UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

DETERMINACIÓN DE FRECUENCIAS DE EVENTOS HIDROLÓGICOS CON LA TRANSFORMADA DE FOURIER Y ONDELETAS (WAVELETS) EN LA CUENCA DEL RÍO COCA.

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

AUTORES:

Blanca Lizbeth Beltrán Herrera

Alexander Rene Mera Zurita

TUTOR:

Ing. Andy Miguel Giler Ormaza MS.c

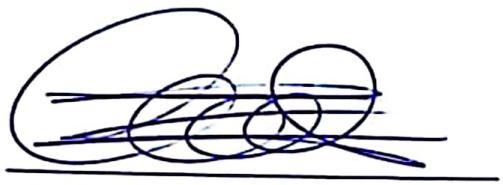
LATACUNGA, FEBRERO, 2025

Latacunga, Febrero 19 del 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Blanca Lizbeth Beltrán Herrera declaro ser autora del proyecto de titulación **"Determinación de Frecuencias de eventos hidrológicos con la transformada de Fourier y Ondeletas (Wavelets) en la cuenca del río Coca"**, siendo el Ing. Andy Miguel Giler Ormaza MSc. tutor del presente trabajo; y exigimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presento trabajo tecnológico, son de nuestra exclusividad responsabilidad.



Blanca Lizbeth Beltrán Herrera

C.C.: 0550252936

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 **BLANCA LIZBETH BELTRÁN HERRERA** identificado con cédula de ciudadanía No.055025293-6 de estado civil soltera , a quien en lo sucesivo se denominará **LA 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. - LA CEDENTE es una persona natural estudiante de la carrera de Hidráulica, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **"DETERMINACIÓN DE FRECUENCIAS DE EVENTOS HIDROLÓGICOS CON LA TRANSFORMADA DE FOURIER Y ONDELETAS (WAVELETS) EN LA CUENCA DEL RÍO COCA"**, 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: Mayo2020 - Septiembre 2020
Finalización de la carrera: octubre 2024 – Marzo 2025
Aprobación en Consejo Directivo: 19 de febrero
Tutor: Ing. Andy Miguel Giler Ormaza M.Sc

Tema: **"DETERMINACIÓN DE FRECUENCIAS DE EVENTOS HIDROLÓGICOS CON LA TRANSFORMADA DE FOURIER Y ONDELETAS (WAVELETS) EN LA CUENCA DEL RÍO COCA."**

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, **LA 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 **LA 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 d 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.

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 **LA 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 **LA 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 **LA 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 19 días del mes de febrero del 2025

Blanca Lizbeth Beltrán Herrera
LA CEDENTE

Ing. Idalia Pacheco Tigselema Ph.D.
LA CESIONARIA

Latacunga, Febrero 19 del 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Alexander Rene Mera Zurita declaro ser autor del proyecto de titulación "**Determinación de Frecuencias de eventos hidrológicos con la transformada de Fourier y Ondeletas (Wavelets) en la cuenca del río Coca**", siendo el Ing. Andy Miguel Giler Ormaza MSc. tutor del presente trabajo: y exigimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presento trabajo tecnológico, son de nuestra exclusividad responsabilidad.

Alexander Rene Mera Zurita

C.C.: 0504037045

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 **ALEXANDER RENE MERA ZURITA** identificado con cédula de ciudadanía No.**050403704-5** de estado civil soltero , 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. - LA CEDENTE es una persona natural estudiante de la carrera de Hidráulica, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **"DETERMINACIÓN DE FRECUENCIAS DE EVENTOS HIDROLÓGICOS CON LA TRANSFORMADA DE FOURIER Y ONDELETAS (WAVELETS) EN LA CUENCA DEL RÍO COCA."**, 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: Mayo 2020 - Septiembre 2020
Finalización de la carrera: Octubre 2024 – Marzo 2025
Aprobación en Consejo Directivo:19 de febrero 2025
Tutor: Ing. Andy Miguel Giler Ormaza M.Sc

Tema: **"DETERMINACIÓN DE FRECUENCIAS DE EVENTOS HIDROLÓGICOS CON LA TRANSFORMADA DE FOURIER Y ONDELETAS (WAVELETS) EN LA CUENCA DEL RÍO COCA."**

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.

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 19 días del mes de febrero del 2025

Alexander Rene Mera Zurita
EL CEDENTE.

Ing. Idalia Pacheco Tigselema Ph.D.
LA CESIONARIA

Latacunga, 19 de febrero 2025

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: "Determinación de frecuencias de eventos hidrológicos con la transformada de Fourier y Ondeletas (Wavelets) en la cuenca del río Coca", propuesto por los estudiantes Blanca Lizbeth Beltrán Herrera y Alexander Rene Mera Zurita 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, Mg.
C.C. 1312820325
TUTOR

Latacunga, 19 de Febrero del 2025

AVAL DE APROBACIÓN DE LECTORES

Cumpliendo con el Reglamento de Titulación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en calidad de Lectores de Tribunal de Proyecto de Investigación con el Título "Determinación de frecuencias de eventos hidrológicos con la transformada de Fourier y Ondeletas (Wavelets) en la cuenca del río Coca", propuesto por los estudiantes Blanca Lizbeth Beltrán Herrera y Alexander Rene Mera Zurita de la Carrera de Ingeniería Hidráulica, me permito indicar que el o la estudiante ha concluido todas las observaciones y realizado las correcciones señaladas por el Tribunal de Lectores, por lo cual presentamos el Aval de aprobación del Proyecto de Titulación correspondiente a la modalidad proyecto de investigación en virtud de lo cual el o la postulante puede presentarse a la Defensa de su Proyecto de Titulación.

Particular que pongo en su conocimiento para los fines legales pertinentes.

Atentamente,

Lector 1 (Presidente)
Ing. Jorge Villarroel MSc.
CC: 050294349-1

Lector 2
Ing. Rudys Cusme MSc.
CC: 131377089-1

Lector 3
Ing. Jimmy Toaza MSc.
CC: 171762106-2

AGRADECIMIENTO

"El viaje académico no solo se mide por los logros alcanzados, sino por las personas y experiencias que nos acompañan en el camino."

Hoy culmina una etapa que ha sido un recorrido lleno de desafíos, aprendizajes y crecimiento personal, quiero agradecer profundamente a Dios, por la salud y ser mi guía constante, iluminando cada paso y dándome la fortaleza para superar los obstáculos. Agradezco a mis amados padres, hermanos y nuestra querida mascota Copito, por el amor incondicional, apoyo inquebrantable y por enseñarme, con su ejemplo, el valor del esfuerzo, humildad y la perseverancia, sin su presencia y sacrificios, este logro no habría sido posible.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, por brindarme un espacio de formación y crecimiento, y por proporcionarme las herramientas necesarias para alcanzar este objetivo.

A mi tutor, Ing. Andy Giler, por su paciencia, dedicación y valiosos consejos, que guiaron el desarrollo de esta tesis y enriquecieron mi formación académica.

A mi compañera de tesis, Blanca Beltrán, por su compromiso, trabajo en equipo y el apoyo constante a lo largo de este proceso. ¡A todos, mi más profundo agradecimiento!

Alexander Rene Mera Zurita

AGRADECIMIENTO

A lo largo de este camino académico, he vivido momentos de esfuerzo, dedicación y aprendizaje, enfrentando retos que me han permitido crecer tanto profesional como personalmente. Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a quienes han sido mi inspiración, mi fortaleza y mi compañía en esta etapa que se culmina: a la virgen de los Dolores, a quien estoy consagrada y que ha sido mi refugio y fortaleza en cada paso de mi camino. A mi abuelito Segundo, que, aunque ya no está físicamente, sé que me cuida desde el cielo. Su amor y enseñanzas siguen presentes en mi corazón, dándome fuerza para seguir adelante. A mis padres, cuyo apoyo incondicional, consejos y confianza han sido fundamentales para mi crecimiento personal. Gracias por ser mi guía y mi ejemplo, por impulsarme siempre a alcanzar mis sueños. A mis hermanas, que son un pilar en mi vida, cada una de ellas tienen un pedazo de mi corazón, y su amor, compañía y apoyo han sido invaluables en este camino. A mis perritos que ahora están en el cielo, pero que en vida fueron mi consuelo en los días difíciles. Al Ing. Andy Giler tutor de esta tesis, por su paciencia, dedicación y valiosos conocimientos compartidos. Su guía ha sido esencial para el desarrollo de este trabajo. A mi compañero de tesis Alexander Mera, su esfuerzo y compromiso han hecho que este camino sea llevadero y juntos hemos superado los retos que se han presentado.

Blanca Lizbeth Beltrán Herrera

DEDICATORIA

A mis padres, quienes, con su amor incondicional y sabiduría, siempre me han guiado en cada paso de mi vida.

Papá, mamá, desde pequeño me mostraron que el camino del conocimiento está lleno de sacrificios, pero también de recompensas. Cada día, con sus ejemplos, me enseñaron a valorar el esfuerzo y seguir adelante sin importar las adversidades y a no rendirme ante las dificultades. Su constante apoyo y sus palabras de aliento fueron mi impulso en los momentos más difíciles.

Gracias por enseñarme que cada pequeño paso hacia el conocimiento es valioso, y que la verdadera recompensa no solo radica en los resultados, sino en el proceso de aprender y crecer como persona. Este logro también es suyo.

Alexander Rene Mera Zurita

DEDICATORIA

En cada desafío, en cada caída y en cada logro, tu amor fue mi refugio y mi impulso. A ti, Germán Vasconez, que con paciencia infinita y un corazón lleno de amor me acompañaste en este camino universitario. Gracias por ser mi apoyo en los días difíciles, por escucharme cuando parecía que todo se volvía cuesta arriba y por recordarme siempre que soy capaz de lograrlo.

Tus consejos, tu confianza en mí y tu ayuda en esos momentos en los que el cansancio me vencía hicieron una gran diferencia. Este logro también es tuyo, porque sin tu compañía y tu amor, el recorrido habría sido mucho más difícil. Te dedico con gratitud y amor este triunfó, lo logre.

Blanca Lizbeth Beltrán Herrera

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULO: "DETERMINACIÓN DE FRECUENCIAS DE EVENTOS HIDROLÓGICOS CON LA TRANSFORMADA DE FOURIER Y ONDELETAS (WAVELET) EN LA CUENCA DEL RÍO COCA"

Autores: Beltrán Herrera Blanca Lizbeth

Alexander Rene Mera Zurita

RESUMEN

Los ríos están sujetos a una variedad de acontecimientos climáticos que pueden ser afectados en varios aspectos físicos, entre los sucesos más comunes se encuentran las inundaciones, sequias y la erosión, que son los eventos presentes en la cuenca del río Coca. La presente investigación tiene como objetivo determinar las frecuencias de los eventos hidrológicos de la cuenca del río Coca, mediante la transformada de Fourier y ondeletas, la información utilizada para el estudio fue recopilada de los anuarios del Inamhi de las estaciones H0719, H0720, H0721 y H0722 de los años (1991-2013). En los primeros análisis realizados con el método de Fourier de las cuatro estaciones hidrológicas se encontró una frecuencia dominante de 11,5 (Eventos/12 años), este es un ciclo anual de 23 eventos aproximadamente en 23 años siendo el evento hidrológico más significativo en el espectro de potencia derivada por la (DFT). Con el método de ondeletas los resultados obtenidos proporcionaron una perspectiva más detallada en los escalogramas de potencia, detectando patrones temporales y cíclicos, cruciales para el estudio del comportamiento y variaciones del caudal. La combinación de ambos métodos optimizo el análisis de señales al integrar la resolución de Fourier con la localización temporal de wavelets. Este enfoque más robusto y flexible facilitó la detección de patrones, lo que permitió una mejor comprensión de los fenómenos relacionados a los hídricos.

Palabras clave: eventos hidrológicos, transformada de Fourier, ondeletas, caudal y frecuencia.

COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY

ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES FACULTY

TOPIC: "HYDROLOGICAL EVENT FREQUENCIES DETERMINATION WITH THE FOURIER AND WAVELET TRANSFORM IN THE COCA RIVER BASIN".

Authors: Beltrán Herrera Blanca Lizbeth

Mera Zurita Alexander Rene

ABSTRACT

Rivers are subject to a climatic events variety, what can be affected in several physical aspects, among the most common events are the floods, droughts and erosion, which are the events present in the Coca River basin. The current research has as aim to determine the hydrological events frequencies in the Coca River basin, through the Fourier and wavelet transform. The information used for the study, it was collected from the Inamhi yearbooks stations H0719, H0720, H0721 and H0722 the years (1991-2013). In the first analyses made with the Fourier method from the four hydrological stations, were found a dominant frequency 11.5 (Events/12 years), this is an annual cycle approximately 23 events in 23 years, being the most significant hydrological event in the power spectrum derived by the (DFT). With the wavelet method, the got results provided a more detailed perspective onto the power scalograms, detecting temporal and cyclic patterns, crucial for the flow behavior study and variations. This more robust and flexible approach facilitated the patterns detection, allowing a better water-related phenomena understanding.

Keywords: Hydrological events, Fourier transform, wavelet, flow and frequency.

ÍNDICE GENERAL

1. INFORMACIÓN GENERAL 1
1.1. Título: 1
1.2. Tipo de proyecto: 1
1.3. Carrera: 1
1.4. Equipo de Trabajo: 1
1.5. Área de Conocimiento: 1
1.6. Línea de investigación: 1
1.7. Sublíneas de investigación de la Carrera: 1
2. INTRODUCCIÓN 1
2.1. Situación problemática 3
2.2. Formulación del problema 4
2.3. Objeto y Campo de acción 4
2.3.1. Objeto de Investigación: 4
2.3.2. Campo de Acción: 4
2.4. Beneficiarios 4
2.5. Justificación 5
2.6. Objetivos 6
2.6.1. General 6
2.6.2. Específicos 6
2.6.3. Sistemas de Tareas 6
2.7. Hipótesis 7
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 8
3.1. Antecedentes 8
3.1.1. Wavelet (WT) 8
3.2. Marco referencial 10

3.2.1. Estaciones hidrológicas 10
3.2.2. Nivel 11
3.2.3. Caudal 12
3.2.4. Cuenca Hidrográfica 12
3.2.5. Clasificación de las cuencas hidrográficas 12
3.2.6. Frecuencia 13
3.2.7. Periodo 13
3.2.8. Ondas sinusoidales 14
3.2.9. La familia de las series de Fourier 15
3.2.10. Windowed Fourier Transforms (WFT) 16
3.3. Espectro de frecuencia 17
3.4. Herramientas sig 18
3.4.1. Software QGIS 18
4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTO 19
4.1. Descripción del proyecto 19
4.2. Variables 19
4.2.1. Variables dependientes 19
4.2.2. Variables Independientes 19
4.3. Diagramas de flujo 20
4.4. Área de estudio 21
4.4.1. Afluentes del río Coca 22
4.5. Recopilación de datos 22
4.6. Datos Atípicos 25
4.7. Ánalisis Y Relleno de datos proporcionados por el INAMHI 26
4.7.1. Water Resources Council Method 26
4.8. Relleno de datos 30

4.8.1. Librería MICE 31
4.9. Método Predictive Mean Matching (PMM) 32
4.10. Transformada de Fourier 32
4.10.1. Estructuras de las series temporales 32
4.11. Transformada de fourier 33
4.12. Coeficientes de Fourier 33
4.13. Frecuency Domin Signal of lengh N+1. 34
4.14. Transformada discreta de Fourier (DFT) 34
4.15. Transformada de ondeletas (Wavelet) 35
4.15.1. Ondículas de Morlet para el análisis de tiempo-frecuencia 35
4.16. Soffware Rstudio 37
4.16.1. Algoritmo de R para DFT 37
4.16.2. Raw Signal 39
4.16.3. Algoritmo para Wavelets 39
4.16.4. Análisis de wavelet 40
5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS 40
5.1. Relleno de datos 40
5.2. Transformada discreta de fourier 43
5.2.1. Estación H0719 Quijos D. J. Oyacachi 43
5.2.2. Estación H0720 Misahualli en Cotundo 45
5.2.3. Estación H0721 Jatunyacu D. J. 47
5.2.4. Estación H0722 Yanahurco D. J. Valle 49
5.3. Ondeletas (wavelets) 51
5.3.1. Escala y Translación en la Transformada de Ondeletas 51
5.3.2. Análisis Multiresolución 51
5.3.3. Espectro de Frecuencia y Energía de los Coeficientes 51

5.3.4. Interpretación de los Resultados 52
5.3.5. Aplicación en el Contexto de Estudio 52
5.3.6. Estación H0719 Quijos D. J. Oyacachi 52
5.3.7. Estación H0720 Misahualli en Cotundo 54
5.3.8. Estación H0721 Jatunyacu D. J. 55
5.3.9. Estación H0722 Yanahurco D. J. Valle 56
5.3.10. Comparación del análisis de la transformada discreta de Fourier y Ondeletas (wavelets) 58
6. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS 59
6.1. Análisis de Frecuencias y Periodos de Retorno 59
6.2. Comparación entre Estaciones 60
6.3. Determinación de Periodos de Retorno 61
6.3.1. Eventos Extremos: 61
7. CONCLUSIONES 61
8. RECOMENDACIONES 62
9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 63
10. ANEXOS 68
10.1. Hidrograma anual proporcionado por el INAMHI 68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO [1] 1
Tabla 2 Beneficiarios directos e indirectos de la cuenca hidrográfica del rio Coca. 5
Tabla 3 Sistema de tareas en relación con los objetivos. 6
Tabla 4 Estaciones Hidrológicas 23
Tabla 5 Datos de Caudal crudos registrados en el INAMHI 23
Tabla 6 Criterios Estadísticos 27

Tabla 7 Datos atípicos de caudales mínimos para la estación H0722 28
Tabla 8 Parámetros estadísticos para la estación H0722 29
Tabla 9 Valores atípicos o datos dudosos para la estación H0722 30
Tabla 10 Errores de datos dudosos 30
Tabla 11 Explicación del algoritmo para la DFT 38
Tabla 12 Explicación del algoritmo para Waveltes 39
Tabla 13 Datos referenciales faltantes de las estaciones 40
Tabla 14 Análisis de la estación H0719 Quijos 44
Tabla 15 Análisis de la estación H0720 Misahualli 46
Tabla 16 Análisis de la estación H0721 Jatunyacu 48
Tabla 17 Análisis de la estación H0722 Yanahurco 50
Tabla 19 Escala y Potencia de la estación H0719 53
Tabla 20 Escala y Potencia de la estación H0720 55
Tabla 21 Escala y Potencia de la estación H0721 56
Tabla 22 Escala y Potencia de la estación H0722 57

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Frecuencia 13
Ecuación 2 Periodo de Retorno 14
Ecuación 3 Sinusoidales ecuación del tiempo 14
Ecuación 4 Frecuencia sinusoidal 15
Ecuación 5 Datos dudosos altos 26
Ecuación 6 Datos dudosos bajos 26
Ecuación 7 La transformada de Fourier según Fleming 33

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 Función wavelet Haar [13]. 9
Ilustración 2 Respuesta en frecuencia de filtros de wavelet continua [13]. 10
Ilustración 3 Sistema de estación hidrométricas [15]. 11
Ilustración 4 Características de una cuenca [20] 13

Ilustración 5 Las familias de Fourier [24]. 16
Ilustración 6 Ventanas de Fourier [26] 17
Ilustración 7 Periodograma de Frecuencias (representación de picos) [27] 17
Ilustración 8 Señal emitida [27]..... 18
Ilustración 9 Esquema metodológico de la cuenca del río Coca 20
Ilustración 10 Delimitación de las estaciones ocupadas en el proyecto 22
Ilustración 11 Librería MICE[36] 31
Ilustración 12 Wavelet de Morlet [47]. 36
Ilustración 13 Ecuación de Morlet para las ondículas [47]. 36
Ilustración 14 La representación tiempo-frecuencia de la señal transformada por wavelet de Morlet [49]..... 37
Ilustración 16 Datos de caudal crudos en el programa Excel H0719, H0720, H0721 Y H0722 41
Ilustración 17 Datos de relleno en el programa Rstudio H0719, H0720, H0721 y H0722 42
Ilustración 18 Espectro de Frecuencia en el programa Rstudio H0719 43
Ilustración 19 Frecuencias dadas por el programa Rstudio en la estación H0719 43
Ilustración 20 Espectro de Frecuencia en el programa Rstudio H0719 44
Ilustración 21 Espectro de Frecuencia en el programa Rstudio H0720 45
Ilustración 22 Frecuencias dadas por el programa Rstudio en la estación H0720 45
Ilustración 23 Espectro de Frecuencia en el programa Rstudio H0720 46
Ilustración 24 Espectro de Frecuencia en el programa Rstudio H0721 47
Ilustración 25 Frecuencias dadas por el programa Rstudio en la estación H0721 47
Ilustración 26 Espectro de Frecuencia en el programa Rstudio H0721 48
Ilustración 27 Espectro de Frecuencia en el programa Rstudio H0722 49
Ilustración 28 Frecuencias dadas por el programa Rstudio en la estación H0722 49
Ilustración 29 Espectro de Frecuencia en el programa Rstudio H0722 50
Ilustración 31 Espectrograma de potencia de wavelet para la estación H7019..... 52
Ilustración 32 Espectrograma de potencia de wavelet para la estación H7020..... 54
Ilustración 33 Espectrograma de potencia de wavelet para la estación H7021..... 55
Ilustración 34 Espectrograma de potencia de wavelet para la estación H7022..... 57

1. INFORMACIÓN GENERAL

1.1. TÍTULO:

Determinación de frecuencias de eventos hidrológicos con la transformada de Fourier y Ondeletas (Wavelets) en la cuenca del río Coca.

1.2. TIPO DE PROYECTO:

Proyectos de Investigación

1.3. CARRERA:

Ingeniería Hidráulica

1.4. EQUIPO DE TRABAJO:

MSc. Andy Miguel Giler Ormaza, Beltrán Herrera Blanca Lizbeth, Alexander Rene Mera Zurita.

1.5. ÁREA DE CONOCIMIENTO:

Tabla 1 Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO [1]

25 Ciencias de la Tierra y del Espacio	2508 Hidrología	2508.06 Hidrografía
		2508.14 Aguas Superficiales

1.6. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Meteorología, Hidrología, Mecánica de fluidos, Sistema y obras Hidráulicas.

1.7. SUBLÍNEAS DE INVESTIGACIÓN DE LA CARRERA:

Gestión y manejo sostenible y/o sustentable de recursos hídricos.

2. INTRODUCCIÓN

El estudio de frecuencias mediante el método de Fourier y Ondeletas, es importante por la versatilidad que presenta para realizar análisis de frecuencia en eventos, en la actualidad se utiliza para modelar eventos hidrológicos [2]. Entre los factores más vitales en tratar se

encuentra la erosión, que desempeña un papel crucial en los cambios de apariencia y uso de la tierra como se puede presenciar en el Río Coca, de los tipos de erosión más importantes esta la erosión hidroeléctrica [3]. Por el motivo que implica la sostenibilidad de un país, debe ser tratado en beneficio de toda la población asumiendo la responsabilidad de su conservación y uso adecuado, considere que, si ocurre un desequilibrio del recurso hídrico, también ocurrirá un cambio en la etapa actual [4].

El método de Fourier en la actualidad es un mecanismo estereotipado en cualquier aplicación hidrológica relacionado con la periodicidad, puesto que el estudio de la transformada de Fourier presenta estrategias poderosas para analizar el comportamiento de diferentes eventos periódicos, relacionando el análisis para diseños de sistemas hídricos y la gestión de cuencas hidrográficas [3]. Como segundo método se utilizó la transformada de ondeletas (Wavelet) el cual nace con el fin de superar las limitaciones de Fourier cuando se presentan datos no estacionarios, como en precipitaciones, caudales y niveles de agua. La transformada wavelet facilita el análisis detallado de distintos eventos dentro de la señal al descomponerla en funciones base que proviene de ella misma. Esta descomposición permite ajustar el nivel de detalle según sea necesario, lo que ayuda a revelar estructuras y patrones específicos de la señal de manera más intuitiva y comprensible [5].

El instrumento principal que llevará a cabo la lectura de los datos hidrológicos del área de drenaje del río Coca será el software Rstudio por su gran capacidad de manejar a gran escala cálculos estadísticos le ha llevado a ser utilizada en varias disciplinas académicas y en industrias.

Estas técnicas han sido utilizadas por varios autores, por ejemplo, Brázdil [6], quien comparó series temporales de precipitación y descargas y sus fluctuaciones combinadas con la actividad solar. Pekárová [6] analizó los componentes cíclicos de las descargas de los ríos eslovacos y años después se centraron en los análisis de series temporales con lo referente a Fourier. En investigaciones realizadas con wavelet, Sabo [6], utilizó el análisis wavelet (WA) para identificar si existe alguna relación entre los ríos Danubio y Moravia y la actividad solar. Otros estudios en destacar son de Labat [6], que introduce el análisis wavelet y luego aplica esta técnica para analizar y cuantificar la relación existente entre los patrones de precipitación y la escorrentía, también en 2008 utilizó esta técnica para analizar los caudales anuales de los ríos más grandes del mundo y con relación a la presente investigación fue el trabajo para determinar la dependencia de las series temporales de caudales mensuales, precipitaciones y temperaturas

del río Danubio [6].

Ante estas investigaciones podemos resaltar que, la combinación de estas técnicas ha sido fundamental por la capacidad de predecir y comprender la frecuencia de la magnitud de estos eventos, esencial para diseñar infraestructuras hidráulicas, ofreciendo una planificación y base sólida para la planificación eficiente del líquido vital para la vida humana, contribuyendo con la seguridad y proporcionando un enfoque general en la toma de decisiones, mejorando las capacidades de respuesta al cambio climático con técnicas avanzadas y preparando a las comunidades para enfrentar desafíos emergentes.

2.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

La administración de recursos hídricos en la cuenca del río Coca demanda un entendimiento exacto de las frecuencias de sucesos hidrológicos, tales como las crecidas y los estiajes. No obstante establecer estos parámetros supone retos considerables debido a la complejidad de los sistemas hidrológicos y la variabilidad propia de estos [7]. En estas circunstancias, los enfoques estadísticos convencionales, como el análisis de frecuencias, suelen ser insuficientes, dado que estos procedimientos se fundamentan en la suposición de los sucesos hidrológicos, que son independientes y siguen distribuciones de probabilidades establecidas, que no consiguen entender la realidad hidrológica en la cuenca del río Coca.

La problemática se agudiza debido a la escasez de datos hidrológicos de largo plazo y de alta calidad, un problema común en las regiones del Ecuador, incluyendo en ella nuestra área de estudio, la falta de datos suficientes limita la presión de las estimaciones de frecuencias, especialmente para aquellos eventos que por su naturaleza ocurren con baja frecuencia [8]. La evidencia de los estudios realizados con la aplicación de los métodos de Fourier y Ondeletas para el análisis de frecuencia en series hidrológicas en su mayoría son hechos en otras ciudades y países, como lo es la tesis de “Análisis de Fourier y Wavelet de las series de tiempo de la estación meteorológica ESPOL-FIMCBOR”, país de origen Colombia, en el que explica de manera fácil la combinación de estos métodos y los resultados que suelen darse después de realizar su respectivo análisis [9].

Adicionalmente, los estudios hidrológicos en las cuencas de los ríos del Ecuador no son prioritarios, ya que se perciben como vacíos de conocimiento, por tal motivo es interesante analizar la ampliación de los métodos mencionados con anterioridad en cuencas hidrográficas del Ecuador, es así como se moderniza la estimación de frecuencias, este estudio permite

mejorar el entendimiento del área hidrológica en cuencas que tiene estudios con años determinados. La planificación energética y la operatividad de las centrales hidroeléctricas del país como lo son Manduriacu y Coca Codo Sinclair requieren información hidrológica precisa, la erosión del río Coca representa un riesgo que necita ser mitigado para poder proteger la infraestructura eléctrica y de oleoductos. La vigilancia de la cuenca se fortalece mediante la implementación de pluviómetros y la formación del personal laboral. Además, el sistema de alerta anticipada es vital para la administración de los recursos acuáticos y la protección de las comunidades próximas a la cuenca del río Coca.

2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo puede aplicar la transformada de Fourier y Ondeletas para determinar las frecuencias de eventos hidrológicos en la cuenca del río Coca, adicionalmente que información hidrológica pertinente se puede obtener para mejorar la gestión de los recursos hídricos en el área de estudio?

2.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.3.1. Objeto de Investigación:

Analizar los resultados de la Transformada de Fourier y ondeletas (wavelets) en la identificación de las frecuencias presentes en las series de tiempo hidrológicas del río Coca. Este análisis considerará la influencia de factores externos, como cambios climáticos, actividades humanas y variaciones estacionales, con el fin de ofrecer una comprensión integral de la dinámica hidrológica y su relación con las variaciones en las frecuencias identificadas.

2.3.2. Campo de Acción:

El campo operativo de acción de este estudio, conforme al código de la UNESCO para la ciencia, es 2508 Hidrología. Este campo abarca el estudio de eventos hidrológicos, sus frecuencias, utilizando técnicas como la transformada de Fourier y Ondeletas para el estudio y administración de recursos acuáticos.

2.4. BENEFICIARIOS

Esta investigación presenta los beneficiarios directos e indirectos de la cuenca hidrográfica del río Coca, cuyos datos se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2 Beneficiarios directos e indirectos de la cuenca hidrográfica del rio Coca.

Directos	Indirectos
La central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair	• Las comunidades locales. • El sector energético. • Investigadores académicos. • Sector industrial.

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

2.5. JUSTIFICACIÓN

La central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair es una infraestructura clave para el suministro energético del Ecuador. Incrementar su habilidad para gestionar eventos hidrológicos representa la estabilidad del abastecimiento de energía, favoreciendo a toda la sociedad del Ecuador. Esto, a su vez, disminuye el peligro de catástrofes naturales que pueden impactar a las comunidades locales, su seguridad y calidad de vida [10]. Este trabajo aporta considerablemente al progreso del saber en hidrología al emplear métodos matemáticos sofisticados como la transformada de Fourier y las Ondeletas para examinar series temporales de hidrología.

Estas técnicas facilitan la descomposición detallada de los datos, detectando patrones y tendencias. El método de Fourier ofrece una perspectiva precisa de los ciclos repetitivos en los sucesos hidrológicos, en cambio, Ondeletas brinda una visión multiescalar [11]. Esto posibilita evaluar directamente el comportamiento de estos procedimientos ante datos reales y complejos. En base a la implementación práctica, se pueden detectar fortalezas y restricciones en las técnicas empleadas, lo que permite realizar modificaciones y mejoras en la exactitud de los modelos de predicción. Los hallazgos no solo ofrecen una valoración critica de las técnicas vigentes. Participar en este proyecto brinda una experiencia valiosa en el uso de técnicas avanzadas de análisis de datos, potenciando las habilidades profesionales en campos como la ingeniería hidráulica y la meteorología. Además, potencia la habilidad para resolver problemas con alta dificultad, una competencia muy requerida en el entorno laboral.

2.6. OBJETIVOS

2.6.1. General

Determinar las frecuencias de eventos hidrológicos con la transformada de Fourier y Ondeletas para la cuenca del río Coca.

2.6.2. Específicos

- Acondicionar los datos hidrológicos (caudal) para el análisis de Fourier mediante la aplicación de técnicas de filtrado y corrección de datos atípicos.
- Emplear la transformada discreta de Fourier para transformar los datos del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia.
- Obtener las frecuencias con el método de Ondeletas en series hidrológicas en la cuenca del rio Coca.
- Comparar los resultados obtenidos con el método de Ondeletas y los derivados de la transformada discreta de Fourier, en la identificación de componentes de frecuencia en series de tiempo hidrológicas en la cuenca del rio Coca.

2.6.3. Sistemas de Tareas

Tabla 3 Sistema de tareas en relación con los objetivos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES (TAREAS)	RESULTADOS ESPERADOS	TÉCNICAS, MEDIOS E INSTRUMENTOS
Acondicionar los datos hidrológicos (caudal) para el análisis de Fourier mediante la aplicación de técnicas de filtrado y corrección	Recopilación de datos históricos diarios de caudales en las estaciones H0719, H0720, H0721 y H0722.	Obtención de los datos de caudales diarios en el periodo 1991 – 2013.	**Técnicas:** Bases de datos hidrológicos. **Instrumentos:** Anuarios hidrológicos del Inamhi.
	Identificación de outliers y eliminación de outliers mediante metodologías.	Datos de alta calidad listos para ser utilizados en el análisis estadístico.	

de datos atípicos.	Cubrimiento de la información de las cuatro estaciones.	Base de datos estructurada y lista para el análisis.	
Emplear la transformada discreta de Fourier para transformar los datos del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia.	Conversión de datos del formato de tiempo a un formato que muestre la intensidad de diferentes frecuencias presentes en los datos.	Estudio de la frecuencia de eventos.	**Técnicas:** Visualización. **Instrumentos:** Software Excel y Rstudio.
Obtener las frecuencias con el método de Ondeletas en series hidrológicas en la cuenca del rio Coca.	Recopilación y preprocesamiento de datos, seleccionar el nivel de descomposición de los datos.	Obtención de series de tiempo hidrológicas de la cuenca del río Coca.	**Técnicas:** Visualización. **Instrumentos:** Software Excel y Rstudio.
Comparar los resultados obtenidos con el método de ondeletas y los derivados de la transformada discreta de Fourier, en la identificación de componentes de frecuencia en series de tiempo hidrológicas en la cuenca del rio Coca.	Estudio comparativo de resultados obtenidos mediante la transformada de ondeletas y Fourier	Interpretación y discusión de los resultaos de la investigación	**Técnicas:** Visualización. **Instrumentos:** Software Excel y Rstudio.

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

2.7. HIPÓTESIS

El uso de la transformada de Fourier y Ondeletas (wavelets) en el examen de series de tiempo hidrológicas en la cuenca del río Coca permitirá una identificación más precisa de los componentes de frecuencia y una mejor estimación de los periodos de retorno de eventos

hidrológicos, debido a su capacidad para capturar la variabilidad y tendencias no lineales influenciadas por factores tales como el calentamiento global.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1. ANTECEDENTES

La hidrología juega un rol crucial en el progreso sostenible en la administración del agua, contribuyendo en beneficio a las diferentes industrias y la generación de energía. Además, cabe recalcar que por medio de estudios y análisis mediante la hidrología se ha podido mitigar significativamente desastres naturales, como inundaciones y sequias, permitiendo la planificación y la respuesta adecuada ante estas adversidades logrando el fortalecimiento de la seguridad hídrica.

Alrededor, [5]después de 150 años de la muerte de Isaac Newton, Jean Baptiste y Joseph Fourier proporciono un análisis matemático que demostró el mundo desde un punto de vista distinto al de la época. Cada vez que los científicos e ingenieros elaboran modelos de sistemas o realizan sus proyecciones, se recurre al Análisis de Fourier. El coeficiente transformador de Fourier es "El prisma matemático que descompone una función en las frecuencias que le forman" igual que una prima de cristal lo hace con la luz. No obstante, el análisis de Fourier tiene un serio desafío al intentar establecer el momento en que sucede un evento especifico, lo que requirió la implementación u optimización de los procesos de análisis actuales.

Este método no soluciona todos los problemas, por lo que a veces se requiere realizar análisis más exhaustivos, ya que la misma ventana se utiliza para todas las frecuencias. Luego, el análisis Wavelet ha facilitado la resolución de esta dificultas, adquiriendo popularidad. Hoy en día, se considera a las Wavelets como el estudio de señales, dado que proporcionan un entendimiento del espectro tanto en términos de frecuencias como de tiempo, además de realizar significativas contribuciones en los procesos de compresión. Primero, se han desarrollado distintos métodos y técnicas. Para examinar el comportamiento en el campo de frecuencia, la transformada de Fourier (FT) tiene sus restricciones para proporcionar datos temporales, es decir, no señala en los momentos que sucede en determinados sucesos relevantes [5].

3.1.1. Wavelet (WT)

Para tener una ubicación temporal de los componentes espectrales, es necesario emplear otras

transformadas que ofrezcan una representación en el tiempo y la frecuencia facilitado por la transformada de Wavelet que permite observar el comportamiento de diversos eventos al desglosarla en funciones elementales que derivan de ella las cuales pueden ser escogidas hasta el nivel de detalle requerido, proporcionando al mismo tiempo datos sobre el tiempo y la frecuencia. La transformada de ondeletas (wavelet) con el pasar del tiempo ha ido abarcando más campo de estudio para nuevas perspectivas, como en este caso para el análisis de datos hidrológicos, especialmente por el cambio climático que ha provocado la necesidad de métodos analíticos eficaces.

Según, [12] los científicos centraron su trabajo en la representación de nuevas funciones básicas de escala, empleando la variable conocida como funciones básicas de Haar. Esto condujo a ciertos estudios a denominar las ondeletas ortonormales, que se componen de un conjunto de funciones base rectangulares. La aplicación de las funciones básicas estaba restringida debido a su discontinuidad, situación que condujo a su mejora en la década de 1930 por Levey, quien empleo las bases de Schauder para analizar propiedades regularidad locales, las cuales no se podrían examinar mediante la transformada de Fourier. Por lo tanto, Dennis Gabor presento las ondeletas Gabor. Su propósito principal consistía en dividir una onda en secciones de onda, en las que cada sección tuviera claramente establecida su banda de frecuencias.

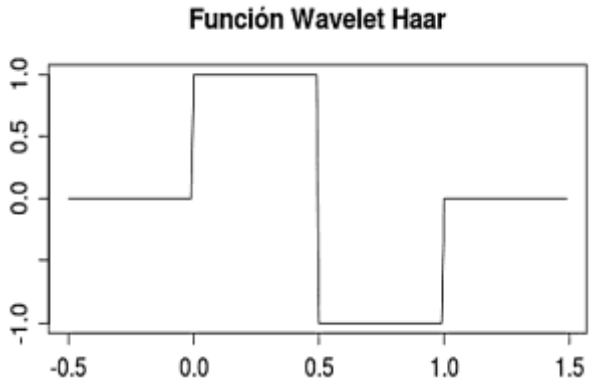


Ilustración 1 Función wavelet Haar [13].

Finalmente, la ondeleta de Gabor mostraba un notable progreso en la descomposición de una señal continua, no obstante, tenía dificultades para descomponer señales discretas. Guido Weiss y Ronald Coifman, matemáticos, experimentaron con los átomos, los elementos más básicos del espacio de función, y descubrieron las reglas de ensamble. Estas permiten la reconstrucción de todos los componentes de un espacio de función a partir de los mismos. En su último estudio, Grossman y Morlet emplearon las ondeletas para examinar temblores y modelar el proceso de

las ondas sonoras que se desplazan por el espacio, siendo un gran aporte para el estudio de datos hidrológicos. A continuación, se ilustra las respuestas con frecuencia continúa llamadas madres de wavelet, como son Haar, Gaussian1, Gaussian2 y Morlet.

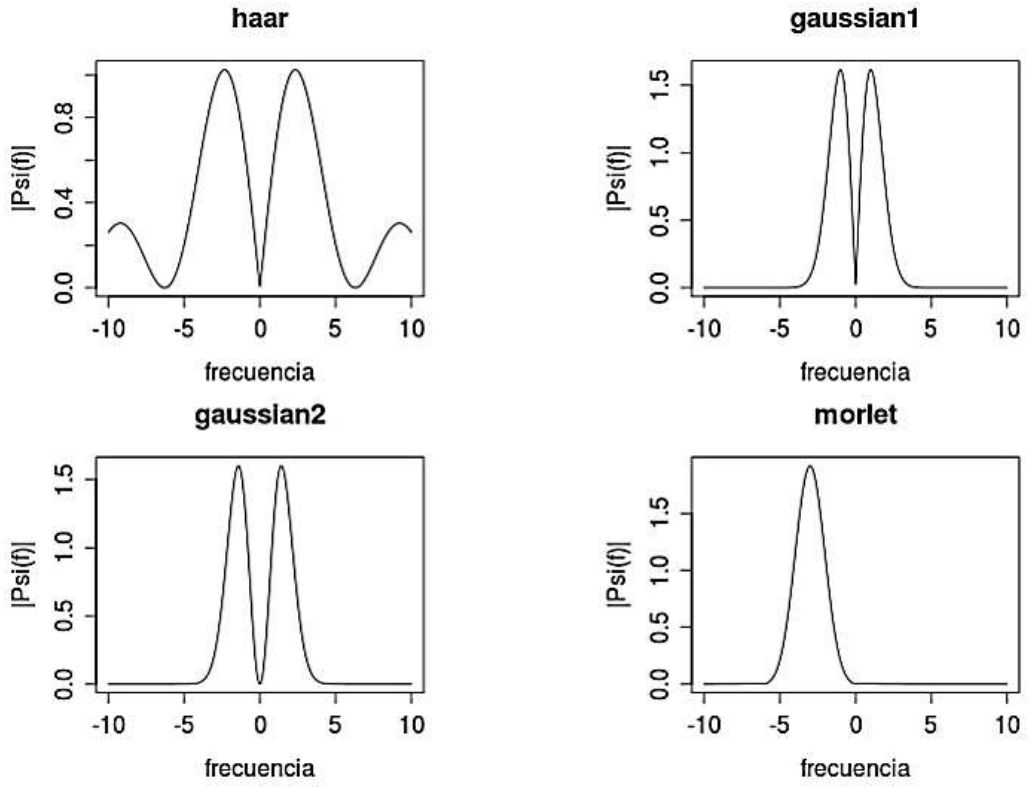


Ilustración 2 Respuesta en frecuencia de filtros de wavelet continua [13].

3.2. MARCO REFERENCIAL

3.2.1. Estaciones hidrológicas

La evaluación sistemática la conducta de las variables del ciclo hidrológico exige la instalación, funcionamiento y conservación de redes de comunicación, estaciones hidrológicas dotadas de equipamiento y personal especializado, capaz de realizar con precisión, uniformidad y constancia, la recolección de información para su almacenamiento, procesamiento y emisión puntual de datos [14].

3.2.1.1. Estación Hidrométrica

Es el sitio o la ubicación correctamente ubicada en una de las márgenes de un flujo hídrico, equipado con herramientas hidrométricas como flotadores, miras, limnímetros, limnígrafos, maxímetros y otros componentes, con el propósito de documentar las

fluctuaciones de los limnímetros, limnígrafos y otros elementos, algunas particularidades de la corriente, y simplificar el análisis del sistema de esta [15].

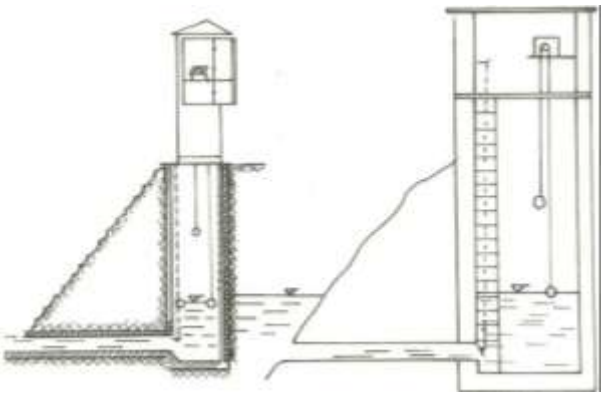


Ilustración 3 Sistema de estación hidrométricas [15].

Las estaciones hidrométricas necesitan cumplir con determinadas condiciones, incluyendo:

- Disponibilidad. La estación debe estar disponible para ser visitada en cualquier instante, especialmente durante las horas pico [16].

- Constancia. Debe abarcar todo el espectro de flujos. Al menos desde el año hasta el mínimo posible [16].

- Consistencia. Es necesario preservar la estación manteniendo las características geométricas. Además, debe estar ubicado en un segmento recto para evitar la inercia en la curva inicial, el flujo no perjudique la lectura [16].

- Continuidad. La estación debe ubicarse y edificarse de manera similar a las avenidas, no la deterioran, esto no siempre es verdad, ya que una avenida de gran altura modifica su aspecto, comportamiento natural de transportar únicamente agua y empieza a trasladar sedimentos, con un comportamiento natural de transportar sólo agua, es muy posible que las pendientes del cauce sean impactadas [16].

3.2.2. Nivel

El propósito de la medición del nivel de agua en los ríos es monitorear las condiciones del agua que pueden generar una variación.

Los instrumentos para medir el nivel de agua en los ríos se denominan pluviómetros y escalas hidrométricas respectivamente. Los pluviómetros ofrecen datos sobre la cantidad de agua

presente en el suelo (lluvia caída), mientras que las escalas hidrométricas brindan datos acerca del incrementó del nivel de agua de los cuerpos de agua [17].

3.2.3. Caudal

Se hace referencia a la cantidad de agua que fluye por una sección transversal del río en un periodo de tiempo específico, se manifiesta en metros cúbicos por segundo, es decir, m3/s o litros por segundo [18].

3.2.4. Cuenca Hidrográfica

Según, Harbaugh [19] la cuenca hidrográfica es un área definida topográficamente, drenada por un curso de agua o un sistema conectado de cursos de agua, que dispone de una salida simple para que todo el caudal efluente sea descargado. Las siguientes acciones pueden determinar la función hidrológica de una cuenca hidrológica:

- Evacuan el agua de la lluvia.
- Reabastecimiento de las reservas de agua subterránea.
- Recarga de las reservas de agua superficiales [19].

3.2.5. Clasificación de las cuencas hidrográficas

Los conceptos que generalmente se utilizan para describir o reconocer los elementos de las particularidades de una cuenca son:

- **Cuenca:** sistema que incluye diversas subcuencas o microcuencas o sistemas integrados.
- **Subcuencas:** Conjunto de microcuencas que se desplazan hacia un único cauce con un caudal variable pero constante [20]
- **Microcuencas:** Es cualquier zona donde su drenaje finaliza en la corriente principal de una subcuenca [20].

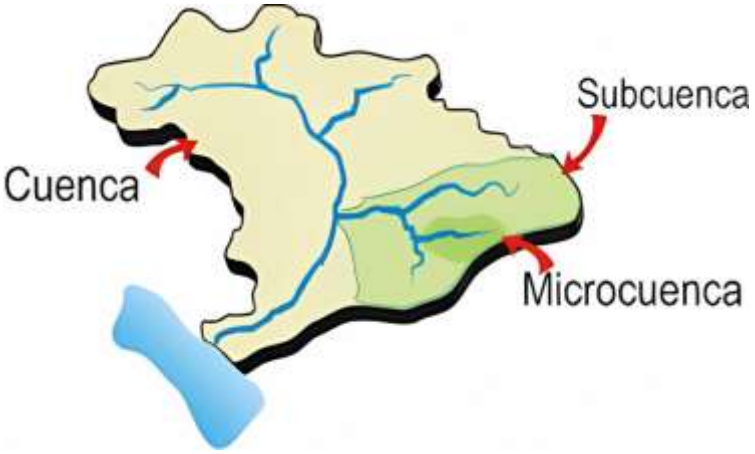


Ilustración 4 Características de una cuenca [20]

3.2.6. Frecuencia

Chow et al. [21] en ocasiones, los sistemas hidrológicos son impactados por sucesos, como tormentas intensas, inundaciones y sequías, donde para determinar la envergadura de un evento esta inversamente vinculada con su regularidad en su aparición, los eventos con mayor impacto suelen ocurrir con menos frecuencia que los sucesos más moderados. Entonces el propósito del análisis de frecuencia de datos hidrológicos es vincular la magnitud de los sucesos extremos con su frecuencia de aparición a través de la aplicación de distribuciones probabilísticas. Por el motivo de que los datos hidrológicos analizados son independientes e idénticamente distribuidos, se considera estocástico al sistema hidrológico que los genera (como un sistema de precipitaciones pluviales), independiente del espacio y del tiempo. En ondas sinusoidales representa 1 segundo y se encuentra vinculada a la función seno, si es la frecuencia angular se expresa en radianes/segundos estos siendo adimensionales.

$$\mathrm{f} = \frac{1}{T}$$

Ecuación 1 Frecuencia

Donde:

$T =$ es el periodo de regresión del suceso en (años).

$f =$ es la frecuencia (evento/año).

3.2.7. Periodo

El periodo de recuperación hace referencia al estudio hidrológico, que permite analizar la

frecuencia de los eventos extremos, como inundaciones o sequías. Es decir, nos ayuda a llevar una planificación y diseño de infraestructuras hidráulicas, como centrales hidroeléctricas y como mencionado anteriormente para la gestión sostenible de recursos hídricos.

Del mismo modo, este concepto ha recibido múltiples interpretaciones o varias maneras de tratarse dependiendo de las interpretaciones que quieran hacer en cada uno de sus estudios. Por ejemplo, Ven T. Chow, [22] propuso una ecuación distinta a la que normalmente se emplea donde se trabaja con el inverso de la probabilidad de ocurrencia del evento. En esta ecuación, las variables que establecen la probabilidad de ocurrencias de un evento especifico son el valor medio de la serie que alberga a la variable x.

$$\mathrm{T} = \frac{1}{f}$$

Ecuación 2 Periodo de Retorno

Donde:

$T =$ es el periodo de regresión del suceso en (años).

$f =$ es la frecuencia (evento/año).

3.2.8. Ondas sinusoidales

Las ondas sinusoidales, son representaciones graficas con oscilaciones suaves y periódicas con una peculiar forma de "S". Estas ondas pueden figuran análisis de comportamientos hidrológicos, con la técnica de la transformada de Fourier [23]. De manera más fundamental dependiendo del tiempo (t) es:

$$\boldsymbol{Y\,(t) = A\,sin(2\pi ft + \varphi) = A\,\mathbf{sin}\,(\omega t + \varphi)}$$

Ecuación 3 Sinusoidales ecuación del tiempo

Donde:

$\boldsymbol{A} =$ amplitud (desplazamiento máximo)

$\boldsymbol{f} =$ frecuencia (número de repeticiones)

$\boldsymbol{\omega} =$ 2π (frecuencia angular)

$\boldsymbol{\varphi} =$ fase (desplazamiento horizontal)

$\boldsymbol{t} =$ tiempo[23].

La frecuencia sinusoidal de la onda está inversamente correlacionada con el tiempo, la velocidad angular sinusoidal de la onda con el tiempo es la siguiente [23]:

$$\boldsymbol{\omega = \frac{2\pi}{T}\ (rad/s)}$$

Ecuación 4 Frecuencia sinusoidal

La amplitud suele ser conocida como amplitud de pico, es el valor máximo que permite tanto las funciones sensoriales como las cosenales sean de valor 1 [23].

Ciclo: también conocido como la forma de Ondeletas, esta es la porción más pequeña de una onda. Es una porción que se repite de una onda y tiene un ciclo positivo y negativo. Comienza en cero y termina en cero [23].

Fase: el desplazamiento de la onda en un eje horizontal con respecto a un eje con respecto al tiempo [23].

3.2.9. La familia de las series de Fourier

Una señal puede ser continua, discreta o aperiódica. La combinación de estas dos características genera las 4 familias, las cuales se muestras a continuación.

- **Aperiódica-Continua:** contiene los exponenciales decrecientes y la curva de Gaus [24].
- **Periódica-Continua**: contiene ondas sinusoidales, ondas cuadradas y otras variedades de onda [24].
- **Aperiódica-Discreta:** se establecen en intervalos discretos entre el infinito positivo y negativo [24].
- **Periódica-Discreta:** son señales discretas que se repiten de manera periódica [24].

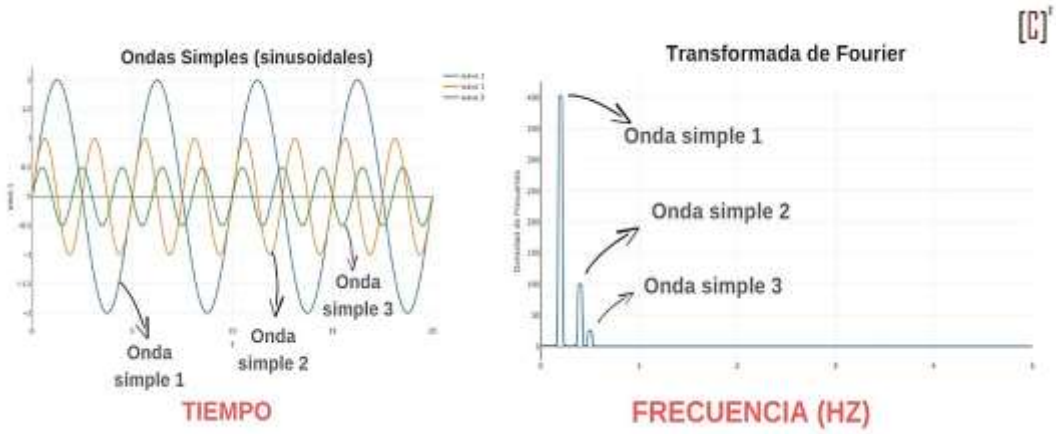


Ilustración 5 Las familias de Fourier [24].

3.2.10. Windowed Fourier Transforms (WFT)

La transformada de Fourier de ventana o conocida por sus siglas en inglés (WFT) es un instrumento matemático que facilita el estudio simultaneo de señales dentro de los dominios temporales y frecuencias. En contraste con las transformadas de Fourier convencionales, que examinan señales a lo largo de todo el dominio temporal, WFT emplea una función de ventana de tiempo determinado. Esto implica que, en vez de examinar la señal completa en un solo análisis, WFT segmenta la señal en diversos segmentos más reducidos y examina cada segmentó de manera individual para registrar variaciones temporales en el contenido de frecuencia de la señal. La función de ventana funciona como un filtro que elige un segmento de la señal en un periodo de tiempo específico, enfocándose en un instante especifico [25].

Esto resulta especialmente beneficioso cuando se manejan señales no regulares o que varían con el tiempo, tales como vibraciones en estructuras de agua, variaciones en los flujos de ríos, o indicadores de presión en tuberías. En estas situaciones, la WFT facilita la identificación de las variaciones en las frecuencias de la señal a través del tiempo, lo cual es crucial para comprender fenómenos dinámicos en sistemas hidráulicos [25]. La WFT se inspira en la forma en que el oído humano percibe los sonidos. El sentido auditivo tiene la habilidad de identifica variaciones constantes en el tono y la frecuencia de una señal en tiempo real, evitando la necesidad de segmentarla en partes aleatorias. De forma parecida, la WFT posibilita el análisis continuo de una señal, captando tanto las variaciones suaves como las variaciones pronunciadas.

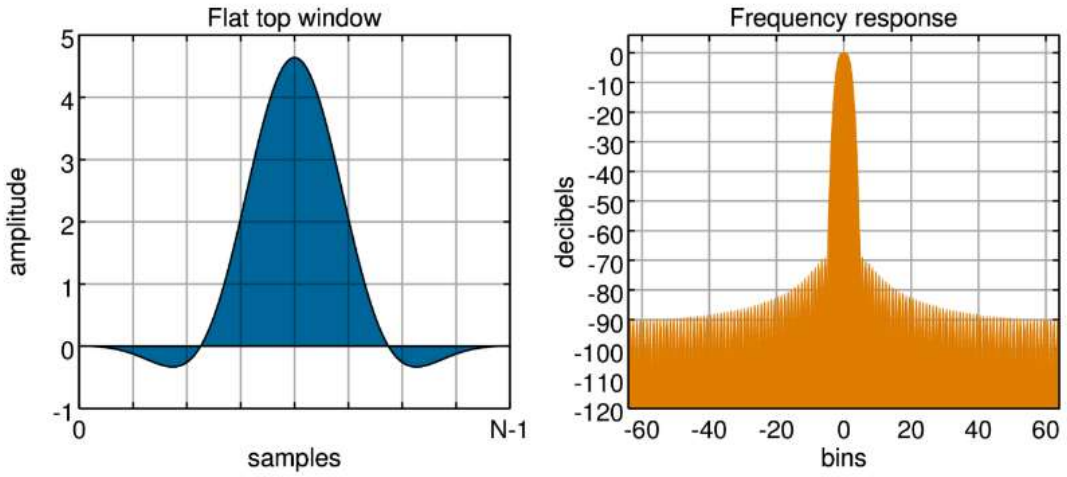


Ilustración 6 Ventanas de Fourier [26]

3.3. ESPECTRO DE FRECUENCIA

El periodograma calcula las contribuciones a la variabilidad total de la serie de elementos periódicos en una frecuencia especifica. Si el periodograma muestra un pico en una frecuencia de datos, sugiere que esa frecuencia posee una relevancia superior en la serie que el resto de los datos recolectados [27].

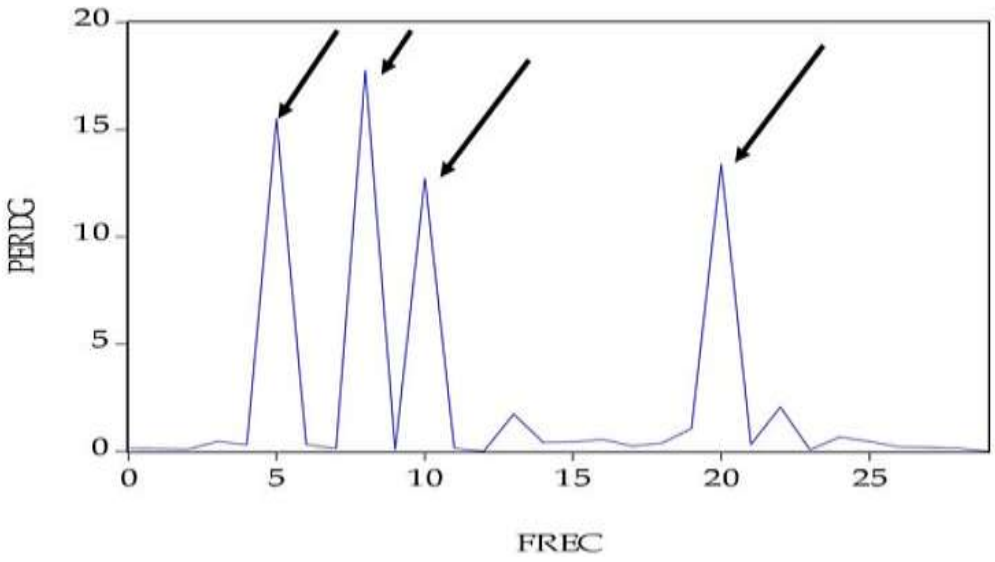


Ilustración 7 Periodograma de Frecuencias (representación de picos) [27]

El periodograma se asemeja a un sintonizador de una señal de radio, por lo que la serie que vemos seria la señal que transmite un radio y el periodrograma no sería más que el dial que determina la frecuencia en la que se percibe mejor la señal emitida [28].

Ilustración 8 Señal emitida [27].

3.4. HERRAMIENTAS SIG

Los sistemas de información geoespacial proporcionan un entorno que puede integrar, almacenar, modificar, analizar, compartir y mostrar datos referenciados geoespacialmente. Proporcionar un entorno que pueda integrar, almacenar, modificar, analizar, compartir y mostrar datos referenciados geoespacialmente. Estas Las herramientas Permiten a los usuarios con el fin de proporcionar consultas interactivas, consultas espacial análisis de información espacial análisis de información, modificar datos, crear mapas y exhibir los resultados de todas estas operaciones. Realizar consultas, analizar información espacial, modificar datos, crear mapas y exhibir los resultados de todas estas operaciones. Los datos de un SIG se almacenan en bases de datos espaciales, lo que permite a los usuarios manipular la información en relación con otros datos sin encontrar ningún problema. Almacenados en bases de datos espaciales, lo que permite a los usuarios manipular la información en relación con otros datos sin encontrar ningún problema. Los objetos (incluidas carreteras, superficies y elevaciones del mundo real) se pueden representar mediante dos abstracciones: objetos discretos (como una casa) y objetos continuos (como la cantidad de lluvia de otoño o una elevación). Las elevaciones) se pueden representar mediante dos abstracciones: objetos discretos (como una casa) y objetos continuos (como la cantidad de lluvia de otoño o una elevación) [29].

3.4.1. Software QGIS

QGIS es un código abierto sistema de información geoespacial con herramientas complementarias como Grass y Sage que resultan de gran ayuda para analizar los datos enviados a la plataforma de información geoespacial. El programa nos permite definir el alcance de nuestro estudio y aplicar etiquetas al mismo, y el archivo grande del proyecto se almacena en formato XML [30].

4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTO

4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La investigación analiza los eventos hidrológicos en la cuenca del río Coca, recurriendo a técnicas avanzadas de procesamiento en señales digitales como lo es la transformada de Fourier y Ondeletas, para determinar las frecuencias y periodos de retorno de eventos hidrológicos como sequias y variaciones de caudal. El resultado del estudio permitirá mejorar la planeación y gestión de recursos hídricos para la zona nombrada con anterioridad.

- **Alcance**

La investigación se enfoca en la cuenca del río Coca, una región de gran importancia hidrológica en el Ecuador. La recopilación de datos hidrológicos de esta cuenca será muy beneficioso para el estudio de frecuencias, logrando obtener datos que ayuden al análisis de Ondeletas, con ello se podrá interpretar los resultados y proponer recomendaciones que contribuyan a la gestión de sostenibilidad en la cuenca.

- **Contexto**

El cauce del río Coca está ubicado en una región sujeta a eventos hidrológicos como son las inundaciones, sequias, etc. Debido a estos eventos las comunidades del sector se ven afectadas en cuanto a su infraestructura y su economía. Es por ende que el análisis de frecuencias y periodos de retorno de eventos hidrológicos es fundamental para entender el comportamiento de la cuenca.

4.2. VARIABLES

4.2.1. Variables dependientes

- Frecuencias dominantes: Se obtiene mediante el estudio de la transformada de Fourier y Ondeletas, vinculada a la variable de la serie que es el caudal.

- Amplitudes de las componentes de frecuencia: representa la magnitud o intensidad de las frecuencias identificadas en las señales hidrológicas, se da en $\boldsymbol{m^3/s}$.

4.2.2. Variables Independientes

- Series temporales de caudales: son los datos de caudal del río Coca a lo largo del tiempo,

se da en $\boldsymbol{m^3/s}$.

- Especificaciones físicas de la cuenca: son variables como el área, la cobertura vegetal, etc. Se da en $\boldsymbol{Km^2}$.

4.3. DIAGRAMAS DE FLUJO

En el diagrama que se presentan a continuación describe los pasos y métodos que se ocupa para realizar el correcto análisis de la Transformada de Fourier y Ondeletas para la cuenca del río Coca. En el esquema se encuentra una descripción breve de los paquetes que existen en el programa Rstudio para realizar la imputación de datos, logrando tener el esquema general del proyecto de investigación, con el resultado de las series temporales de caudales y las frecuencias de estos.

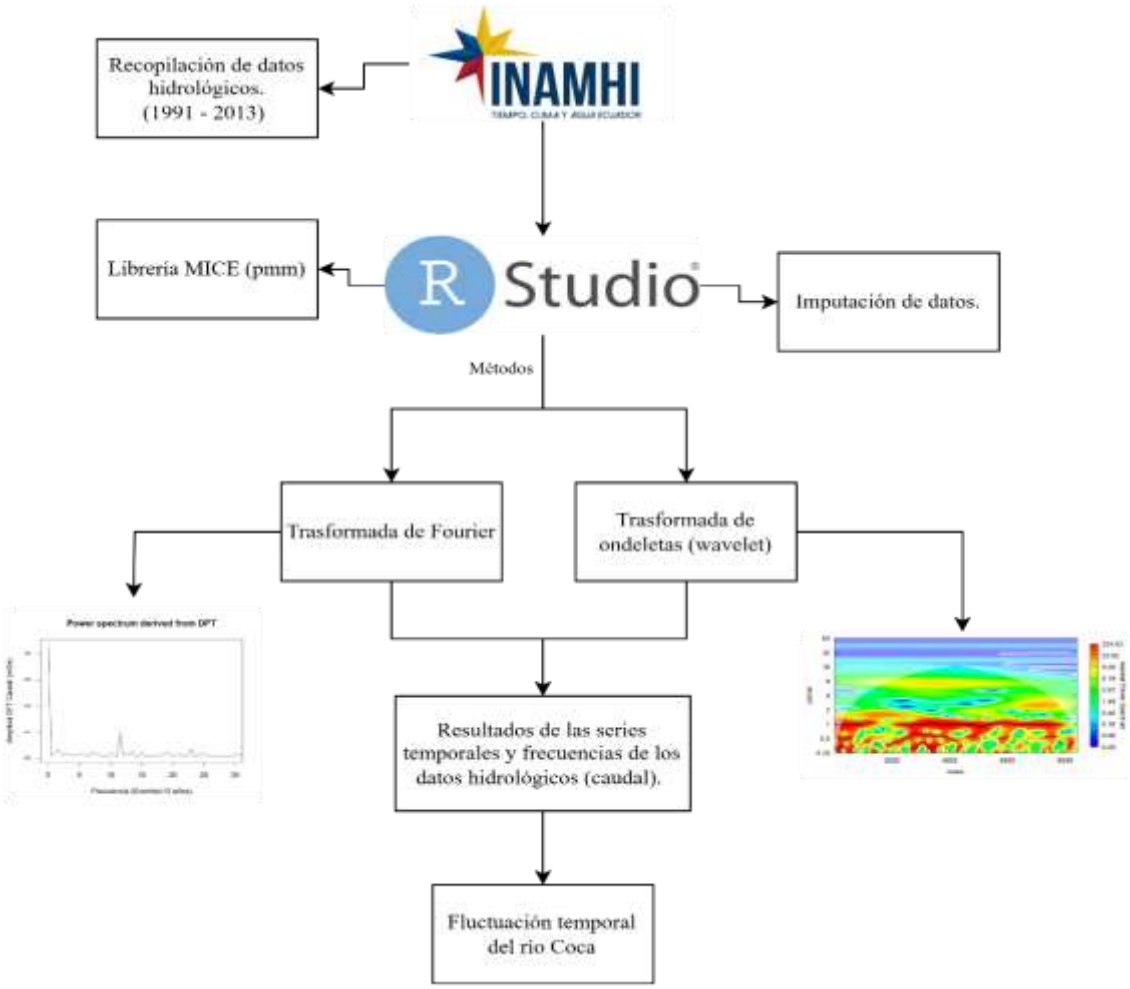


Ilustración 9 Esquema metodológico de la cuenca del río Coca

Elaborado por Alexander Mera y Blanca Beltrán

4.4. ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca del río Coca está situada en las provincias de Napo, Sucumbíos y Orellana, a su vez forma parte de la cuenca alta del río Napo. Este río surge de la fusión de los ríos Salado y Quijos, con una longitud de 5282.74 km. Este río tiene un rasgo distintivo en su trayectoria, describe una curva conocida como Codo Sinclair con un desnivel de 620 metros. Su nombre se atribuya al geólogo estadounidense Joseph Sinclair en 1927 [31].

Los meandros del río coca se originan en la región alta, que supera los 300 metros de altitud, y se descienden hacia la región baja, donde se proyectan con variados meandros cubriendo la planicie inundada. La hidrografía del río indica que surge en la cordillera real y termina en la región oriental, lo que le otorga una dinámica determinada por la existencia de actividad volcánica. En este contexto, se observan los volcanes presentes en la región de estudio, El reventador, Cayambe y Antisana [31]. Sus vertientes son alimentadas en este proceso, lo que provoca la acumulación de sedimentos que producen meandros y planicies de inundación como fenómeno natural. El flujo de agua en la cuenca alta varía entre 54.07 y 114.06 litros por segundo por kilómetro cuadrado, mientras que en la cuenca baja se incrementa con los siguientes valores que oscilan entre 238.85 y 1087.15 kilómetros cuadrados anuales [31]. La cuenca exhibe una amplia variabilidad de ecosistemas gracias a su extenso espectro de altitudes. En la región alta predominan los páramos y bosques montañosos, mientras que en la región baja prevalecen los bosques tropicales húmedos. La central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair, ubicada en esta cuenca, es una de las construcciones más importantes del Ecuador para el uso de la generación de energía. Esta cuenca esta resguardad por el parque nacional Cayambe - Coca y la Reserva ecológica Antisana.

Para el proyecto de investigación se tomó como referencia 4 estaciones hidrológicas cercanas a la cuenca de estudio las cuales son H0719, H0720, H0721 y H0722, quienes nos proporcionan informaciones de caudales diarios necesarios para la investigación, se presenta la ubicación geográfica de las provincias en que se encuentran la delimitación de la cuenca del río Coca, se visualizan a continuación.

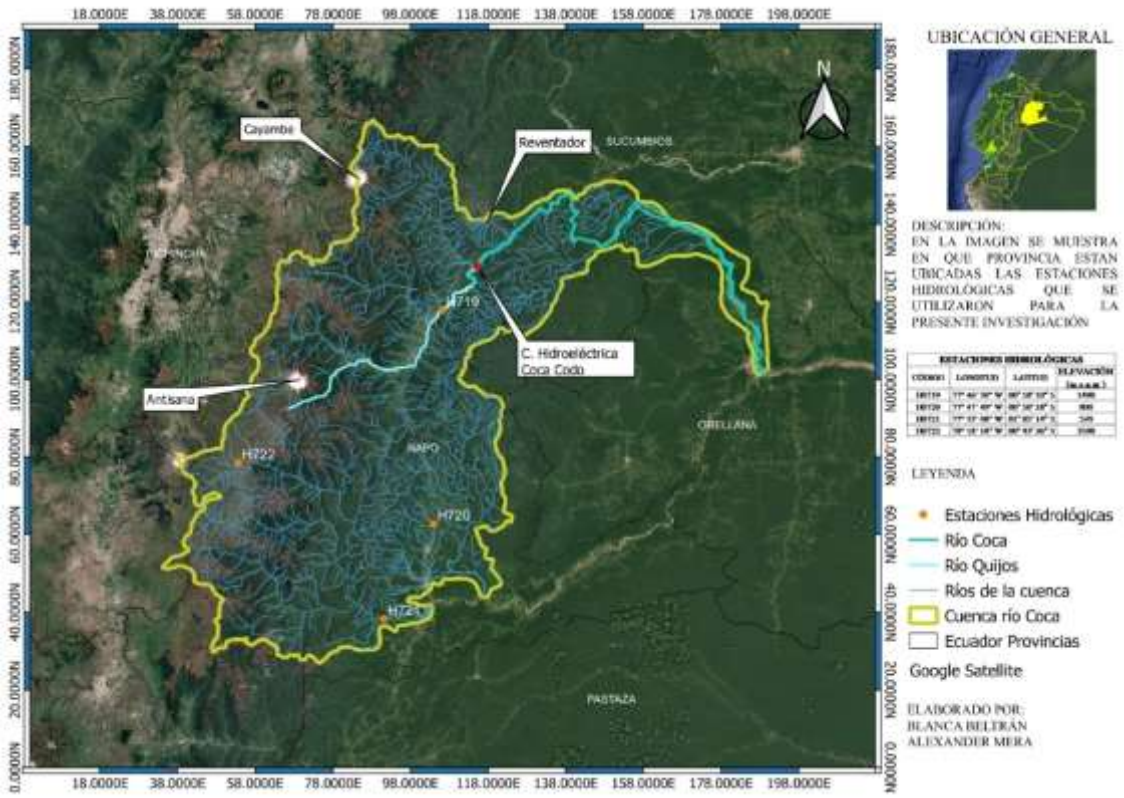


Ilustración 10 Delimitación de las estaciones ocupadas en el proyecto

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

4.4.1. Afluentes del río Coca

El Valle de Quijos, alimentado por una importante red de agua, está situado en la zona noroeste de los Andes. Sus aguas tienen un solo propósito las del río Quijos, que surgen en los acantilados del volcán Antisana, se encuentra revestido de una significativa red de agua, situada en la zona noroeste de los Andes en los cantones de Quijos y Chaco. Existe un número considerable de ríos considerados prioritarios que en conjunto forman el coca alto, esta agua posteriormente forma el coca en la provincia de Sucumbíos, depositándola en el Gran Río Napo, característica del Río Amazonas y afluente del Océano Atlántico. Las subcuencas disponibles son las de Coca, Jatunyaku y Misahualli. con el mayor número de microcuencas y que representan un recurso de gran relevancia, para la respectiva organización al agua destinada a uso humano, agropecuario y para la utilización del agua en la agricultura y la pecuaria, desarrollo de las actividades propias del ecosistema [32].

4.5. RECOPILACIÓN DE DATOS

En el Ecuador la entidad que se encarga de monitorear, recopilar y analizar los datos

hidrológicos en todo el país es el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), el cual proporciona la información recolectada en anuarios hidrológicos de Caudales y Niveles de las estaciones existentes en el país. Se encuentran ubicados en puntos estratégicos de cada cuenca hidrográfica y los datos se miden de manera diaria es decir en periodos de 24 horas. En nuestro estudio se empleó la recolección de dichos datos crudos a partir de los anuarios mencionados para los años de 1991 hasta el 2013, es decir un total de muestra de 23 años, las estaciones que cuentan con considerables datos crudos de caudales se han designado a partir de una extensa investigación, logrando obtener las siguientes estaciones para la realización del proyecto.

Tabla 4 Estaciones Hidrológicas

CÓDIGO	NOMBRE	LONGITUD	LATITUD	ELEVACIÓN
H0719	QUIJOS D.J. OYACACHI	77° 46’ 30” W	00° 18’ 10” S	1490 (m.s.n.m)
H0720	MISAHUALLI EN COTUNDO	77° 47’ 49” W	00° 50’ 28” S	800 (m.s.n.m)
H0721	JATUNYACU D.J. ILOCULIN	77° 55’ 08” W	01° 05’ 14” S	570 (m.s.n.m)
H0722	YANAHURCO D.J. VALLE	78° 18’ 18” W	00° 43’ 36” S	3590 (m.s.n.m)

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

Se presenta una tabla de recolección de datos desarrollado por los autores, diseñado específicamente para la captura y procesamiento de datos hidrológicos crudos, con un enfoque particular en los caudales diarios registrados en cada estación hidrológica. Este modelo simplifica la recolección, estructuración y estudio de datos hidrológicos, asegurando que los datos estén disponibles de manera eficiente para su posterior uso en estudios y aplicaciones prácticas. Estos datos fueron recopilados del INAMHI dándonos una totalidad de 84001 datos para los años comprendidos desde 1991 hasta 2013.

Tabla 5 Datos de Caudal crudos registrados en el INAMHI

Día	**Mes de Agosto del año 1995**			
	Caudal (m^3/s)			
	H0719	**H0720**	**H0721**	**H0722**
1	113.959	9.332	224.434	0.913

2	120.082	12.414	219.091	0.584
3	130.663	8.871	216.408	0.853
4	164.196	8.348	201.545	0.689
5	178.699	8.095	213.759	1.317
6	251.202	7.034	200.085	1.117
7	192.268	6.920	202.821	1.009
8	125.528	14.403	323.461	0.668
9	162.205	2.902	244.811	0.638
10	166.711	4.504	190.380	0.373
11	190.052	4.822	183.202	0.597
12	185.624	4.771	172.924	0.824
13	183.161	4.175	185.938	0.797
14	180.676	5.935	196.264	0.853
15	173.861	25.368	181.090	1.037
16	114.633	14.056	171.843	0.942
17	125.874	12.123	232.452	1.533
18	200.206	8.237	228.594	2.320
19	148.075	26.585	391.618	1.613
20	148.503	9.533	505.104	1.241
21	151.477	5.960	261.135	0.882
22	154.706	8.287	220.564	0.824
23	162.640	9.289	218.519	0.741
24	151.153	10.201	183.158	0.913
25	145.505	8.218	180.235	0.768

26	151.153	10.345	181.729	0.768
27	145.505	8.825	167.390	0.662
28	161.272	8.238	172.510	1.241
29	154.587	10.443	201.620	1.457
30	140.007	7.205	211.573	1.926
31	175.967	14.341	361.426	2.622

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

4.6. DATOS ATÍPICOS

En la hidrología, es importante conocer los diferentes patrones y fenómenos climatológicos, ya que al momento de realizar investigaciones en este campo existen la presencia de datos atípicos o también conocidos como outliers, que se refiere a una ubicación fuera de un rango determinado, lo que provoca inconvenientes al momento de realizar un análisis para la obtención de resultados de la investigación que se esté desarrollando. Estos datos atípicos se pueden encontrar por diferentes razones como, en la recolección de datos, eventos climáticos extremos o cambios drásticos en el medio ambiente [33]. Lo cual se considera siempre identificarlos para un adecuado manejo de estos, ya que ocasionan distorsión en la entrega de resultados.

Así mismo, [33] es frecuente encontrar este tipo de valores con distribución no normal, a veces, la ausencia de normalidad puede ser atribuida a la existencia de uno o varios valores atípicos en los datos, que se diferencian significativamente del resto de los valores y se desvían del patrón general de distribución de la variable. Varios autores han proporcionado distintas explicaciones para estos valores y han elaborado técnicas muy diversas para reconocerlos y gestionarlos. Los enfoques más utilizados se centran en el estudio de la distancia, agrupaciones, varianza, ángulos entre vectores y densidad. Además, pueden variar si los valores anomalías se encuentras en experimentos que examinan una o varias variables. Esto ha provocado una intensa polémica en la literatura respecto a la supresión de los valores atípicos, pero con una adecuada explicación es necesario entender su origen y su razón, pueden observar en los resultados de los experimentos antes de decidir su eliminación o su inclusión en el análisis, dado que, en

determinadas situaciones, su supresión puede causar la perdida de datos relevantes.

4.7. ÁNALISIS Y RELLENO DE DATOS PROPORCIONADOS POR EL INAMHI

4.7.1. Water Resources Council Method

Según, [21] el Consejo de Recursos Hídricos de los Estados Unidos sugiere que se emplee la distribución logarítmica Pearson Tipo III como base para los análisis de la frecuencia de los caudales de inundación (Consejo de Recursos de Agua de la Republica Dominicana, 1967,1976, 1977 y 1981; Benson, 1968). Su elección fue un esfuerzo por fomentar un método uniformé y coherente para establecer la frecuencia del flujo de inundación para su aplicación en toda la planificación federal que contemplé recursos acuáticos y terrestres vinculados. No obstante, hasta cierto punto, la selección de la distribución logarítmica de Pearson Tipo III es subjetiva, ya que existen diversos criterios que se pueden utilizar para elegir la distribución más adecuada, y ninguna distribución de probabilidad es más adecuada de acuerdo con todos los criterios.

El método de WRC de 1981 sugiere realizar modificaciones en los datos dudosos, también conocidos como outliers, que son puntos que se desvían de la tendencia de la información de los datos. La supresión de estos datos puede impactar de manera significativa en los resultados de la investigación. Así que se consideran las ecuaciones para identificar datos de alta y baja dudosidad. [21].

- La siguiente ecuación de frecuencia puede utilizarse para detectar datos dudosos altos [21]

$$YH = \overline{y} + K_n * S_y$$

Ecuación 5 Datos dudosos altos

- Una ecuación similar puede utilizarse para detectar datos dudosos bajos [21]:

$$YL = \overline{y} - K_n * S_y$$

Ecuación 6 Datos dudosos bajos

Los criterios estadísticos evalúan que también se ajusta una distribución a los datos observados. que se ocupan para seleccionar la mejor distribución de probabilidad son varios enlistaremos a unos pocos.

Tabla 6 Criterios Estadísticos

Criterio de Akaike	Evalúa la calidad relativa de un modelo estadístico, considerando tanto la complejidad del modelo es decir los números de parámetros.
Criterio de Gráficas	Se realiza cajas de bigote o plots.
Criterios Prácticos	Flexibilidad de la distribución, en log tipo 3 de Pearson se puede ajustar a una amplia gama de datos.

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

4.7.1.1. Pearson tipo III, distribución

Es una de las distribuciones generalmente más utilizadas en diferentes áreas para el modelamiento de datos asimétricos, es decir, en las variables que se centralizan en el extremo inferior, mientras que existen valores extremos más altos, para esto también hay que basarnos en varios parámetros como, la media, la desviación estándar y un parámetro que defina el grado de asimetría, de igual forma todo esto mencionado es un complemento necesario en la hidrología para modelar fenómenos naturales como el caudal de un río, precipitaciones extremas y otros acontecimientos hidrológicos que llegan a presentarse valores atípicos.

En este caso la implementación que utilizamos fue la Distribución logarítmica de Pearson tipo III, si log X sigue una distribución de Pearson tipo III, entonces se dice que X sigue una distribución logarítmica de Pearson tipo III. Esta distribución se utiliza para el análisis de frecuencia de las inundaciones máximas anuales, reduciendo la asimetría de los datos transformados, imponiendo un límite superior artificial a los datos permitiendo el ajuste de la curva de datos. Su uso se justifica por el hecho de que se ha descubierto que produce buenos resultados en muchas aplicaciones, particularmente para datos de picos de inundación[21].

Se presenta la recolección de datos atípicos diseñado para identificar y analizar valores extremos o inusuales en series hidrológicas. Este modelo se elaboró utilizando los 23 datos mínimos de caudales anuales registrados desde el año 1991 hasta 2013.Para el estudio de estos datos, se utilizó el procedimiento WRC de 1981, que se centra en la metodología de Pearson Tipo III, con el fin de ajustarse las distribuciones probabilísticas en hidrología. Además, se utilizaron fórmulas específicas para la detección y tratamiento de datos dudosos bajos, es decir, valores de caudal mínimos que podrían considerarse atípicos o inconsistentes.

Tabla 7 Datos atípicos de caudales mínimos para la estación H0722

NÚMERO	Q(m3/s)	Y= LOG 10	(Y-Ȳ) ^2	(Y-Ȳ) ^3
1	0,495	-0,3053948	0,09326598	0,000139898
2	0,090	-1,0457575	1,09360873	-0,326300697
3	0,110	-0,9586073	0,91892798	-0,217407306
4	0,301	-0,5214335	0,2718929	-0,004421153
5	0,369	-0,4329736	0,18746617	-0,000433223
6	0,373	-0,4282912	0,18343332	-0,000357671
7	0,373	-0,4282912	0,18343332	-0,000357671
8	0,373	-0,4282912	0,18343332	-0,000357671
9	0,373	-0,4282912	0,18343332	-0,000357671
10	0,373	-0,4282912	0,18343332	-0,000357671
11	0,421	-0,3757179	0,14116394	-6,24051E-06
12	0,541	-0,2668027	0,0711837	0,000741324
13	0,541	-0,2668027	0,0711837	0,000741324
14	0,541	-0,2668027	0,0711837	0,000741324
15	0,548	-0,2612194	0,0682356	0,000887161
16	0,548	-0,2612194	0,0682356	0,000887161
17	0,582	-0,235077	0,0552612	0,00182614
18	0,637	-0,1958606	0,03836136	0,004208099
19	0,637	-0,1958606	0,03836136	0,004208099
20	0,773	-0,1118205	0,01250383	0,014793918
21	0,859	-0,0660068	0,0043569	0,024718523
22	0,903	-0,0443122	0,00196358	0,030662776
23	1,237	0,0923697	0,00853216	0,090928781

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

Para simplificar el estudio y la detección de datos atípicos (outliers) en las series de flujos, los parámetros empleados en el proceso de detección se estructuraron y modificaron en el programa Excel. Esta herramienta facilita una gestión más eficaz de los datos, además de la implementación sistemáticas de fórmulas y cálculos. A continuación, se ofrece una explicación minuciosa de este procedimiento.

Tabla 8 Parámetros estadísticos para la estación H0722

PARÁMETROS ESTADISTICOS	**CAUDALES**	**LOG (10)**
Número de datos (N)	23,00	23,000
Sumatoria	12,00	-7,861
Valor Máximo	1,237	0,092
Valor Mínimo	0,090	-1,046
Media:	0,522	-0,342
Varianza:		
Desviación Estándar:	0,254	0,256
Coeficiente Variación:	0,49	-0,750
Coeficiente de Sesgo:		
Se Considera:	Aplicar pruebas para detectar datos dudosos altos y bajos	
n=	23,00	
Kn=	2,448	
Kn=	Valor recomendado, varía según el valor de n (significancia:10%)	

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

Como consecuencia de los cálculos y estudios efectuados anteriormente, se consiguió detectar la existencia de dos valores atípicos en la serie de datos de flujos mínimos. Estos valores, que se desvían significativamente del comportamiento general de los datos, fueron detectados mediante la aplicación de métodos estadísticos y el uso de herramientas de procesamiento como Excel. A continuación, se presenta una descripción detallada de estos resultados, los cuales se resumen en la Tabla 8.

Tabla 9 Valores atípicos o datos dudosos para la estación H0722

OUTLIER EN CAUDALES MÍNIMOS			
Estación	**Fecha**	**Valor del Outliers**	**Umbral Mínimo**
Yanahurco	18/5/1991	0,090	0,261
Yanahurco	19/5/1991	0,110	0,261

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

Los datos dudosos surgen por diferentes razones, se clasifican en métodos de medición, eventos hidrológicos y factores humanos.

Tabla 10 Errores de datos dudosos

Errores de medición	Fallos en los equipos de recolección de datos como sensores.
Errores humanos	Transcripción errónea de los datos.
Problemas de transmisión de los datos	Interferencia de transmisión desde las estaciones de medición al centro de procesamiento.

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

4.8. RELLENO DE DATOS

El relleno de datos es muy importante para darle la respectiva continuidad al análisis que se esté realizando en datos hidrológicos, con la finalidad de obtener buenos resultados que aportara para el desarrollo de infraestructuras hidráulicas [34]. La ausencia de datos implica una interrupción en secuencia de series temporales, complicando la identificación de patrones o tendencias en los datos. Para realizar el relleno de datos correctamente se utiliza diferentes metodologías, para nuestro caso de estudio seleccionamos la metodología de Pearson tipo III, esta tiene las variables que se centralizan en el extremo inferior, mientras que existen valores extremos más altos. Los parámetros que se toman en cuenta es la media y distribución estándar de los datos.

4.8.1. Librería MICE

Para este proceso se utilizó la librería Multiple Imputation by Chained Equations (MICE), traducido al español, imputación múltiple por ecuaciones encadenadas, es una herramienta utilizada para la imputación de datos faltantes. Este paquete se utiliza para reemplazar valores faltantes con valores plausibles para estimar coeficientes de regresión más realistas que no se ven afectados por valores faltantes, permitiendo crear una serie de conjuntos de datos imputados que reemplazan valores faltantes con valores plausibles y realizar nuestro análisis en estos conjuntos de datos completos separados para obtener un coeficiente de regresión[35].

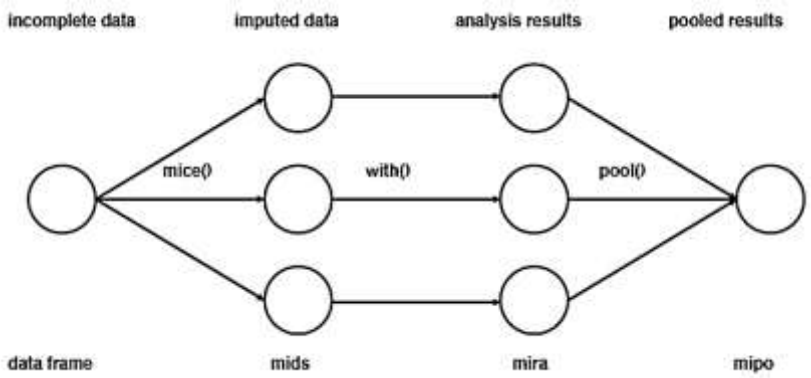


Ilustración 11 Librería MICE[36]

A continuación, se muestra los métodos de tipo numérico que se encuentran en la librería MICE para la imputación de datos, los cuales son un total de 39 métodos, en listaremos solo algunos. [36]:

- Predictive mean matching (pmm)
- Bayesian linear regression (norm)
- Linear regresión, non-Bayesian (norm.nob)
- Unconditional mean imputation (mean)
- Two-level linear model (2L.norm)[37]
- Mice. Impute.21.bin [36]

4.9. MÉTODO PREDICTIVE MEAN MATCHING (PMM)

El método que esta por detallarse a continuación, se implementó en la presente investigación para la imputación de datos hidrológicos (caudal).

Este método brinda un enfoque ante el manejo de datos faltantes manteniendo la variabilidad y las relaciones observadas en los datos existentes como en caudales y precipitaciones, lo cual es indicado ya que investigaciones realizadas han demostrado que especialmente en el estudio de caudal de ríos es normal encontrar datos faltantes por las interrupciones en las mediciones. En el método PMM, se combinan la regresión lineal y la selección de valores aleatorios para la imputación. La predicción lineal se utiliza como medida de distancia entre el valor faltante y sus posibles donantes y, con ello, se crea el espacio virtual con los casos candidatos para proporcionar el valor para la imputación. Se selecciona aleatoriamente uno de los candidatos del grupo y su valor se asigna a la unidad faltante [38].

4.10. TRANSFORMADA DE FOURIER

4.10.1. Estructuras de las series temporales

Los patrones y tendencias identificadas se los puede definir como la estructura de series temporales de un estudio realizado en un conjunto de datos a lo largo del tiempo, es fundamental entender estas estructuras para el análisis de series temporales.

El análisis de las series temporales se usan métodos que ayudan a interpretarlas y que permiten extraer información representativa sobre las relaciones subyacentes entre los datos de la serie o de diversas series y que permiten en diferente medida y con confianza predecir el comportamiento de la serie en momentos no observados[39].

Esto se realiza de igual forma por medio de (Kernels), que permite ayudar con la identificación de cambios en el caudal de ríos o variaciones en las precipitaciones.

Para esto, [40] una alternativa a la representación basada en características es la utilidad de una función que pueda medir la similitud de objeto a objeto. Además, incluso si la representación basada en características está disponible, puede ser demasiado débil para permitir que modelos más simples, como la regresión lineal y logística, modelen relaciones más complejas, como las interacciones de características. Una forma de superar estas limitaciones son los kernels. En general, los kernels son funciones que asignan un par de objetos de entrada a un número. Un uso de los kernels es considerar un objeto prototipo y luego mapear el espacio de entrada en

una representación latente, donde las técnicas de modelado seleccionadas pueden ser más exitosas. Cuando se aplican a un par de instancias de datos, podemos considerar los kernels como funciones que miden la similitud. Suavizar kernels como se usa en la estimación de la densidad de kernel, que tiene un significado sustancialmente diferente.

4.11. TRANSFORMADA DE FOURIER

En su trabajo, Fourier afirmaba que cualquier distribución calórica, en este caso se trata de una distribución espacial, aunque podría ser temporal, podía descomponerse en una suma de distribuciones espaciales sinusoidales. Esto es lo que se conoce como serie de Fourier, aunque más tarde generalizaría esta teoría para extenderla a señales aperiódicas, recibiendo el nombre de transformada de Fourier[41].

La transformada de Fourier es una integral de transformación del dominio del tiempo de la frecuencia y asume que una función no periódica es una función periódica con periodo $\boldsymbol{T} \rightarrow \infty$ [42].

$$\boldsymbol{G}\,(\boldsymbol{f}) = \int_{-\infty}^{\infty} \boldsymbol{g}(\boldsymbol{t})\, \boldsymbol{e}^{-2\pi f t}\, \boldsymbol{dt}$$

Ecuación 7 La transformada de Fourier según Fleming

Donde:

t: tiempo

$\boldsymbol{f}$: Frecuencia en Hz

$\boldsymbol{g}(\boldsymbol{t})$: señal de prueba

$\boldsymbol{e}^{-2\pi f t}$: fasor de sondeo (Kernel Fuction)

$\boldsymbol{G}\,(\boldsymbol{f})$: espectro en función de la frecuencia $\boldsymbol{f}$ [43].

4.12. COEFICIENTES DE FOURIER

Los coeficientes de Fourier permiten representar funciones periódicas como es la suma de senos y cosenos, siendo utilizados fundamentalmente en la descomposición de señales de frecuencia y procesamiento de datos.

4.13. FRECUENCY DOMIN SIGNAL OF LENGH N+1.

Consideremos una señal que dura un segundo representada por una función f : [0, 1] −→ R. En la práctica, sobre todo en nuestro mundo digital, la muestreamos, lo que significa que la sustituimos por el vector f(1/N), f(2/N), . . . , f(N/N) t ∈ R N correspondiente a medir la señal cada 1/N segundos con N grande (en señales de audio es habitual N = 44100). El producto escalar correspondiente a dos señales f y g sería PN k=1 f(k/N)g(k/N). Para que esto no resulte enorme se suele normalizar dividiendo entre N y en el límite N → ∞, cuando el muestreo es infinitamente fino, se obtiene R 1, 0 fg. Por esta razón para señales que duran entre los tiempos t = a y t = b es natural definir los productos escalares [44].

4.14. TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER (DFT)

La DFT utiliza números reales para representar las señales de entrada y salida, si todos esos datos tienen un valor de cero la señal es discreta y aperiódica, eso quiere decir que se requiere un número infinitos de sinusoides para sintetizar la señal. Las secuencias finitas de datos discretos, como son las series temporales, actúan sobre la descomposición de la señal en sus componentes de frecuencia [24]. Como se mencionó anteriormente, la Transformada Discreta de Fourier (DFT) es una herramienta matemática que permite analizar series temporales en el dominio de la frecuencia. En el contexto de nuestro estudio, este método se aplica para identificar patrones de estacionalidad y detectar las frecuencias dominantes asociadas a eventos hidrológicos en la cuenca del río Coca.

A continuación, se describe cómo se implementó este enfoque y su relevancia en el análisis de caudales.

1. Preparación de datos: se recopilo los datos diarios de la cuenca del río Coca, en un periodo de 23 años es decir desde 1991 hasta 2013, los datos se organizaron en un formato de archivo CSV.
2. Aplicación de DFT: se utiliza la función Rawsignal en Rstudio, el resultado de la programación es pasar del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia.
3. Visualización del espectro de frecuencia: se genera la gráfica del espectro de frecuencia para la visualización de los componentes dominantes y los patrones de estacionalidad.

4.15. TRANSFORMADA DE ONDELETAS (WAVELET)

Así mismo, [45] en los últimos tiempos, la transformada wavelet se ha vuelto un instrumento de análisis muy utilizado por su habilidad para desentrañar al mismo tiempo información espectral y temporal dentro de la señal. Esto supera la deficiencia básica del análisis de Fourier, ya que Fourier contiene solo información promediada globalmente. Por lo tanto, se puede realizar un preprocesamiento de datos mediante la descomposición de series de tiempo en sus subcomponentes utilizando el análisis de transformada wavelet. Las transformada de wavelet proporcionan descomposiciones útiles de la serie de tiempo principal, de modo que los datos transformados por wavelet mejoran la capacidad de un modelo de pronóstico al capturar información útil en varios niveles de resolución. También hay que destacar la descomposición de una serie de tiempo no estacionaria en diferentes escalas proporciona una interpretación de la estructura de la serie y extrae información significativa sobre su historia, utilizando pocos coeficientes. Por estas razones, esta técnica se aplica en gran medida al análisis de series de tiempo de señales no estacionarias, lo que ha con llevado que la comunidad hidrológica utilice el potencial de la transformada wavelet como herramienta de análisis.

La necesidad de encontrar pruebas que justifiquen la existencia de un posible cambio climático o fenómenos naturales ha llevado a desarrollar las técnicas de análisis de series meteorológicas en el dominio temporal y espectral [46]. En este caso el análisis espectral utilizado por el conjunto de técnicas que aporta en la investigación (Transformada de Fourier y wavelet) por la capacidad de descomponer señales o series temporales en sus elementos de frecuencias.

4.15.1. Ondículas de Morlet para el análisis de tiempo-frecuencia

Las ondículas de Morlet son utilizadas particularmente para análisis de tiempo-frecuencia, en lo que los espectros de potencia se calculan por ventanas de periodos de duración. La figura siguiente muestra la visualización de una wavelet de Morlet obtenida al multiplicar una sinusoide por una gaussiana.

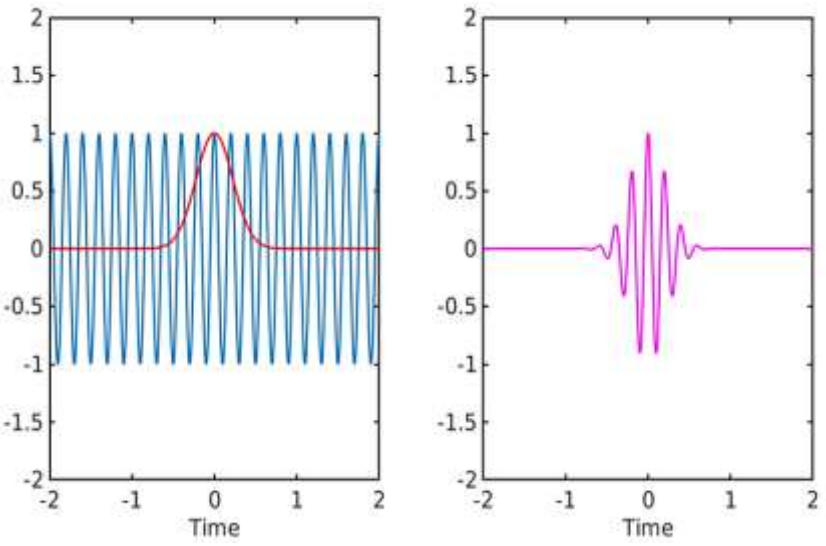


Ilustración 12 Wavelet de Morlet [47].

La transformación wavelet consiste esencialmente en convolucionar la wavelet compleja con la señal y desplazarla a lo largo del eje del tiempo (lo que se conoce como traslación). Este proceso se repite utilizando wavelets de frecuencias variables (lo que se denomina escalamiento: una escala alta corresponde a baja frecuencia, mientras que una escala baja corresponde a alta frecuencia) [48]. De esta manera, las wavelets de alta frecuencia permiten una mejor localización temporal, ya que están más concentradas en el tiempo. Por el contrario, las wavelets de baja frecuencia, al estar más estiradas, pierden cierta precisión en la localización temporal.

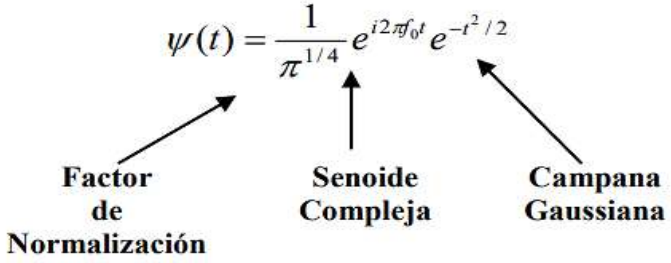


Ilustración 13 Ecuación de Morlet para las ondículas [47].

A diferencia de la Transformada de Fourier de Tiempo Corto (STFT, por sus siglas en inglés), que utiliza un tamaño de ventana fijo para todo el análisis, la transformación wavelet permite analizar una señal en diferentes frecuencias con resoluciones variables [49]. Como se observa en la figura siguiente, las wavelets ofrecen una buena resolución en frecuencia y una resolución temporal relativamente baja para las frecuencias bajas, mientras que proporcionan una buena

resolución temporal y una resolución en frecuencia relativamente baja para las frecuencias altas. Este enfoque multiresolución es una de las principales ventajas de la transformación wavelet frente a otros métodos de análisis de señales [47].

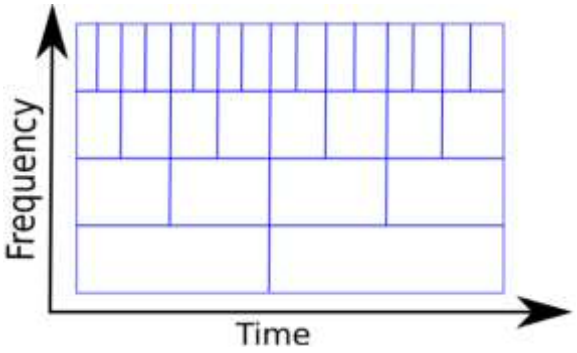


Ilustración 14 La representación tiempo-frecuencia de la señal transformada por wavelet de Morlet [49].

4.16. SOFFWARE RSTUDIO

El software R funciona como un entorno temporal de trabajo, esto quiere decir que el usuario va agregando datos y objetos (conjuntos de datos con diferentes atributos). Hay que tener en cuenta que R trabaja con la memoria activa (RAM) del computador, por lo tanto, cualquier análisis sólo mostrará la información resultante pero no permanecerá como archivo posible de utilizar de modo posterior. Es decir, si los análisis no son guardados como objetos (vectores, matrices, listas u otros tipos de objetos) se deberán repetir las instrucciones para obtener otra vez el resultado [50]. También es conocido como un entorno de desarrollo integrado (IDE) empleado para el lenguaje de programación en R, ofreciendo la integración de varios paquetes de R, como gráficos interactivos que mejoran la creación de proyectos.

Poseemos un script donde se ha elaborado un algoritmo analizando los requerimientos detallados. Este script se lleva a cabo mediante una consola que verifica el código: en caso de ser correcto, las letras se ponen de color azul; en caso contrario, se vuelve de color rojo y se señalan los errores concretos al ejecutar el software. En el área de trabajo, todos los elementos generados durante el proceso se guardan y se cargan de manera automática en el software. Además, se elaboran diagramas que presentan los resultados logrados al ejecutar el programa, ofreciendo una representación nítida de los datos.

4.16.1. Algoritmo de R para DFT

El proceso para implementar el algoritmo se inicia con la carga o instalación de las librerías y paquetes requeridos. Los ficheros que se emplearán en el software deben estar en formato CSV.

Es crucial considerar que, en función de la configuración regional del ordenador, la separación de decimales puede cambiar; en nuestra situación, se emplea el punto y coma (“;”).

Una vez establecido esto, se procede a poner en marcha el script seleccionando la opción "Ejecutar". Esto comienza el algoritmo, y en el environment se muestra el archivo que se carga. Es aconsejable almacenar los hallazgos en el ordenador, generando una carpeta particular para simplificar la organización y gestión del estudio. Finalmente, se explica el método empleado para el estudio del espectro de frecuencia, que se fundamenta en la Transformada Discreta de Fourier (DFT).

Tabla 11 Explicación del algoritmo para la DFT

N°	PASOS	FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
1	La limpieza del espacio de trabajo.	rm	Elimina todas las variables del entorno de trabajo.
2	Establecimiento del directorio.	setwd	Define donde se encuentra los archivos.
3	Carga de datos	y<-read.csv	Abre un cuadro de dialogo para seleccionar el archivo.
4	Visualización de datos	plot	Carga la visualización.
5	Preparación de datos	rawsignal	Muestra la señal cruda
6	Frecuencias de muestreo	strate	Establece la muestra.
7	Creación del vector tiempo	time	Este vector va desde el -1 al 1.
8	DFT	fouriertime	Crea un vector tiempo.
9	Iniciación de coeficientes de Fourier	fouriercoefs	Crea un vector de longitud N iniciando desde cero.
10	Cálculo de frecuencias	frequencies	Crea un vector de frecuencias.
11	Bucle para DFT	for	Cada frecuencia genera una onda senoidal compleja.
12	Escalado de	fouriercoefs	Escala y divide en el número total de

	coeficientes		muestras.
13	Gráfica de espectro de frecuencia	Plot	Grafica de espectro de potencia DFT y muestra la amplitud de frecuencia más altas.
14	Identifica frecuencias más altas	frequencies	Encuentra y muestra las 10 frecuencias más altas en el espectro.
15	Pico más alto	Índice-pico	Encuentra la frecuencia y amplitud del pico más alto en el espectro.

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

4.16.2. Raw Signal

En una investigación generalmente se realiza al final un proceso de comparación con los valores originales para analizar resultados, lo cual siempre se regresa a los datos originales o también conocido como (raw signal), es decir datos crudos obtenidos por mediciones para el estudio.

4.16.3. Algoritmo para Wavelets

Tabla 12 Explicación del algoritmo para Waveltes

N°	PASOS	FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
1	Instalación de paquetes y carga	Install.packages	Instala los paquetes y proporciona funciones de análisis.
2	Carga de datos	Read. csv	Muestra el contenido del Dataframe.
3	Conversión de fechas	Class	Muestra la clase de objetos y convierte la columna en objetos fecha.
4	Muestra datos de Fechas	R data	Muestra el contenido del objeto data.
5	Creación de un Nuevo Dataframe	Dados2	Crea un dataframe2 que contiene las fechas en columnas.
6	Verificación de clases	Class. dados2	Muestra el archivo.
7	Análisis de Ondículas	my.w	Realiza análisis de ondículas en la columna dados. Chuva.
8	Verificacion de clases	Class my.w	Muestra los datos que contiene los resultados del análisis de ondículas.

9	Visualización del Espectro de Potencia.	Wt.image.	Genera una imagen de espectro de potencia de las ondículas.
10	Verificación de clases de la imagen	Class wt.image	Muestra la clase de objeto de imagen que presenta la visualización.

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

4.16.4. Análisis de wavelet

El método principal que se utiliza en este código es el análisis de wavelet, que permite descomponer una serie temporal en diferentes frecuencias y temporalidades. Este enfoque es útil para detectar patrones temporales y cambios en la variabilidad de la serie a lo largo del tiempo.

5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

A continuación, analizaremos los resultados obtenidos de cada estación hidrológica que se utilizó para el estudio de la cuenca del rio Coca, la descripción de los acontecimientos más relevantes se visualizara en las gráficas de espectro de frecuencias derivado de la Transformada Discreta de Fourier (DFT) y ondeletas (wavelet).

5.1. RELLENO DE DATOS

Para primera instancia se realizó la imputación de datos para las cuatro estaciones hidrológicas (H019 QUIJOS D. J. OYACACHI, H0720 MISAHUALLI EN COTUNDO, H0721 JATUNYACU D. J. y H0722 YANAHURCO D. J. VALLE), método empleado predictive mean matching (pmm).

Tabla 13 Datos referenciales faltantes de las estaciones

Datos – Días	**Caudal en (m^3/s)**			
	H0719	**H0720**	**H0721**	**H0722**
1	175.684	6.100	496.076	1.168
2	321.879	5.032	419.402	0.977
3	262.492	4.369	297.008	0.916
4	210.676	3.742	521.748	0.912

-	NA	NA	NA	NA
-	NA	NA	NA	NA
-	NA	NA	NA	NA
8395	91.314	12.508	NA	31.046
8396	74.462	10.979	110.382	1.344
8397	56.918	12.766	139.567	1.232
8399	158.490	15.766	126.524	1.072
8400	125.518	10.117	120.305	1.022
8401	106.128	9.023	112.322	0.974

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

Efectuando con el primer objetivo propuesto, se realizó la preparación de series temporales de caudales para el análisis hidrológico mediante la filtración y corrección de datos atípicos a las estaciones hidrológicas H0719, H0720, H0721 y H0722.

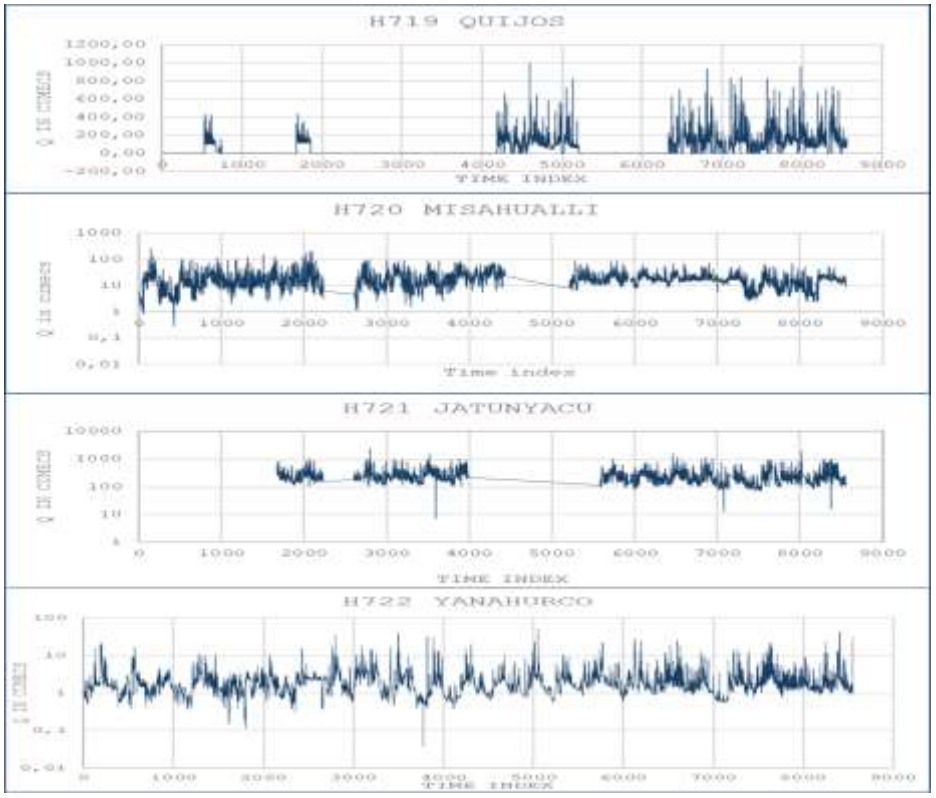


Ilustración 15 Datos de caudal crudos en el programa Excel H0719, H0720, H0721 Y H0722

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

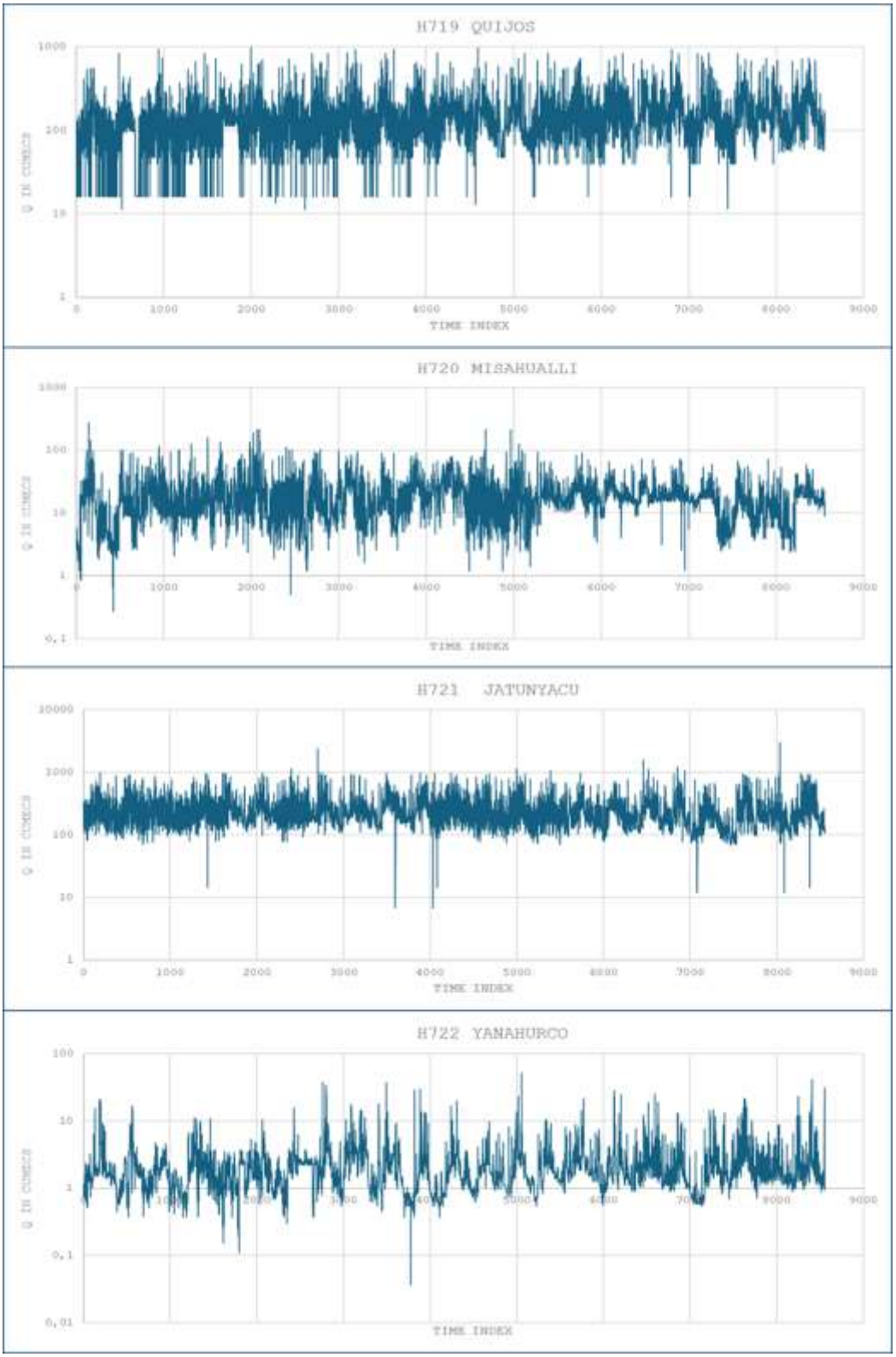


Ilustración 16 Datos de relleno en el programa Rstudio H0719, H0720, H0721 y H0722

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

5.2. TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER

5.2.1. Estación H0719 Quijos D. J. Oyacachi

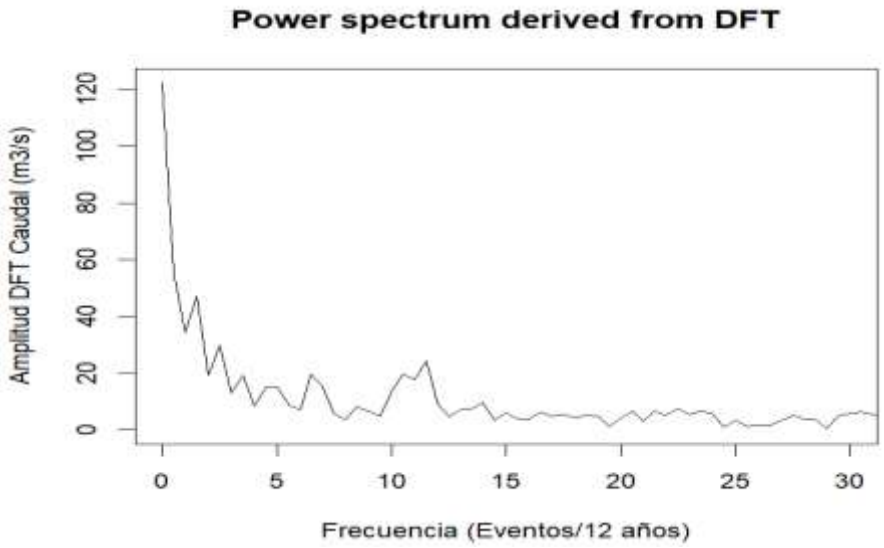


Ilustración 17 Espectro de Frecuencia en el programa Rstudio H0719

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

Los resultados de la estación hidrológica (H0719 Quijos D. J. Oyacachi), indica que existe al principio de la gráfica un pico significativo o la amplitud dominante en los datos analizados que inicia en la frecuencia de 1 hasta 2 (Eventos/12 años) y llegando a una amplitud de 48 (m3/s), demostrando que existió una variación alta en el caudal, es decir, en el trascurso de esos años según lo analizado con sus respectivos datos hidrológicos demostraron que hubo intensas lluvias afectando el flujo del río.

```
> ##look at the top frequencies.
> frequencies[order (absFourierCoefs,decreasing = T)] [1:10]
 [1]  0.0  0.5  1.5  1.0  2.5 11.5 10.5  6.5  2.0  3.5
> ##look at the top frequencies.
> frequencies[order (absFourierCoefs,decreasing = T)] [1:20]
 [1]  0.0  0.5  1.5  1.0  2.5 11.5 10.5  6.5  2.0  3.5 11.0  7.0  4.5  5.0 10.0  3.0 14.0 75.0 54.5 12.0
```

Ilustración 18 Frecuencias dadas por el programa Rstudio en la estación H0719

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

Estos datos se obtienen a partir de las 10 frecuencias más altas en el espectro, lo que el programa r nos proporciona lo evaluamos en la tabla que se muestra el análisis de la estación H0719.

Tabla 14 Análisis de la estación H0719 Quijos

Ranking de frecuencias más fuerte	Frecuencia 1-docena años	Frecuencia N- 23 años	Números de eventos por año	Comentarios
1	11.5	23	1	Este es el ciclo anual de 23 eventos en 23 años, es decir, un período de 1 año. tiene sentido ya que las precipitaciones son bastantes estacionales.
2	3	3	0.13	Esto significa 3 eventos en 23 años. Representa esas lluvias que tienen un periodo de retorno de unos 8 años, está relacionado con el ENSO.
3	2	2	0.09	Esto significa 2 eventos en 23 años. Representan lluvias que tienen un periodo de retorno de aproximadamente 12 años.
4	1.5	46	2	46 eventos en 23 años. Implica que hay 2 eventos anuales sugiere doble temporada de lluvia, coincide con otros estudios que muestran dos picos de precipitación al año.
5	10.5	24	1.04	Esto es como el ciclo anual de 24 eventos en 23 años, es decir, un período de 1 año. Tiene sentido ya que las precipitaciones son bastantes estacionales.
6	6.5	26	1.13	Esto es como el ciclo anual de 26 eventos en 23 años, es decir, cerca de un período de 1 años. Tiene sentido ya que las precipitaciones son bastantes estacionales.
7	7.0	22	0.96	Esto es como el ciclo anual de 22 eventos en 23 años, es decir de un período de 1 año. Tiene sentido ya que las precipitaciones son bastantes estacionales
8	5.0	20	0.87	Esto nuevamente está cerca del ciclo anual, es decir, 20 eventos en 23 años.
9	12.0	5	0.22	5 eventos en 23 años. Vuelve cada 46 años, ojo coinciden con la afirmación del libro Tropical meteo de que ENSO vuelve cada 4 o 5 años.

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

5.2.1.1. Representación de la frecuencia dominante

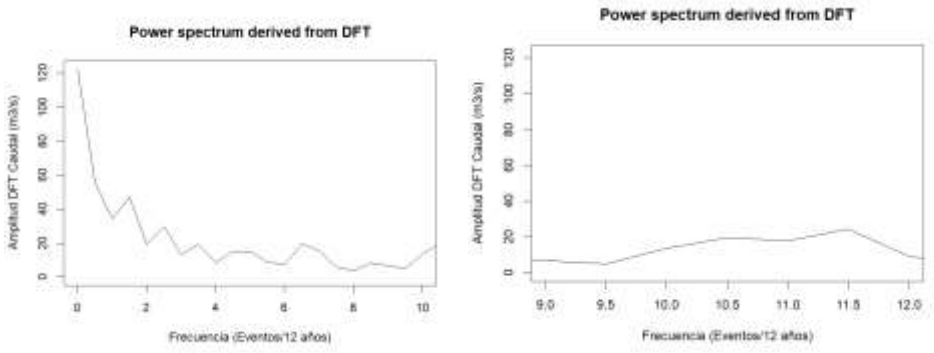


Ilustración 19 Espectro de Frecuencia en el programa Rstudio H0719

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

En el análisis de igual forma muestra una segunda variación de caudal significativa, donde también podemos resaltar que la frecuencia (Eventos/12 años) fue considerablemente extensa y con una gran amplitud en el caudal.

5.2.2. Estación H0720 Misahualli en Cotundo

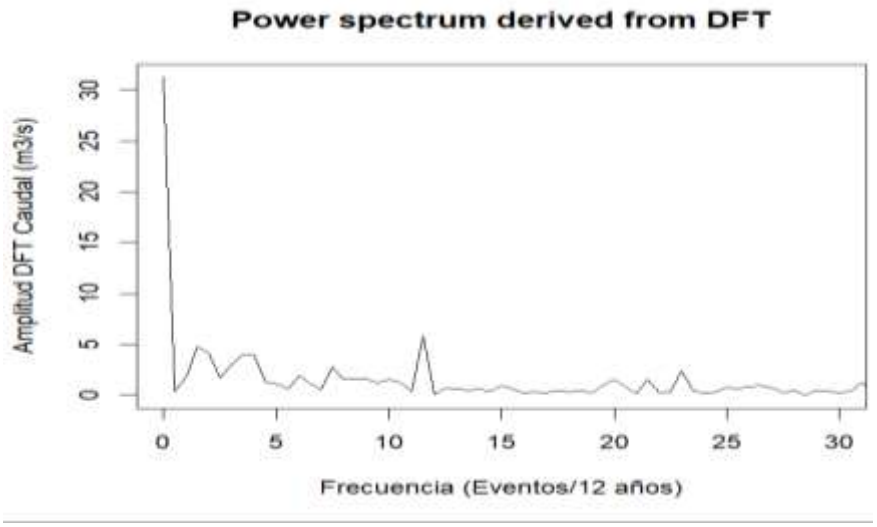


Ilustración 20 Espectro de Frecuencia en el programa Rstudio H0720

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

El análisis de la estación hidrológica (H0720 Misahualli en Cotundo), se puede visualizar en la (Ilustración 30) que hubo varios acontecimientos en la variación del caudal, iniciando con dos picos significativos que casi llegan igualar al pico dominante que se encuentra desde la frecuencia 11 hasta 12 (Eventos/12 años) y una amplitud de 6 (m3/s), demostrando que existió una variación en el caudal, no tan fuerte como en el anterior resultado.

```
> ##look at the top frequencies.
> frequencies[order (absFourierCoefs,decreasing = T)] [1:10]
 [1]  0.0 11.5  1.5  2.0  3.5  4.0  3.0  7.5 23.0  6.0
> ##look at the top frequencies.
> frequencies[order (absFourierCoefs,decreasing = T)] [1:20]
 [1]  0.0 11.5  1.5  2.0  3.5  4.0  3.0  7.5 23.0  6.0  1.0  2.5  9.0  8.5  8.0 10.0 20.0 21.5  4.5  9.5
```

Ilustración 21 Frecuencias dadas por el programa Rstudio en la estación H0720

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

Estos datos se obtienen a partir de las 10 frecuencias más altas en el espectro, lo que el programa r nos proporciona lo evaluamos en la tabla que se muestra el análisis de la estación H0720.

Tabla 15 Análisis de la estación H0720 Misahualli

Ranking de frecuencias más fuerte	Frecuencia 1-docena años	Frecuencia N- 23 años	Números de eventos por año	Comentarios
1	11.5	23	1	Este es el ciclo anual de 23 eventos en 23 años, es decir, un período de 1 año. tiene sentido ya que las precipitaciones son bastantes estacionales.
2	3	3	0.13	Esto significa 3 eventos en 23 años. Representa esas lluvias que tienen un periodo de retorno de unos 8 años, está relacionado con el ENSO.
3	2	2	0.09	Esto significa 2 eventos en 23 años. Representan lluvias que tienen un periodo de retorno de aproximadamente 12 años.
4	1.5	46	2	46 eventos en 23 años. Implica que hay 2 eventos anuales sugiere doble temporada de lluvia, coincide con otros estudios que muestran dos picos de precipitación al año.
5	7.5	24	1.04	Esto es como el ciclo anual de 24 eventos en 23 años, es decir, un período de 1 año. Tiene sentido ya que las precipitaciones son bastantes estacionales.
6	6	26	1.13	Esto es como el ciclo anual de 26 eventos en 23 años, es decir, cerca de un período de 1 años. Tiene sentido ya que las precipitaciones son bastantes estacionales.
7	9	22	0.96	Esto es como el ciclo anual de 22 eventos en 23 años, es decir de un período de 1 año. Tiene sentido ya que las precipitaciones son bastantes estacionales
8	10	20	0.87	Esto nuevamente está cerca del ciclo anual, es decir, 20 eventos en 23 años.
9	4.5	5	0.22	5 eventos en 23 años. Vuelve cada 46 años, ojo coinciden con la afirmación del libro Tropical meteo de que ENSO vuelve cada 4 o 5 años.

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

5.2.2.1. Representación de la frecuencia dominante

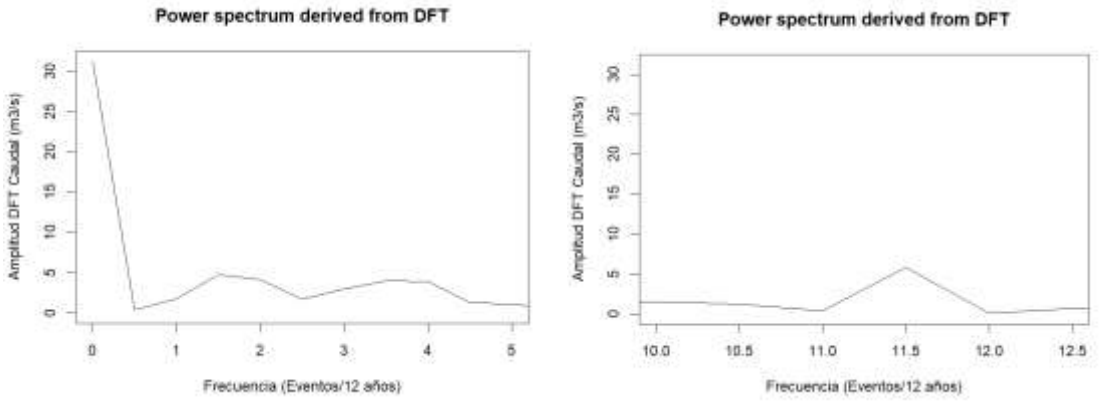


Ilustración 22 Espectro de Frecuencia en el programa Rstudio H0720

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

De igual forma se menciona una segunda variación de caudal significativa, donde también podemos resaltar que la amplitud fue considerablemente alta y con una frecuencia (Eventos/12 años) más extensas de los resultados.

5.2.3. Estación H0721 Jatunyacu D. J.

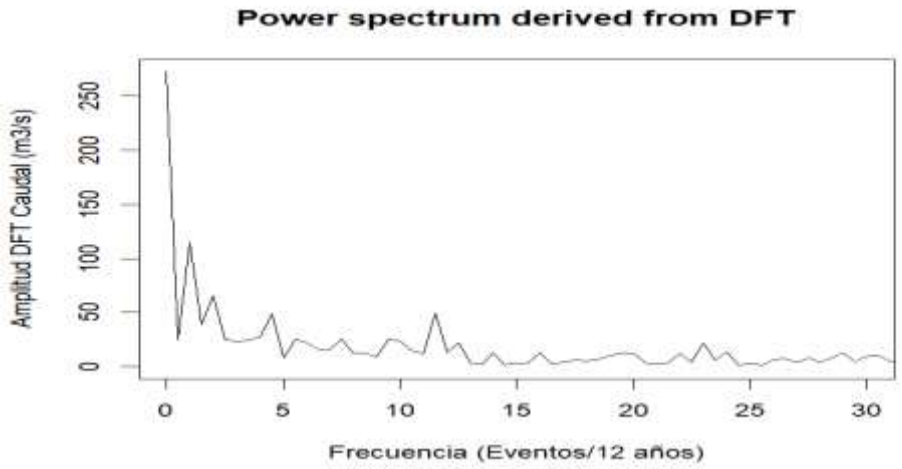


Ilustración 23 Espectro de Frecuencia en el programa Rstudio H0721

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

El resultado de la estación hidrológica (H0721 Jatunyacu D. J.), muestra en la (Ilustración 32) que existe algunas variaciones en el caudal, en su mayoría de una altura media tomando en cuenta al pico dominante en los datos analizados que inicia en la frecuencia de 0.5 hasta 1.5 (Eventos/12 años) y una amplitud de 118 (m3/s), también mencionar que esta estación es la que mayor amplitud de caudal (m3/s) tuvo de todos los resultados de las estaciones hidrológicas.

```
> ##look at the top frequencies.
> frequencies[order (absFourierCoefs,decreasing = T)] [1:10]
 [1]  0.0  1.0  2.0 11.5  4.5  1.5  4.0  9.5  5.5  7.5
> ##look at the top frequencies.
> frequencies[order (absFourierCoefs,decreasing = T)] [1:20]
 [1]  0.0  1.0  2.0 11.5  4.5  1.5  4.0  9.5  5.5  7.5  0.5  2.5  3.5  3.0 10.0  6.0 23.0 12.5  6.5  7.0
```

Ilustración 24 Frecuencias dadas por el programa Rstudio en la estación H0721

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

Estos datos se obtienen a partir de las 10 frecuencias más altas en el espectro, lo que el programa r nos proporciona lo evaluamos en la tabla que se muestra el análisis de la estación H0721.

Tabla 16 Análisis de la estación H0721 Jatunyacu

Ranking de frecuencias más fuerte	Frecuencia 1-docena años	Frecuencia N- 23 años	Números de eventos por año	Comentarios
1	11.5	23	1	Este es el ciclo anual de 23 eventos en 23 años, es decir, un período de 1 año. tiene sentido ya que las precipitaciones son bastantes estacionales.
2	4.5	3	0.13	Esto significa 3 eventos en 23 años. Representa esas lluvias que tienen un periodo de retorno de unos 8 años, está relacionado con el ENSO.
3	2	2	0.09	Esto significa 2 eventos en 23 años. Representan lluvias que tienen un periodo de retorno de aproximadamente 12 años.
4	1.5	46	2	46 eventos en 23 años. Implica que hay 2 eventos anuales sugiere doble temporada de lluvia, coincide con otros estudios que muestran dos picos de precipitación al año.
5	9.5	24	1.04	Esto es como el ciclo anual de 24 eventos en 23 años, es decir, un período de 1 año. Tiene sentido ya que las precipitaciones son bastantes estacionales.
6	5.5	26	1.13	Esto es como el ciclo anual de 26 eventos en 23 años, es decir, cerca de un período de 1 años. Tiene sentido ya que las precipitaciones son bastantes estacionales.
7	7.5	22	0.96	Esto es como el ciclo anual de 22 eventos en 23 años, es decir de un período de 1 año. Tiene sentido ya que las precipitaciones son bastantes estacionales
8	6.0	20	0.87	Esto nuevamente está cerca del ciclo anual, es decir, 20 eventos en 23 años.
9	3.0	5	0.22	5 eventos en 23 años. Vuelve cada 46 años, ojo coinciden con la afirmación del libro Tropical meteo de que ENSO vuelve cada 4 o 5 años.

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

5.2.3.1. Representación de la frecuencia dominante.

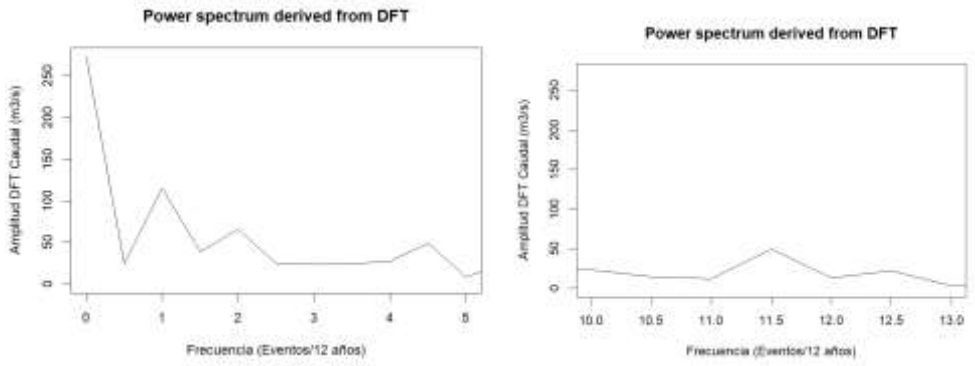


Ilustración 25 Espectro de Frecuencia en el programa Rstudio H0721

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

En la estación H0721 la segunda variación de caudal significativa se pronuncia a continuación del pico más dominante, donde existió unas variaciones consecutivas en el caudal.

5.2.4. Estación H0722 Yanahurco D. J. Valle

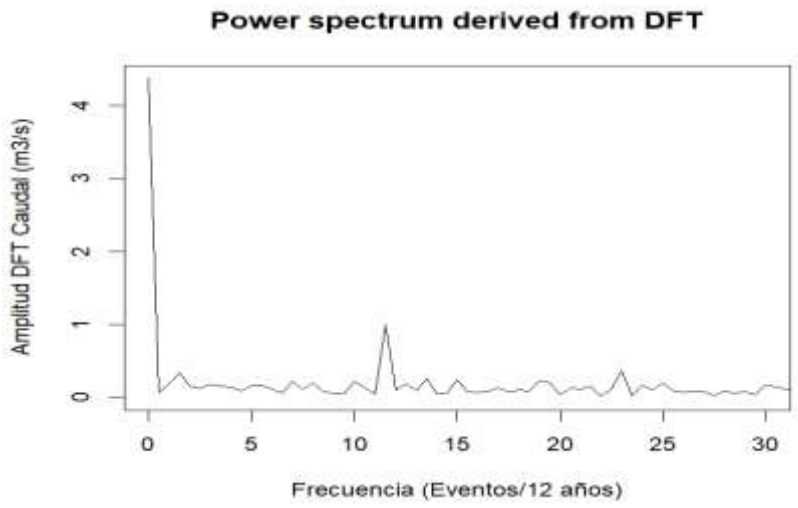


Ilustración 26 Espectro de Frecuencia en el programa Rstudio H0722

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

Los resultados de la estación hidrológica (H0722 Yanahurco D. J. Valle), indica que existe un pico significativo o una amplitud dominante en los datos analizados que inicia en la frecuencia de 11 hasta 12 (Eventos/12 años) y una amplitud de 1 (m3/s), demostrando que en estos resultados a diferencia de las otras estaciones fue donde percibió menos variaciones en el caudal.

```
> ##look at the top frequencies.
> frequencies[order (absFourierCoefs,decreasing = T)] [1:10]
 [1]  0.0 11.5 23.0  1.5 13.5 15.0 19.0 10.0  7.0 84.5
> ##look at the top frequencies.
> frequencies[order (absFourierCoefs,decreasing = T)] [1:20]
 [1]  0.0 11.5 23.0  1.5 13.5 15.0 19.0 10.0  7.0 84.5 54.0 70.5 34.5 88.0 25.0 57.0  8.0 19.5 60.0 12.5
```

Ilustración 27 Frecuencias dadas por el programa Rstudio en la estación H0722

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

Estos datos se obtienen a partir de las 10 frecuencias más altas en el espectro, lo que el programa r nos proporciona lo evaluamos en la tabla que se muestra el análisis de la estación H0722.

Tabla 17 Análisis de la estación H0722 Yanahurco

Ranking de frecuencias más fuerte	Frecuencia 1-docena años	Frecuencia N- 23 años	Números de eventos por año	Comentarios
1	11.5	23	1	Este es el ciclo anual de 23 eventos en 23 años, es decir, un período de 1 año. tiene sentido ya que las precipitaciones son bastantes estacionales.
2	13.5	3	0.13	Esto significa 3 eventos en 23 años. Representa esas lluvias que tienen un periodo de retorno de unos 8 años, está relacionado con el ENSO.
3	15	2	0.09	Esto significa 2 eventos en 23 años. Representan lluvias que tienen un periodo de retorno de aproximadamente 12 años.
4	19	46	2	46 eventos en 23 años. Implica que hay 2 eventos anuales sugiere doble temporada de lluvia, coincide con otros estudios que muestran dos picos de precipitación al año.
5	10	24	1.04	Esto es como el ciclo anual de 24 eventos en 23 años, es decir, un período de 1 año. Tiene sentido ya que las precipitaciones son bastantes estacionales.
6	7	26	1.13	Esto es como el ciclo anual de 26 eventos en 23 años, es decir, cerca de un período de 1 años. Tiene sentido ya que las precipitaciones son bastantes estacionales.
7	84.5	22	0.96	Esto es como el ciclo anual de 22 eventos en 23 años, es decir de un período de 1 año. Tiene sentido ya que las precipitaciones son bastantes estacionales
8	54	20	0.87	Esto nuevamente está cerca del ciclo anual, es decir, 20 eventos en 23 años.
9	70.5	5	0.22	5 eventos en 23 años. Vuelve cada 46 años, ojo coinciden con la afirmación del libro Tropical meteo de que ENSO vuelve cada 4 o 5 años.

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

5.2.4.1. Representación de la frecuencia dominante.

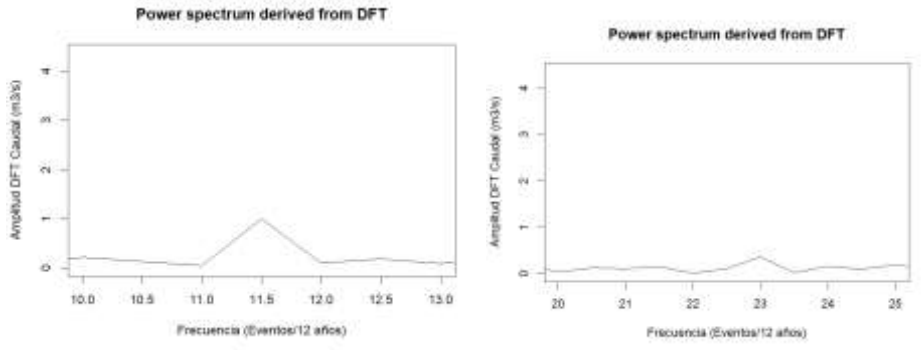


Ilustración 28 Espectro de Frecuencia en el programa Rstudio H0722

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

En la segunda amplitud dominante de la estación H0722, a diferencia de la primera amplitud dominante si existe una gran diferencia, en comparación a los otros resultados que la diferencia era mínima en los dos picos dominantes.

5.3. ONDELETAS (WAVELETS)

Para llevar a cabo un análisis riguroso mediante la Transformada de Ondeletas, es esencial comprender una serie de conceptos básicos que sustentan esta metodología. A continuación, se describen los elementos esenciales que facilitan la correcta interpretación de los resultados logrados.

5.3.1. Escala y Translación en la Transformada de Ondeletas

El nivel de escala en un diagrama de ondeletas simboliza el grado de precisión o frecuencia en la desintegración de la señal. Las grandes escalas se relacionan con frecuencias bajas, que capturan elementos de la señal que cambian de manera gradual, como tendencias o patrones de largo alcance. En cambio, las escalas pequeñas se asocian a frecuencias elevadas, las cuales facilitan la identificación de variaciones veloces o sucesos efímeros en la señal. Por otro lado, la translación hace referencia a la ubicación temporal de la ondeleta a través de la señal. Este parámetro facilita la identificación temporal de las propiedades particulares de la señal, lo cual es crucial para examinar fenómenos no estacionarios o con conductas localizadas [34].

5.3.2. Análisis Multiresolución

El análisis multiresolución es un procedimiento que divide una señal en distintos grados de resolución o escalas. Cada nivel ofrece datos acerca de la señal en un espectro de frecuencias concreto, lo que facilita el análisis tanto de los elementos de baja frecuencia (tendencias mundiales) como de los de alta frecuencia (especificaciones locales). Una de las mayores ventajas de la transformada de ondeletas en comparación con otras técnicas de análisis espectral, como la Transformada de Fourier, es su capacidad para descomponerse en diversas escalas [34].

5.3.3. Espectro de Frecuencia y Energía de los Coeficientes

En un diagrama de ondeletas, el espectro de frecuencia muestra la energía de los coeficientes de ondeletas en relación con la frecuencia. En este tipo de diagramas, se emplean los colores para señalar los niveles de intensidad energética vinculados a los coeficientes.

- Los colores cálidos (rojo, amarillo, naranja) señalan una energía elevada, lo que coincide con las frecuencias predominantes en la señal. Estas áreas son de especial relevancia, dado que simbolizan los elementos más relevantes de la señal [51].

- Los colores fríos (azul, verde) simbolizan energía baja, lo que indica una aportación reducida de dichas frecuencias a la señal. Estas zonas pueden vincularse con ruido o elementos de menor importancia [51].

5.3.4. Interpretación de los Resultados

La comprensión de los resultados logrados a través de la transformación de ondeletas se fundamenta en la detección de patrones en el espectro de frecuencia. Por ejemplo, el hecho de que existan colores cálidos en escalas grandes (frecuencias bajas) puede sugerir la presencia de patrones estacionales o tendencias a largo plazo en la transmisión. En cambio, colores cálidos en escalas bajas (frecuencias altas) pueden indicar sucesos momentáneos o fluctuaciones veloces, como picos de energía vinculados a fenómenos bruscos [48].

5.3.5. Aplicación en el Contexto de Estudio

En el marco de este estudio, el estudio de la transformada de ondeletas se utiliza para examinar una serie de corrientes temporales de las estaciones hidrográficas H0719, H0720, H0721, H0722, situadas en la Amazonía ecuatoriana. El análisis de los resultados facilitará la identificación de patrones estacionales, tendencias a largo plazo y sucesos extremos, como crecidas o sequías, que resultan de gran importancia para la administración de recursos acuáticos en la zona.

5.3.6. Estación H0719 Quijos D. J. Oyacachi

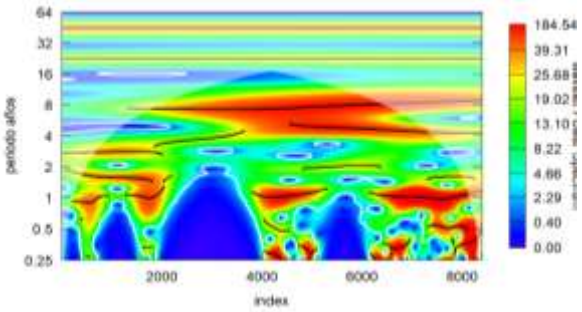


Ilustración 29 Espectrograma de potencia de wavelet para la estación H7019

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

El programa Rstudio ofrece una imagen de un Espectro de Potencia Wavelet, los datos mostrados contienen valores de potencia para diversas escalas y sus respectivos valores de potencia correspondientes. El eje horizontal simboliza el índice (2000, 4000, 6000, 8000), que se relaciona con etapas temporales o frecuencia en la señal que se está estudiando. Las pruebas utilizaron la transformada Wavelet para determinar la potencia en cada escala, lo que ofrece datos acerca de la energía de la señal en diversas bandas de frecuencia. Se llevó a cabo un estudio de Wavelet con el objetivo de desglosar la señal en diversas escalas y frecuencias, lo que facilita la identificación de patrones o comportamientos particulares en la misma.

Los hallazgos indican que la potencia se reduce conforme la escala se disminuye, los resultados indican que la señal analizada tiene un comportamiento dominante en las bajas frecuencias, lo que podría estar relacionado con tendencias o componentes de larga duración en la señal. La disminución de la potencia en las escalas más pequeñas sugiere que las componentes de alta frecuencia tienen una contribución menor a la energía total de la señal. Las bandas horizontales de colores cálidos demuestran eventos frecuentes durante un largo periodo de tiempo, la banda de color amarilla alrededor del periodo 4 indica una señal de tiempo presente en la mayor parte del rango analizado, las manchas de color rojo intenso al redor del índice 4000 indican eventos significativos en la señal. Al inspeccionar detenidamente se deduce que se repiten ciclos largos, es decir, años lo cual es correcto ya que el fenómeno del niño regresa cada 4 años, esto se aprecia en la escala partir del número 4 al 8. La escala de alta frecuencia sugiere que el periodo 0.25 hasta el 0.5 de los datos de diarios en el rango de 2000 al 6000, existió lluvias intensas es por ende que cambia abruptamente el caudal de la estación, el caso más extremo se da en los datos del 2000 al 4000 en el año 2, el cual se tiene lluvias intensas pronunciadas, podríamos decir que en promedio de cada 6 meses al año existe por lo menos una lluvia intensa en el área de estudio. Se ilustra con detalle la escala y potencia de la estación H7019.

Tabla 18 Escala y Potencia de la estación H0719

Escala	**Potencia**
64	184.54
32	39.31
16	25.68
8	19.02
4	13.10

2	8.22
1	4.66
0.5	2.29
0.25	0.40

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

5.3.7. Estación H0720 Misahualli en Cotundo

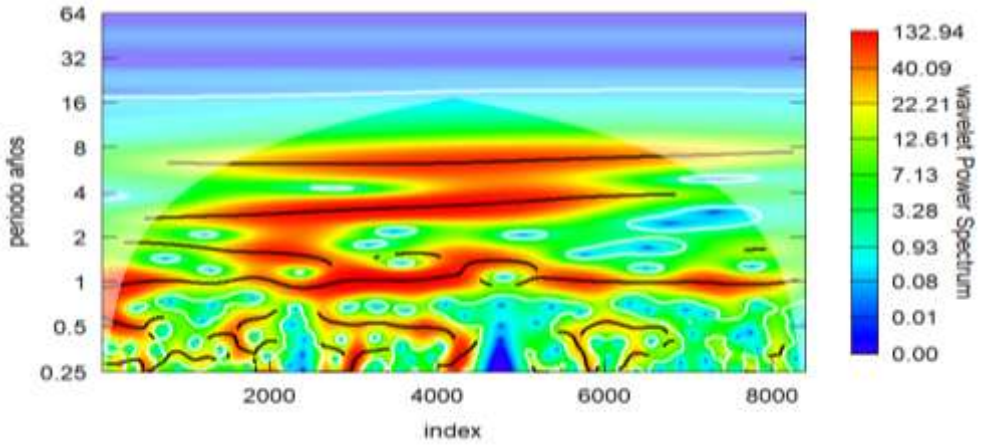


Ilustración 30 Espectrograma de potencia de wavelet para la estación H7020

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

Los resultados muestran que cuando el tiempo disminuye, el potencial disminuye. En contraste a la potencia en el periodo 0,25, que es 0,00, la potencia en el periodo 64 es 132,94. Esto sugiere que la mayor parte de la energía solar se concentra en energía los periodos más largos se concentra en los períodos más largos (baja frecuencia); por el contrario, los períodos más cortos (alta frecuencia) contribuyen menos a la energía solar tota (baja frecuencia); por el contrario, los períodos más cortos (alta frecuencia) contribuyen menos a la energía solar total. Los resultados muestran que la señal analizada señal tiene un tiene un comportamiento dominante en periodos de baja frecuencia (largo periodo), lo que puede estar relacionado con tendencias o componentes de larga duración en la señal. Comportamiento dominante en períodos de baja frecuencia (período largo), que puede estar relacionado con tendencias o componentes de larga duración en la señal. La disminución de potenciade Los períodos más cortos sugieren que periodos Los componentes de alta frecuencia sugiere que los componentes de alta frecuencia tienen una contribución menor, tienen una contribución menor.

Tabla 19 Escala y Potencia de la estación H0720

Escala	Potencia
64	132.94
32	40.09
16	22.21
8	12.61
4	7.13
2	3.28
1	0.93
0.5	0.08
0.25	0.01

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

5.3.8. Estación H0721 Jatunyacu D. J.

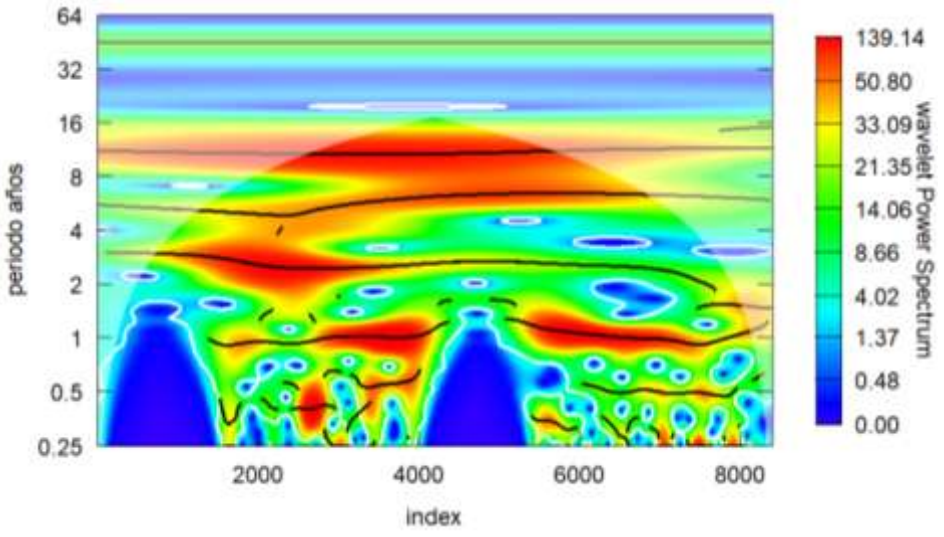


Ilustración 31 Espectrograma de potencia de wavelet para la estación H7021

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

Los resultados muestran que el potencial disminuye drásticamente a medida que disminuye la escala. Por ejemplo, a escala 64, el potencial es 224,63, mientras que a escala 0,25, a Es 0,00 .0,00. que la mayor parte de la energía solar se concentra en las escalas más grandes (frecuencias más bajas), mientras que las escalas más pequeñas (frecuencias más altas) contribuyen menos

a la energía solar total. Los resultados muestran que la señal analizada señal tiene un tiene un comportamiento dominante en frecuencias bajas, lo que puede estar relacionado con tendencias o componentes de larga duración en la señal.

Comportamiento dominante en frecuencias bajas, que puede estar relacionado con tendencias o componentes de larga duración en la señal. El debilitamiento del poder en las escalas más pequeñas sugiere que escalas frecuencia alta sugiere que los componentes de alta frecuencia componentes. Las escalas tienen la idea de que los componentes de alta frecuencia los componentes tener un tienen un rol funcional.

Tabla 20 Escala y Potencia de la estación H0721

Escala	Potencia
64	139.14
32	50.80
16	33.09
8	21.35
4	14.06
2	8.66
1	4.02
0.5	1.37
0.25	0.48

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

5.3.9. Estación H0722 Yanahurco D. J. Valle

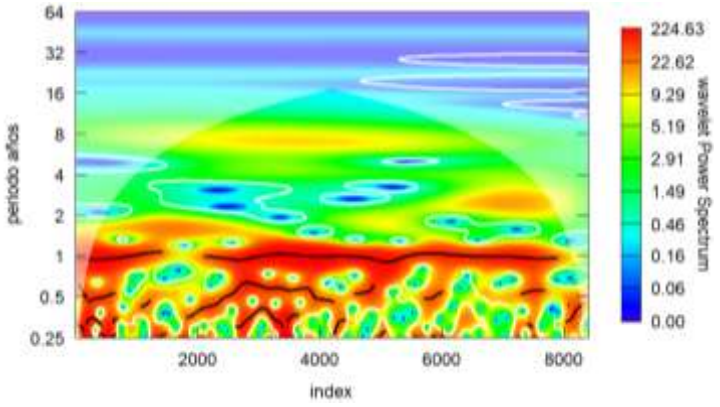


Ilustración 32 Espectrograma de potencia de wavelet para la estación H7022

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

Los resultados muestran que cuando la escala disminuye, el potencial disminuye drásticamente. Por ejemplo, a escala 64, el potencial es 224,63, pero a escala 0,25, es 0,00. sugiere que la mayoría de la energía solar se concentra en las escalas más grandes (frecuencias más bajas), mientras que las escalas más pequeñas (frecuencias más altas) contribuyen menos a la energía solar total. Los resultados muestran que la señal analizada tiene un comportamiento dominante en frecuencias bajas, lo que puede estar relacionado con tendencias o componentes de larga duración en la señal. El debilitamiento del poder en las escalas más pequeñas sugiere que las componentes de alta frecuencia tienen un papel importante, denota que en el año 1 se tiene un período de lluvias estacionales y para el año 4 a 8 se tiene el fenómeno del niño.

Tabla 21 Escala y Potencia de la estación H0722

Escala	**Potencia**
64	224.63
32	22.62
16	9.39
8	5.19
4	2.91
2	1.49
1	0.46
0.5	0.16
0.25	0.06

Elaborado por: Beltrán Blanca, Mera Alexander

5.3.10. Comparación del análisis de la transformada discreta de Fourier y Ondeletas (wavelets).

El análisis de las ondas hidrológicas, como los caudales de un río, plantea desafíos únicos debido a su naturaleza no estacionaria. significa que sus propiedades estadísticas (varianza, media, etc.) cambiaron con el tiempo. Para extraer información útil de estas señales, es necesario elegir la herramienta matemática adecuada. La Transformada Discreta de Fourier (DFT) y las Ondeletas (Wavelets) son dos métodos ampliamente utilizados. A continuación, se presenta un análisis comparativo de ambos métodos:

5.3.10.1.1. Transformada Discreta de Fourier (DFT)

La DFT descompone una señal en una suma de componentes sinusoidales (senos y cosenos) de frecuencias variables. Es una herramienta útil para determinar las frecuencias principales de una señal, pero tiene limitaciones significativas para señales no estacionarias:

Ventajas:

- Bien establecido y ampliamente Se utiliza en muchos campos de la ciencia y la ingeniería.
- Eficaz en el análisis de datos estadísticos datos, si las frecuencias son comparativamente consistentes.
- Proporcionar información sobre la fuerza de las distintas frecuencias en las mar.

Desventajas:

- No es adecuado para para no estacionarios no señales ya que supone que las frecuencias son constantes a lo largo del tiempo. Ya que supone que las frecuencias son constantes a lo largo del tiempo.
- No proporciona no proporcionar información sobre la ubicación temporal de las frecuencias, lo información dificulta la identificación de eventos específicos. Sobre la ubicación temporal de las frecuencias, lo que dificulta la identificación de eventos específicos.
- Puede producir artefactos (espectrales fugas fugas) si la señal no es periódica o si la ventana de análisis no es apropiada. Si la señal no es periódica o si la ventana de análisis no es adecuada.

5.3.10.1.2. Ondeletas (Wavelets)

Las Ondeletas son funciones matemáticas que están limitadas tanto en el tiempo como en la frecuencia. La transformada de Ondeletas descompone una señal en muchas escalas de tiempo y frecuencia, lo que la hace perfecta para el análisis de señales no estacionarias:

Ventajas:

- Son adecuados para señales no estacionarias ya que pueden registrar cambios de frecuencia a lo largo adecuado para tiempo, señales no estacionarias ya que pueden registrar cambios en la frecuencia a lo largo del tiempo.
- Proporcionan información sobre la localización temporal de los eventos, lo que facilita la identificación de crecidas, sequías y otros fenómenos hidrológicos.
- Permiten analizar diferentes escalas de tiempo, desde eventos de corta duración hasta tendencias a largo plazo.
- Reducen los artefactos (fugas espectrales) asociados a la DFT.

Desventajas:

- Más complejas matemáticamente que la DFT.
- Requieren la elección adecuada de la "ondeleta madre" y los parámetros de transformación, lo que puede requerir experiencia y conocimiento especializado.

6. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

6.1. ANÁLISIS DE FRECUENCIAS Y PERIODOS DE RETORNO

- **Transformada de Fourier:**

Estados bajo análisis, la transformada de Fourier permitió determinar las frecuencias dominantes en las series temporales de caudales o precipitaciones. Los resultados indicaron que la baja frecuencia (asociada con períodos prolongados) prevalece en todos los estados, en toda sugerencia estados, lo que sugiere la existencia de ciclos hidrológicos de larga duración, como variaciones anuales o estacionales .la existencia de ciclos hidrológicos de larga duración, como variaciones anuales o estacionales. Se observó un aumento significativo en la frecuencia en el

estado H0719, correspondiente a una duración de aproximadamente un año, lo que corresponde al ciclo hidrológico anual típico de la cuenca del río Coca.

- **Transformada Wavelet:**

Análisis proporcionado wavelet una vista más detallada de la visión variabilidad temporal de la variabilidad temporal de las frecuencias. Las frecuencias. La ondícula espectro de potencia fuerza mostró que la energía de la señal se concentra en las escalas más grandes (períodos más largos), lo que respalda los hallazgos de la transformada de Fourier. El espectro mostró que la energía de la señal se concentra en las escalas más grandes (períodos más largos), lo que apoya Hallazgos de la transformada de Fourier. En las imágenes proporcionadas por el programa Rstudio, se evidencia que la potencia disminuye significativamente a escalas menores (alta frecuencia). Esto sugiere que los eventos de corta duración (como la tortura intensa) contribuyen menos a la energía total de la sesión que los eventos de larga duración (como las crecidas a nivel estatal).

6.2. COMPARACIÓN ENTRE ESTACIONES

- **Estación H0719:**

Este El Estado tenía un alto grado de poder en las escalas correspondientes a los períodos anuales y semestrales, lo que sugiere una fuerte influencia períodos de ciclos estatales lo que sugiere una fuerte influencia de los ciclos de estado en el régimen hidrológico, sobre el régimen hidrológico. tienen algo que ver con la variabilidad del clima, como la influencia de fenómenos como El Niño y La Niña.

- **Estación H0720:**

En esta estación, se observó una mayor variabilidad en las frecuencias intermedias, lo que podría indicar la presencia de eventos hidrológicos más irregulares, como crecidas repentinas asociadas a lluvias intensas en zonas específicas de la cuenca.

- **Estación H0721:**

Los resultados en esta estación mostraron una distribución de energía más uniforme en las escalas medias, lo que sugiere una combinación de eventos de corta y larga duración. Esto podría estar relacionado con la ubicación de la estación en una zona de transición entre áreas

de alta y baja precipitación.

- **Estación H0722:**

En esta estación, se observó una menor potencia en las escalas más grandes en comparación con las otras estaciones, lo que podría indicar una menor influencia de los ciclos anuales y una mayor contribución de eventos de corta duración. Esto podría deberse a la ubicación de la estación en una zona con características hidrológicas diferentes, como una menor influencia de los ríos principales.

6.3. DETERMINACIÓN DE PERIODOS DE RETORNO

6.3.1. Eventos Extremos:

Los periodos de retorno de eventos extremos (como crecidas o sequías) se calcularon utilizando los resultados de la transformada de Fourier y Wavelets. Se observó que los eventos con periodos de retorno largos están asociados con frecuencias bajas, lo que confirma que estos eventos están influenciados por ciclos climáticos de larga duración.

- **Aplicación en la Gestión de Riesgos:**

Los resultados obtenidos son de gran utilidad para la gestión de riesgos en la cuenca del río Coca. La identificación de periodos de retorno para eventos extremos permite diseñar infraestructuras hidráulicas más resilientes, como presas, diques y sistemas de drenaje, que puedan soportar eventos con periodos de retorno específicos.

7. CONCLUSIONES

- En el proceso de la imputación de datos de los caudales hidrológicos de las estaciones H0719, H0720, H0721 y H0722, se realizó en el programa Rstudio, para efectuar el procedimiento de relleno de datos inicialmente se instaló la librería MICE que consta de varios métodos, pero optamos por el Predictive mean matching (pmm) por la razón de su predicción y preservar la distribución de los datos originales al imputar, encontrando valores de coincidencia que mejora la calidad del relleno en su totalidad, llegando a la conclusión que fue el método más idóneo para la presente investigación.

- Mediante la aplicación de la Transformada Discreta de Fourier (DFT), se identificó una frecuencia dominante de 11,5 eventos cada 12 años, lo que equivale a un ciclo aproximado

de 23 eventos en un periodo de 23 años. Este resultado evidencia la existencia de un patrón cíclico significativo en la serie temporal analizada, representando el evento hidrológico más relevante dentro del espectro de potencia obtenido. Estos hallazgos constituyen un aporte relevante para la planificación y gestión de los recursos hídricos, ya que permiten prever la recurrencia de eventos extremos y mejorar la toma de decisiones en materia de infraestructura y mitigación de riesgos.

- Finalmente el análisis de ondeletas, que posteriormente nos permitiría complementar y realizar la comparación de resultados con la transformada de Fourier, proporciono una estructura con mayor detalle, obteniendo resultados más precisos en la identificación de las variaciones de caudal a lo largo del tiempo en la cuenca del rio Coca, con este enfoque combinado ofrece una comprensión más profunda ante los eventos hidrológicos contribuyendo con una mejor planificación y gestión de los recursos hídricos para el desarrollo sostenible de un país.

8. RECOMENDACIONES

- Para garantizar la calidad y confiabilidad de los datos hidrológicos, se recomienda implementar un sistema de medida fuerte que incluya la selección y ubicación estratégica de estaciones, el uso de equipos modernos y calibrados periódicamente, mantenimiento preventivo y revisiones periódicas del estado, protocolos medidos estandarizados, el uso de bases de datos confiables y seguras, capacitación continua del personal y monitoreo y evaluación del sistema.

- Se examinaron los resultados y el contexto regional de la investigación después de comparar los resultados del presente estudio con los de otros estudios publicados. Se identificaron diferencias y posibles explicaciones para estas diferencias, destacando las contribuciones del estudio actual en relación con el conjunto de literatura existente y reconociendo sus limitaciones del estudio actual en relación con el cuerpo de la literatura existente y reconocer sus limitaciones. Los Resultados obtenidos proporcionan información valiosa para la gestión de los recursos hidrológicos y ayudan a una mejorar la comprensión de los fenómenos hidrológicos en diversas escalas temporales, da la información valiosa para gestionar los recursos hidrológicos de la región y ayudar a una mejor comprensión de fenómenos en diversas escalas temporales.

- La necesidad de capturar la variabilidad estadística a largo plazo y obtener resultados más estables y representativos justifica el uso de un período de 12 años para el análisis de Fourier de los datos caudales. Este enfoque permite un análisis más exhaustivo y profundo del análisis patrones de variación de los caudales, lo cual es esencial para la gestión sostenible de los recursos hidráulicos y la toma de decisiones informadas en este campo. Esencial para la gestión sostenible de los recursos hidráulicos y la toma de decisiones informadas en este campo.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] J. Ruíz, M. Baños, and R. Béjar, "Nomenclatura internacional de UNESCO para los campos de Ciencia y Tecnología," pp. 1–30, 2010.

[2] "'La Gestión Integral de los Recursos Hídricos: Aportes a un desarrollo conceptual para la gobernabilidad del agua.'" Accessed: Feb. 09, 2025. [Online]. Available: https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/1365/2/TFLACSO-02-2009SBM.pdf

[3] A. Saremi, M. Hossein, K. Pashaki, H. Sedghi, A. Rouzbahani, and A. Saremi, "Simulation of River Flow Using Fourier Series Models International Conference on Environmental and Computer Science IPCBEE vol.19 2011," Iran, 2011.

[4] "La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos." Accessed: Feb. 06, 2025. [Online]. Available: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382018000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=en

[5] J. Cortés, F. Medina, and J. Chaves, "Del análisis de Fourier a las wavelets análisis de Fourier," *Scientia Et Technica*, vol. XIII, no. 34, pp. 151–156, 2007, Accessed: Feb. 25, 2025. [Online]. Available: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84934026

[6] P. Sleziak, K. Hlavčová, and J. 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.

[7] J. A. Marengo and S. Hastenrath, "Case studies of extreme climatic events in the Amazon Basin," *J Clim*, vol. 6, no. 4, pp. 617–627, 1993, doi: 10.1175/1520-

0442(1993)006<0617:CSOECE>2.0.CO;2.

[8] I. B. Gregersen, H. Madsen, D. Rosbjerg, and K. Arnbjerg-Nielsen, “A spatial and nonstationary model for the frequency of extreme rainfall events,” *Water Resour Res*, vol. 49, no. 1, pp. 127–136, 2013, doi: 10.1029/2012WR012570.

[9] I. M. Mosquera and X. O. Chehab, “Análisis de Fourier y Wavelet de Las Series de Tiempo de la Estación Meteorológica ESPOL-FIMCBOR,” 2015.

[10] J. Aguilar, M. Orozco, E. Martínez, and D. Cáceres, “FLACSO Ecuador ‘Letras Verdes,’” Quito, 2011. [Online]. Available: www.earthhour.org

[11] S. W. Fleming, “Un problème de non-unicité dans l’identification de la scalance spectrale des lois de puissance pour des séries chronologiques hydroclimatiques,” *Hydrological Sciences Journal*, vol. 59, no. 1, pp. 73–84, 2014, doi: 10.1080/02626667.2013.851384.

[12] G. V. Saavedra, H. t. Fernández, B. T. Harmony, and M. V. Castaño, “Ondeletas en ingeniería. Principios y aplicaciones,” 2005.

[13] A. Gonzalez and V. Albaunza, “Filtrado y caracterización de señales electrocardiográficas sobre R,” Colombia, 2011.

[14] “Estaciones hidrológica automáticas, Manual de operaciones,” 2017. Accessed: Feb. 05, 2025. [Online]. Available: https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2022-08/Instructivo%20de%20estaciones%20hidrologicas.pdf

[15] R. Marbello Pérez and S. Medellín, “Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica,” Medellín, 2018.

[16] A. Bateman, “Hidrológia básica y aplicada,” Estados Unidos, 2007. [Online]. Available: www.gits.ws

[17] “Medición de Lluvia y Nivel de Agua de los Ríos”, Accessed: Feb. 06, 2025. [Online]. Available: https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea91s/08Paso3.pdf

[18] E. Alvarado, *Manual de Medición de Caudales*. 2017.

[19] M. Vásconez, A. Mancheno, Á. César, P. Claudia, C. Carina, and O. Liliana, “Cuencas Hidrográficas,” Cuenca - Ecuador, Jul. 2019.

[20] J. Ordoñez, “Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral

del Recurso Hídrico," Lima, 2011.

[21] V. Te. Chow, D. R. Maidment, and L. w. Mays, *Applied hydrology*. McGraw-Hill, 1998.

[22] W. Baquero and A. Ramírez, "Evaluación del Concepto de periodo de retorno y del análisis de frecuencia de eventos extremos bajo condiciones no estacionarias," Bogota-COLOMBIA, 2019.

[23] L. F. Chombo, "Análisis de circuitos de CA, La onda senoidal," México, Sep. 2020.

[24] S. Smith, "Digital Signal Processing," California, 1999. [Online]. Available: www.DSPguide.com

[25] G. Kaiser, "Windowed Fourier Transforms," in *A Friendly Guide to Wavelets*, Birkhäuser Boston, 2011, pp. 44–59. doi: 10.1007/978-0-8176-8111-1_2.

[26] J.-P. Cáceres, "Análisis Espectral 1: Transformada Corta de Fourier y Ventanas."

[27] J. Polanco, "Estimación espectral de datos ambientales no equiespaciados vía el periodograma suavizado de Lomb-Scargle. Una breve revisión," Bilbao-España, Oct. 2014.

[28] M. Ángel, S. Sánchez, and J. Novau, "Estudio de periodicidades de la precipitación de verano en el valle del ebro desde el siglo XV," Jaca Huesca, 1999.

[29] I. Gabriel, A. Pérez-Guerra, I. Sosa-Franco, N. Machado-García, I. María, and E. Ruiz-Pérez, "Herramientas SIG, revisión de sus fundamentos, tipos y relación con las bases de datos espaciales GIS Tools, Review of their Foundations, Types and Relationship with Spatial Databases." [Online]. Available: https://cu-id.com/2177/v32n3e10

[30] M. Gutiérrez, "Sistema de Información Geográfico QGIS," Managua- Nicaragua, Aug. 2022.

[31] C. Barragán, "Escenarios de Riesgo Climático Asociados al Caudal del Río Coca en la Provincia de Orellana: Recomendaciones de Política para los Gobiernos Nacional y Local," *FLACSO*, pp. 5–60, Jan. 2022, Accessed: Feb. 06, 2025. [Online]. Available: https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/18962/2/TFLACSO-2023JCBN.pdf

[32] A. Lucía, A. Villafuerte, and D. C. Bernal, "Análisis de la influencia de la geodinámica y los impactos antrópicos en la geomorfología fluvial del río coca. caso de estudio:

impactos fluviales del proyecto coca codo sinclair –phccs.," Quito, Apr. 2016.

[33] L. Pérez Pelea, "Valores atípicos en los datos, ¿cómo identificarlos y mane-jarlos? Outliers in data sets, how identify and handling them?," *Revista del Jardín Botánico Nacional* •, vol. 40, pp. 99–107.

[34] S. Mallat, "A Wavelet Tour of Signal Processing," 2008.

[35] "Introducción a la imputación múltiple en R | Biblioteca UVA." Accessed: Feb. 02, 2025. [Online]. Available: https://library.virginia.edu/data/articles/getting-started-with-multiple-imputation-in-r

[36] S. Van Buuren and K. Groothuis-Oudshoorn, "Journal of Statistical Software mice: Multivariate Imputation by Chained Equations in R," 2011. [Online]. Available: http://www.jstatsoft.org/

[37] S. Van Buuren and K. Groothuis-Oudshoorn, "Journal of Statistical Software mice: Multivariate Imputation by Chained Equations in R," 2011. [Online]. Available: http://www.jstatsoft.org/

[38] I. K. S. dos Santos and W. L. Conde, "Predictive mean matching as an alternative imputation method to hot deck in vigitel," *Cad Saude Publica*, vol. 36, no. 6, 2020, doi: 10.1590/0102-311X00167219.

[39] "Estadística climatológica con R", Accessed: Feb. 02, 2025. [Online]. Available: https://etrp.wmo.int/pluginfile.php/68829/mod_resource/content/2/5.-%20Series%20Temporales.pdf

[40] "Chapter 5 Kernels." Accessed: Feb. 04, 2025. [Online]. Available: https://file.biolab.si/textbooks/uozp/kernels.pdf

[41] C. J. Carrillo González, "Fundamentos del Análisis de Fourier," 2003.

[42] T. de Fourier Wilfrido Gómez Flores, "Introducción al Análisis de Fourier."

[43] S. W. Fleming, A. Marsh Lavenue, A. H. Aly, and A. 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.

[44] H. Nawab, "Oppenheim Segnales y Sistemas," 1997.

[45] K. S. Dadu and P. C. Deka, "Applications of Wavelet Transform Technique in

Hydrology—A Brief Review," pp. 241–253, 2016, doi: 10.1007/978-3-319-40195-9_19.

[46] R. Rodríguez and M. Llasat, "Análisis temporal y espectral de la serie de precipitación mensual de Barcelona (España) 1850-1991," España, Dec. 1997. [Online]. Available: http://iwaponline.com/IA/article-pdf/4/4/19/576471/ia19972732.pdf

[47] M. X. Cohen, "A better way to define and describe Morlet wavelets for time-frequency analysis," *Neuroimage,* vol. 199, pp. 81–86, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.neuroimage.2019.05.048.

[48] C. Torrence, "Una guía práctica para el análisis de wavelets," Estados Unidos, 1998. Accessed: Feb. 19, 2025. [Online]. Available: https://psl.noaa.gov/people/gilbert.p.compo/Torrence_compo1998.pdf

[49] K. Wirsing, "Time Frequency Analysis of Wavelet and Fourier Transform," in *Wavelet Theory*, IntechOpen, 2021. doi: 10.5772/intechopen.94521.

[50] G. Boccardo and F. Ruiz, "RStudio para Estadística Descriptiva en Ciencias Sociales," 2019.

[51] I. Daubechies, "Ten lectures of wavelets," Estados Unidos, Sep. 1992.