		
2	3.812	3.244	3.554	6.909	4.802	9.003	14.930	9.527	3.573	4.422	5.740	5.625		
3	3.318	2.852	3.883	7.296	4.991	7.027	13.334	7.798	3.403	7.823	3.903	5.403		
4	8.080	4.232	3.883	4.991	4.895	7.296	7.968	6.793	3.102	4.802	3.394	6.314		
5	6.891	3.244	4.232	4.622	4.622	7.272	4.422	6.536	4.252	2.970	4.232	6.314		
6	6.173	3.102	35.912	4.252	6.291	3.812	7.027	4.422	3.102	3.812	6.069	7.823		
7	3.723	2.743	8.382	3.972	5.836	4.252	11.521	3.903	2.730	3.903	6.536	6.069		
8	3.477	2.678	7.272	3.903	5.191	3.403	14.690	5.858	3.102	3.554	5.740	5.055		
9	3.554	2.422	5.422	4.252	4.991	3.903	10.561	5.202	3.102	3.723	6.899	4.802		
10	3.093	2.298	20.794	4.802	4.601	3.752	8.951	4.802	2.439	3.723	9.003	4.601		
11	3.021	2.298	18.477	4.711	4.802	4.991	10.155	5.202	2.182	3.554	8.848	4.063		
12	2.952	2.298	17.334	6.314	4.601	2.952	10.638	5.119	1.959	3.102	18.866	3.723		
13	2.811	2.422	13.334	6.069	4.252	2.678	8.682	3.723	1.851	2.952	12.289	3.723		
14	2.678	2.546	9.527	8.682	4.252	2.952	7.623	5.534	1.959	3.093	11.338	3.883		
15	2.819	2.695	7.405	8.951	4.232	2.952	8.536	5.713	2.970	2.678	11.493	18.638		
16	2.885	3.403	8.495	8.425	4.453	3.432	7.027	4.016	2.952	2.306	11.577	3.903		
17	2.678	2.678	5.951	10.893	5.202	3.573	6.103	4.093	3.244	2.439	8.374	2.952		
18	2.811	2.678	7.272	8.117	4.991	3.903	6.536	4.252	3.093	2.554	7.541	3.028		
19	2.546	2.811	12.028	6.314	17.555	3.102	8.288	4.822	2.554	2.306	6.069	2.554		
20	2.298	4.601	12.624	6.069	12.289	3.102	6.770	4.802	2.952	2.182	5.625	3.102		
21	2.182	4.791	11.521	5.625	10.236	3.095	7.272	5.202	2.952	2.422	6.069	2.819		
22	1.959	3.554	12.624	5.403	9.888	3.432	8.117	6.314	3.403	2.554	7.541	3.102		
23	2.182	3.394	12.289	11.315	14.477	4.510	6.770	5.858	3.244	2.695	7.027	3.403		
24	2.885	21.073	15.898	7.639	13.555	6.291	5.403	4.601	2.952	3.403	10.155	4.422		
25	3.903	10.155	9.593	8.095	8.374	8.536	4.991	4.802	2.819	4.252	21.073	4.991		
26	3.554	6.374	17.935	7.272	9.272	4.726	4.601	3.723	3.102	3.403	16.290	5.625		
27	3.355	4.991	12.289	8.117	8.374	3.394	3.883	3.102	5.836	2.970	9.077	5.202		
28	5.191	3.554	9.699	8.117	7.272	7.027	3.812	3.394	5.858	2.895	7.798	4.802		
29	4.991	11.200	7.823	6.793	7.823	7.027	4.063	5.106	6.314	2.819	6.770	4.422		
30	4.453	11.200	6.793	7.541	27.657	3.403	4.601	4.601	3.102	5.836	4.063	4.063		
31	5.858	10.382	6.360	6.360	6.360	3.244	3.102	3.244	2.970	2.970	3.244	3.244		
Caudal Máx.	8.630	23.669	64.285	13.707	18.477	44.837	29.747	10.478	7.014	8.630	23.669	29.747		
Dia	4	24	6	23	23	30	1	1	29	3	25	15		
Hora	17	7	17	7	17	17	7	7	7	7	7	7		
Caudal Min.	1.851	2.297	3.394	3.394	3.713	2.545	3.093	2.810	1.851	2.066	2.875	2.297		
Dia	22	11	1	8	13	13	30	27	13	20	1	19		
Hora	17	7	7	17	17	17	17	17	7	17	17	17		
Caudal Medio	3.648	4.223	11.089	6.765	7.188	5.463	8.187	5.153	3.252	3.394	8.670	4.974		

NOTA: \*CALCULADO CON DATOS LIMNIMETRICOS

**Anexo B. 2. Recolección de datos hidrológicos de las estaciones en el periodo de estudio**

Dia	Años de 1991-2013							
	H792		H158		H159		H722	
	Caudales (m3/s)	Niveles (m)	Caudales (m3/s)	Niveles (m)	Caudales (m3/s)	Niveles (m)	Caudales (m3/s)	Niveles (m)
1	3.172	49	NA	NA	1.742	53	1.168	95
2	3.812	53	NA	NA	1.457	50	0.997	92
3	3.318	50	NA	NA	1.643	52	0.916	91
4	8.08	72	NA	NA	1.643	52	0.921	91
5	6.891	69	NA	NA	1.457	50	1.034	93
6	6.173	65	NA	NA	1.457	50	0.77	89
7	3.723	52	NA	NA	1.845	54	1.034	93
8	3.477	51	NA	NA	1.898	55	1.009	92
9	3.554	51	NA	NA	1.845	54	1.098	94
10	3.093	49	NA	NA	1.742	53	0.921	91
11	3.021	48	NA	NA	2.067	56	0.857	90
12	2.962	47	NA	NA	2.481	59	0.982	92
13	2.811	46	NA	NA	1.643	52	0.857	90
14	2.678	45	NA	NA	1.742	53	0.797	89
15	2.819	46	NA	NA	1.643	52	0.797	89
16	2.885	47	NA	NA	1.643	52	0.741	88
17	2.678	45	NA	NA	1.742	53	0.714	88
18	2.811	45	NA	NA	1.845	54	0.714	88
19	2.546	44	NA	NA	1.845	54	1.613	101
20	2.299	42	NA	NA	2.063	56	0.714	88
21	2.182	41	NA	NA	1.845	54	0.689	87
22	1.959	39	NA	NA	2.128	57	0.0662	87
23	2.182	41	NA	NA	1.845	54	1.778	103
24	2.885	47	NA	NA	1.643	52	1.906	105
25	3.903	53	NA	NA	2.12	57	2.043	106
26	3.554	51	NA	NA	2.063	56	2.131	107
27	3.355	49	NA	NA	2.063	56	2.14	107
28	5.191	60	NA	NA	2.007	56	2.329	109
29	4.991	59	NA	NA	1.952	55	2.14	107
30	4.453	56	NA	NA	1.898	55	1.822	104
31	5.858	63	NA	NA	1.845	54	0.689	87
32	3.021	48	NA	NA	1.845	54	0.741	88
33	3.244	49	NA	NA	1.845	54	0.714	88
34	2.952	47	NA	NA	1.954	55	0.741	88
35	4.232	55	NA	NA	2.237	58	0.741	88
36	3.244	49	NA	NA	2.063	56	0.662	87
37	3.102	48	NA	NA	2.007	56	0.612	86

38	2.743	46	NA	NA	1.952	55	0.588	85
39	2.678	45	NA	NA	1.845	54	0.541	84
40	2.422	43	NA	NA	1.845	54	0.541	84
41	2.298	42	NA	NA	1.793	54	0.541	84
42	2.298	42	NA	NA	1.742	53	0.541	84
43	2.298	42	NA	NA	1.793	54	0.588	85
44	2.442	43	NA	NA	1.845	54	0.589	85
45	2.546	44	NA	NA	1.898	55	0.569	85
46	2.695	45	NA	NA	1.952	55	0.541	84
47	3.403	50	NA	NA	1.898	55	0.518	84
48	2.678	45	NA	NA	1.954	55	0.989	87
49	2.678	45	NA	NA	2.178	57	1.045	93
50	2.611	46	NA	NA	2.237	58	1.786	103
51	4.601	57	NA	NA	2.12	57	2.228	108
52	4.791	58	NA	NA	2.007	56	1.994	106
53	3.554	51	NA	NA	1.898	55	1.385	98
54	3.394	50	NA	NA	1.793	54	1.418	99
55	21.073	105	NA	NA	1.693	53	1.418	99
56	10.155	79	NA	NA	1.643	52	1.381	98
57	8.374	73	NA	NA	1.643	52	1.309	97
58	4.991	59	NA	NA	1.693	53	1.237	96
59	3.554	51	NA	NA	1.845	54	1.134	95
60	3.394	50	NA	NA	NA	NA	1.381	98
61	3.554	51	NA	NA	NA	NA	1.381	98
62	3.883	53	NA	NA	NA	NA	1.533	100
63	3.883	53	NA	NA	NA	NA	1.653	102
64	4.232	55	NA	NA	NA	NA	1.309	97
65	35.912	115	NA	NA	NA	NA	1.272	97
66	8.382	73	NA	NA	NA	NA	1.418	99
67	7.272	69	NA	NA	NA	NA	1.472	99
68	5.424	61	NA	NA	NA	NA	1.616	101
69	20.794	102	NA	NA	NA	NA	2.087	107
70	18.477	100	NA	NA	NA	NA	2.676	113
71	17.334	98	NA	NA	NA	NA	3.221	118
72	13.334	84	NA	NA	NA	NA	2.676	113
73	9.527	77	NA	NA	NA	NA	1.663	104
74	7.405	70	NA	NA	NA	NA	1.613	101
75	8.495	74	NA	NA	NA	NA	1.418	99
76	5.951	64	NA	NA	NA	NA	1.309	97
77	7.272	69	NA	NA	NA	NA	1.169	95
78	12.026	85	NA	NA	NA	NA	0.741	88
79	12.624	86	NA	NA	NA	NA	0.824	90
80	11.521	83	NA	NA	NA	NA	1.274	97
81	12.624	86	NA	NA	NA	NA	1.168	95
82	12.289	85	NA	NA	NA	NA	1.381	98

83	15.898	94	NA	NA	NA	NA	1.193	95
84	9.553	77	NA	110	NA	NA	1.533	100
85	17.935	98	NA	114	NA	NA	1.533	100
86	12.289	85	NA	112	NA	NA	1.418	99
87	9.699	78	NA	105	NA	NA	1.381	98
88	11.2	82	NA	104	3.106	64	1.168	95
89	11.2	82	NA	104	2.96	63	1.101	94
90	10.382	80	NA	102	2.818	62	1.202	120
91	7.823	71	NA	103	2.297	58	1.169	95
92	6.909	68	NA	102	2.237	58	1.101	94
93	7.296	69	NA	101	2.297	58	1.037	93
94	4.991	56	NA	101	2.063	56	1.004	93
95	4.622	57	NA	101	2.297	58	1.037	93
96	4.252	55	NA	100	2.178	57	1.134	95
97	3.972	54	NA	100	2.178	57	1.134	95
98	3.903	53	NA	99	2.297	58	1.168	95
99	4.252	55	NA	100	2.549	60	1.418	99
100	4.802	58	NA	100	3.258	65	1.418	99
101	4.711	58	NA	100	1.845	54	1.241	96
102	6.314	65	NA	100	3.051	63	1.238	96
103	6.06	64	NA	102	2.818	62	1.169	95
104	8.682	74	NA	104	2.818	62	1.237	96
105	8.951	75	NA	103	2.818	62	1.309	97
106	8.425	73	NA	108	2.549	60	1.309	97
107	10.893	81	NA	103	2.818	62	1.418	99
108	8.117	72	NA	103	2.818	62	1.533	100
109	6.314	65	NA	102	2.818	62	1.533	100
110	6.069	64	NA	100	2.549	60	1.975	105
111	5.625	62	NA	100	2.297	58	1.951	105
112	5.403	61	NA	101	2.297	58	1.495	100
113	11.315	82	NA	104	2.297	58	1.495	100
114	7.639	70	NA	105	2.297	58	3.882	123
115	8.095	72	NA	108	2.297	58	6.309	140
116	7.272	69	NA	105	2.178	57	1.735	103
117	8.117	72	NA	102	2.421	59	1.694	102
118	8.117	72	NA	102	2.818	62	1.786	103
119	6.793	71	NA	101	2.818	62	1.82	104
120	7.541	67	NA	100	2.96	63	1.735	103
121	5.202	60	NA	100	2.681	61	1.694	102
122	4.802	59	NA	100	2.996	63	1.612	101
123	4.991	59	NA	100	2.818	62	1.573	101
124	4.895	59	NA	100	2.818	62	1.612	101
125	7.272	69	NA	100	3.106	64	1.533	100
126	6.291	65	NA	100	2.549	60	1.533	100
127	5.836	63	NA	100	2.549	60	1.533	100

128	5.191	60	NA	99	4.027	67	1.735	103
129	4.991	59	NA	99	3.202	64	1.862	104
130	4.601	57	NA	99	2.549	60	2.777	114
131	4.802	58	NA	105	2.549	60	2.498	111
132	4.601	57	NA	103	2.421	59	1.906	105
133	4.252	55	NA	100	2.297	58	1.82	104
134	4.252	55	NA	100	2.421	59	1.906	105
135	4.232	55	NA	101	2.297	58	1.908	105
136	4.453	56	NA	100	2.297	58	2.131	107
137	5.202	60	NA	103	2.297	58	1.966	105
138	4.991	59	NA	104	2.681	61	2.224	108
139	17.555	96	NA	118	2.818	62	1.994	108
140	12.289	85	NA	103	2.818	62	1.996	106
141	10.238	79	NA	102	2.549	60	1.906	105
142	9.888	78	NA	101	2.549	60	1.694	102
143	14.477	90	NA	100	2.681	61	1.777	103
144	13.555	88	NA	105	3.43	66	1.694	102
145	8.374	73	NA	101	3.258	65	1.694	102
146	9.272	76	NA	100	2.818	62	1.653	102
147	8.374	73	NA	101	2.818	62	1.533	100
148	7.272	69	NA	100	2.681	61	1.698	102
149	6.793	67	NA	100	2.549	60	1.694	102
150	7.541	70	NA	104	2.421	59	1.653	102
151	6.36	65	NA	104	2.397	59	1.694	102
152	9.699	78	NA	104	2.421	59	1.533	100
153	9.003	75	NA	104	2.421	59	1.533	100
154	7.027	60	NA	102	2.297	58	1.959	105
155	7.296	66	NA	102	2.297	58	2.039	106
156	4.422	56	NA	100	2.697	61	1.862	104
157	3.812	53	NA	100	2.297	58	1.735	103
158	4.252	55	NA	100	2.297	58	1.694	102
159	3.403	50	NA	100	2.297	58	1.866	104
160	3.903	53	NA	102	2.297	58	1.737	103
161	3.752	52	NA	100	2.063	56	1.82	104
162	4.991	59	NA	100	2.063	56	1.653	102
163	2.952	47	NA	98	2.421	54	1.653	102
164	2.676	45	NA	98	1.845	54	1.533	100
165	2.962	47	NA	99	2.063	56	1.533	100
166	2.952	47	NA	99	1.882	55	1.613	101
167	3.432	50	NA	100	1.845	54	1.533	100
168	3.573	51	NA	102	2.063	56	1.776	103
169	3.903	53	NA	101	1.845	54	1.908	105
170	3.102	48	NA	100	1.845	54	1.862	104
171	3.102	48	NA	100	1.845	54	1.866	104
172	3.095	48	NA	99	1.845	54	1.963	104

173	3.432	50	NA	98	1.845	54	1.778	103
174	4.51	57	NA	98	1.845	54	2.32	109
175	6.291	65	NA	101	1.952	55	2.518	111
176	6.538	6	NA	103	1.793	54	1.951	105
177	4.726	57	NA	102	1.845	54	1.613	101
178	3.394	50	NA	101	1.845	54	1.866	104
179	7.027	68	NA	106	1.845	54	3.453	120
180	7.027	68	NA	105	1.952	55	3.753	122
181	27.627	110	NA	132	1.845	54	20.062	201
182	25.357	113	NA	127	1.845	54	10.354	162
183	14.93	92	NA	118	1.952	55	8.389	152
184	13.334	77	NA	108	1.845	54	5.992	138
185	7.968	73	NA	106	1.845	54	11.366	158
186	6.536	56	NA	103	1.793	54	20.036	201
187	7.027	68	NA	102	1.89	55	19.603	200
188	11.521	83	NA	NA	1.847	54	12.324	169
189	14.69	91	NA	NA	1.742	53	28.863	219
190	10.561	90	NA	NA	1.742	53	20.036	201
191	8.951	75	NA	NA	1.683	53	17.376	189
192	10.155	79	NA	NA	1.643	52	10.513	163
193	10.838	81	NA	NA	1.643	52	17.666	192
194	8.682	74	NA	NA	1.643	52	10.64	150
195	7.823	71	NA	NA	1.643	52	5.09	132
196	6.536	66	NA	NA	1.643	52	5.056	132
197	7.027	68	NA	NA	1.643	52	5.204	127
198	6.103	64	NA	NA	1.643	52	4.4	127
199	6.636	56	NA	NA	1.643	52	4.607	129
200	6.288	65	NA	NA	1.598	52	4.137	125
201	6.77	67	NA	NA	1.548	51	3.349	117
202	7.272	69	NA	NA	1.548	51	3.817	123
203	8.117	72	NA	NA	1.548	51	4.154	125
204	6.77	67	NA	NA	1.457	50	4.828	130
205	5.403	61	NA	NA	1.457	50	2.721	112
206	4.991	59	NA	NA	1.457	50	2.936	115
207	4.601	57	NA	NA	1.457	50	2.559	111
208	3.883	53	NA	NA	1.457	50	2.945	115
209	3.812	53	NA	NA	1.503	51	2.746	113
210	4.063	54	NA	NA	1.599	52	1.612	101
211	3.403	50	NA	NA	1.693	53	1.612	101
212	3.244	49	NA	NA	1.742	53	1.862	104
213	10.314	80	NA	NA	1.793	54	2.055	106
214	9.527	77	NA	NA	1.845	54	2.518	111
215	7.796	55	NA	NA	1.845	54	2.32	109
216	6.793	54	NA	NA	1.742	53	3.369	119
217	4.252	55	NA	NA	1.742	53	2.676	113

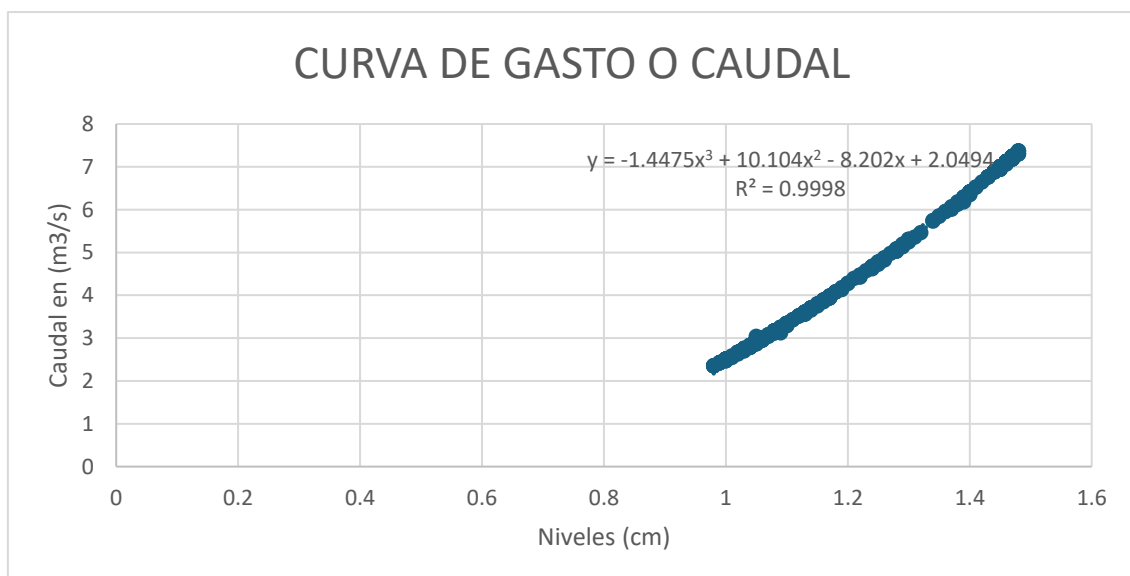
218	4.422	56	NA	NA	1.742	53	2.224	108
219	3.903	53	NA	NA	1.845	54	9.273	153
220	5.858	63	NA	NA	1.793	54	1.457	99
221	5.202	60	NA	NA	1.793	54	2.32	109
222	4.802	59	NA	NA	1.742	53	3.532	170
223	5.202	60	NA	NA	1.742	53	2.443	110
224	5.119	59	NA	NA	1.742	53	1.778	103
225	3.723	52	NA	NA	1.693	53	3.899	123
226	5.534	61	NA	NA	1.643	52	2.622	112
227	5.713	62	NA	NA	1.596	52	2.421	110
228	4.016	54	NA	NA	1.548	51	4.325	126
229	4.093	54	NA	NA	1.457	50	8.484	152
230	4.252	55	NA	NA	1.457	50	3.882	123
231	4.622	57	NA	NA	1.457	50	4.327	127
232	4.802	58	NA	NA	1.457	50	3.7	122
233	5.202	60	NA	NA	1.457	50	3.938	124
234	6.314	65	NA	NA	1.457	50	4.128	125
235	5.856	63	NA	NA	1.457	50	3.938	124
236	4.601	57	NA	NA	1.457	50	4.128	125
237	4.802	58	NA	NA	1.457	50	3.104	117
238	3.723	52	NA	NA	1.457	50	2.32	109
239	3.102	48	NA	NA	1.457	50	1.822	104
240	3.394	50	NA	NA	1.457	50	6.331	140
241	5.106	60	NA	NA	1.457	50	4.327	127
242	4.601	57	NA	NA	1.457	50	3.51	120
243	3.102	48	NA	NA	1.457	50	3.104	117
244	3.244	49	NA	NA	1.457	50	4.664	129
245	3.573	51	NA	NA	1.457	50	6.956	144
246	3.403	57	NA	NA	1.457	50	3.817	123
247	3.102	55	NA	NA	1.369	49	3.104	117
248	2.97	47	NA	NA	1.369	49	2.32	109
249	3.102	48	NA	NA	1.369	49	1.822	104
250	2.73	45	NA	NA	1.369	49	1.533	100
251	3.102	48	NA	NA	1.369	49	1.495	100
252	3.102	40	NA	NA	1.369	49	1.381	98
253	2.439	43	NA	NA	1.369	49	1.741	103
254	2.182	41	NA	NA	1.286	48	2.183	108
255	1.959	39	NA	100	1.315	48	1.613	101
256	1.851	38	NA	100	1.286	48	2.518	111
257	1.959	39	NA	100	1.493	50	2.067	107
258	2.97	47	NA	99	1.55	51	2.319	109
259	2.952	47	NA	99	1.721	52	1.951	105
260	3.244	49	NA	99	1.359	49	1.862	104
261	3.093	48	NA	99	1.293	48	1.862	104
262	2.554	44	NA	99	1.28	48	1.778	103

263	2.952	47	NA	100	1.4	49	1.778	103
264	2.952	47	NA	100	1.42	50	1.695	102
265	3.403	50	NA	100	1.369	49	1.613	101
266	3.244	49	NA	99	1.486	50	1.613	101
267	2.952	47	NA	99	1.349	49	1.573	101
268	2.819	46	NA	99	1.341	49	1.534	100
269	3.102	48	NA	101	1.605	52	1.495	100
270	5.836	63	NA	102	1.584	51	1.495	100
271	5.858	63	NA	102	1.644	52	1.457	99
272	6.314	65	NA	100	1.085	52	1.456	99
273	4.601	57	NA	99	1.731	53	1.495	100
274	4.791	58	NA	99	1.8	54	1.418	99
275	4.422	56	NA	101	1.952	55	1.456	99
276	7.823	61	NA	105	1.985	55	1.495	100
277	4.802	55	NA	100	1.876	54	1.533	100
278	4.232	55	NA	99	1.664	52	1.533	100
279	3.812	53	NA	99	1.742	53	1.533	100
280	3.903	53	NA	98	1.719	53	1.613	101
281	3.554	51	NA	100	1.755	53	1.612	101
282	3.723	52	NA	103	1.742	53	1.612	101
283	3.723	52	NA	100	1.742	53	1.694	102
284	3.554	51	NA	99	1.719	53	1.612	101
285	3.102	48	NA	99	1.742	53	1.694	102
286	2.852	47	NA	99	1.742	53	1.533	100
287	3.093	48	NA	97	1.682	52	1.698	102
288	2.676	45	NA	97	1.398	49	1.573	101
289	2.306	42	NA	98	1.369	49	1.495	100
290	2.439	43	NA	100	1.548	51	1.495	100
291	2.554	44	NA	99	1.548	51	1.741	103
292	2.306	42	NA	99	1.548	51	1.862	104
293	2.162	41	NA	98	1.548	51	1.778	103
294	2.422	43	NA	97	1.413	50	1.695	102
295	2.554	44	NA	96	1.478	50	1.573	101
296	2.695	45	NA	97	1.593	51	1.533	100
297	3.403	50	NA	97	1.452	50	1.533	100
298	4.252	55	NA	97	1.549	51	2.467	111
299	3.403	50	NA	97	1.542	51	2.224	108
300	2.97	47	NA	96	1.79	53	1.951	105
301	2.695	45	NA	96	1.625	54	1.778	103
302	2.819	45	NA	96	2.103	56	1.653	102
303	3.102	48	NA	96	2.178	57	1.573	101
304	2.97	47	NA	96	1.97	55	1.533	100
305	3.035	48	NA	96	2.007	56	1.573	101
306	5.74	63	NA	96	2.047	56	1.456	99
307	3.903	65	NA	97	2.047	56	1.416	99

308	3.394	55	NA	97	2.47	59	1.309	97
309	6.314	55	NA	96	2.553	60	1.237	96
310	6.069	64	NA	97	2.421	59	1.169	95
311	6.536	66	NA	102	2.549	60	1.134	95
312	5.74	63	NA	100	2.421	59	1.101	94
313	9.699	78	NA	102	2.479	60	1.102	94
314	9.003	75	NA	103	2.695	61	1.168	95
315	8.848	78	NA	101	2.858	62	1.237	96
316	18.886	100	NA	102	2.681	61	1.134	95
317	12.269	85	NA	105	2.643	61	1.169	95
318	11.338	83	NA	104	2.549	60	1.202	96
319	11.493	83	NA	101	2.686	61	1.344	98
320	11.577	83	NA	100	2.818	62	1.456	99
321	8.374	73	NA	102	2.818	62	1.951	105
322	7.541	70	NA	101	2.681	61	1.966	105
323	6.069	64	NA	99	2.18	57	2.37	110
324	5.625	62	NA	99	2.359	59	2.039	106
325	6.069	64	NA	101	2.485	60	1.735	103
326	7.541	70	NA	101	2.359	59	1.612	101
327	7.027	68	NA	99	2.297	58	1.533	100
328	10.155	79	NA	98	2.297	58	1.533	100
329	21.073	105	NA	101	2.297	58	2.043	106
330	16.29	96	NA	100	2.489	60	1.698	102
331	9.077	76	NA	99	2.75	62	1.457	99
332	7.798	71	NA	99	2.681	61	1.495	100
333	6.77	67	NA	97	2.75	62	1.456	99
334	5.836	63	NA	97	2.75	62	1.381	96
335	6.069	64	NA	96	2.581	61	1.344	98
336	5.625	62	NA	96	2.615	61	1.381	98
337	5.403	67	NA	96	2.549	60	1.344	99
338	6.314	67	NA	97	2.549	60	1.495	100
339	6.793	67	NA	98	2.549	60	1.533	100
340	7.823	71	NA	98	2.549	60	1.533	100
341	6.069	64	NA	98	2.549	60	1.495	100
342	5.055	59	NA	101	2.549	60	1.495	100
343	4.802	58	NA	100	2.615	61	1.418	99
344	4.601	57	NA	102	2.615	61	1.418	99
345	4.063	54	NA	103	2.683	61	1.272	97
346	3.723	52	NA	101	2.75	62	1.308	97
347	3.723	52	NA	99	2.681	61	1.237	96
348	3.883	53	NA	98	2.549	60	1.202	96
349	18.638	95	NA	102	2.421	59	1.169	95
350	3.903	53	NA	99	2.819	61	1.456	99
351	2.952	47	NA	97	2.75	62	1.495	100
352	3.028	48	NA	97	2.815	61	1.495	100

353	2.554	44	NA	96	2.54	60	1.778	103
354	3.102	48	NA	97	2.549	60	1.994	106
355	2.819	46	NA	99	2.549	60	2.324	109
356	3.102	48	NA	99	2.549	60	2.115	107
357	3.403	50	NA	97	2.421	59	1.533	100
358	4.422	56	NA	98	2.421	59	1.533	100
359	4.991	59	NA	95	2.421	59	1.456	99
360	5.625	62	NA	98	2.421	59	1.418	99
361	5.202	60	NA	96	2.754	62	1.308	97
362	4.802	58	NA	96	3.418	66	1.237	96
363	4.422	56	NA	102	3.741	68	1.237	96
364	4.063	54	NA	106	3.575	67	1.381	98
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
8395	6.099	0.53	NA	NA	2.179	0.39	1.344	1.04
8396	6.34	0.54	NA	NA	2.266	0.4	1.232	1.02
8397	5.696	0.51	NA	NA	2.136	0.39	1.072	0.99
8398	5.032	0.48	NA	NA	2.052	0.38	1.022	0.98
8399	5.311	0.49	NA	NA	2.094	0.38	0.974	0.97
8400	NA	NA	NA	NA	2.011	0.37	0.95	0.96
8401	NA	NA	NA	NA	2.011	0.37	0.998	0.97

### Anexo C. 1. Curva de descarga de la estación de Río Cutuchi



## Anexo C. 2. Datos para la curva de descarga – relleno

Niveles (cm)	Q. relleno (cm)
1.09	3.239
1.15	3.778
1.19	4.158
1.16	3.872
1.1	3.326
1.09	3.239
1.13	3.594
1.14	3.686
1.17	3.966
1.15	3.778
1.14	3.686
1.1	3.326
1.08	3.153
1.11	3.415
1.12	3.504
1.15	3.778
1.23	4.554
1.29	5.176
1.27	4.965
1.19	4.158
1.18	4.062
1.15	3.778
1.12	3.504
1.12	3.504
1.09	3.239
1.08	3.153
1.05	2.901
1.03	2.739
1.03	2.739
1	2.504
1.13	3.594
1.17	3.966
1.17	3.966
1.18	4.062
1.21	4.354
1.22	4.453
1.2	4.255
1.19	4.158
1.15	3.778
1.14	3.686
1.08	3.153
1.05	2.901

1.03	2.739
1.03	2.739
1.03	2.739
1.03	2.739
1.02	2.659
1.02	2.659
1.02	2.659
1.03	2.739
1.07	3.068
1.08	3.153
1.05	2.901
1.03	2.739
1.02	2.659
1.07	3.068
1.05	2.901
1.03	2.739
1.02	2.659
1	2.504
1	2.504
1	2.504
1	2.504
1	2.504
1	2.504
1	2.504
1	2.504
1.03	2.739
1.03	2.739
1	2.504
1	2.504
1	2.504
1.02	2.659
1.03	2.739
1.07	3.068
1.07	3.068
1.08	3.153
1.07	3.068
1.06	2.984
1.04	2.820
1.04	2.820
1.04	2.820
1.04	2.820
1.04	2.820
1.05	2.901
1.06	2.984
1.07	3.068
1.06	2.984



0.98	2.353
0.98	2.353
0.98	2.353
0.98	2.353
0.98	2.353
0.98	2.353
0.97	2.279
0.98	2.353
0.98	2.353
0.97	2.279
0.98	2.353
0.97	2.279
0.97	2.279
0.97	2.279
1.04	2.820
1.06	2.984
1.02	2.659
1	2.504
1.01	2.581
0.99	2.428
1	2.504
1	2.504
1.06	2.984
1.04	2.820
1.04	2.820
1.03	2.739
1.12	3.504
1.04	2.820
1.02	2.659
1	2.504
1.02	2.659
1.03	2.739
0.99	2.428
0.99	2.428
0.99	2.428
0.98	2.353
0.97	2.279
0.98	2.353
0.97	2.279
0.97	2.279
0.96	2.207
0.97	2.279
0.97	2.279
0.97	2.279
0.98	2.353

0.97	2.279
0.97	2.279
0.98	2.353
0.97	2.279
1.01	2.581
1.13	3.594
1.02	2.659
1.02	2.659
1.01	2.581
1.01	2.581
1.1	3.326
1.33	5.608
1.1	3.326
1.02	2.659
1.02	2.659
1.03	2.739
1.02	2.659
0.99	2.428
1	2.504
1	2.504
0.99	2.428
0.99	2.428
1	2.504
1	2.504
1	2.504
1	2.504
0.98	2.353
1	2.504
1	2.504
0.98	2.353
0.97	2.279
0.97	2.279
0.98	2.353
0.97	2.279
0.98	2.353
1	2.504
0.97	2.279
0.97	2.279
0.98	2.353
0.96	2.207
0.99	2.428
0.98	2.353
1.02	2.659
1.01	2.581
0.99	2.428

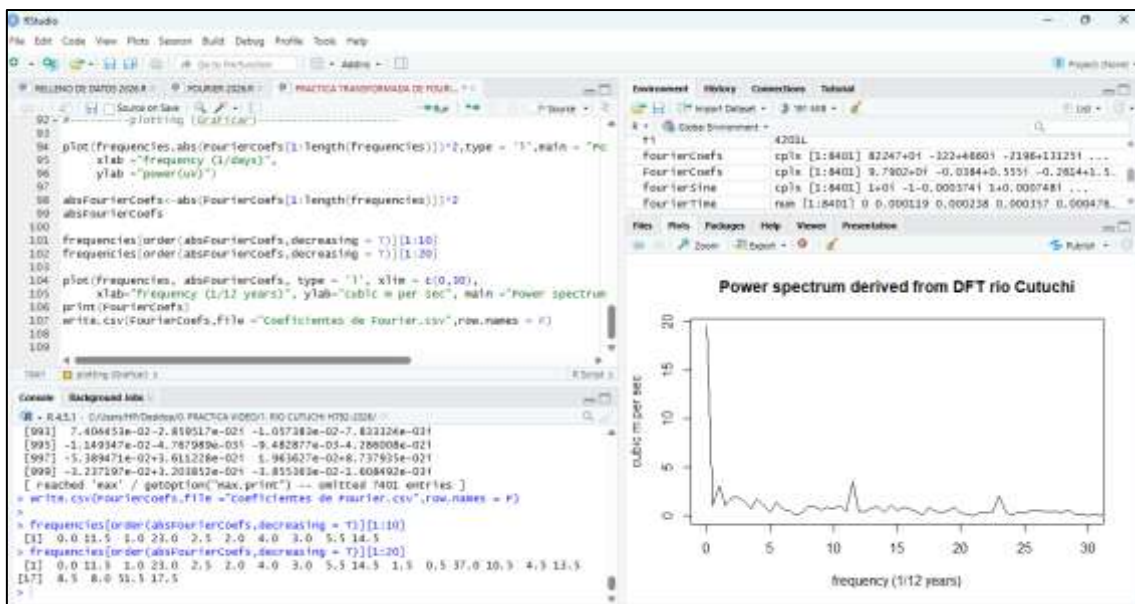
0.97	2.279
0.96	2.207
0.96	2.207
0.97	2.279
0.98	2.353
0.97	2.279
0.97	2.279
0.97	2.279
0.96	2.207
0.97	2.279
0.96	2.207
0.96	2.207
0.97	2.279
0.98	2.353
0.97	2.279
0.97	2.279
0.97	2.279
1.01	2.581
1.09	3.239
1.02	2.659
0.99	2.428
0.97	2.279
0.99	2.428
1.02	2.659
1.01	2.581
1	2.504
1	2.504
1	2.504
0.99	2.428
0.98	2.353
0.98	2.353
0.98	2.353
0.98	2.353
0.98	2.353
0.98	2.353
0.97	2.279
0.97	2.279
0.97	2.279
0.97	2.279
0.97	2.279
0.99	2.428
0.98	2.353
1.05	2.901
1.09	3.239
1.07	3.068

1.06	2.984
1.04	2.820
1.02	2.659
1.02	2.659
1	2.504
1	2.504
1.02	2.659
1	2.504
1	2.504
1.08	3.153
1.08	3.153
1.05	2.901
1.04	2.820
1.03	2.739
1.02	2.659
1.02	2.659
1.02	2.659
1.04	2.820
1	2.504
1.04	2.820
1.04	2.820
1.09	3.239
1.13	3.594
1.17	3.966
1.14	3.686
1.15	3.778
1.12	3.504
1.1	3.326
1.08	3.153
1.08	3.153
1.05	2.901
1.05	2.901
1.05	2.901
1.05	2.901
1.04	2.820
1.04	2.820
1.03	2.739
1.04	2.820
1.04	2.820
1.04	2.820
1.02	2.659
1.02	2.659
1.02	2.659
1	2.504
1	2.504

1.06	2.984
1	2.504
1	2.504
1	2.504
1	2.504
1	2.504
1	2.504
1.07	3.068
1.04	2.820
1.04	2.820
1.03	2.739
1.04	2.820
1	2.504
1.02	2.659
1.03	2.739
1.04	2.820
1	2.504
0.98	2.353
0.98	2.353
1	2.504
1	2.504
1	2.504
1.14	3.686
1.15	3.778
1.15	3.778
1.18	4.062
1.1	3.326
1.09	3.239
1.13	3.594
1.14	3.686
1.17	3.966
1.15	3.778
1.13	3.594
1.1	3.326
1.08	3.153
1.11	3.415
1.12	3.504
1.15	3.778
1.11	3.415
1.07	3.068
1.04	2.820
1.02	2.659
1	2.504
1	2.504
1.03	2.739

1.04	2.820
1.03	2.739
1.07	3.068
1.06	2.984
1.09	3.239
1.08	3.153
1.04	2.820
1.03	2.739

## Anexo D. 1. Procesamiento en el RStudio – Transformada de Fourier



## Anexo E. 1. Procesamiento en el RStudio – Ondeletas

