



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
SEDE MANABÍ
CARRERA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**

TRABAJO DE TITULACIÓN

**“UTILIZACIÓN DE FIRMAS DE FLUJO PARA DETERMINAR LA VARIABILIDAD
HIDROLÓGICA DE LAS CUENCAS QUININDÉ Y TOACHI-RÍO BLANCO”**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

HIDROLOGÍA

**PREVIO AL TÍTULO DE
INGENIERA HIDRÁULICA**

AUTORA

VERA ZAMBRANO DOMÉNICA FABIANA

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

ING. ANDY GILER ORMAZA, M. Sc.

PORTOVIEJO, ECUADOR

CERTIFICACIÓN

Ing. Andy Miguel Giler Ormaza M Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

En mi disposición de administrador de tesis certifico haber revisado el presente trabajo de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Carrera Ingeniería Hidráulica de la Pontifica Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí, cumpliendo los requisitos establecidos por la Dirección de Investigación, en consecuencia, es apto para su presentación y sustentación.

Ing. Andy Miguel Giler Ormaza.

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador aprueba el presente de investigación en nombre de la Pontificia
Universidad Católica Sede Manabí.

Ing. Andy Miguel Giler Ormaza. Mg.

PRIMER LECTOR

Ing. John Félix Mera. Mg.

SEGUNDO LECTOR

Ing. José Ramón Alarcón. Mg.

TERCER LECTOR

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Este manuscrito no contiene ningún tipo de material que ha sido aceptado para la obtención de un título universitario en otra institución, excepto en forma de información de sustento que ha sido debidamente citada en mi trabajo. Este trabajo es de total responsabilidad del autor, quien declara bajo juramento que ninguna sección de esta tesis infringe los derechos de autor de nadie.

FECHA:

Vera Zambrano Doménica Fabiana

Dirección: Portoviejo, paso lateral, sector El Bambi

E-mail: he-498@pucem.edu.ec

Celular: 0968635097

DECLARACIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a distribuir este manuscrito de investigación en medios físicos y electrónicos con el fin de promover la divulgación de mis resultados a la comunidad científica y a la sociedad en general. Adicionalmente autorizo el uso de los contenidos de esta investigación como bibliografía para fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, citando como fuente de información al autor de este trabajo.

Vera Zambrano Doménica Fabiana

C.I. 1314287721

Resumen

Esta investigación cuantitativa determinó la variabilidad hidrológica de las cuencas ecuatorianas utilizando firmas de flujo, con las cuales se calcularon 13 parámetros de firmas, que mostraron las alteraciones experimentadas por las cuencas en el transcurso de los años. Por ello, esta investigación se realizó desde octubre 2020 a abril 2021 en las cuencas Toachi y Quinindé aguas arriba de las estaciones hidrológicas H167 y H177 respectivamente, con datos de los anuarios del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), periodo 1990-2013. Estos datos fueron divididos en dos partes para comparar los periodos pre y post impacto. Las firmas hidrológicas fueron calculadas mediante los programas informáticos *Excel*, *Indicators of Hydrologic Alteration (IHA)* y *RStudio*. Los resultados de la comparación de los periodos pre y post impacto muestran índices de frecuencia y conteo de pulsos altos y bajos, y el caudal de flujo base que determina los cambios ocurridos en el periodo y cuencas estudiadas. Los resultados de los cálculos de los programas informáticos presentan similitudes y diferencias en algunas de las firmas hidrológicas, como los valores de las firmas *Baseflow Index (BFI)* con 0.161 y 0.195; *Coefficient of Variation (CVQ)* con 0.788 y 1.565; y *Mean Specific Flow (QSP)* con 40.879 y 30.320 para Toachi y Quinindé respectivamente. Se concluye que probablemente estas variaciones obedecen a factores propios de las cuencas como cambios de suelos, evaporación, precipitación, vegetación, alteraciones provocadas por humanos, e incluso falta de datos en los anuarios.

Palabras clave: firmas de flujo, variabilidad hidrológica, *BFI*, *CVQ*, *QSP*

Abstract

This quantitative research study determined hydrological variability in Ecuadorian basins using flow signatures, with which there were calculated 13 signature values that showed changes experienced by basins over the years. Therefore, this research study was carried out from October 2020 through April 2021 in *Toachi* and *Quinindé* Basins upstream of the hydrological stations H167 and H177 respectively, by collecting data from the yearbooks of the National Institute of Meteorology and Hydrology (*INAMHI*, for its initials in Spanish), period 1990-2013. These data were divided into two different parts in order to compare pre and post impact periods. The hydrological signatures were calculated from Excel, Indicators of Hydrologic Alteration (IHA) and RStudio software. The findings from the comparison between pre and post impact periods show frequency indices and high and low flow pulses, as well as rate base flow that determines changes occurred in the basins over the study period. The findings from the calculations of the software programs reveal similarities and differences in some of the hydrological signatures, such as the values of the Base-flow Index (BFI) signatures with 0.161 and 0.195; Coefficient of Variation (CVQ) with 0.788 and 1.565; and Mean Specific Flow (QSP) with 40,879 and 30,320 for *Toachi* and *Quinindé* respectively. It is concluded that all these changes are probably due to factors inherent to the basins such as soil changes, evaporation, rainfall, vegetation, human alterations, and even lack of data in the yearbooks.

Keywords: flow signatures, hydrological variability, BFI, CVQ, QSP

TABLA DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	i
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	ii
DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD.....	iii
DECLARACIÓN DE DERECHOS DE AUTOR	iv
Resumen.....	v
Abstract.....	vi
1.-INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS: GENERAL Y ESPECÍFICOS	3
General.....	3
Específicos.....	3
2.- MATERIALES Y MÉTODOS.....	4
2.1.- Materiales	4
2.2.- Métodos.....	4
3.- METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	5
3.1.- Obtención y procesamiento de datos hidrometeorológicos	7
3.2.- Definición de los índices y firmas de flujo para las cuencas de estudio	9
3.3.- Cálculo de los índices y firmas de flujo para la estimación de la variabilidad hidrológica.	10
4.-RESULTADOS	17
5.-DISCUSIÓN	26
6.- CONCLUSIONES.....	28
7. BIBLIOGRAFÍA.....	29
8. ANEXOS.....	31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados obtenidos de las firmas de flujo para las cuencas Toachi y Quinindé	17
Tabla 2. Resultados de los parámetros obtenidos en el software IHA para la cuenca Toachi	22
Tabla 3. Resultados de los parámetros obtenidos en el software IHA para la cuenca Quinindé	23

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Ubicación de la cuenca Toachi	5
Imagen 2. Ubicación de la cuenca Quinindé	6
Imagen 3. Curva de descarga de Toachi	8
Imagen 4. Curva de descarga de Quinindé	8
Imagen 5. Curva de duración de caudales de la cuenca Toachi	15
Imagen 6. Curva de duración de caudales de la cuenca Quinindé	16
Imagen 7. Firmas de flujo.....	19
Imagen 9. Boxplots de las firmas BFI, Reversals, HighFrVar y LowDurVar de Toachi y Quinindé.	25

1.-INTRODUCCIÓN

Las actuales condiciones de la vida se han visto modificadas y deterioradas por las consecuencias del cambio climático, por lo que si hablamos de temas hidrológicos podemos observar con claridad los grandes cambios que han ocurrido con el paso de los años.

Las cuencas hidrológicas deben tener una clasificación según lo impuesto por la hidrología, pero muchas veces estas se agrupan en sistemas que son similares y, por lo tanto, limita la variabilidad dentro de las diferentes clases. A medida que se empiezan a comparar y contrastar cuencas hidrográficas en distintos lugares con diferentes tipos de climas y formas, así como en procesos y funciones, se pueden reconocer las variaciones probables entre escalas (espaciales y temporales) que existen entre las diversas cuencas y que influyen en la vida de los seres que la habitan (Wagener et al., 2007).

Los procesos en los que interviene el ciclo hidrológico del agua se han visto afectados por los cambios que se han dado a través del paso de los años, y por ende los procesos que vienen posteriores a ellos, como por ejemplo en el tema de las precipitaciones. Las inundaciones que se dan en época de lluvia y que ocurren a nivel mundial provocan mucha destrucción a su paso. En Ecuador, tres de las cuatro regiones naturales continentales poseen graves peligros de inundación y desastres por exceso de precipitaciones, ya sea por las condiciones naturales y la forma de ocupación del territorio. La región Litoral o Costa se verá afectada por las inundaciones y sequías en la zona baja del Río Guayas y las adyacentes al Río Jubones. En la Sierra, las zonas que poseen más probabilidad de afectación son las que están relacionadas a deslizamientos de tierra y, finalmente, en la Amazonía ecuatoriana, tendrán más afectaciones dichas regiones que se encuentran cerca de la frontera con Perú, debido a la magnitud de inundaciones que se presentan en sitios con poblaciones que están expuestos a la alta vulnerabilidad (Ministerio del Ambiente, 2012).

En el mundo se han realizado varias investigaciones sobre las firmas de flujo hidrológicas para determinar diferentes características de varias cuencas. En la investigación hecha por Addor *et al* (2018) titulada *A ranking of hydrological signatures based on their predictability in space* afirma que “Las firmas hidrológicas se pueden utilizar para comprender la variabilidad en espacio y tiempo de los procesos hidrológicos de una cuenca”, es decir, podremos analizar como varían a través de los años las condiciones de una cuenca por los cambios a los que se ha sometido.

Las cuencas ecuatorianas de los ríos de Quinindé y Toachi forman parte importante de la hidrografía del país, pero en época de lluvia constituyen un peligro para las poblaciones debido a las inundaciones que se provocan y por ende causan destrucción a su paso. En Ecuador no se cuenta con investigaciones previas de este tema porque no se cuenta con la información necesaria, hay carencia o pocos datos disponibles de caudal y nivel debido a que en muchos casos las estaciones encargadas de recolectar la información están dañadas, y esto se convierte en una dificultad al momento de aplicar las firmas de flujo para poder evaluar la variabilidad hidrológica de las cuencas a estudiar.

Los ríos Toachi y Quinindé ubicados en la costa ecuatoriana forman parte de la inmensa cantidad de recursos hídricos que posee el Ecuador. Estas cuencas poseen ríos con altos caudales, lo que puede provocar en épocas de lluvia desbordamiento y posteriormente inundaciones a las ciudades y daños a los habitantes de las zonas de las provincias de Santo Domingo de los Tsáchilas y Esmeraldas. El principal objetivo de esta investigación será determinar la variabilidad hidrológica que se puedan encontrar en las cuencas de los ríos antes mencionados utilizando como principal herramienta las firmas de flujo.

OBJETIVOS: GENERAL Y ESPECÍFICOS

General

Determinar la variabilidad hidrológica en las cuencas Quinindé y Toachi utilizando firmas de flujo.

Específicos

- Obtener datos hidrometeorológicos en función a la disponibilidad para las áreas de estudio.
- Definir los índices y firmas de flujo apropiadas para las cuencas de estudio en base a la literatura científica existente.
- Calcular los índices y firmas de flujo para la estimación de la variabilidad hidrológica en las áreas de estudio.

2.- MATERIALES Y MÉTODOS

2.1.- Materiales

Dentro de los materiales utilizados en el proceso de ejecución de esta investigación en oficina tenemos: hojas bond y programas como: RStudio, IHA, ArcGIS 10.5 y la página web del INAMHI.

2.2.- Métodos

De acuerdo a las características que presenta la investigación, se determinó que esta es una investigación cuantitativa, ya que de acuerdo a las mismas es necesario el uso de un proceso metódico y sistemático para poder llevar a cabo la investigación.

3.- METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se llevará a cabo en las cuencas de los ríos Toachi y Quinindé.

La cuenca del río Toachi se encuentra localizada en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, tiene un área de 2367 kilómetros cuadrados aproximados. La estación H167 de la cuenca de Toachi en Santo Domingo se encuentra en coordenadas UTM en la zona 17 S, Este: 707253.6, Norte: 9'973489.4 a una altura de 420 msnm (INAMHI, 2016). El río Toachi nace en las proximidades del Quilotoa entre las cordilleras de Guangaje y Chugchilán, baja por el valle de Sigchos en dirección norte en donde siguiendo su recorrido recibe agua de afluentes menores para finalmente llegar a unirse con el río Pilatón (Avilés, s/f). Este río riega varias zonas de Santo Domingo de los Colorados dedicadas a la agricultura, donde dichas aguas van a desembocar en río Blanco, en la provincia de Pichincha.

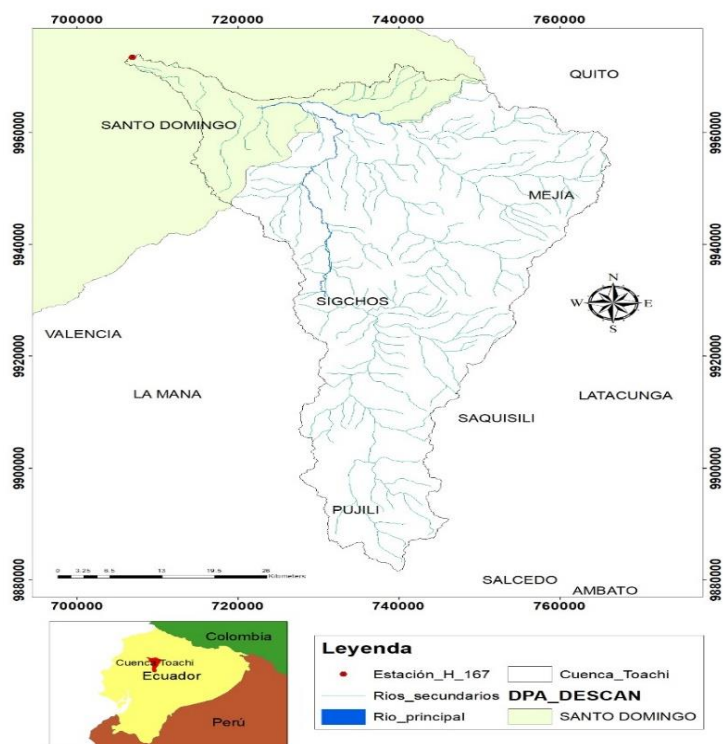


Imagen 1. Ubicación de la cuenca Toachi

La cuenca del río Quinindé se encuentra localizada en la provincia de Esmeraldas de la costa ecuatoriana, cuenta con un área aproximada de 3668 kilómetros cuadrados y una longitud de su cauce que llega a 198 km² medida desde su nacimiento en las montañas de Convento, hasta la población de Quinindé, además de ser el afluente más importante del tramo inferior del río Blanco. La estación H177 de la cuenca de Quinindé en Quinindé se encuentra en coordenadas UTM en la zona 17 N, Este: 669464, Norte: 36396, a una altura de 110 msnm (INAMHI, 2016). Algunos de los afluentes del río Quinindé son: Mache, Conejo, Búa, Guabal, Virgencita, Cucaracha, así como también pertenecen a estos varios esteros menores, que son aprovechadas para el regadío de los cultivos agrícolas de la zona (GAD Municipal La Concordia, 2016).

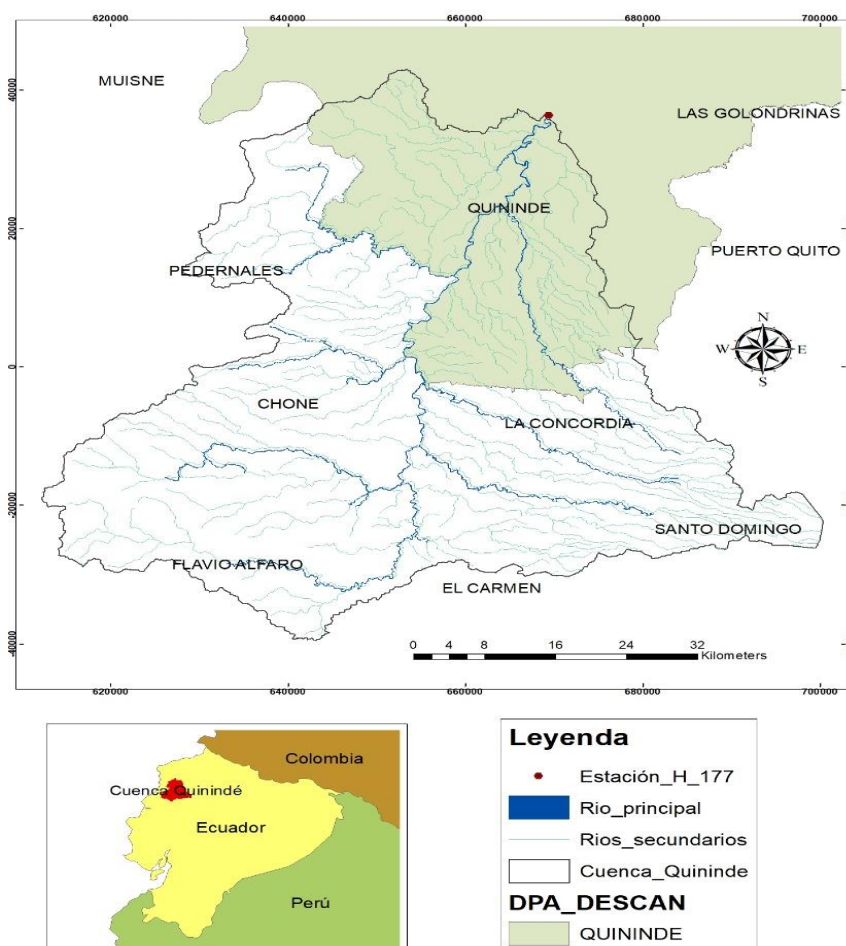


Imagen 2. Ubicación de la cuenca Quinindé

La metodología se llevó a cabo mediante varios procesos:

3.1.- Obtención y procesamiento de datos hidrometeorológicos

La información que fue necesaria para llevar a cabo la investigación, se la recolectó mediante la revisión de la red de estaciones hidrológicas, meteorológicas, pluviométricas y pluviográficas dentro y alrededor de las cuencas de estudio para recolectar los datos de caudales y niveles de los ríos Toachi y Quinindé de las estaciones H167 y H177 respectivamente. Esta información se encuentra en los registros históricos de la base de datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI). Para el estudio se tomaron los datos de los anuarios que comprenden desde los años 1990 hasta el 2013.

Los datos faltantes de caudales se procedieron a corregir mediante una curva de descarga realizada en Excel y los demás datos con el software IHA (Indicadores de Alteraciones Hidrológicas).

Una curva de descarga es aquella que relaciona los datos de niveles de agua y caudales de un río. Esta curva nos permitió calcular caudales diarios a partir de datos de niveles diarios registrados in situ en las estaciones limnimétricas (León *et al*, 2011). Una vez que obtuvimos la curva de descarga, procedimos a añadir una línea de tendencia, preferiblemente una función polinómica de grado 3 para posteriormente con la ecuación arrojada calcular los datos de caudales faltantes.

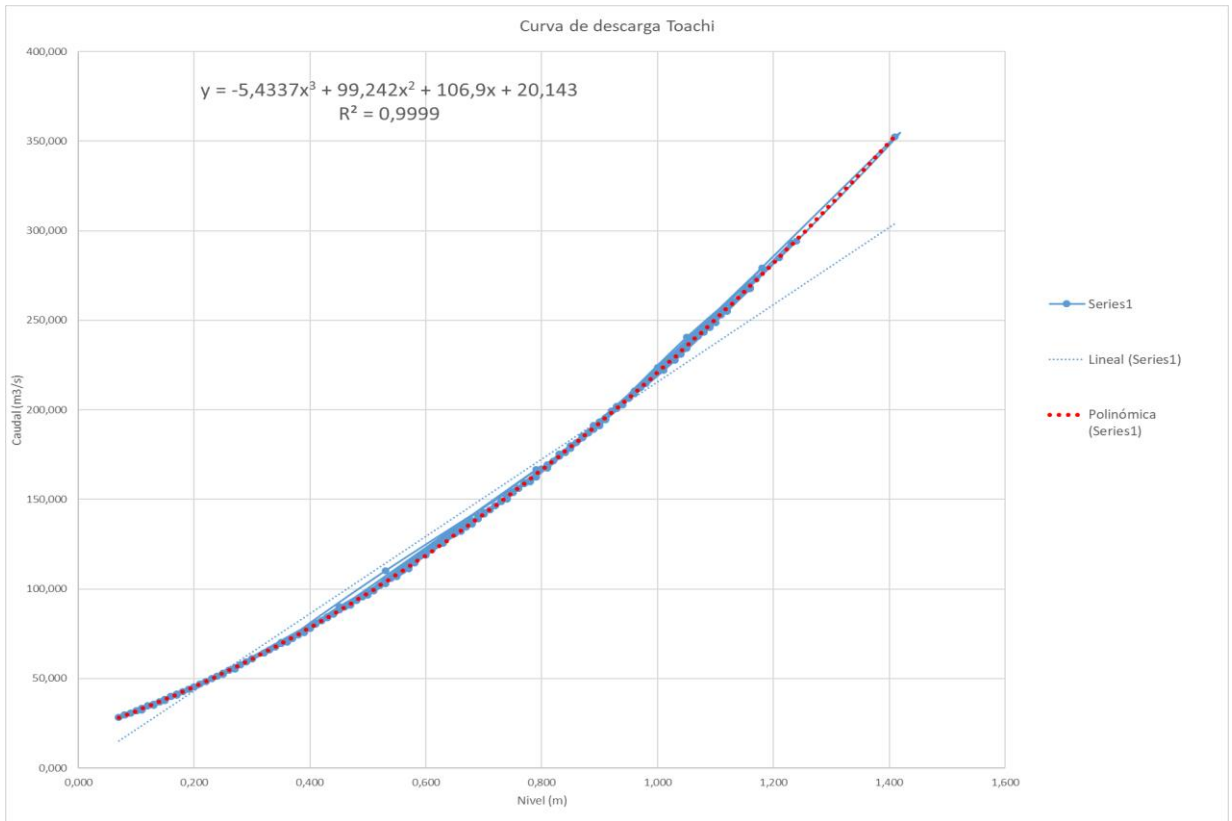


Imagen 3. Curva de descarga de Toachi

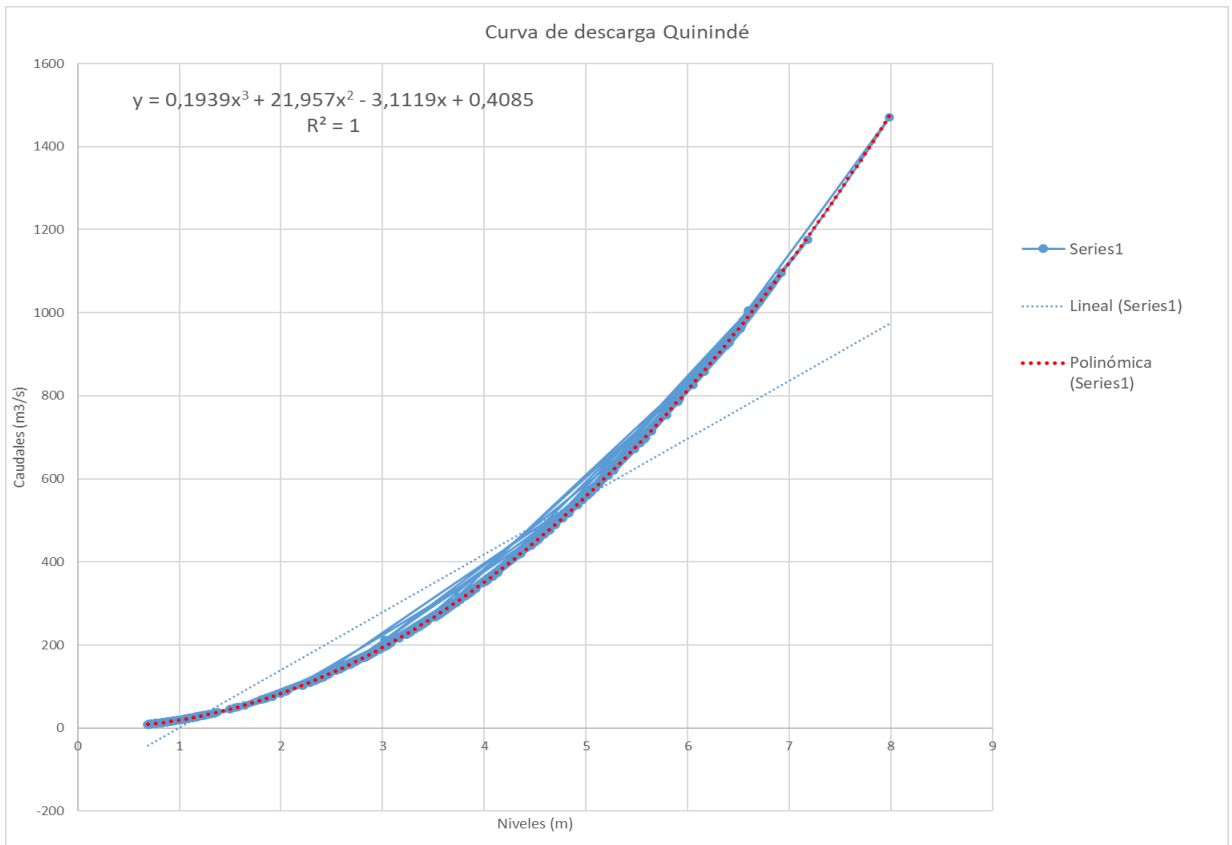


Imagen 4. Curva de descarga de Quinindé

El sistema informático Indicadores de Alteraciones Hidrológicas (IHA, por sus siglas en inglés) fue otro de los softwares que se utilizó para llevar a cabo la investigación. Dicho software fue desarrollado por The Nature Conservancy (TNC) con el propósito de ser un instrumento fácil de emplear para calcular diferentes características de los sistemas hidrológicos ya sean naturales o que hayan sido alterados. El software IHA utiliza para sus cómputos datos diarios. Las estadísticas que proporciona IHA son muy relevantes siempre y cuando se calculen con registros hidrológicos suficientemente largos para obtener una mayor precisión de resultados. (The Nature Conservancy, 2011, p. 6).

Este software detecta inmediatamente los espacios en blanco y los interpolará de manera que todos los espacios estén cubiertos por datos por lo que es importante al momento de traspasar los mismos tener cuidado. Se debe tener en cuenta también que los datos ingresados al IHA se deben poner en formato de fecha estadounidense por lo que el programa se desarrolló allá, así también se deben usar puntos en lugar de comas para separar los decimales.

3.2.- Definición de los índices y firmas de flujo para las cuencas de estudio

Siguiendo con el proceso metodológico del trabajo investigativo, se realizó una revisión previa de la literatura pertinente sobre este tema, en el que las palabras claves en el proceso de investigación serán: firma de flujo, hidrológica.

Las firmas de flujo se pueden calcular utilizando diferentes datos según lo que se requiera calcular. En este caso utilizaremos los datos de caudales tomados de las estaciones para realizar los cálculos.

Es importante recalcar que esta investigación se realizó en base a la metodología de la investigación realizada por Kuentz en las cuencas de Europa. En esta metodología se clasificaron las cuencas a estudiar según las similitudes entre ellas, como por ejemplo firmas de flujo para sitios medidos solamente, descriptores de cuencas y descriptores de cuencas

seleccionados del análisis de árbol de regresión de las clases identificadas (Kuentz *et al*, 2017).

Una firma hidrológica se puede definir como una métrica que cuantifica aspectos individuales del comportamiento y se utiliza para comparar predicciones teóricas o de modelos con datos de flujo observados (McMillan, 2019). Al calcular una firma hidrológica podemos saber, por ejemplo, cuál será el tiempo promedio para que una inundación alcance su punto máximo en una determinada cuenca y esta información servirá para evitar posibles problemas hidrológicos que se puedan presentar.

3.3.- Cálculo de los índices y firmas de flujo para la estimación de la variabilidad hidrológica.

Para seguir con el proceso final de la investigación, se estudiaron para cada una de las cuencas, Toachi-Río Blanco y Quinindé, diferentes variables para condiciones de flujo bajo, condiciones de flujo promedio y condiciones de flujo alto según varios componentes como magnitud de eventos de flujo, eventos de frecuencia de flujo, duración de eventos de flujo, momento de los eventos de flujo, tasa de cambio en los eventos de flujo y respuesta de captación.

En esta etapa se utilizó para el cálculo de las firmas de flujo el software R. R es un software que maneja un lenguaje y un entorno para gráficos y computación estadística. Además, R provee una gran variedad de técnicas estadísticas y técnicas gráficas que es altamente extensible (R, s/f).

R es una herramienta informática que nos permite ejecutar diversos cálculos de tipo científicos, numéricos y estadísticos, así también permite crear gráficas y figuras. Este software utiliza condicionales y operadores lógicos para llevar a cabo una orden dada al sistema.

Entre los operadores lógicos podemos encontrar *and*, *or*, *true*, *false* y en los condicionales tenemos *if* e *ifelse*.

Entre los Loops o bucles los más empleados en R son *for*, *while* y *apply*. Los menos habituales *repeat*. La función *break* sirve para salir de un bucle *loop* (Lee, 2019).

Existen varios tipos de firmas de flujo que se pueden calcular, pero en esta investigación solo se calcularon 13 debido a la disponibilidad de datos con los que se contaban. A continuación, se mostrarán otras firmas de flujo disponibles según Donnelly *et al* (2016):

- **MQ:** caudal medio del río
- **MQ / A,** normalizado por área de captación: caudal específico medio
- **Q_{95} / A :** percentil 95 normalizado que representa caudales altos
- **Q_{30} / A :** percentil 30 normalizado que representa bajo caudales
- **Flash:** que es un destello del hidrograma que representa la variabilidad del caudal diario

Según Kuentz *et al* (2017), también se pueden calcular estas firmas de flujo:

- **RBFlash:** que es el flujo de Richard-Baker, donde se suman los valores absolutos de los cambios de un día a otro en el flujo diario medio dividido por la suma de todos los flujos diarios
- **RunoffCo:** Razón de escorrentía: flujo anual medio (en mmyr-1) dividido por la precipitación media anual
- **ActET:** Evapotranspiración real: precipitación media anual menos el caudal medio anual (en mmm-1)

Se calcularon 13 tipos de variables de flujo según el modelo de Kuentz *et al* (2017) con sus respectivas fórmulas, las mismas que se presentan a continuación:

1. **Skew:** o sesgo en español, nos permite medir la asimetría mediante la media y mediana de los flujos diarios.

$$\text{Skew} = \frac{\text{media}}{\text{mediana de flujos diarios}}$$

2. **Qsp:** determina el flujo específico medio, calculado a partir del área de la cuenca y el promedio del caudal específico.

$$Q_{sp} = \text{flujo específico medio}$$

3. **CVQ:** es el coeficiente de variación que se determina mediante la división de la desviación estándar para la media del flujo diario.

$$\text{Coef. de variación} = \frac{\text{Desviación estándar}}{\text{media de flujos diarios}}$$

4. **BFI:** es el índice de flujo base que se obtiene a partir del flujo mínimo de 7 días entre el flujo diario medio anual promediado entre los años.

$$\text{Índice de flujo base} = \frac{\text{flujo mínimo de 7 días}}{\text{flujo diario medio anual promediado entre los años}}$$

5. **Q5:** el percentil es una medida que nos permite comparar resultados que divide los datos en cien partes iguales. En esta firma se calculará el quinto percentil de los datos.

$$Q_5 = \text{5to percentil del flujo diario específico}$$

6. **HFD:** es la descarga alta de flujo que se calcula a partir del percentil 10 y la mediana del flujo diario.

$$\text{Descarga de flujo alta} = \frac{\text{10mo percentil del flujo diario}}{\text{mediana de flujo diario}}$$

7. **Q95:** en esta firma se calculará el quinto percentil de los datos.

$$Q_{95} = \text{percentil 95 del flujo diario específico}$$

8. **LowFr:** la firma de flujos bajos permite conocer la frecuencia de dicho tipo de eventos.

$$\text{LowFr} = \frac{\text{umbral igual al 5\% del flujo diario medio}}{\text{duración del registro}}$$

9. HighFrVar: es la firma donde se puede conocer la eventualidad de un flujo alto.

$\text{HighFrVar} = \text{coef. de var. en número anual de ocurrencias de alto flujo (umbral percentil 75)}$

10. LowDurVar: es la firma de flujo donde se puede conocer la duración de un flujo bajo.

$\text{LowDurVar} = \text{coef. de var. en la duración media anual de los flujos bajos (umbral percentil 25)}$

11. Mean30dMax: la media máxima de 30 días se calcula sobre la media anual máxima de 30 días dividido para la mediana del flujo.

$$\text{Mean30dMax} = \frac{\text{media anual máxima de 30 días}}{\text{mediana del flujo}}$$

12. Const: esta firma muestra la constancia del flujo diario según Colwell, quien propuso las medidas de previsibilidad del caudal, constancia y contingencia.

$$\text{Const} = \text{Constancia del flujo diario}$$

13. RevVar: las variaciones de reversiones se calculan mediante el coeficiente anual de reversiones.

$$\text{RevVar} = \text{Coef. de variación anual de reversiones}$$

De las firmas anteriores, 10 de las 13 se calcularon mediante los resultados que arrojaron los cálculos en IHA y 3 más se calcularon en R.

Una vez obtenidos los resultados de las firmas de flujo, se procedió a realizar una comparación de los datos divididos en dos periodos para poder conocer cuáles son los cambios que han ocurrido antes del impacto y posterior del mismo. Los datos se procesaron en el software IHA, configurando el programa para que haga un análisis de dos periodos.

En la cuenca de Toachi los datos pre impacto se tomaron desde 1990 hasta el año 2000, con excepción del año 1994 que no contaba con datos disponibles en los anuarios del INAMHI,

mientras que los datos post impacto se tomaron desde 2001 hasta 2013, también con excepciones de los años 2007 y 2008 por falta de datos.

En la cuenca de Quinindé los datos pre impacto se tomaron desde 1990 hasta 1994, mientras que los datos post impacto se tomaron desde 2009 hasta 2013. Cabe recalcar que solo se tomaron esos intervalos de tiempo, ya que, desde 1995 hasta el año 2008, no se encontraron datos en la estación hidrológica de esta cuenca.

Al obtener los resultados de análisis de dos periodos en cada una de las cuencas, estos resultados se llevaron al RStudio, programa que se utilizó para dar a conocer los boxplots de las variables BFI, Reversals, HighFrVar (pulsos altos) y LowDurVar (pulsos bajos).

Se debe tomar en cuenta que al analizar las firmas HighFrVar y LowDurVar cuando se comparan los periodos, los resultados que se obtienen no corresponden a las firmas como tal sino firmas de duración y frecuencia de flujos altos y bajos, que son firmas adicionales que se procedieron a calcular.

Los boxplots o diagramas de caja son gráficos que nos permiten observar de manera clara la distribución de datos y sus características principales, lo que nos lleva a poder comparar numerosos conjuntos de datos a la vez (Correa & González, 2002). Este gráfico se representa con una caja cuyo interior contiene una línea horizontal que representa la mediana de los datos.

Así también con los datos obtenidos en el IHA sobre el análisis de los datos para dos periodos de tiempo, se procedió a realizar las curvas de duración de caudales (FDC por sus siglas en inglés) para cada una de las cuencas, Toachi y Quinindé.

Según Post (2004), una curva de duración de caudales es aquella que sirve para proveer información sobre el tiempo que se excedió un caudal en particular durante un período

histórico. Se representa con un gráfico en el que en las abscisas o eje X se encuentra la probabilidad de excedencia y en las ordenadas o eje Y los datos de caudales. Además, se le aplicó una función de escala logarítmica para representar los datos escogidos, ya que esta función se adapta mejor a la curva.

Las curvas de duración de caudales necesitan los datos de caudales diarios ordenados de mayor a menor de los años que se evaluarán. Esta curva puede representar los 365 caudales de un año hidrológico seleccionado, o también pudo haberse elaborado con datos diarios de una larga serie de años. Con este tipo de curvas se puede conocer el comportamiento hidrológico de una cuenca y que posteriormente servirá para proveer información de relevancia en casos de que se requiera realizar proyectos hídricos que permitirá la optimización tanto del diseño como del recurso hídrico.

En las cuencas de Toachi y Quinindé se graficaron los datos seleccionados de pre impacto y post impacto para analizar el comportamiento de las curvas entre esos periodos y comprender cuales fueron los cambios obtenidos en dichos tiempos.

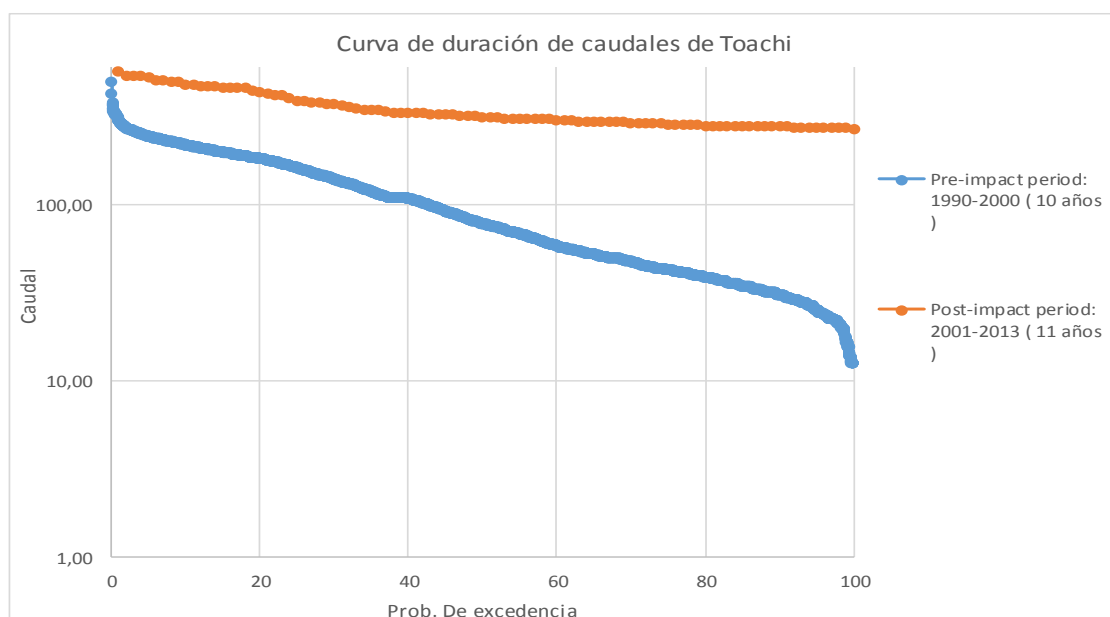


Imagen 5. Curva de duración de caudales de la cuenca Toachi

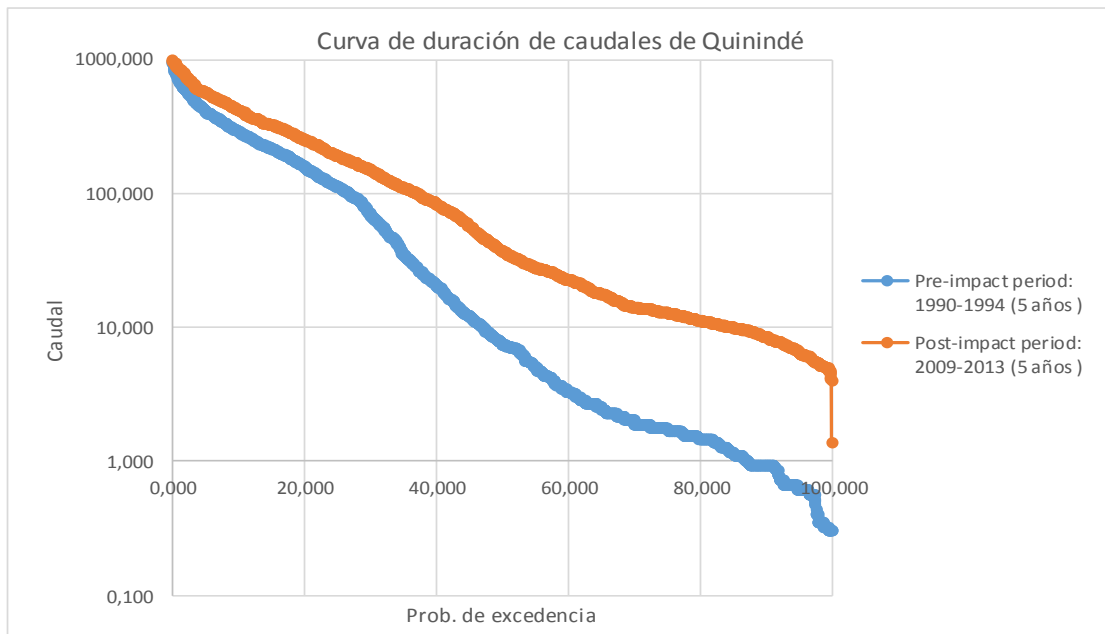


Imagen 6. Curva de duración de caudales de la cuenca Quinindé

4.-RESULTADOS

Se obtuvo la información necesaria para la determinación de las firmas de flujo en las cuencas de los ríos Toachi y Quinindé mediante los anuarios hidrológicos de las estaciones H167 y H177 que corresponden a cada una de las cuencas respectivamente.

Con los datos recolectados se procedió a calcular la curva de descarga para cada cuenca para poder llenar datos de caudales que no había y posterior a esto, en el programa IHA, se llevaron todos los datos de caudales disponibles para que aquellos que no tenían un valor se le fueran asignados mediante las interpolaciones que realiza el programa para conseguir nuevos datos.

Una vez que se consiguieron todos los datos de caudales posibles, se procedió a realizar el cálculo de las firmas hidrológicas para las áreas de estudio seleccionadas siguiendo lo sugerido en el paper de Kuentz *et al* (2017), ya que en dicho trabajo se realizó una investigación en las cuencas de Europa para comprender la variabilidad hidrológica a través de la clasificación de cuencas, mediante el uso de las firmas hidrológicas utilizadas en este trabajo.

A continuación se muestra una tabla que contiene los resultados obtenidos.

Tabla 1. Resultados obtenidos de las firmas de flujo para las cuencas Toachi y Quinindé

Resultados obtenidos para las cuencas de Toachi y Quinindé			
Firma	Cuenca Toachi (H167)	Cuenca Quinindé (H177)	Resultados según Kuentz
30 DÍAS MAX	3,258517117	18,15992731	10-1350
			6-10
			4-6
			0-4
			<0
LOW DUR VAR	1,315119005	1,236472267	0.8-4.1

			0.7-0.8
			0.6-0.7
			0-0.6
			<0
HIGH FR VAR	1,405001349	0,427622881	0.5-2.1
			0.4-0.5
			0.3-0.4
			0-0.3
			<0
REVVAR	0,29926579	0,17608352	0.2-2.5
			0.15-0.2
			0.1-0.15
			0-0.1
			<0
SKEW	1,39347152	5,05296275	2.2-200
			1.8-2.2
			1.5-1.8
			0-1.5
			<0
QSP	40,8798742	30,3205317	15-550
			10-15
			5-10
			0-5
			<0
CVQ	0,78865169	1,56563971	1.5-100
			1.3-1.5
			1-1.3
			0-1
			<0
Q5	103,379806	211,905365	3-130
			1.8-3
			1.2-1.8
			0-1.2
			<0
HFD	213,8	353,5	5-350
			4-5
			3-4
			0-3
			<0
Q95	9,0156316	0,39247993	45-2000
			30-45
			15-30
			0-15
			<0
LOWFR	0,5416667	0,5	1-90
			0.5-1
			0.25-0.5

			0-0.25
			<0
CONSTANCIA	0,1	0,1	0.15-2
			0.1-0.15
			0.05-0.1
			0-0.05
			<0
BFI	0,1613479	0,1950857	0.35-4
			0.25-0.35
			0.15-0.25
			0-0.15
			<0

Fuente: Understanding hydrologic variability across Europe Through catchment classification (Kuentz *et al*, 2017).

Elaboración: propia

En la siguiente imagen se observan las firmas de flujo propuestas en el paper Kuentz *et al* (2017) que se calcularon en la investigación, así también se observan los diferentes rangos de valores de resultados que tiene cada una.

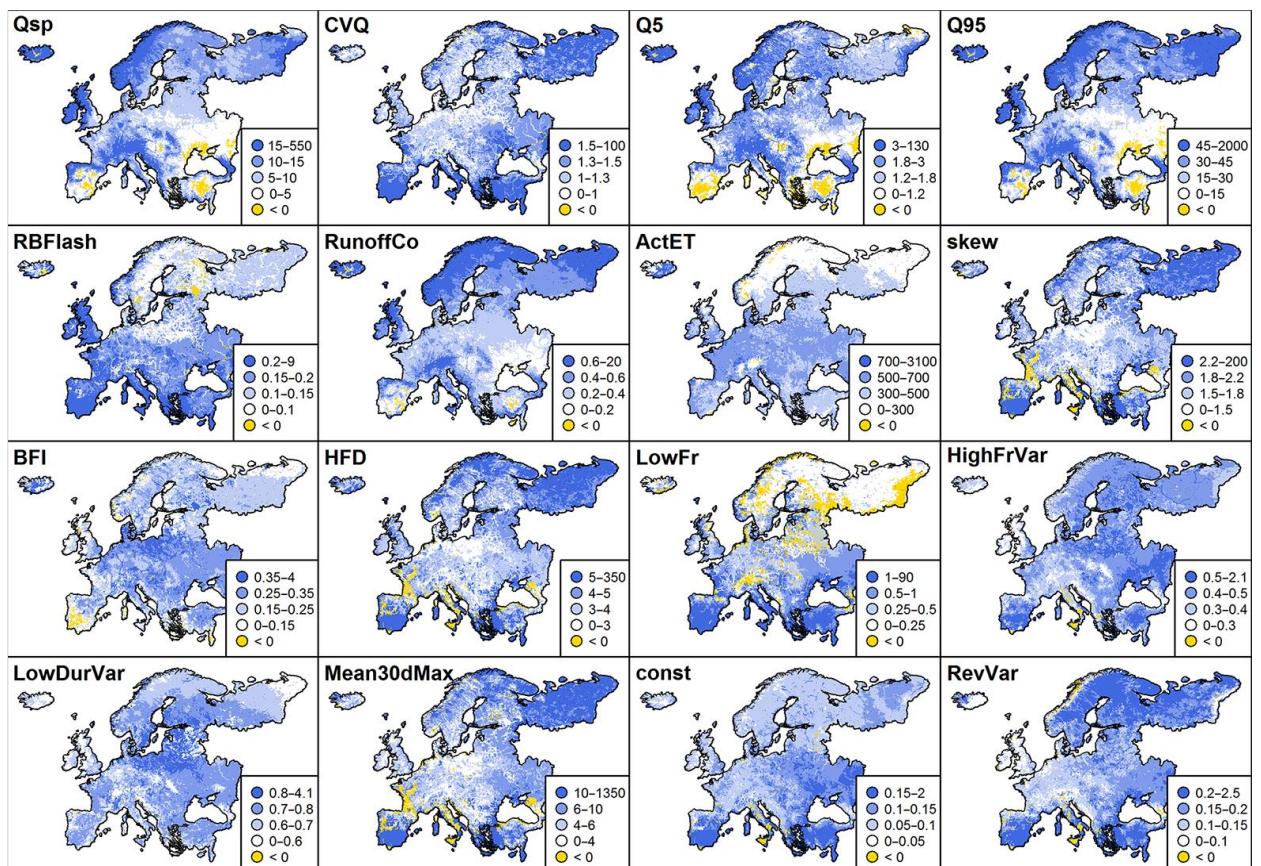


Imagen 7. Firmas de flujo.

Fuente: Understanding hydrologic variability across Europe Through catchment classification (Kuentz *et al*, 2017).

En la cuenca Toachi se obtuvo lo siguiente:

- **30 DIAS MAX:** 3,258517117, el resultado se encuentra entre 0-4 en el rango inferior, en el límite superior de Kuentz.
- **LOW DUR VAR:** 1,315119005, el resultado se encuentra entre 0.8-4.1 en el rango superior, en el límite inferior de Kuentz.
- **HIGH FR VAR:** 1,405001349, el resultado se encuentra entre 0.5-2.1 en el rango superior, en el límite superior de Kuentz.
- **REVAR:** 0,29926579, el resultado se encuentra entre 0.2-2.5 en el rango superior, en el límite superior de Kuentz.
- **SKEW:** 1,39347152, el resultado se encuentra entre 0-1.5 en el rango inferior, en el límite superior de Kuentz.
- **QSP:** 40,8798742, el resultado se encuentra entre 15-550 en el rango superior, en el límite inferior de Kuentz.
- **CVQ:** 0,78865169, el resultado se encuentra entre 0-1 en el rango inferior, en el límite superior de Kuentz.
- **Q5:** 103,379806, el resultado se encuentra entre 3-130 en el rango superior, en el límite superior de Kuentz.
- **HFD:** 213,8, el resultado se encuentra entre 5-350 en el rango superior, en el límite superior de Kuentz.
- **Q95:** 9,0156316, el resultado se encuentra entre 0-15 en el rango inferior, en el límite superior de Kuentz.
- **LOWFR:** 0,5416667, el resultado se encuentra entre 0.5-1 en el rango superior, en el límite inferior de Kuentz.
- **CONSTANCIA:** 0,1, el resultado se encuentra entre 0.05-0.1 en el rango medio, en el límite superior de Kuentz.

- **BFI:** 0,1613479, el resultado se encuentra entre 0.15-0.25 en el rango medio, en el límite inferior de Kuentz.

En la cuenca Quinindé se obtuvo lo siguiente:

- **30 DIAS MAX:** 18,15992731, el resultado se encuentra entre 10-1350 en el rango superior, en el límite inferior de Kuentz.
- **LOW DUR VAR:** 1,236472267, el resultado se encuentra entre 0.8-4.1 en el rango superior, en el límite inferior de Kuentz.
- **HIGH FR VAR:** 0,427622881, el resultado se encuentra entre 0.4-0.5 en el rango superior, en el límite inferior de Kuentz.
- **REVVAR:** 0,17608352, el resultado se encuentra entre 0.15-0.2 en el rango superior, en el límite inferior de Kuentz.
- **SKEW:** 5,05296275, el resultado se encuentra entre 2.2-200 en el rango superior, en el límite inferior de Kuentz.
- **QSP:** 30,3205317, el resultado se encuentra entre 15-550 en el rango superior, en el límite inferior de Kuentz.
- **CVQ:** 1,56563971, el resultado se encuentra entre 1.5-100 en el rango superior, en el límite inferior de Kuentz.
- **Q5:** 211,905365, el resultado sobrepasa los límites establecidos por Kuentz.
- **HFD:** 353,5, el resultado sobrepasa los límites establecidos por Kuentz.
- **Q95:** 0,39247993, el resultado se encuentra entre 0-15 en el rango inferior, en el límite inferior de Kuentz.
- **LOWFR:** 0,5, el resultado se encuentra entre 0.25-0.5 en el rango medio, en el límite superior de Kuentz.

- **CONSTANCIA:** 0,1, el resultado se encuentra entre 0.05-0.1 en el rango medio, en el límite superior de Kuentz.
- **BFI:** 0,1950857, el resultado se encuentra entre 0.15-0.25 en el rango medio, en el límite inferior de Kuentz.

Para ambas cuencas se obtuvieron resultados muy diferentes en algunas de las firmas, mientras que en otras firmas los resultados fueron similares a pesar de la poca disponibilidad de datos de una de las cuencas estudiadas.

En el caso de las curvas de duración de caudales, los resultados obtenidos mostraron que los impactos son mayores posteriores al periodo de impacto. Para la cuenca de Toachi en el periodo del 2001 al 2013 (11 años de análisis), se nota una gran diferencia en el impacto de la cuenca en comparación con el periodo pre impacto. Asimismo, para la cuenca de Quinindé, en el periodo analizado desde 2009 a 2013 (teniendo en cuenta que durante este periodo solo se analizaron 5 años debido a la falta de datos de los otros años), se observa un comportamiento similar en relación a la curva de la cuenca de Toachi.

Los cambios y variaciones que sufren los caudales y niveles de los ríos en los años analizados, así como la vegetación presente y otros factores que son propios de una cuenca, inciden en los resultados de las curvas.

Las tablas a continuación reflejan unos cuantos parámetros obtenidos al introducir los datos de caudales de las cuencas en el software IHA, los resultados se presentan en los periodos pre y post impacto:

Tabla 2. Resultados de los parámetros obtenidos en el software IHA para la cuenca Toachi

Cuenca Toachi		
Parámetro	Periodo pre impacto (1990-2000)	Periodo post impacto (2001-2013)
Índice caudal base	0,2396	0,2594

Conteo pulsos bajos	5,5	5
Duración pulsos bajos	6	14,5
Conteo pulsos altos	6,5	7
Duración pulsos altos	5,75	3
Número de reversas	101,5	128
Caudal anual medio	105,5	88,82

Fuente: Software IHA.

Elaboración: propia

Al comparar los resultados de la cuenca Toachi se puede observar como los parámetros de conteo de pulsos bajos y duración de pulsos altos son mayores en el pre impacto recalcando una mínima diferencia entre dichos resultados, mientras los parámetros de índice de caudal base, duración de pulsos bajos, conteo de pulsos altos y el número de reversas son mayores posteriores al impacto.

Tabla 3. Resultados de los parámetros obtenidos en el software IHA para la cuenca Quinindé

Cuenca Quinindé		
Parámetro	Periodo pre impacto (1990-2000)	Periodo post impacto (2001-2013)
Índice caudal base	0,01398	0,04273
Conteo pulsos bajos	4	0
Duración pulsos bajos	12	1
Conteo pulsos altos	8	9
Duración pulsos altos	4	11
Número de reversas	105	107
Caudal anual medio	85,56	136,9

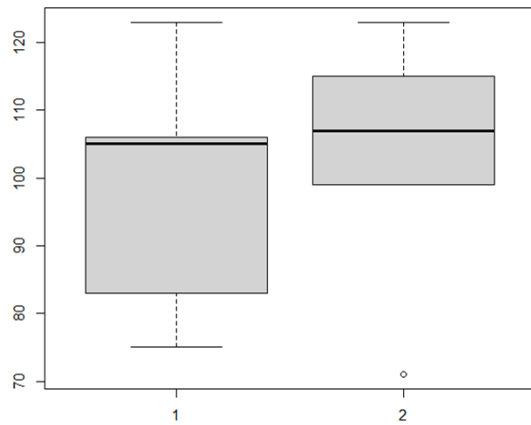
Fuente: Software IHA.

Elaboración: propia

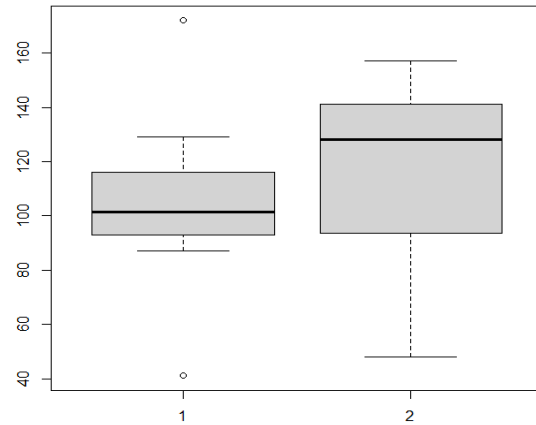
En la cuenca Quinindé se puede observar como los parámetros de conteo de pulsos bajos y duración de pulsos bajos tienen resultados superiores en el pre impacto, mientras los parámetros de índice de caudal base, conteo de pulsos altos, duración de pulsos altos y el número de reversas son mayores posteriores al impacto.

Al obtener los resultados de análisis de dos periodos en cada una de las cuencas, estos resultados se llevaron al RStudio, programa que se utilizó para dar a conocer los boxplots de las variables BFI, Reversals, HighFrVar (pulsos altos) y LowDurVar (pulsos bajos).

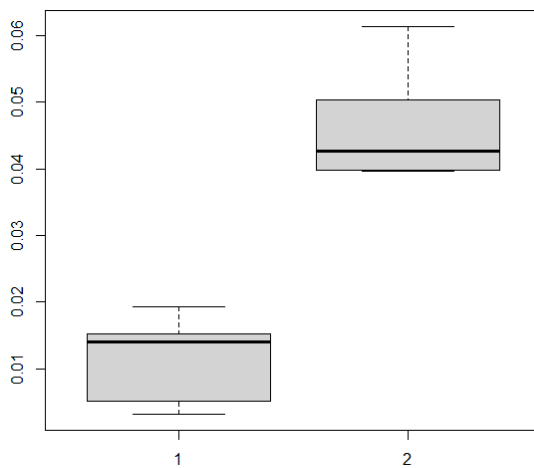
A continuación, se muestran los resultados de los boxplots de BFI, Reversals, HighFrVar (pulsos altos) y LowDurVar (pulsos bajos) para ambas cuencas:



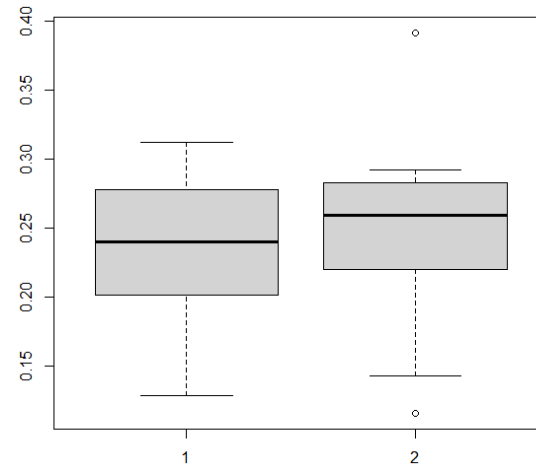
Boxplot de Reversals cuenca Quinindé



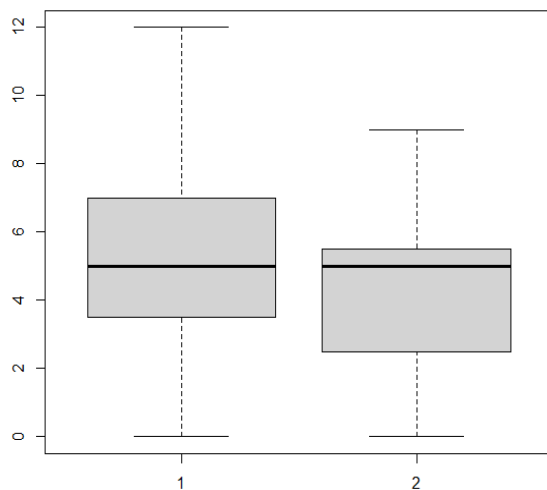
Boxplot de Reversals cuenca Toachi



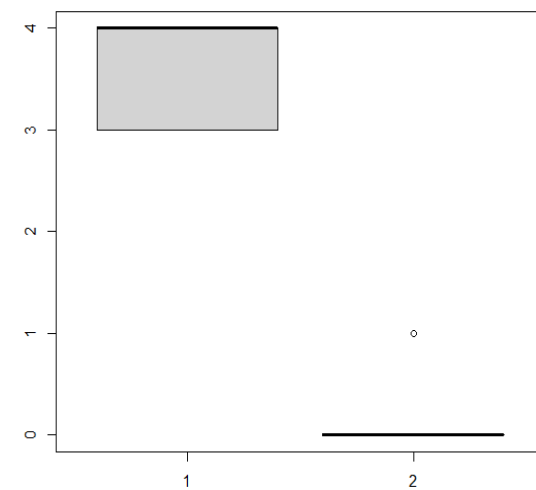
Boxplot de BFI cuenca Quinindé



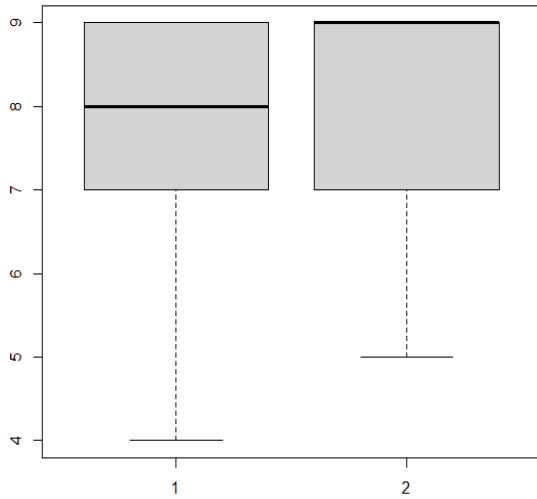
Boxplot de BFI cuenca Toachi



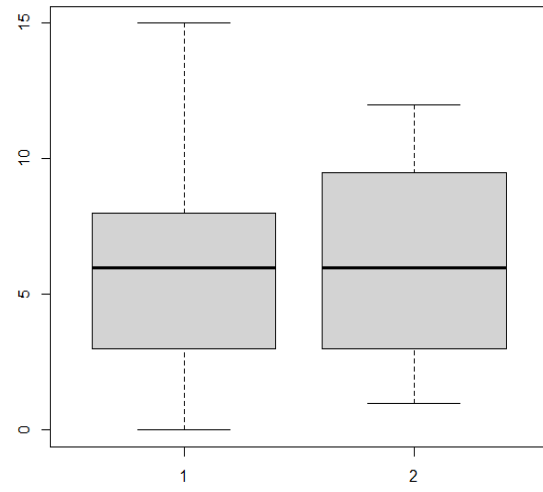
Boxplot conteo pulsos bajos cuenca Toachi



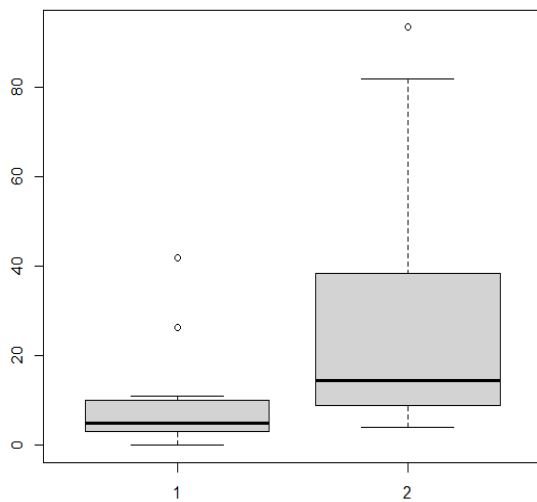
Boxplot conteo pulsos bajos cuenca Quinindé



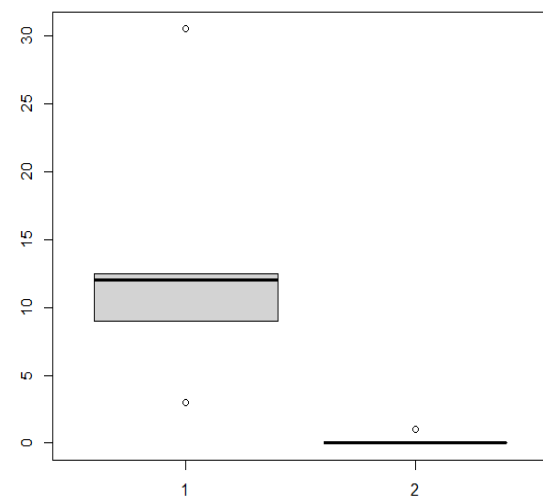
Boxplot conteo pulsos altos cuenca Quinindé



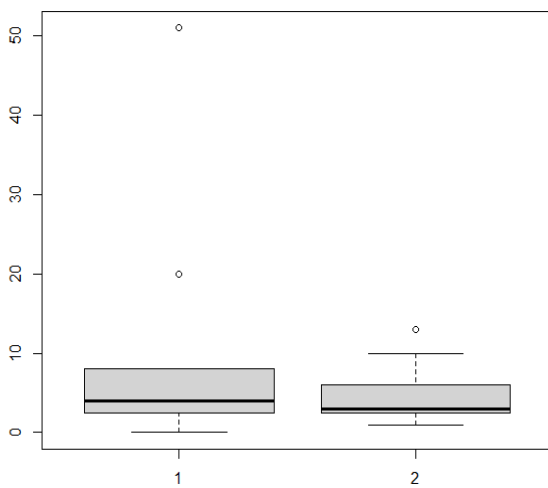
Boxplot conteo pulsos altos cuenca Toachi



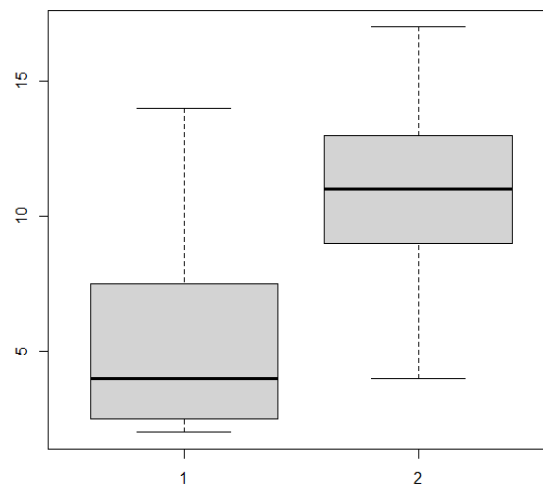
Boxplot LowDurVar cuenca Toachi



Boxplot LowDurVar cuenca Quinindé



Boxplot HighFrVar cuenca Toachi



Boxplot HighFrVar cuenca Quinindé

Imagen 8. Boxplots de las firmas BFI, Reversals, HighFrVar y LowDurVar de Toachi y Quinindé.

5.-DISCUSIÓN

La comparación de los periodos pre y post impacto de los datos de caudales de las cuencas estudiadas permitieron dar a conocer una realidad de lo que sucede en las cuencas ecuatorianas, en índices de frecuencia y conteo de pulsos altos y bajos, así como también del caudal de flujo base.

Se puede observar que Toachi parece mostrar mayor regulación en los resultados mostrados indicando una posible influencia del represamiento. Mientras que en Quinindé por otra parte, no se ve gran diferencia en el periodo antes y después. Esto llama la atención ya que según la fuente de la agencia espacial europea hubo una reforestación en la zona en el periodo de los años que se utilizaron para los cálculos.

Tal como lo menciona Zhang *et al* (2016) en su trabajo investigativo titulado Hydrologic Alteration Associated with Dam Construction in a Medium-Sized Coastal Watershed of Southeast China, “la construcción de presas tiene un gran impacto en la hidrología, por lo que es de importancia científica evaluar la alteración hidrológica inducida por la construcción de presas” eso lo demuestra en los resultados sobre la frecuencia y duración de pulsos altos y bajos que cambiaron significativamente en los últimos años de estudio, especialmente durante el período posterior al impacto período, es decir una vez construida la presa. Generalmente, el caudal base es el indicador más sensible al cambio de régimen de caudal asociado con la construcción de la presa.

Esto se ve reflejado en los resultados pos impacto de Toachi, ya que se ven mayormente modificados por los cambios que han sucedido en dicha cuenca debido a la construcción de una presa, cuyo inicio del proceso de construcción se dio justamente en el periodo pos impacto. Otro cambio significativo que se observa en la cuenca Toachi es el caudal medio

anual, el cual disminuyó de 105.5 (periodo pre impacto) a 88.82 (periodo pos impacto) producto del represamiento lo que no sucede en la cuenca de Quinindé.

En el caso de las cuencas Toachi y Quinindé el índice de caudal de flujo base (BFI por sus siglas en inglés), también aumentaron sus valores en el periodo posterior al impacto que fueron provocados por otros tipos de factores internos a las cuencas.

La poca información que se encontró en los anuarios hidrológicos del INAMHI de las cuencas mencionadas anteriormente también influyó en los resultados obtenidos debido a que muchos datos no fueron reales, es decir, se calcularon a partir de los datos de caudales y niveles existentes. Además, también se pudo notar los cambios o alteraciones que cada una de las cuencas ha tenido a lo largo de los años.

6.- CONCLUSIONES

Una vez culminada la investigación se concluye que:

- Se recolectó la información necesaria requerida de las estaciones hidrológicas correspondientes a las cuencas de Toachi y Quinindé. La información de ambas cuencas fue tomada de la página web del INAMHI y permitió posteriormente llevar a cabo la finalidad de la investigación.
- Se definieron las 13 firmas hidrológicas que se iban a implementar en el proceso investigativo, en base a un estudio hecho anteriormente en Europa sobre este tema definidos en el artículo de Kuentz. Los diferentes softwares como IHA, Excel y RStudio ayudaron en el proceso de cálculo para conocer la variabilidad hidrológica en las áreas de estudio.
- Se calcularon los 13 parámetros de las firmas de flujo para conocer la variabilidad hidrológica de las cuencas, quedando demostrado que entre ambas los resultados variaron en cada firma. Probablemente estas variaciones se deben a factores propios de las cuencas como cambios de suelos, evaporación, precipitación, vegetación, alteraciones provocadas por humanos, etc.

7. BIBLIOGRAFÍA

Addor, N., Nearing, G., Prieto, C., Newman, A. J., Le Vine, N., & Clark, M. P. (2018). *A Ranking of Hydrological Signatures Based on Their Predictability in Space*. *Water Resources Research*, 54(11), 8792–8812. <https://doi.org/10.1029/2018WR022606>

Avilés, E. (s/f). *Río Toachi*. Geografía del Ecuador. Enciclopedia del Ecuador. <http://www.encyclopediadelecuador.com/geografia-del-ecuador/rio-toachi/>

Correa, J., & González, N. (2002). *Gráficos Estadísticos con R*. Universidad Nacional-Sede Medellín. <https://cran.r-project.org/doc/contrib/grafi3.pdf>

Donnelly, C., Andersson, J., & Arheimer, B. (2016) *Using flow signatures and catchment similarities to evaluate the E-HYPE multi-basin model across Europe*, *Hydrological Sciences Journal*, 61:2, 255-273, DOI: 10.1080/02626667.2015.1027710

GAD Municipal La Concordia. (2016). *Clima y recursos*. <http://www.laconcordia.gob.ec/laconcordia/index.php/la-ciudad/geografia/clima-y-recursos-hidricos>

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2016). *Biblioteca*. Ministerio de Ambiente y Agua. <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/biblioteca/>

Kuentz, A., Arheimer, B., Hundecha, Y., & Wagener, T. (2017). *Understanding hydrologic variability across Europe through catchment classification*. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(6), 2863–2879. <https://doi.org/10.5194/hess-21-2863-2017>

Lee, D. (2019). *Introducción al software estadístico R*. <http://idaejin.github.io/courses/R/2019/euskaltel/>

León, J., Seyler, F., & Puerta, A. (2011). *Estimación de curvas de gasto en estaciones virtuales Envisat sobre el cauce principal del río el cauce principal del río Orinoco*. SciELO. Ingeniería e investigación (Vol. 31).

McMillan, H. (2020). *Linking hydrologic signatures to hydrologic processes: A review*. Hydrological Processes, 34(6), 1393–1409. <https://doi.org/10.1002/hyp.13632>

Ministerio del Ambiente. (2012). *Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador 2012-2025*

Post, D.A., (2004). *Un nuevo método para estimar las curvas de duración del flujo: una aplicación a la cuenca del río Burdekin, North Queensland, Australia*. Congreso Internacional de Modelización y Software Ambiental. 2

R, (s/f). *¿Qué es R?*. <https://www.r-project.org/about.html>

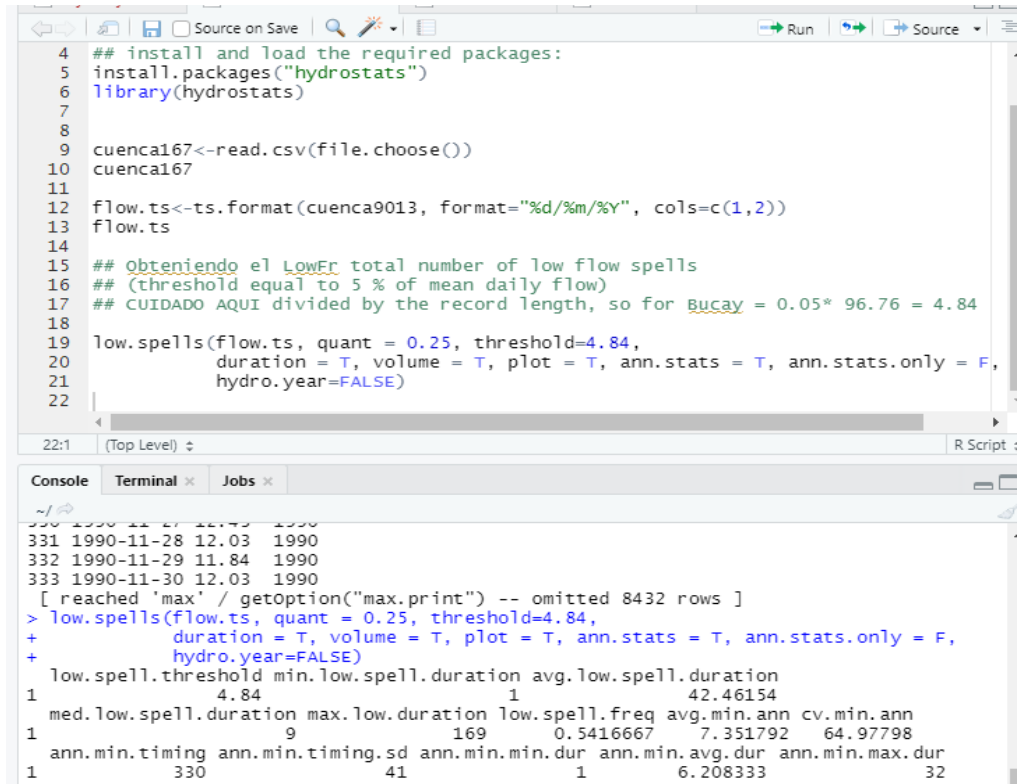
The Nature Conservancy, 2011. *Manual del usuario de Indicadores de Alteración Hidrológica, Versión 7.1*. https://www.conservationgateway.org/Documents/IHAV7-1%20manual%20Spanish_0.pdf

Wagener, T., Sivapalan, M., Troch, P. A., and Woods, R. A.: *Catchment Classification and Hydrologic Similarity*, Geog. Comp., 1/4, 901–931, 2007

Zhang, Z., Huang, Y., & Huang, J. (2016). *Hydrologic Alteration Associated with Dam Construction in a Medium-Sized Coastal Watershed of Southeast China*. Water, 8, 317. doi:10.3390/w8080317

8. ANEXOS

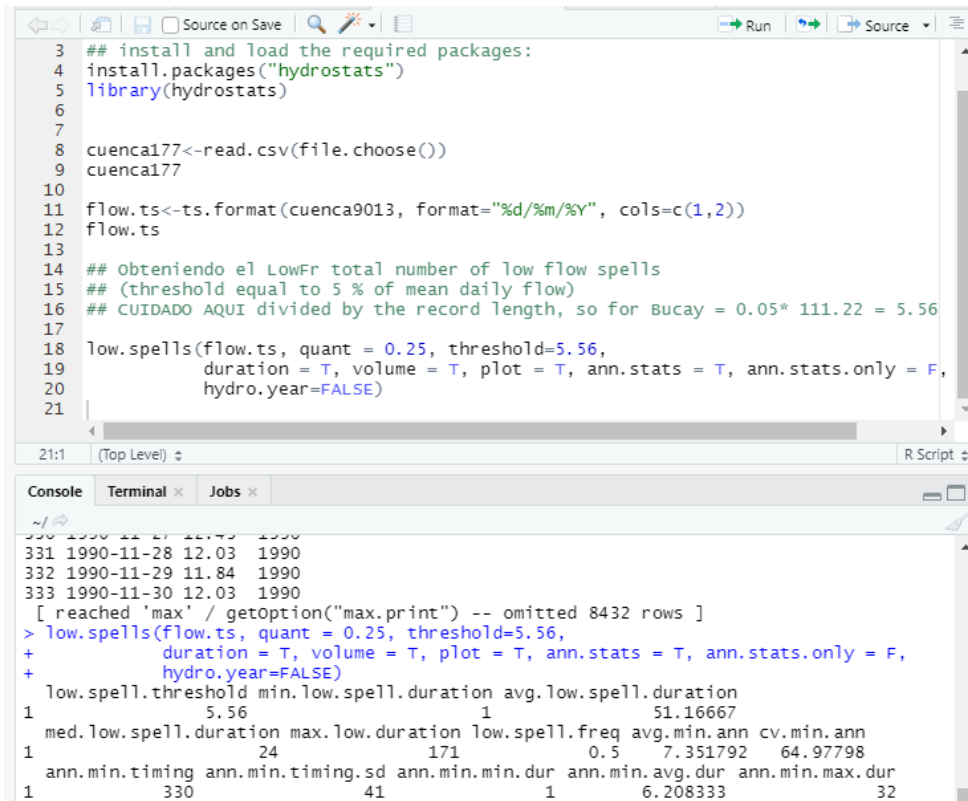
Anexo 1. Script LOWFR para Toachi



```
4 ## install and load the required packages:
5 install.packages("hydrostats")
6 library(hydrostats)
7
8
9 cuenca167<-read.csv(file.choose())
10 cuenca167
11
12 flow.ts<-ts.format(cuenca9013, format="%d/%m/%Y", cols=c(1,2))
13 flow.ts
14
15 ## Obteniendo el LowFr total number of low flow spells
16 ## (threshold equal to 5 % of mean daily flow)
17 ## CUIDADO AQUI divided by the record length, so for Bucay = 0.05* 96.76 = 4.84
18
19 low.spells(flow.ts, quant = 0.25, threshold=4.84,
20           duration = T, volume = T, plot = T, ann.stats = T, ann.stats.only = F,
21           hydro.year=FALSE)
22
```

```
~/
330 1990-11-27 12.03 1990
331 1990-11-28 12.03 1990
332 1990-11-29 11.84 1990
333 1990-11-30 12.03 1990
[ reached 'max' / getOption("max.print") -- omitted 8432 rows ]
> low.spells(flow.ts, quant = 0.25, threshold=4.84,
+ duration = T, volume = T, plot = T, ann.stats = T, ann.stats.only = F,
+ hydro.year=FALSE)
+ low.spell.threshold min.low.spell.duration avg.low.spell.duration
1 4.84 1 42.46154
med.low.spell.duration max.low.duration low.spell.freq avg.min.ann cv.min.ann
1 9 169 0.5416667 7.351792 64.97798
ann.min.timing ann.min.timing.sd ann.min.min.dur ann.min.avg.dur ann.min.max.dur
1 330 41 1 6.208333 32
```

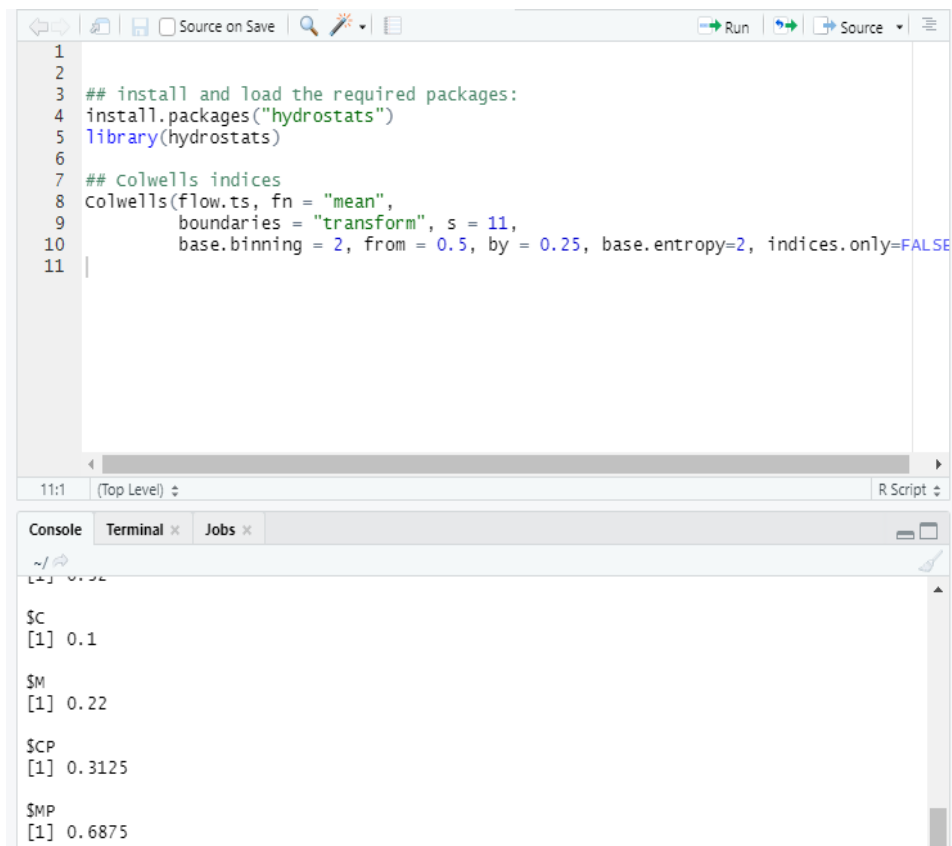
Anexo 2. Script LOWFR para Quindé



```
3 ## install and load the required packages:
4 install.packages("hydrostats")
5 library(hydrostats)
6
7
8 cuenca177<-read.csv(file.choose())
9 cuenca177
10
11 flow.ts<-ts.format(cuenca9013, format="%d/%m/%Y", cols=c(1,2))
12 flow.ts
13
14 ## Obteniendo el LowFr total number of low flow spells
15 ## (threshold equal to 5 % of mean daily flow)
16 ## CUIDADO AQUI divided by the record length, so for Bucay = 0.05* 111.22 = 5.56
17
18 low.spells(flow.ts, quant = 0.25, threshold=5.56,
19           duration = T, volume = T, plot = T, ann.stats = T, ann.stats.only = F,
20           hydro.year=FALSE)
21
```

```
~/
330 1990-11-27 12.03 1990
331 1990-11-28 12.03 1990
332 1990-11-29 11.84 1990
333 1990-11-30 12.03 1990
[ reached 'max' / getOption("max.print") -- omitted 8432 rows ]
> low.spells(flow.ts, quant = 0.25, threshold=5.56,
+ duration = T, volume = T, plot = T, ann.stats = T, ann.stats.only = F,
+ hydro.year=FALSE)
+ low.spell.threshold min.low.spell.duration avg.low.spell.duration
1 5.56 1 51.16667
med.low.spell.duration max.low.duration low.spell.freq avg.min.ann cv.min.ann
1 24 171 0.5 7.351792 64.97798
ann.min.timing ann.min.timing.sd ann.min.min.dur ann.min.avg.dur ann.min.max.dur
1 330 41 1 6.208333 32
```

Anexo 3. Script CONSTANCIA para Toachi



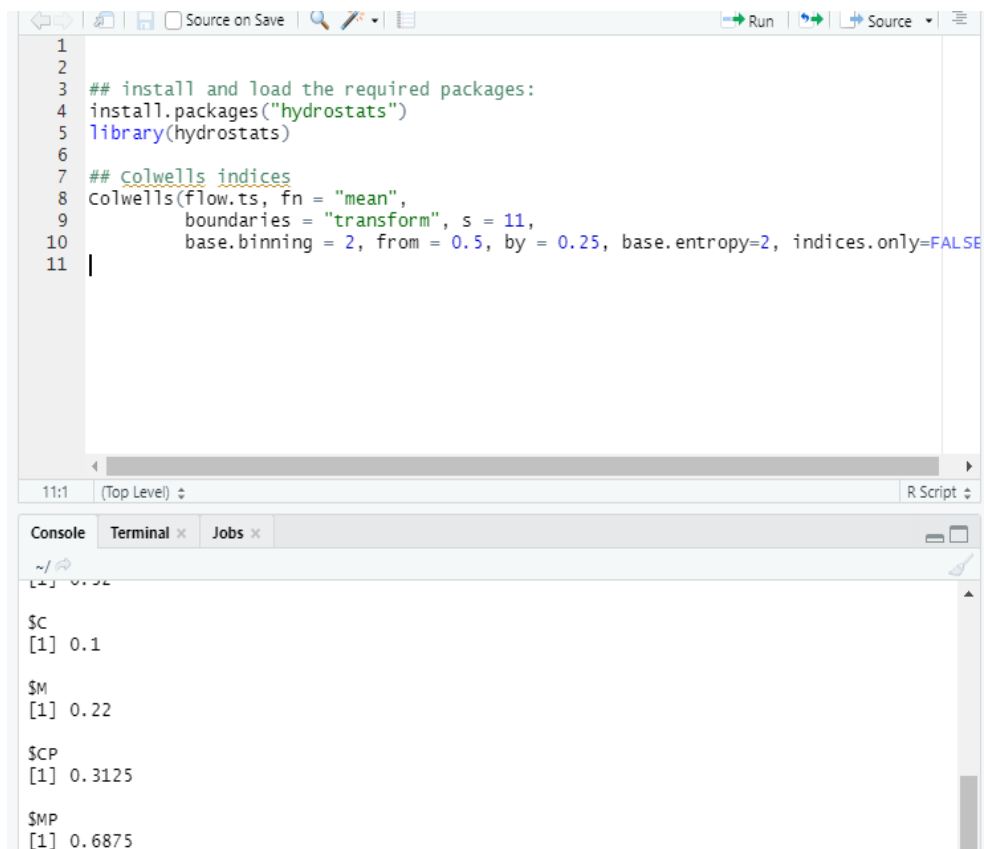
```
1  
2  
3 ## install and load the required packages:  
4 install.packages("hydrostats")  
5 library(hydrostats)  
6  
7 ## colwells indices  
8 colwells(flow.ts, fn = "mean",  
9           boundaries = "transform", s = 11,  
10           base.binning = 2, from = 0.5, by = 0.25, base.entropy=2, indices.only=FALSE)  
11 |
```

11:1 (Top Level) R Script

Console Terminal Jobs

```
~/...  
$C  
[1] 0.1  
  
$M  
[1] 0.22  
  
$CP  
[1] 0.3125  
  
$MP  
[1] 0.6875
```

Anexo 4. Script CONSTANCIA para Quinindé



```
1  
2  
3 ## install and load the required packages:  
4 install.packages("hydrostats")  
5 library(hydrostats)  
6  
7 ## colwells indices  
8 colwells(flow.ts, fn = "mean",  
9           boundaries = "transform", s = 11,  
10           base.binning = 2, from = 0.5, by = 0.25, base.entropy=2, indices.only=FALSE)  
11 |
```

11:1 (Top Level) R Script

Console Terminal Jobs

```
~/...  
$C  
[1] 0.1  
  
$M  
[1] 0.22  
  
$CP  
[1] 0.3125  
  
$MP  
[1] 0.6875
```

Anexo 5. Script BFI para Toachi

```
8
9
10 #para H167
11
12 h167<-read.csv(file.choose())
13 h167
14
15 #Convert to time series:
16 time <- ts(h167)
17 time
18 #Lets say our data contains values from one hydrological year (jan-dec)
19 #starting on 1 jan 1990:
20 myriver <- createlfobj(time, startdate = "01/01/1990",hyearstart = 1)
21 myriver
22 #Add meta-data
23 createlfobj(myriver, meta = list(river = "myriver"))
24
25
26 BFI(myriver, year = "any",breakdays = NULL, yearly = FALSE)
27
```

27:1 (Top Level) R Script

Console Terminal Jobs

```
~/
157 6 6 1990 6 1990 2.200000
158 7 6 1990 63 1990 2.333333
159 8 6 1990 61 1990 2.466667
160 9 6 1990 43 1990 2.600000
161 10 6 1990 48 1990 2.733333
162 11 6 1990 48 1990 2.866667
163 12 6 1990 3 1990 3.000000
164 13 6 1990 66 1990 3.000000
165 14 6 1990 3 1990 3.000000
166 15 6 1990 48 1990 3.000000
[ reached 'max' / getOption("max.print") -- omitted 7505 rows ]
> BFI(myriver, year = "any",breakdays = NULL, yearly = FALSE)
[1] 0.1613479
>
```

Anexo 6. Script BFI para Quindé

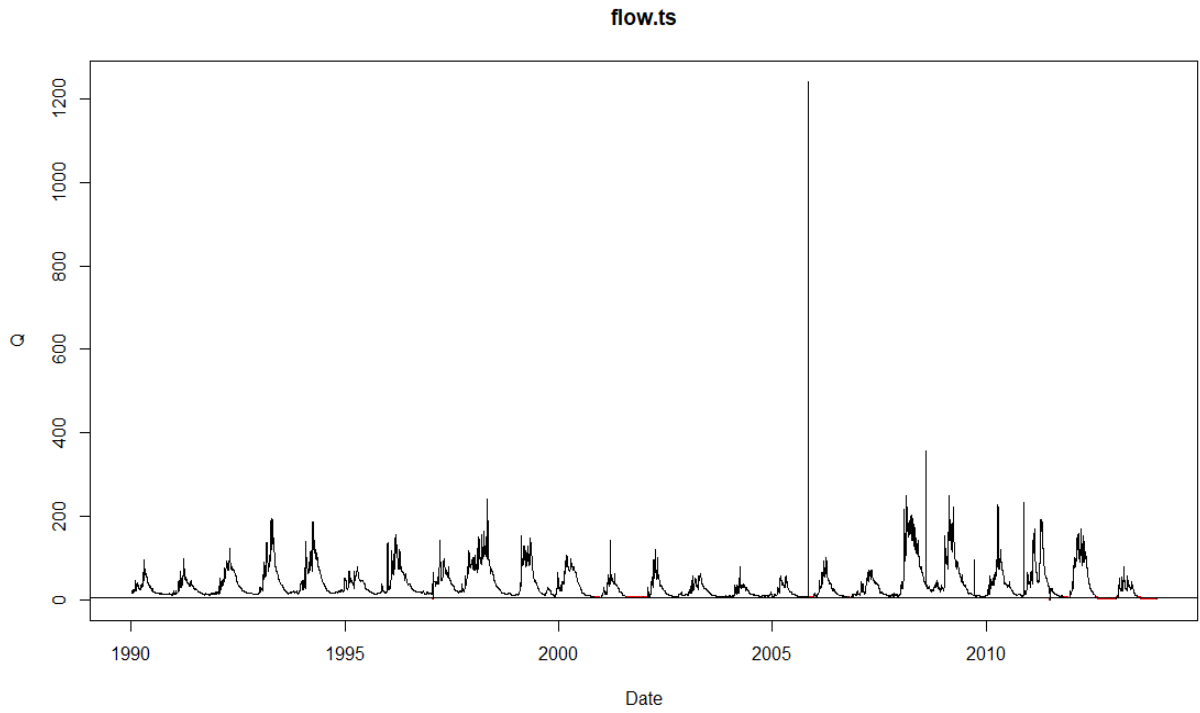
```
6
7
8 #para H177
9
10 h177<-read.csv(file.choose())
11 h177
12
13 #Convert to time series:
14 time <- ts(h177)
15 time
16 #Lets say our data contains values from one hydrological year (jan-dec)
17 #starting on 1 jan 1990:
18 myriver <- createlfobj(time, startdate = "01/01/1990",hyearstart = 1)
19 myriver
20 #Add meta-data
21 createlfobj(myriver, meta = list(river = "myriver"))
22
23
24 BFI(myriver, year = "any",breakdays = NULL, yearly = FALSE)
25
```

25:1 (Top Level) R Script

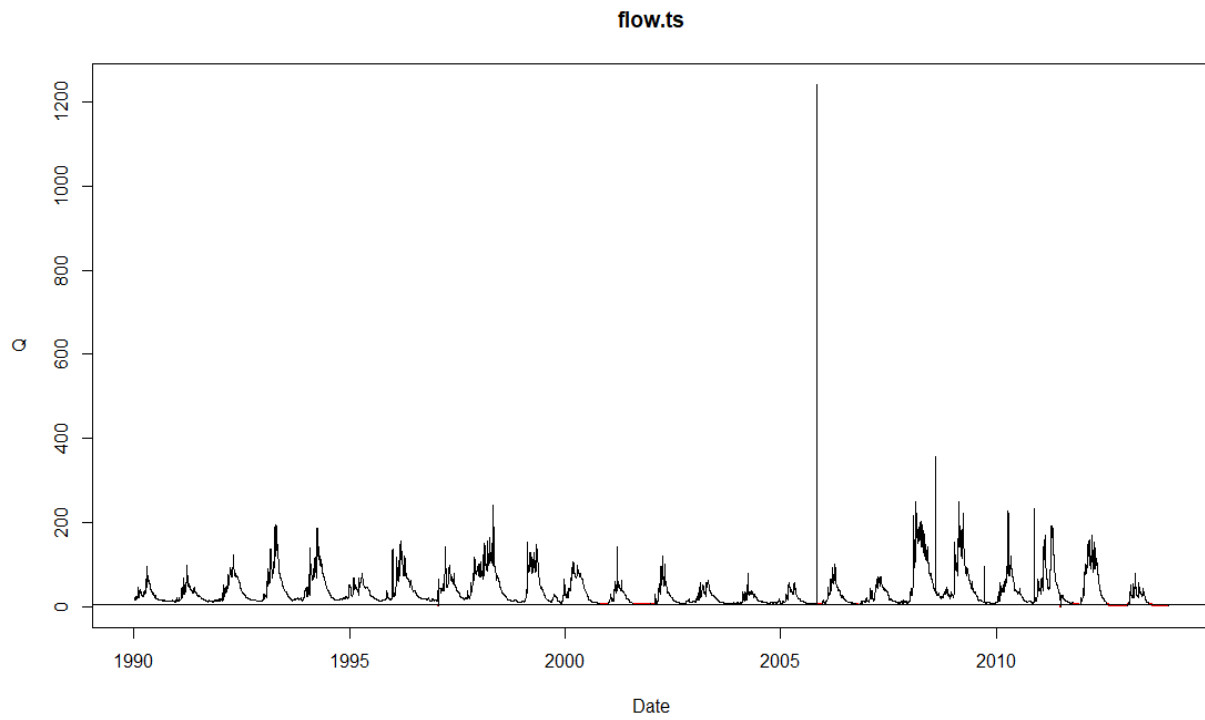
Console Terminal Jobs

```
~/
157 6 6 1990 7 1990 3.750000
158 7 6 1990 7 1990 3.500000
159 8 6 1990 75 1990 3.250000
160 9 6 1990 43 1990 3.000000
161 10 6 1990 4 1990 2.750000
162 11 6 1990 21 1990 2.500000
163 12 6 1990 12 1990 2.250000
164 13 6 1990 623 1990 2.000000
165 14 6 1990 86 1990 1.750000
166 15 6 1990 35 1990 1.500000
[ reached 'max' / getOption("max.print") -- omitted 3487 rows ]
> BFI(myriver, year = "any",breakdays = NULL, yearly = FALSE)
[1] 0.1950857
>
```

Anexo 7. Umbral mínimo de flujos bajos de la cuenca Toachi



Anexo 8. Umbral mínimo de flujos bajos de la cuenca Quinindé



Anexo 9. Script para el boxplot de reversals de la cuenta Quinindé

```
RGui (64-bit)
Archivo Histórico Redimensionar Ventanas

R Console

> rev<-read.csv(file.choose())
> rev
  Rev.pre Rev.pos
1      83     99
2     105    107
3      75    115
4     123     71
5     106    123
> names(rev) #muestra los nombres de las columnas
[1] "Rev.pre" "Rev.pos"
> summary(rev) #muestra un resumen estadístico para todas las columnas
  Rev.pre      Rev.pos
Min.   : 75.0   Min.   : 71
1st Qu.: 83.0   1st Qu.: 99
Median :105.0   Median :107
Mean   : 98.4   Mean   :103
3rd Qu.:106.0   3rd Qu.:115
Max.   :123.0   Max.   :123
> summary(rev$Rev.pre) #muestra un resumen estadístico para una columna
  Min. 1st Qu. Median Mean 3rd Qu.  Max.
 75.0  83.0   105.0  98.4  106.0  123.0
>
> #creamos un boxplot simple con los datos de reversals Quininde para
> #los dos periodos
> #el periodo pre (1) y el periodo post (2)
> boxplot(rev$Rev.pre,rev$Rev.pos)
> |
```

Anexo 10. Script para el boxplot de reversals de la cuenta Toachi

```
RGui (64-bit)
Archivo Histórico Redimensionar Ventanas

R Console

> rev<-read.csv(file.choose())
> rev
  Rev.pre Rev.pos
1     108    147
2     104    104
3     116     74
4      94     85
5      99    102
6      41    128
7     172     48
8     129    139
9      93    138
10     87    143
11     NA    157
> names(rev) #muestra los nombres de las columnas
[1] "Rev.pre" "Rev.pos"
> summary(rev) #muestra un resumen estadístico para todas las columnas
  Rev.pre      Rev.pos
Min.   : 41.00   Min.   : 48.0
1st Qu.: 93.25   1st Qu.: 93.5
Median :101.50   Median :128.0
Mean   :104.30   Mean   :115.0
3rd Qu.:114.00   3rd Qu.:141.0
Max.   :172.00   Max.   :157.0
NA's   :1
> summary(rev$Rev.pre) #muestra un resumen estadístico para una columna
  Min. 1st Qu. Median Mean 3rd Qu.  Max.  NA's
 41.00  93.25  101.50  104.30  114.00  172.00    1
>
> #creamos un boxplot simple con los datos de reversals Toachi para los dos periodos
> #el periodo pre (1) y el periodo post (2)
> boxplot(rev$Rev.pre,rev$Rev.pos)
> |
```

Anexo 11. Script para el boxplot de BFI de la cuenca Quinindé

```
RGui (64-bit)
Archivo Histórico Redimensionar Ventanas

R Console

> bfi<-read.csv(file.choose())
> bfi
  BFI.pre BFI.post
1 0.015270 0.04273
2 0.013980 0.03987
3 0.005159 0.03970
4 0.019330 0.06144
5 0.003131 0.05031
> names(bfi) #muestra los nombres de las columnas
[1] "BFI.pre" "BFI.post"
> summary(bfi) #muestra un resumen estadístico para todas las columnas
  BFI.pre      BFI.post
Min.   :0.003131  Min.   :0.03970
1st Qu.:0.005159  1st Qu.:0.03987
Median :0.013980  Median :0.04273
Mean   :0.011374  Mean   :0.04681
3rd Qu.:0.015270  3rd Qu.:0.05031
Max.   :0.019330  Max.   :0.06144
> summary(bfi$BFI.pre) #muestra un resumen estadístico para una columna
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
0.003131 0.005159 0.013980 0.011374 0.015270 0.019330
>
> #creamos un bloxplot simple con los datos de bfi Quininde para los dos periodos
> #el periodo pre (1) y el periodo post (2)
> boxplot(bfi$BFI.pre,bfi$BFI.post)
> |
```

Anexo 12. Script para el boxplot de BFI de la cuenca Toachi

```
RGui (64-bit)
Archivo Histórico Redimensionar Ventanas

R Console

> bfi<-read.csv(file.choose())
> bfi
  BFI.pre BFI.post
1 0.2778 0.1987
2 0.2681 0.2616
3 0.3005 0.2404
4 0.2409 0.2903
5 0.2055 0.2420
6 0.1281 0.2919
7 0.1931 0.2745
8 0.2383 0.3916
9 0.3119 0.1422
10 0.2010 0.1153
11 NA 0.2594
> names(bfi) #muestra los nombres de las columnas
[1] "BFI.pre" "BFI.post"
> summary(bfi) #muestra un resumen estadístico para todas las columnas
  BFI.pre      BFI.post
Min.   :0.1281  Min.   :0.1153
1st Qu.:0.2021  1st Qu.:0.2195
Median :0.2396  Median :0.2594
Mean   :0.2365  Mean   :0.2462
3rd Qu.:0.2754  3rd Qu.:0.2824
Max.   :0.3119  Max.   :0.3916
NA's   :1
> summary(bfi$BFI.pre) #muestra un resumen estadístico para una columna
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.   NA's
0.1281 0.2021 0.2396 0.2365 0.2754 0.3119    1
>
> #creamos un bloxplot simple con los datos de bfi Toachi para los dos periodos
> #el periodo pre (1) y el periodo post (2)
> boxplot(bfi$BFI.pre,bfi$BFI.post)
> |
```

Anexo 13. Script para el boxplot del conteo de pulsos bajos de la cuenca Toachi

```
RGui (64-bit)
Archivo Histórico Redimensionar Ventanas

R Console

> bajpuls<-read.csv(file.choose())
> bajpuls
  Pre.bajpuls Post.bajpuls
1           9             3
2            2             5
3            3             6
4            5             5
5           12             2
6            4             9
7            7             2
8            7             0
9            4             4
10           6             5
11           0             6

> names(bajpuls) #muestra los nombres de las columnas
[1] "Pre.bajpuls" "Post.bajpuls"
> summary(bajpuls) #muestra un resumen estadístico para todas las columnas
  Pre.bajpuls      Post.bajpuls
Min.   :0.000    Min.   :0.000
1st Qu.:3.500    1st Qu.:2.500
Median :5.000    Median :5.000
Mean   :5.364    Mean   :4.273
3rd Qu.:7.000    3rd Qu.:5.500
Max.   :12.000   Max.   :9.000
> summary(bajpuls$Pre.bajpuls) #muestra un resumen estadístico para una columna
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
0.000 3.500   5.000   5.364 7.000  12.000
>
> #creamos un bloxplot simple con los datos de numero de conteos de pulsos bajo$
> #de Toachi para los dos periodos
> #el periodo pre (1) y el periodo post (2)
> boxplot(bajpuls$Pre.bajpuls,bajpuls$Post.bajpuls)
> |
```

Anexo 14. Script para el boxplot del conteo de pulsos bajos de la cuenca Quinindé

```
RGui (64-bit)
Archivo Histórico Redimensionar Ventanas

R Console

> bajpuls<-read.csv(file.choose())
> bajpuls
  Pre.bajpuls Post.bajpuls
1            3             1
2            4             0
3            4             0
4            3             0
5            4             0

> names(bajpuls) #muestra los nombres de las columnas
[1] "Pre.bajpuls" "Post.bajpuls"
> summary(bajpuls) #muestra un resumen estadístico para todas las columnas
  Pre.bajpuls      Post.bajpuls
Min.   :3.0    Min.   :0.0
1st Qu.:3.0    1st Qu.:0.0
Median :4.0    Median :0.0
Mean   :3.6    Mean   :0.2
3rd Qu.:4.0    3rd Qu.:0.0
Max.   :4.0    Max.   :1.0
> summary(bajpuls$Pre.bajpuls) #muestra un resumen estadístico para una columna
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
3.0   3.0     4.0     3.6   4.0     4.0
>
> #creamos un bloxplot simple con los datos de numero de conteos de pulsos bajo$
> #de Quininde para los dos periodos
> #el periodo pre (1) y el periodo post (2)
> boxplot(bajpuls$Pre.bajpuls,bajpuls$Post.bajpuls)
> |
```

Anexo 15. Script para el boxplot del conteo de pulsos altos de la cuenca Quinindé

```
RGui (64-bit)
Archivo Histórico Redimensionar Ventanas

R Console
> altpuls<-read.csv(file.choose())
> altpuls
  Pre..altpuls Post..altpuls
1             9             7
2             8             9
3             9             9
4             4             5
5             7             9
> names(altpuls) #muestra los nombres de las columnas
[1] "Pre..altpuls" "Post..altpuls"
> summary(altpuls) #muestra un resumen estadístico para todas las columnas
  Pre..altpuls Post..altpuls
Min.   :4.0   Min.   :5.0
1st Qu.:7.0   1st Qu.:7.0
Median :8.0   Median :9.0
Mean   :7.4   Mean   :7.8
3rd Qu.:9.0   3rd Qu.:9.0
Max.   :9.0   Max.   :9.0
> summary(altpuls$Pre..altpuls) #muestra un resumen estadístico para una columna
  Min. 1st Qu. Median Mean 3rd Qu.  Max.
  4.0  7.0    8.0   7.4   9.0    9.0
>
> #creamos un bloxplot simple con los datos de numero de conteos de pulsos alto$
> #de Quininde para los dos periodos
> #el periodo pre (1) y el periodo post (2)
> boxplot(altpuls$Pre..altpuls,altpuls$Post..altpuls)
> |
```

Anexo 16. Script para el boxplot del conteo de pulsos altos de la cuenca Toachi

```
RGui (64-bit)
Archivo Histórico Redimensionar Ventanas

R Console
> altpuls<-read.csv(file.choose())
> altpuls
  Pre..altpuls Post..altpuls
1             7            12
2             7             6
3             6             5
4             5             6
5             3             1
6             2             8
7            15             1
8            11            11
9             3            11
10            9             7
11            0             1
> names(altpuls) #muestra los nombres de las columnas
[1] "Pre..altpuls" "Post..altpuls"
> summary(altpuls) #muestra un resumen estadístico para todas las columnas
  Pre..altpuls Post..altpuls
Min.   : 0.000   Min.   : 1.000
1st Qu.: 3.000   1st Qu.: 3.000
Median : 6.000   Median : 6.000
Mean   : 6.182   Mean   : 6.273
3rd Qu.: 8.000   3rd Qu.: 9.500
Max.   :15.000   Max.   :12.000
> summary(altpuls$Pre..altpuls) #muestra un resumen estadístico para una columna
  Min. 1st Qu. Median Mean 3rd Qu.  Max.
  0.000 3.000  6.000 6.182 8.000 15.000
>
> #creamos un bloxplot simple con los datos de numero de conteos de pulsos alto$
> #de Toachi para los dos periodos
> #el periodo pre (1) y el periodo post (2)
> boxplot(altpuls$Pre..altpuls,altpuls$Post..altpuls)
> |
```

Anexo 17. Script para el boxplot de la duración de pulsos bajos de la cuenca Toachi

```
RGui (64-bit)
Archivo Histórico Redimensionar Ventanas

R Console

> bajpuls<-read.csv(file.choose())
> bajpuls
  Pre..bajpuls Post..bajpuls
1           3.0           16.0
2          42.0           13.0
3           5.0            6.0
4           9.0           10.0
5           3.5           93.5
6          26.5            4.0
7           3.0           82.0
8           7.0            NA
9           4.0           38.5
10          11.0            9.0
11           0.0           29.0

> names(bajpuls) #muestra los nombres de las columnas
[1] "Pre..bajpuls" "Post..bajpuls"
> summary(bajpuls) #muestra un resumen estadístico para todas las columnas
  Pre..bajpuls Post..bajpuls
Min.   : 0.00   Min.   : 4.00
1st Qu.: 3.25   1st Qu.: 9.25
Median : 5.00   Median :14.50
Mean   :10.36   Mean   :30.10
3rd Qu.:10.00   3rd Qu.:36.12
Max.   :42.00   Max.   :93.50
NA's   :1

> summary(bajpuls$Pre..bajpuls) #muestra un resumen estadístico para una columna
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
 0.00  3.25    5.00   10.36  10.00   42.00

>
> #creamos un bloxplot simple con los datos de duracion de pulsos bajos
> #de Toachi para los dos periodos
> #el periodo pre (1) y el periodo post (2)
> boxplot(bajpuls$Pre..bajpuls,bajpuls$Post..bajpuls)
> |
```

Anexo 18. Script para el boxplot de la duración de pulsos bajos de la cuenca Quinindé

```
RGui (64-bit)
Archivo Histórico Redimensionar Ventanas

R Console

> bajpuls<-read.csv(file.choose())
> bajpuls
  Pre..bajpuls Post..bajpuls
1           9.0            1
2          12.0            0
3          12.5            0
4           3.0            0
5          30.5            0

> names(bajpuls) #muestra los nombres de las columnas
[1] "Pre..bajpuls" "Post..bajpuls"
> summary(bajpuls) #muestra un resumen estadístico para todas las columnas
  Pre..bajpuls Post..bajpuls
Min.   : 3.0   Min.   :0.0
1st Qu.: 9.0   1st Qu.:0.0
Median :12.0   Median :0.0
Mean   :13.4   Mean   :0.2
3rd Qu.:12.5   3rd Qu.:0.0
Max.   :30.5   Max.   :1.0

> summary(bajpuls$Pre..bajpuls) #muestra un resumen estadístico para una columna
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
 3.0   9.0    12.0    13.4   12.5    30.5

>
> #creamos un bloxplot simple con los datos de duracion de pulsos bajos
> #de Quininde para los dos periodos
> #el periodo pre (1) y el periodo post (2)
> boxplot(bajpuls$Pre..bajpuls,bajpuls$Post..bajpuls)
> |
```

Anexo 19. Script para el boxplot de la duración de pulsos altos de la cuenca Toachi

```
RGui (64-bit)
Archivo Histórico Redimensionar Ventanas

R Console

> altpuls<-read.csv(file.choose())
> altpuls
  Pre..altpuls Post..altpuls
1           3.0            2.0
2           4.0           10.0
3           7.5            5.0
4           3.0            3.5
5           2.0            2.0
6          51.0            7.0
7           2.0           13.0
8           8.0            3.0
9          20.0            1.0
10          8.0            3.0
11          0.0            3.0
> names(altpuls) #muestra los nombres de las columnas
[1] "Pre..altpuls" "Post..altpuls"
> summary(altpuls) #muestra un resumen estadístico para todas las columnas
  Pre..altpuls  Post..altpuls
Min.   : 0.000  Min.   : 1.000
1st Qu.: 2.500  1st Qu.: 2.500
Median : 4.000  Median : 3.000
Mean   : 9.864  Mean   : 4.773
3rd Qu.: 8.000  3rd Qu.: 6.000
Max.   :51.000  Max.   :13.000
> summary(altpuls$Pre..altpuls) #muestra un resumen estadístico para una columna
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
0.000 2.500   4.000   9.864  8.000  51.000
>
> #creamos un bloxplot simple con los datos de duracion de pulsos altos
> #de Toachi para los dos periodos
> #el periodo pre (1) y el periodo post (2)
> boxplot(altpuls$Pre..altpuls,altpuls$Post..altpuls)
> |
```

Anexo 20. Script para el boxplot de la duración de pulsos altos de la cuenca Quinindé

```
RGui (64-bit)
Archivo Histórico Redimensionar Ventanas

R Console

> altpuls<-read.csv(file.choose())
> altpuls
  Pre..altpuls Post..altpuls
1           2.0           17
2           7.5            4
3           4.0            9
4           2.5           11
5          14.0           13
> names(altpuls) #muestra los nombres de las columnas
[1] "Pre..altpuls" "Post..altpuls"
> summary(altpuls) #muestra un resumen estadístico para todas las columnas
  Pre..altpuls  Post..altpuls
Min.   : 2.0  Min.   : 4.0
1st Qu.: 2.5  1st Qu.: 9.0
Median : 4.0  Median :11.0
Mean   : 6.0  Mean   :10.8
3rd Qu.: 7.5  3rd Qu.:13.0
Max.   :14.0  Max.   :17.0
> summary(altpuls$Pre..altpuls) #muestra un resumen estadístico para una columna
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
 2.0   2.5   4.0    6.0   7.5   14.0
>
> #creamos un bloxplot simple con los datos de duracion de pulsos altos
> #de Quininde para los dos periodos
> #el periodo pre (1) y el periodo post (2)
> boxplot(altpuls$Pre..altpuls,altpuls$Post..altpuls)
> |
```