CURVAS DE PERMANENCIA Y LOS PULSOS DE INUNDACIÓN DE LA LAGUNA DE FUQUENE

LEIDY BELTRAN AMAYA
JONATHAN FERNEY POSADA RODRIGUEZ

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ
2019

CURVAS DE PERMANENCIA Y LOS PULSOS DE INUNDACIÓN DE LA LAGUNA DE FUQUENE

LEIDY BELTRAN AMAYA
JONATHAN FERNEY POSADA RODRIGUEZ

Monografía para optar por el título de Ingeniero Civil

ING. EDUARDO ZAMUDIO HUERTAS
Docente Universidad Distrital F.J.D.C.
Tutor de proyecto de grado

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
INGENIERIA CIVIL
Bogotá
2019

Nota de aceptación:

_____
_____
_____

_____
Presidente de jurado

_____
Jurado

_____
Jurado

Bogotá, 23 de enero de 2019

AGRADECIMIENTOS

El presente proyecto representa el esfuerzo, la dedicación, la motivación y el trabajo realizado con el fin de cumplir una meta primordial en nuestra vida profesional, en compañía de familiares, amigos, docentes que nos apoyaron en el proceso de ejecución, colaborándonos con su experiencia y conocimientos sobre el tema, especialmente al profesor Eduardo Zamudio Huertas, quien se caracterizó por su acompañamiento constante durante el desarrollo del proyecto.

Del mismo modo expresamos nuestro profundo agradecimiento a Dios por ser la fuente de inspiración, a nuestros padres y familiares, quienes nos brindaron su apoyo moral para continuar y finalizar el ciclo académico.

TABLA DE CONTENIDO

GRÁFICOS 6

TABLAS 6

INTRODUCCION 7

1. RESUMEN EJECUTIVO. 8

2. DESCRIPCION DEL PROBLEMA 8

3. JUSTIFICACION DEL PROBLEMA 9

4. INTERROGANTE 9

5. OBJETIVOS 9

5.1 OBJETIVO GENERAL 9

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 9

6. MARCO REFERENCIA 10

6.1 LAGUNA FUQUENE 10

6.2 CUENCA DE LA LAGUNA DE FÚQUENE 10

7. MARCO TEORICO 12

7.1 CURVAS DE CAUDALES CLASIFICADOS O CURVAS DE PERMANENCIA 12

7.1.1 CONCEPTO 12

7.2. CONSTRUCCIÓN DE UNA CURVA DE CAUDALES CLASIFICADOS PARA VARIOS AÑOS 13

7.3. CURVAS DE CAUDALES CLASIFICADOS EN CUENCAS CON DATOS ESCASOS. CURVAS ADIMENSIONALES 15

7.4 PULSOS DE INUNDACIÓN 16

8. METODOLOGIA 20

9. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN 20

10. CALCULOS Y RESULTADOS 20

10.1. DETERMINACION DE HIDROPERIODOS 20

10.1.1. IDENTIFICACION NIVELES MAXIMOS Y MINIMOS 22

10.1.2. IDENTIFICACION RANGOS DE HIDROPERIODOS 22

10.2. ESTIMACION DE DURACION DE HIDROPERIODOS 24

10.3. ESTIMACION DE FRECUENCIAS DE HIDROPERIODOS 40

11.ANALISIS DE LOS RESULTADOS 42

12.CONCLUSIONES 48

13.REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 50

ANEXOS 51

ILUSTRACIONES

Ilustración 1.Localización de Laguna Fuquene 11
Ilustración 2.Curvas de Nivel de Laguna Fuquene 12
Ilustración 3.Curvas de Caudales Clasificados para el Rio Eresma en Olmedo, año 1996-97 13
Ilustración 4.Datos de la Hoja de Cálculo para la realización del grafico 14
Ilustración 5.Curva de Caudales Clasificados para el Rio Eresma en Olmedo, con datos diarios de 29 años. 15
Ilustración 6.Varias curvas de nivel adimensionales 16
Ilustración 7.Representación esquemática Pulsos de inundación Fuente: Articulo Bosques fluviales dela cuenca Paraná. 45

GRÁFICOS

Grafica 1.Limnigrama años representativos 23
Grafica 2.Diagrama de duración de la inundación (1967-2017). 39
Grafica 3.Diagrama frecuencia de la inundación (1967-2017). 41
Grafica 4.Pulsos de Inundación (1967-2017). 43

TABLAS

Tabla 1.Variacion de niveles anuales 22
Tabla 2.Nivel máximo y mínimo periodo 50 años 22
Tabla 3.Etapas hidráulicas periodo 50 años 24
Tabla 4.Duración de etapas año 1967. 38
Tabla 5.Tabla reducida de la inundación (1967-2017). 39
Tabla 6.Consolidación de duración y frecuencia de la inundación (1967-2017). 40
Tabla 7.Tabla amenaza de inundación 44
Tabla 8.Areas de inundación Máximas y mínimas anuales (1967-2017) 47

INTRODUCCION

La Laguna Fuquene es un cuerpo de agua dulce situado en la localidad de Fuquene, entre los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, al este de los Andes Colombianos. Con el paso del tiempo la Laguna Fuquene ha variado notablemente de forma y de amplitud, afectando las poblaciones aledañas, la biodiversidad y el ecosistema de la misma. Esta laguna que es uno de los principales cuerpos de agua dulce de Colombia, y actualmente ha perdido aproximadamente el 80% de su extensión original, lo que con lleva a una problemática latente.

Debido a la afectación que ha sufrido este cuerpo hídrico, se realizó por métodos estadísticos las curvas de nivel del agua (niveles de inundación), con base a los datos históricos y los pulsos de inundación de la Laguna Fuquene; empleando como guía el Flood Pulsing in Wetlands Restoring the Natural Hydrological Balance, cuyo documento hace parte de la última investigación de vanguardia sobre los pulsos de inundación y la restauración de humedales en América del Norte, dicho documento permitió realizar una proyección cercana del comportamiento real de los niveles y la precipitación de la Laguna, para así dejar una base del comportamiento de este tipo de cuerpos hídricos, que permiten extraer e identificar información como: número de pulsos de inundación, frecuencia de inundación, probabilidad de permanencia de la inundación, descripción de los meses que tienen mayor probabilidad de inundación en el año.

1. RESUMEN EJECUTIVO.

La Laguna Fuquene es uno de los principales cuerpos de agua dulce de los Andes del Norte, da origen al Rio Suarez, principal fuente hídrica del municipio de Chiquinquirá. La Laguna ha perdido aproximadamente 15.000 hectáreas de su espejo de agua y gran parte de su capacidad para retener líquidos, lo ocasiona mayor área inundable, afectando las actividades de minería y ganadería, la regulación hídrica, depuración de las aguas, la biodiversidad y el ecosistema.

Debido a la gran afectación que ha tenido esta fuente hídrica en los últimos 50 años, se realizó un estudio elemental de los pulsos de inundación, evaluando los registros diarios de niveles de agua desde el 1967. Se procedió a analizar los niveles diarios históricos, utilizando métodos probabilísticos dando como resultado curvas de permanencia que indican cuantos días continuos puede persistir una alerta por inundación para los diferentes niveles de agua en la Laguna, igualmente se determinaron los meses que tienen mayor probabilidad de inundación en el año.

El estudio se realizó con el objetivo de revelar información ante la inundación los niveles de amenaza, permitiendo identificar; número de pulsos de inundación, frecuencia de inundación, probabilidad de permanecía de la inundación, identificación de los meses que tienen mayor probabilidad de inundación en el año.

2. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Con el paso del tiempo la Laguna Fuquene ha variado notablemente de forma y de amplitud, afectando las poblaciones aledañas, la biodiversidad y el ecosistema de la misma. Esta laguna que es uno de los principales cuerpos de agua dulce de Colombia, y actualmente ha perdido aproximadamente el 80% de su extensión original, lo que con lleva a una problemática latente.

Debido a la afectación que ha sufrido este cuerpo hídrico, se pretende proyectar por métodos estadísticos las curvas de nivel del agua (niveles de inundación) de la Laguna Fuquene con base a los datos históricos y los pulsos de inundación de la misma; empleando como guía el *Flood Pulsing in Wetlands Restoring the Natural Hydrological Balance,* cuyo documento hace parte de la última investigación de vanguardia sobre los pulsos de inundación y la restauración de humedales en América del Norte.

3. JUSTIFICACION DEL PROBLEMA

Al presentarse un daño ambiental eminente con uno de los ecosistemas acuáticos más importantes de los Andes Norte, causando pérdidas significativas que disminuyen aproximadamente el 50% de su capacidad de retención de agua, produciendo mayor área inundable, afectando directamente a las actividades de siembra y ganadería, la biodiversidad, regulación hídrica, entre otras.

Se realizó una investigación referente a los niveles diarios de agua, cuya información fue suministrada por la CAR (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca). Estos datos al combinarlos con métodos probabilísticos dieron como resultado las curvas de permanencia que indican cuantos días puede persistir una alerta por inundación para los diferentes niveles de la Laguna.

Este proyecto puede ser un aporte para estudiar los periodos de inundación con el fin de disminuir la afectación a las zonas aledañas, desaparición de alguna especie animal que pertenezca a estos entornos, producción de algún tipo de siembra y/o proyectar de manera adecuada los estudios de gestión de ordenamiento territorial.

4. INTERROGANTE

¿Cómo realizar las curvas de permanencia de los niveles de inundación con los pulsos de inundación?

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

- Realizar las curvas de permanencia de los niveles de inundación de la laguna Fuquene empleando métodos probabilísticos y estadísticos para su interpretación en un periodo de estudio de 50 años.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los niveles de inundación empleando como guía el *Flood Pulsing in Wetlands Restoring the Natural Hydrological Balance.*
- Identificar las etapas (niveles), la duración y la frecuencia de inundación, de la Laguna Fuquene en un periodo de 50 años.

- Hallar el método de análisis estadístico adecuado que permita interpretar la variación de registros diarios de los niveles de inundación durante el tiempo de estudio.
- Analizar las diferentes graficas de duración y frecuencia, para poder determinar la probabilidad de ocurrencia en un tiempo determinado.

6. MARCO REFERENCIA

6.1 LAGUNA FUQUENE

La Laguna de Fúquene es un cuerpo de agua dulce que está ubicada en una cuenca en el límite entre los departamentos de Cundinamarca y Boyacá al este de los Andes colombianos.
Su espejo de agua principal abarca unas 3260 Ha en la actualidad, ya que ha perdido casi el 80% de su extensión original de 13.000 Ha. Durante los últimos 500 años, la laguna ha experimentado diversos impactos provenientes de las actividades humanas en su cuenca. En un principio estos impactos provenían de los intentos de desecación de la laguna y la expansión de la frontera agrícola y con el tiempo, se les fueron sumando los vertimientos de aguas residuales, la expansión urbana y la deforestación, entre otros. La cuenca de la Laguna de Fúquene ha sufrido un grave proceso de deforestación y hoy en día solo queda el 5% del bosque nativo original. Esto ha causado erosión y por lo tanto sedimentación de la Laguna, la cual gracias a estos aportes y las aguas residuales que recibe, ha perdido casi 3 metros de profundidad y el 50% de su capacidad de almacenamiento de agua. Grandes extensiones de la cuenca ha sido reforestadas con eucaliptos, pinos y acacias negras, lo cual ha tenido un impacto negativo en el suelo y ha evitado el crecimiento de las especies nativas de la zona y la regeneración natural del bosque.

6.2 CUENCA DE LA LAGUNA DE FÚQUENE

La cuenca de la laguna de Fúquene incluye los municipios de Carupa, Ubaté, Tausa, Sutatausa, Lenguaza que, Guachetá y Cucunubá. Es una cuenca endorreica pues no cuenta con una evacuación directa del agua al mar.
La temperatura media de la zona 13°C. El clima en la parte norte de la cuenca es frío semi-húmedo y en la zona aledaña a las lagunas Cucunubá, Palacio y parte baja de los ríos Ubaté y Suarez se presenta un clima frio semi-árido

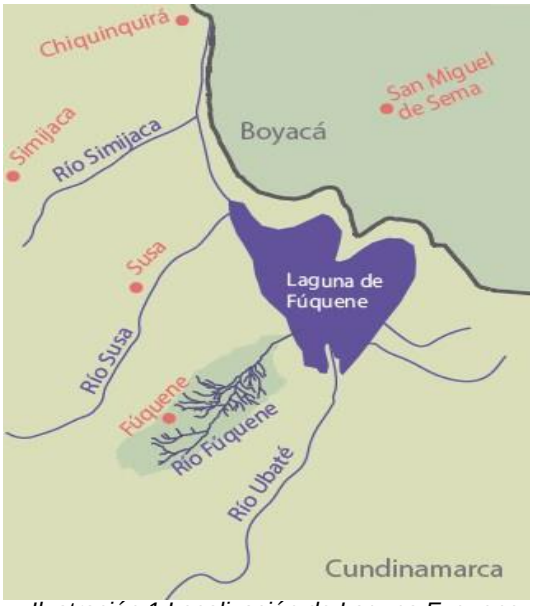


Ilustración 1.Localización de Laguna Fuquene

La parte alta de la cuenca está conformada al sur desde el nacimiento del río Ubaté, uniéndose aguas abajo con otros tributaros mayores como los ríos Suta y Lenguazaque, y drenajes provenientes de la laguna de Cucunubá y Palacio, hasta descargar al norte, en la Laguna de Fúquene. La cuenca media, corresponde a la laguna de Fúquene, que recibe al oriente numerosos afluentes secundarios que drenan directamente a la laguna como las quebradas Honda y Monroy, y al occidente el río Fúquene y descargas directas compuestas por corrientes superficiales y canales de drenaje. Finalmente, la parte baja está conformada por el río Suarez, único efluente de la laguna. Este río fluye hacia el norte sobre el cauce rectificado con topografía de muy baja pendiente, cruzando por los municipios de Chiquinquirá y Saboyá en el departamento de Boyacá. Pasa por el departamento de Santander, formando el río Sogamoso, que finalmente desemboca en el Magdalena. Recibe los aportes de los ríos Susa, Simijaca y Chiquinquirá por su margen izquierda y del río Madrón.

Para delimitar el área la cuenca hidrográfica de la laguna de Fúquene, se digitalizaron las curvas de nivel de la zona, analizando los puntos más altos de la topografía para trazar la divisoria de aguas.

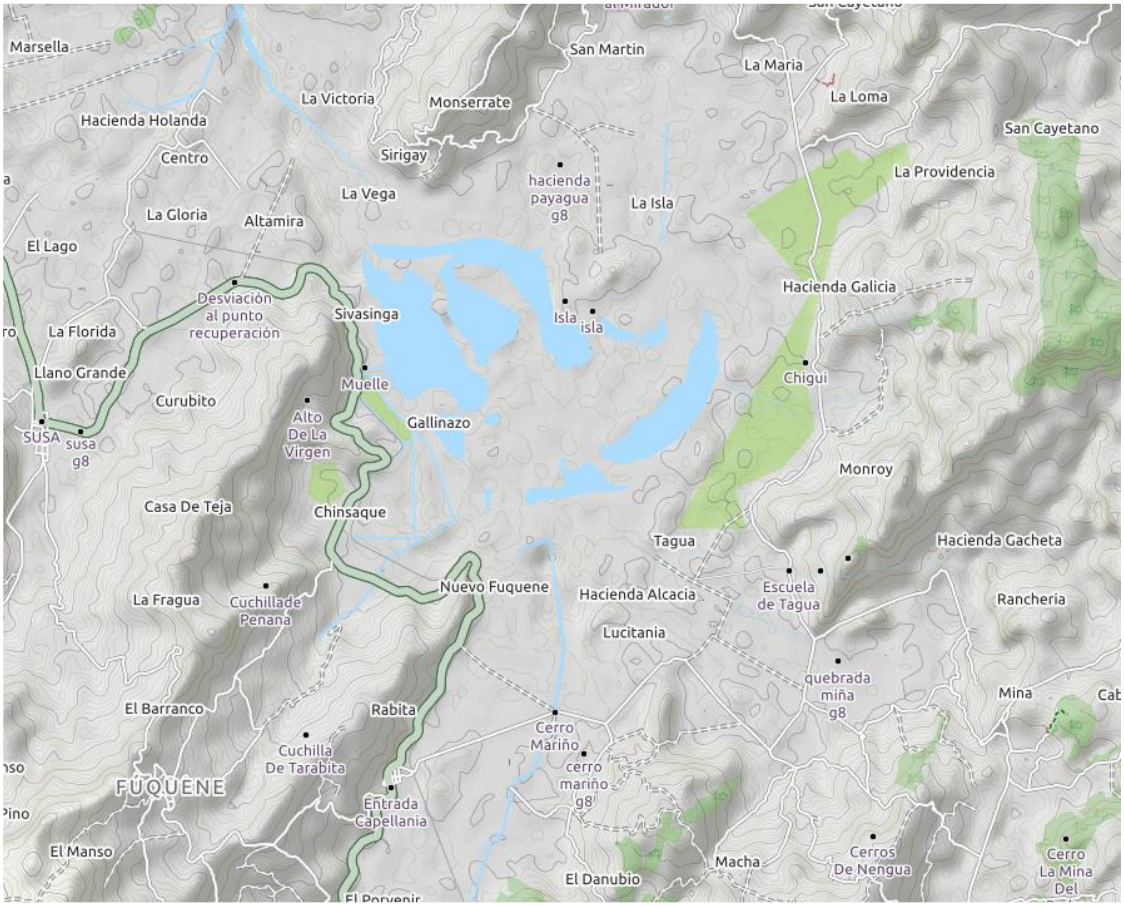


Ilustración 2.Curvas de Nivel de Laguna Fuquene

7. MARCO TEORICO

7.1 CURVAS DE CAUDALES CLASIFICADOS O CURVAS DE PERMANENCIA

7.1.1 CONCEPTO

La Curva de Caudales Clasificados representa los 365 caudales del año ordenados de mayor a menor. La curva puede representar los 365 caudales de un año hidrológico concreto, o haber sido elaborada con datos diarios de una larga serie de años. Su utilidad es inmediata: si se está proyectando una obra que necesita un caudal mínimo, la curva indica cuántos días al año no se alcanzará ese caudal necesario.

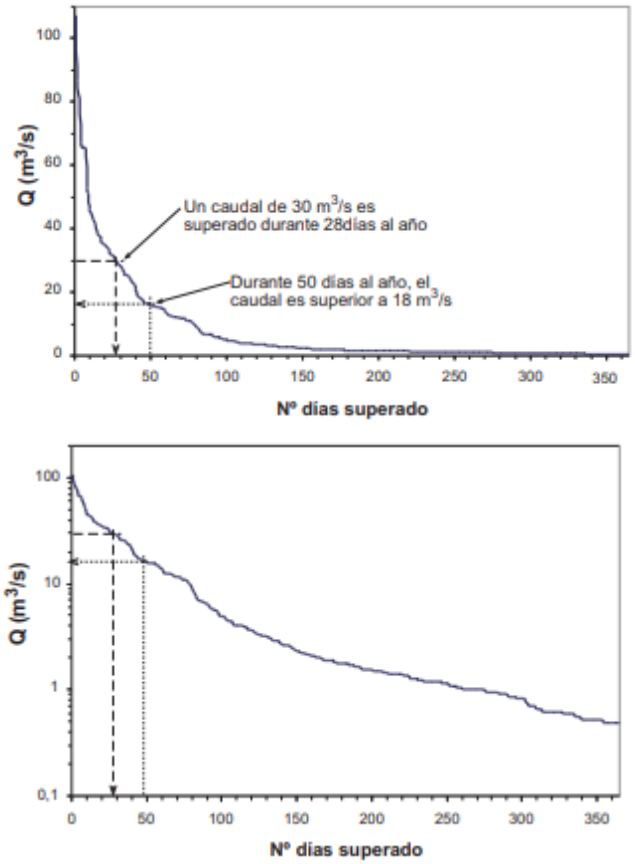


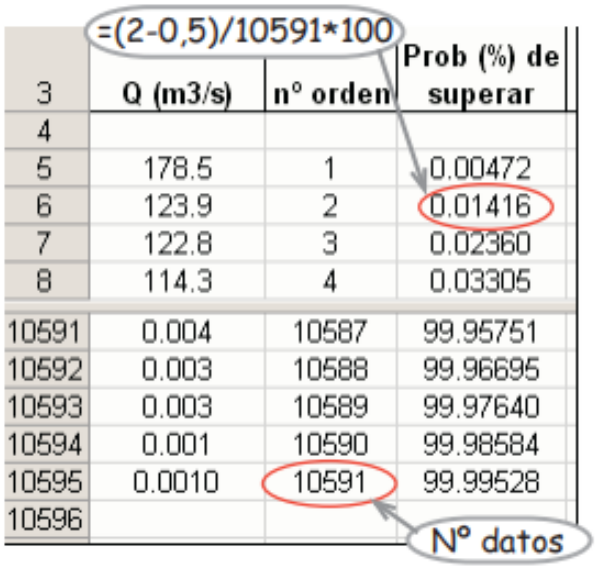
Ilustración 3.Curvas de Caudales Clasificados para el Rio Eresma en Olmedo, año 1996-97

A la izquierda ambos ejes son aritméticos, mientras que a la derecha los caudales están representados en escala logarítmica. En ambos se puede leer fácilmente qué caudal es superado durante 50 días al año (ilustración 3, líneas de puntos), o inversamente cuántos días al año se supera un caudal de 30 m3 /s (figura 1, líneas de trazos). En el gráfico aritmético, a la izquierda, no se pueden hacer lecturas aceptables a partir de 150 días; en el gráfico semilogarítmico, a la derecha, este rango de lecturas es correcto.

7.2. CONSTRUCCIÓN DE UNA CURVA DE CAUDALES CLASIFICADOS PARA VARIOS AÑOS

Los gráficos anteriores son representativos solamente para ese año concreto. Si pretendemos mostrar el comportamiento del río, debemos considerar los caudales diarios de varios años. Para ello, hemos recogido caudales diarios del río Eresma en Olmedo (1978-79 a 2009-10). Sólo están completos 29 de esos 32 años, que son los que utilizaremos. Para su realización es necesaria la Hoja de Cálculo (Ilustración 4). Situamos todos los datos diarios disponibles (de varios años) en una

única columna, los ordenamos de mayor a menor. Añadimos una columna con el número de orden y en una tercera columna calculamos la probabilidad sobre el total de días (en nuestro ejemplo, con datos diarios de 29 años: 10591 días).



3	Q (m3/s)	nº orden	Prob (%) de superar
4			
5	178.5	1	0.00472
6	123.9	2	0.01416
7	122.8	3	0.02360
8	114.3	4	0.03305
10591	0.004	10587	99.95751
10592	0.003	10588	99.96695
10593	0.003	10589	99.97640
10594	0.001	10590	99.98584
10595	0.0010	10591	99.99528
10596			

Ilustración 4.Datos de la Hoja de Cálculo para la realización del grafico

Para calcular la probabilidad para el día n se utiliza la expresión: (n – 0,5)/N [y multiplicado por 100 para expresarlo en %]. En este caso, N=10591. En lugar de (n-0,5)/N es frecuente la utilización de n/(N+1), por ejemplo en Kannan (2011, p.22), con resultados similares. Si utilizáramos la operación más simple: n / N, para el día más seco de los años disponibles obtendríamos una probabilidad del 100% (seguridad absoluta de que ese caudal será superado), y, en los casos en que no existan caudales nulos, es seguro que si dispusiéramos de datos de más años aparecería algún caudal diario inferior. La representación de la curva es similar a la de un año individual, exceptuando que en el eje de abcisas en lugar de figurar los 365 días del año se expresa la probabilidad. El significado es el mismo: una probabilidad de 10% indica que ese caudal se superará 36 días al año. (Ilustración 5). Se utiliza la escala logarítmica en el eje vertical porque de otro modo la curva aparece aplastada contra ambos ejes.

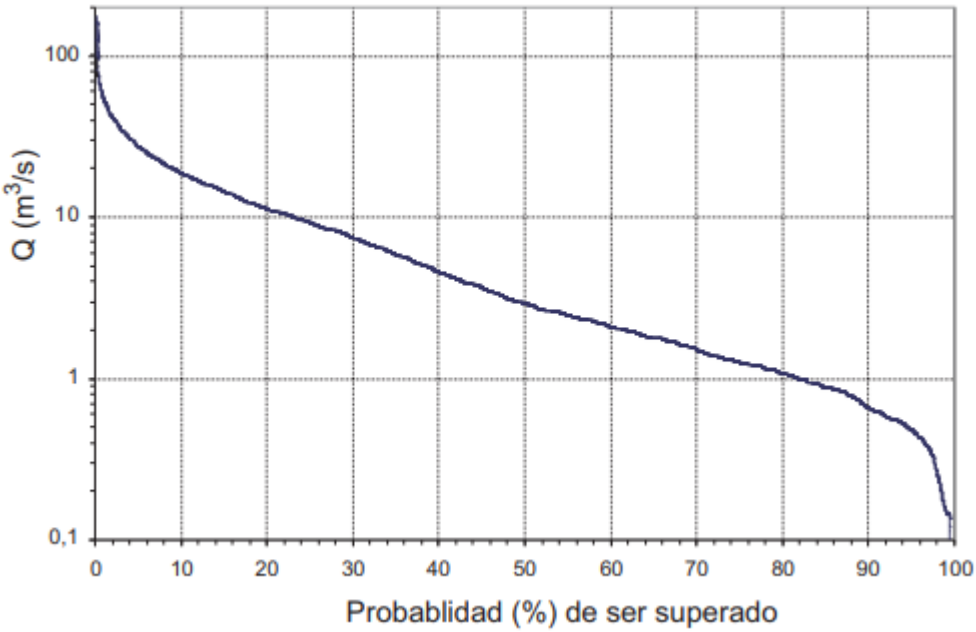


Ilustración 5.Curva de Caudales Clasificados para el Rio Eresma en Olmedo, con datos diarios de 29 años.

El gráfico de la ilustración 5 está cortado por abajo; el eje vertical debería llegar hasta 0,001. Para simplificar ese eje se ha cortado en 0,1, quedan fuera del gráfico 50 puntos (caudales entre 0,1 y 0,001 m3 /s), sólo el 0,47% de los días disponibles. En este caso no existen caudales nulos. Cuando existen caudales nulos, no pueden ser representados en una escala logarítmica, no existe el logaritmo de 0. Es necesario asignarles un valor muy bajo, por ejemplo 0,0001. Posteriormente, al representar el gráfico, se corta el eje vertical para que esos datos ficticios queden fuera del gráfico.

7.3. CURVAS DE CAUDALES CLASIFICADOS EN CUENCAS CON DATOS ESCASOS. CURVAS ADIMENSIONALES

En muchos casos necesitaremos una Curva de Caudales Clasificados en un punto de un cauce donde no existen suficientes medidas de caudal. Existe una numerosa bibliografía al respecto. Por ejemplo, Mohamoud (2008) estudia la relación entre la Curva de Caudales y diversos parámetros de la cuenca (geomorfológicos, uso del terreno, climáticos,...), lo que permitiría trazar la curva a partir de dichos parámetros sin disponer de datos de aforos. Para dibujar una Curva de Caudals de una cuenca sin datos de aforo a partir de otra próxima o similar en la que sí hemos podido elaborar la curva, resultan útiles las Curvas adimensionales. Para su realización, en el eje vertical no representamos los caudales sino la relación Q/Q medio. En la ilustración 6 se presenta la misma curva de la ilustración 5, pero adimensional, y superpuestas las de otros dos cauces también de la cuenca del Duero . Al representarlas de modo adimensional (Q/Qmedio) conseguimos que las curvas se puedan superponer y que podamos apreciar similitudes y diferencias.

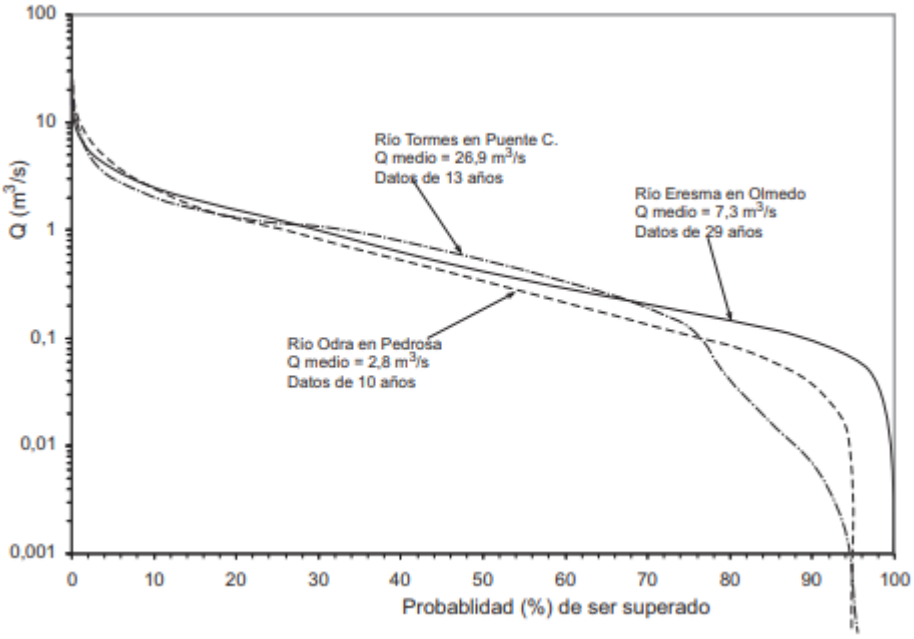


Ilustración 6.Varias curvas de nivel adimensionales

7.4 PULSOS DE INUNDACIÓN

El restablecimiento del pulso de inundación en sistemas fluviales y de marea se está volviendo reconocido como un paso esencial en la restauración de los humedales en todo el mundo. Especialmente en América del Norte, monitoreo de proyectos que tienen incorporó regímenes de agua más naturales ahora está en marcha. En la mayoria de los casos, los investigadores todavía están recopilando los datos esenciales del historial de vida que ayudará a construir un caso para la necesidad de recrear la hidrología de inundación pulsada en proyectos de restauración de humedales. Escrito por un investigador de campo cerca del corazón de este campo en rápido desarrollo.

El concepto de pulso de inundación se desarrolló por primera vez para describir la estacionalidad cambios en los niveles de agua en las llanuras aluviales amazónicas y sus relaciones a la dinámica funcional y al mantenimiento de la diversidad de especies (Basura, 1982, 1997; Junk y Howard-Williams, 1984; Junk y otros, 1989; Nacional Consejo de Investigación, 1992; Bayley, 1995). La interconexión del canal del río y la llanura de inundación es fundamental porque funciones tales como la producción, la descomposición y el consumo son impulsados por el pulso de inundación (Grubaugh y Anderson, 1988; Sparks et al., 1990) y la fluctuación del agua impulsa la sucesión (van der Valk, 1981; Finlayson et al., 1989; Niering 1994; Middleton, 1999a). Aunque esta idea surgió del estudio de grandes ecosistemas fluviales, existe un reconocimiento creciente de que el pulso de marea es también es importante en las marismas (Niering, 1994; Turner y Lewis, 1997; Zedler y Callaway, 1999) y manglares (McKee y Faulkner,1999). Además, prados de cipreses restaurados aislados en Prairie PotholeLa región tiene una riqueza de

especies más baja que los humedales naturales que se desarrollaron mientras grandes inundaciones todavía los interconectaban ocasionalmente (van der Valk, 1999). Aunque la importancia del pulso de inundación se reconoce para una variedad tipos de humedales en todo el mundo, la idea de que es necesario restablecer la inundación funcional o el pulso de marea en sistemas dañados se ha adaptado bastante lentamente por restauracioncitas de humedales. De hecho, aún no se sabe si la restauración de la función restauradora de pulsos de inundación (Brookes et al., 1996), y al menos algunas pruebas muestran que, en sí mismo, el pulso de inundación es no es suficiente. Por ejemplo, simplemente la reapertura de un canal de marea no puede restaurar función del pantano de sal si la estructura del suelo está alterada y / o demasiado salina (Haltiner y otros, 1997). Independientemente de lo que pueda tener que ajustarse, restablecimiento de la dinámica original del agua (y en ocasiones las condiciones del suelo) es un aspecto crítico de la restauración de humedales, incluso más que el restablecimiento la vegetación.

Para restaurar un humedal, la mayoría de las veces lo que se requiere es una inversión de la ingeniería que secaron el humedal en primer lugar, es decir, la eliminación de la presa, descanalización, recuperación, adición de desechos, rediversión de agua, cese de extracción de agua, remoción de diques o pólder. La reingeniería a nivel de paisaje que a menudo se requiere para tal cambio no es fácil, tampoco física o políticamente Sin embargo, enfoques más simples y ampliamente utilizados tales como represas crean niveles estáticos de agua y por lo tanto no son una restauración adecuada enfoques (Middleton, 1999b, 2000).La alteración de los ecosistemas ribereños y costeros en todo el mundo está muy extendida como para dejarnos pocos ejemplos de sistemas que todavía tienen un sistema hidrológico natural régimen (Sparks et al., 1990; Petts et al., 1992; Junk, 1999). Esta es especialmente cierto en las zonas templadas del mundo; en el 139 río más grande sistemas en Europa, las repúblicas de la antigua Unión Soviética y las regiones al norte de México, el 77 por ciento de su descarga total se ve afectada por la presa y operación del yacimiento, desviación intercuencas e irrigación (Dynesius y Nilsson, 1994). La extracción de agua a lo largo de los ríos también está causando intrusión de agua salada en sistemas costeros de agua dulce y salobre (Muñoz y Prat, 1989; Prat e Ibáñez, 1995).

A lo largo de los ríos en los países industrializados los regímenes naturales de inundación están casi ausentes como resultado de la reingeniería de canales (Bayley, 1995). Sin embargo, algunos ríos del norte que tienen rediseñados tienen porciones que todavía inundan el pulso, por ejemplo, Illinois (Sparks et al., 1998) y los ríos Danubio (Heiler et al., 1995). Después de que se construyeron diques a lo largo de ríos importantes como el Mississippi, las llanuras de inundación se convirtieron a otros usos, como la agricultura (Allen,1997). Si las personas se trasladan a una llanura de inundación después de la finalización de un agua proyecto de control, a menudo es políticamente imposible iniciar los tipos de medidas de reingeniería necesarias para pulsos de inundación en la inundación o marea llanura. Sin embargo, a veces se producen inundaciones repentinas y

destructivas en la reingeniería llanuras de inundación, por lo que una cierta cantidad de reconsideración está ocurriendo recientemente. Eses muy inteligente para nosotros restringir un río a su canal inmediato y así permitir la invasión de la llanura de inundación, que expone a las personas a la amenaza de inundaciones peligrosas (Comité de Revisión de la Administración Interagencial de Aluviones, 1994; Basura, 1999)? En los casos en que la amenaza de futuras inundaciones es probablemente, partes de llanuras de inundación o mareas se pueden designar como áreas naturales para proporcionar almacenamiento de inundaciones (Zinke y Gutzweiler, 1990; Lathbury, 1996). Los sitios inundados crónicamente presentan algunas oportunidades para el uso de la inundación pulsando en la restauración, aunque a pequeña escala. Sin embargo, hay algunos ejemplos recientes donde las condiciones de pulsos de inundación han sido (o están siendo) restaurada en una escala regional o de paisaje debido a la demanda pública, tal como en el río Kissimmee. Lamentablemente, debido a la peligro de inundación de propiedad privada, los proyectos de restauración generalmente han sido limitadas a medidas ineficaces, como la incautación de cursos de agua, que no proporcionar a la biota el ambiente pulsante al que están adaptado (Middleton 1999b). La importancia de restablecer los regímenes hídricos en sincronía con la estacionalidad la fluctuación del clima y el flujo de agua en los sistemas ribereños y de marea no tiene sido plenamente apreciado en la restauración de humedales. Los organismos tienen específicos adaptaciones que les permitan tolerar las condiciones húmedas / secas que son parte de un entorno de inundación pulsátil (Junk, 1997; Middleton, 1999).

No solo cada especie tiene diferentes requerimientos de agua y tolerancias, estos difieren para cada estadio de vida: semilla, plántula y adulto. Damming, uno de los procedimientos de regulación de ríos más comunes, es ilustrativo de los problemas creados por los ambientes alterados para la biota (Middleton 1999). Aguas arriba, el embalse sobre la presa se convierte permanentemente incautado, lo que resulta en un reemplazo de la vegetación ribereña con algas o comunidades sumergidas. Aguas abajo de la presa, fluye en el canal de la corriente se alteran, lo que cambia la naturaleza del pulso transmitido a la llanura de inundación (Middleton 1999). Los sedimentos se vuelven atrapado detrás de la presa, por lo que el derribo y la erosión se producen en la corriente abajo canal, cortando aún más el canal de la llanura de inundación (Petts y Lewin, 1979; Hickin, 1983; Petts, 1984). Las inundaciones permanentes disminuyen la riqueza de especies en general a lo largo de ríos porque los sitios nunca se reducen (Nilsson et al., 1997). Lo seco La fase del pulso de inundación es crítica, porque incluso el más tolerante a las inundaciones las especies eventualmente morirán en condiciones anaeróbicas (Crawford, 1983; Armstrong et al., 1994) a pesar de que tales especies poseen muchos mecanismos para sobrevivir a los períodos de inundación (Crawford y Braendle, 1996; McKevlin et al. al., 1998).

Los efectos a largo plazo del embalse en los embalses indican que cuando un margen de un río se inunda permanentemente, se pierden muchas especies, como se demostró en un estudio de ocho ríos suecos (Jansson et al.,2000). El confinamiento se usa a menudo en la restauración como un medio para aumentar

el agua niveles en un humedal seco, pero debido a la falta de un pulso de inundación, la regeneración de dispersión de semillas a la etapa de reclutamiento de plántulas problemático (Middleton, 1999b, 2000). Las presas inhiben el movimiento de hidrocoro semillas debido a la fragmentación y la baja velocidad de corriente, y esto afecta la disponibilidad de semillas a lo largo del corredor; como resultado, cada embalse desarrolla una flora distintiva (Jansson et al., 2000) . En adición, porque el embalse reduce la distancia de dispersión, los embalses es probable que estén habitados por individuos que están más estrechamente relacionados con cada uno otro (Jansson et al., 2000a). Los impactos de las presas en la flora aún eran evidentes 65 km aguas abajo de las presas a lo largo de seis ríos en Virginia (Schneider) et al., 1989).

La regulación del río también tiene graves impactos en la fauna; se desincroniza ciclos ambientales y por lo tanto interrumpe los ciclos reproductivos de peces (Welcomme, 1989; Gehrke et al., 1995; Junk, 1997) y migraciones de invertebrados (Adis et al., 1996). La restauración exitosa depende de una mejor comprensión del historial de vida requisitos de plantas y animales. Germinación de la semillapuede ser críticamente dependiente del pulso de inundación, con la fase alta de el pulso necesario para la dispersión y la reducción necesaria para la germinación (Junk y Piedade, 1997, Middleton, 1999b, 2000). Sin un pulso de inundación, la dispersión de algunas especies, como Taxodium distichum y Populus spp., a las elevaciones adecuadas para la germinación durante la temporada de crecimiento es obstaculizado. Ciertas especies en peligro de extinción como Boltonia decurrens en el río Illinois no puede germinar y establecer semilla sin pulso de inundación. La germinación de semillas también puede ser sensible a otros factores ambientales, como la salinidad (Galinato y van der Valk, 1986; Baldwin et al., 1996), temperatura, sustrato, pH y luz calidad (Baskin y Baskin, 1998). Al mismo tiempo, las inundaciones eliminan escombros que a veces disminuyen la germinabilidad de las semillas.

Las especies se vuelven cada vez más tolerantes a las inundaciones a medida que las plantas maduran. En la etapa adulta, la tolerancia al agua es ampliamente variable entre especie y forma la base de las diferencias de composición de los humedales (Harris et al., 1975, Whitlow y Harris, 1979, Hook, 1984; Theriot, 1993; Middleton, 1999b). Lamentablemente, el agua para fines de restauración en el árido oeste puede estar tan limitado por las demandas competitivas de los humanos que la restauración puede ser casi imposible.

La regulación del río afecta el ambiente de inundación que experimentan flora y fauna en inundaciones y llanuras costeras, que es crítico en la historia de vida dinámica de estas especies. Sin la debida atención al hidrológico configuración creada, los intentos de restauración de pantano fallarán. Este libro revisa las historias de casos de situaciones de restauración donde ha tenido pulsos de inundación se ha restablecido como parte del proyecto, o estudios extensos de la vida de su 1-2. Relaciones hipotéticas entre vectores de dispersión de plantas, perfil del lecho del río, y la composición de la flora ribereña en ríos de flujo libre versus embalsados. (A) La flora en el río de flujo libre tiene la hipótesis de describir un

cambio gradual aguas abajo, mientras que (B) en el río regulado, cada embalse se proyecta para desarrollar una flora individual. Los requisitos de conservación de las especies que probablemente necesiten pulsos de inundación se están conducido.

8. METODOLOGIA

Para el adecuado desarrollo del proyecto, es necesario conocer las características hidrográficas de las zona de estudio, más específicamente la disponibilidad de agua en el cuerpo hídrico caracterizando su patrón estacional e interanual de inundación, para ello lo más conveniente es aplicar el método estadístico cuya función relevante, cumple y contribuye a determinar los datos tabulados obtenidos empíricamente; estableciendo las generalidades y características apropiadas a partir de ellos.

El primer paso consistió en el análisis de la teoría que se aplico en la ejecución del proyecto, empleando como guía el *Flood Pulsing in Wetlands Restoring the Natural Hydrological Balance,* una vez entendida se procedio a la consecución de los niveles diarios de la laguna en estudio (laguna fúquene) en un periodo de 50 años, una vez obtenido la información se prosiguió con la estimación de etapas hidráulicas producto del análisis estadístico de los diferentes niveles históricamente registrados, esto con el fin de proporcionar la duración y las frecuencias de inundación del cuerpo hídrico.

9. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

La información es obtenida del CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA- CAR, mediante respuesta al radicado 20171134121(Anexo 1)

10. CALCULOS Y RESULTADOS

10.1. DETERMINACION DE HIDROPERIODOS

Para el desarrollo del presente estudio se analizó los niveles de la laguna fúquene en un periodo de 50 años, iniciando desde el año 1967 y terminando en el 2017, esto con el fin de tener un rango lo suficientemente amplio el cual incluyera diversidad de años secos y años lluviosos, contemplando de este modo la climatología cambiante.

AÑO	NIVEL MAXIMO msnm	NIVEL MINIMO msnm	VARIACION NIVEL (m)	VARIACION NIVEL (cualitativo)
1967	2540	2539,06	0,73	BAJA
1968	2540	2538,91	1,23	ALTA
1969	2540	2538,10	1,83	ALTA
1970	2540	2538,38	1,59	ALTA
1971	2541	2538,65	1,85	ALTA
1972	2540	2538,40	1,96	ALTA
1973	2540,5	2538,00	2,50	ALTA
1974	2540,04	2538,34	1,70	ALTA
1975	2539,73	2538,32	1,41	ALTA
1976	2538,77	2538,36	0,41	BAJA
1977	2539,76	2538,17	1,59	ALTA
1978	2539,51	2538,39	1,12	ALTA
1979	2540,48	2538,37	2,11	ALTA
1980	2539,83	2538,43	1,40	ALTA
1981	2540,23	2538,52	1,71	ALTA
1982	2540,07	2538,51	1,56	ALTA
1983	2539,34	2538,63	0,71	BAJA
1984	2538,32	2537,82	0,50	BAJA
1986	2539,97	2538,61	1,36	ALTA
1987	2539,84	2538,63	1,21	ALTA
1988	2539,68	2538,71	0,97	BAJA
1989	2539,43	2538,69	0,74	BAJA
1991	2539,53	2538,96	0,57	BAJA
1992	2539,22	2538,12	1,10	BAJA
1993	2539,74	2538,10	1,64	ALTA
1994	2538,57	2537,89	0,68	BAJA
1995	2539,18	2538,68	0,50	BAJA
1996	2538,47	2538,01	0,46	BAJA
1997	2539,33	2538,74	0,59	BAJA
1998	2539,46	2538,03	1,43	ALTA
1999	2539,67	2538,72	0,95	BAJA
2000	2538,99	2538,65	0,34	BAJA
2001	2538,79	2538,06	0,73	BAJA
2002	2539,52	2538,15	1,37	ALTA
2003	2539,47	2538,46	1,01	BAJA
2004	2539,55	2538,76	0,79	BAJA
2005	2539,66	2538,82	0,84	BAJA

2006	2540,33	2538,76	1,57	ALTA
2007	2539,24	2538,78	0,46	BAJA
2008	2539,71	2538,79	0,92	BAJA
2009	2539,2	2538,88	0,32	BAJA
2010	2539,83	2538,56	1,27	ALTA
2011	2540,67	2538,79	1,88	ALTA
2012	2540,26	2538,80	1,46	ALTA
2013	2539,29	2538,74	0,55	BAJA
2014	2539,24	2538,60	0,64	BAJA
2015	2539,13	2538,34	0,79	BAJA
2016	2538,49	2537,94	0,55	BAJA
2017	2539,23	2538,36	0,87	BAJA
		MEDIA	**1,11**	

Tabla 1.Variacion de niveles anuales
Fuente: Autores

10.1.1. IDENTIFICACION NIVELES MAXIMOS Y MINIMOS

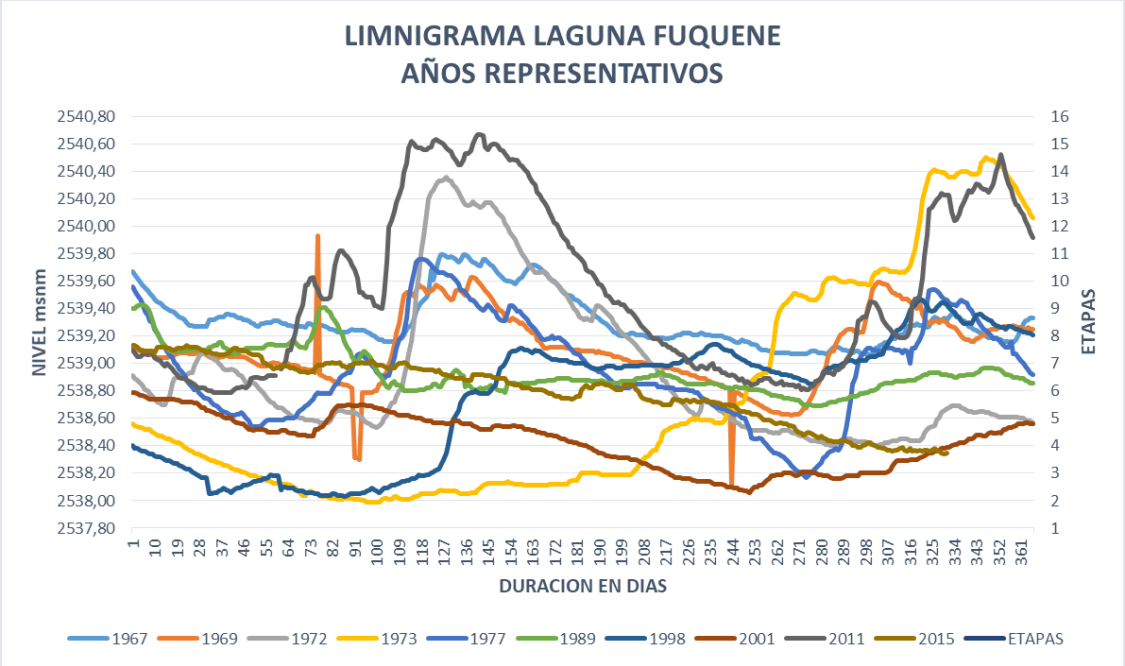
Es necesario establecer niveles de referencia para analizar el comportamiento y duración de la lámina de agua a través de los años, motivo por el cual se determinan el nivel máximo y el nivel mínimo del cuerpo hídrico en el periodo de estudio

NIVELES LAGUNA 50 AÑOS (msnm)	
MAXIMO	2540,67
MINIMO	2537,82
Variacion Nivel (m)	2,85

Tabla 2.Nivel máximo y mínimo periodo 50 años
Fuente: Autores

10.1.2. IDENTIFICACION RANGOS DE HIDROPERIODOS

Una vez obtenida la variación general de la laguna en el periodo de estudio, fue necesario realizar el análisis de la variación anual (tabla 1), esto con el fin de determinar un rango adecuado que se encuentre presente varias veces en los años secos sin tener excedencia en los años lluviosos, para el proyecto se determinó un rango de 0.20 m con la cual se construyó la gráfica de variación de niveles de agua (Limnigrama).



Grafica 1.Limnigrama años representativos
Fuente: Autores

La anterior grafica presenta el limnigrama para algunos años representativos, el limnigrama completo de presenta en el anexo 2.

La grafica 1 presenta 16 etapas, las cuales representan gráficamente la duración del hidroperiodo para cada etapa.

ETAPA	NIVEL	UNIDAD	Δ (m)
16	2540,8	msnm	0,2
15	2540,6	msnm	0,2
14	2540,4	msnm	0,2
13	2540,2	msnm	0,2
12	2540	msnm	0,2
11	2539,8	msnm	0,2
10	2539,6	msnm	0,2
9	2539,4	msnm	0,2
8	2539,2	msnm	0,2
7	2539	msnm	0,2
6	2538,8	msnm	0,2
5	2538,6	msnm	0,2
4	2538,4	msnm	0,2
3	2538,2	msnm	0,2
2	2538	msnm	0,2
1	2537,8	msnm	0,2

Tabla 3.Etapas hidráulicas periodo 50 años
.Fuente: Autores

10.2. ESTIMACION DE DURACION DE HIDROPERIODOS

Teniendo determinadas las etapas hidráulicas presentes en el periodo de estudio, se hace necesario determinar la duración de la inundación inicialmente anual de cada etapa hidráulica para posteriormente consolidarla, estableciendo así la duración general de la etapa durante el periodo de estudio. Las tabulaciones completas se encuentran en el anexo 3; De manera ilustrativa se presenta la tabulación de la duración de inundación de las etapas para el año 1967.

		1967											
		1			2			3			4		
DIA	NIVEL	NIVEL REFERENCIA	NIVEL PRESENTE	DURACION	NIVEL REFERENCIA	NIVEL PRESENTE	DURACION	NIVEL REFERENCIA	NIVEL PRESENTE	DURACION	NIVEL REFERENCIA	NIVEL PRESENTE	DURACION
1	2539,67	2539,6	SI		2539,4	SI		2539,20	SI		2539,00	SI	
2	2539,65		SI			SI			SI			SI	
3	2539,62		SI	3		SI			SI			SI	
4	2539,59		0			SI			SI			SI	
5	2539,57		0			SI			SI			SI	
6	2539,55		0			SI			SI			SI	
7	2539,53		0			SI			SI			SI	
8	2539,51		0			SI			SI			SI	
9	2539,49		0			SI			SI			SI	
10	2539,47		0			SI			SI			SI	
11	2539,45		0			SI			SI			SI	
12	2539,44		0			SI			SI			SI	
13	2539,43		0			SI			SI			SI	
14	2539,41		0			SI			SI			SI	
15	2539,40		0			SI	15		SI			SI	
16	2539,39		0			0			SI			SI	
17	2539,38		0			0			SI			SI	
18	2539,37		0			0			SI			SI	
19	2539,35		0			0			SI			SI	
20	2539,34		0			0			SI			SI	
21	2539,33		0			0			SI			SI	
22	2539,32		0			0			SI			SI	
23	2539,30		0			0			SI			SI	
24	2539,28		0			0			SI			SI	
25	2539,28		0			0			SI	99		SI	

26	2539,27		0			0			SI			SI	
27	2539,27		0			0			SI			SI	
28	2539,27		0			0			SI			SI	
29	2539,27		0			0			SI			SI	
30	2539,27		0			0			SI			SI	
31	2539,27		0			0			SI			SI	
32	2539,32		0			0			SI			SI	
33	2539,32		0			0			SI			SI	
34	2539,32		0			0			SI			SI	
35	2539,33		0			0			SI			SI	
36	2539,34		0			0			SI			SI	
37	2539,34		0			0			SI			SI	
38	2539,34		0			0			SI			SI	
39	2539,36		0			0			SI			SI	
40	2539,36		0			0			SI			SI	
41	2539,35		0			0			SI			SI	
42	2539,35		0			0			SI			SI	
43	2539,34		0			0			SI			SI	
44	2539,33		0			0			SI			SI	
45	2539,33		0			0			SI			SI	
46	2539,32		0			0			SI			SI	
47	2539,32		0			0			SI			SI	
48	2539,31		0			0			SI			SI	
49	2539,30		0			0			SI			SI	
50	2539,29		0			0			SI			SI	
51	2539,28		0			0			SI			SI	
52	2539,27		0			0			SI			SI	
53	2539,29		0			0			SI			SI	

54	2539,29		0			0			SI			SI	
55	2539,30		0			0			SI			SI	
56	2539,30		0			0			SI			SI	
57	2539,30		0			0			SI			SI	
58	2539,31		0			0			SI			SI	
59	2539,31		0			0			SI			SI	
60	2539,31		0			0			SI			SI	
61	2539,30		0			0			SI			SI	
62	2539,29		0			0			SI			SI	
63	2539,29		0			0			SI			SI	
64	2539,28		0			0			SI			SI	
65	2539,28		0			0			SI			SI	
66	2539,27		0			0			SI			SI	
67	2539,27		0			0			SI			SI	
68	2539,27		0			0			SI			SI	
69	2539,27		0			0			SI			SI	
70	2539,27		0			0			SI			SI	
71	2539,26		0			0			SI			SI	
72	2539,29		0			0			SI			SI	
73	2539,29		0			0			SI			SI	
74	2539,28		0			0			SI			SI	
75	2539,28		0			0			SI			SI	
76	2539,28		0			0			SI			SI	
77	2539,28		0			0			SI			SI	
78	2539,28		0			0			SI			SI	
79	2539,27		0			0			SI			SI	
80	2539,26		0			0			SI			SI	
81	2539,25		0			0			SI			SI	

82	2539,25		0			0			SI			SI	
83	2539,24		0			0			SI			SI	
84	2539,23		0			0			SI			SI	
85	2539,23		0			0			SI			SI	
86	2539,23		0			0			SI			SI	
87	2539,23		0			0			SI			SI	
88	2539,23		0			0			SI			SI	
89	2539,24		0			0			SI			SI	
90	2539,25		0			0			SI			SI	
91	2539,24		0			0			SI			SI	
92	2539,24		0			0			SI			SI	
93	2539,24		0			0			SI			SI	
94	2539,24		0			0			SI			SI	
95	2539,24		0			0			SI			SI	
96	2539,23		0			0			SI			SI	
97	2539,22		0			0			SI			SI	
98	2539,21		0			0			SI			SI	
99	2539,20		0			0			SI			SI	
100	2539,19		0			0			0			SI	
101	2539,17		0			0			0			SI	
102	2539,17		0			0			0			SI	
103	2539,16		0			0			0			SI	
104	2539,16		0			0			0			SI	
105	2539,16		0			0			0			SI	
106	2539,16		0			0			0			SI	
107	2539,16		0			0			0			SI	
108	2539,16		0			0			0			SI	
109	2539,17		0			0			0			SI	

110	2539,19		0			0			0			SI	
111	2539,21		0			0			SI			SI	
112	2539,25		0			0			SI			SI	
113	2539,27		0			0			SI			SI	
114	2539,28		0			0			SI			SI	
115	2539,33		0			0			SI			SI	
116	2539,38		0			0			SI			SI	
117	2539,42		0			SI			SI			SI	
118	2539,44		0			SI			SI			SI	
119	2539,46		0			SI			SI			SI	
120	2539,48		0			SI			SI			SI	
121	2539,51		0			SI			SI			SI	
122	2539,68		SI			SI			SI			SI	
123	2539,61		SI			SI			SI			SI	
124	2539,68		SI			SI			SI			SI	
125	2539,76		SI			SI			SI			SI	
126	2539,79		SI			SI			SI			SI	
127	2539,79		SI			SI			SI			SI	
128	2539,78		SI			SI			SI			SI	
129	2539,77		SI			SI			SI			SI	
130	2539,78		SI			SI			SI			SI	
131	2539,77		SI			SI			SI			SI	
132	2539,76		SI			SI			SI			SI	
133	2539,74		SI			SI			SI			SI	
134	2539,75		SI			SI			SI			SI	
135	2539,79		SI			SI			SI			SI	
136	2539,79		SI			SI			SI			SI	
137	2539,78		SI	33		SI	69		SI	99		SI	

| | | |

166	2539,70		SI			SI			SI			SI			SI			
167	2539,68		SI			SI			SI			SI			SI			
168	2539,66		SI			SI			SI			SI			SI			
169	2539,64		SI			SI			SI			SI			SI			
170	2539,62		SI			SI			SI			SI			SI			
171	2539,61		SI			SI			SI			SI			SI			
172	2539,60		SI			SI			SI			SI			SI			
173	2539,58		0			SI			SI			SI			SI			
174	2539,55		0			SI			SI			SI			SI			
175	2539,53		0			SI			SI			SI			SI			
176	2539,51		0			SI			SI			SI			SI			
177	2539,50		0			SI			SI			SI			SI			
178	2539,50		0			SI			SI			SI			SI			
179	2539,49		0			SI			SI			SI			SI			
180	2539,47		0			SI			SI			SI			SI			
181	2539,46		0			SI			SI			SI			SI			
182	2539,45		0			SI			SI			SI			SI			
183	2539,43		0			SI			SI			SI			SI			
184	2539,42		0			SI			SI			SI			SI			
185	2539,41		0			SI			SI			SI			SI			
186	2539,39		0			0			SI			SI			SI			
187	2539,37		0			0			SI			SI			SI			
188	2539,36		0			0			SI			SI			SI			
189	2539,34		0			0			SI			SI			SI			
190	2539,33		0			0			SI			SI			SI			
191	2539,31		0			0			SI			SI			SI			
192	2539,30		0			0			SI			SI			SI			
193	2539,29		0			0			SI			SI			SI			

194	2539,27		0			0			SI			SI	
195	2539,25		0			0			SI			SI	
196	2539,23		0			0			SI			SI	
197	2539,22		0			0			SI			SI	
198	2539,21		0			0			SI			SI	
199	2539,20		0			0			SI			SI	
200	2539,20		0			0			SI			SI	
201	2539,21		0			0			SI			SI	
202	2539,21		0			0			SI			SI	
203	2539,22		0			0			SI			SI	
204	2539,22		0			0			SI			SI	
205	2539,21		0			0			SI			SI	
206	2539,21		0			0			SI			SI	
207	2539,21		0			0			SI			SI	
208	2539,21		0			0			SI			SI	
209	2539,20		0			0			SI			SI	
210	2539,19		0			0			0			SI	
211	2539,19		0			0			0			SI	
212	2539,19		0			0			0			SI	
213	2539,19		0			0			0			SI	
214	2539,19		0			0			0			SI	
215	2539,19		0			0			0			SI	
216	2539,19		0			0			0			SI	
217	2539,18		0			0			0			SI	
218	2539,18		0			0			0			SI	
219	2539,19		0			0			0			SI	
220	2539,19		0			0			0			SI	
221	2539,20		0			0			SI	20		SI	

222	2539,21		0			0			SI			SI	
223	2539,21		0			0			SI			SI	
224	2539,22		0			0			SI			SI	
225	2539,22		0			0			SI			SI	
226	2539,22		0			0			SI			SI	
227	2539,22		0			0			SI			SI	
228	2539,21		0			0			SI			SI	
229	2539,21		0			0			SI			SI	
230	2539,21		0			0			SI			SI	
231	2539,22		0			0			SI			SI	
232	2539,22		0			0			SI			SI	
233	2539,21		0			0			SI			SI	
234	2539,21		0			0			SI			SI	
235	2539,21		0			0			SI			SI	
236	2539,20		0			0			SI			SI	
237	2539,20		0			0			SI			SI	
238	2539,20		0			0			SI			SI	
239	2539,20		0			0			SI			SI	
240	2539,20		0			0			SI			SI	
241	2539,19		0			0			0			SI	
242	2539,19		0			0			0			SI	
243	2539,18		0			0			0			SI	
244	2539,17		0			0			0			SI	
245	2539,16		0			0			0			SI	
246	2539,15		0			0			0			SI	
247	2539,15		0			0			0			SI	
248	2539,17		0			0			0			SI	
249	2539,16		0			0			0			SI	

250	2539,16		0			0			0			SI	
251	2539,15		0			0			0			SI	
252	2539,14		0			0			0			SI	
253	2539,14		0			0			0			SI	
254	2539,13		0			0			0			SI	
255	2539,11		0			0			0			SI	
256	2539,10		0			0			0			SI	
257	2539,10		0			0			0			SI	
258	2539,10		0			0			0			SI	
259	2539,09		0			0			0			SI	
260	2539,09		0			0			0			SI	
261	2539,08		0			0			0			SI	
262	2539,08		0			0			0			SI	
263	2539,08		0			0			0			SI	
264	2539,08		0			0			0			SI	
265	2539,08		0			0			0			SI	
266	2539,08		0			0			0			SI	
267	2539,08		0			0			0			SI	
268	2539,07		0			0			0			SI	
269	2539,07		0			0			0			SI	
270	2539,07		0			0			0			SI	
271	2539,07		0			0			0			SI	
272	2539,07		0			0			0			SI	
273	2539,07		0			0			0			SI	
274	2539,07		0			0			0			SI	
275	2539,08		0			0			0			SI	
276	2539,09		0			0			0			SI	
277	2539,09		0			0			0			SI	

278	2539,09		0			0			0			SI	
279	2539,08		0			0			0			SI	
280	2539,08		0			0			0			SI	
281	2539,08		0			0			0			SI	
282	2539,07		0			0			0			SI	
283	2539,08		0			0			0			SI	
284	2539,10		0			0			0			SI	
285	2539,12		0			0			0			SI	
286	2539,12		0			0			0			SI	
287	2539,12		0			0			0			SI	
288	2539,11		0			0			0			SI	
289	2539,10		0			0			0			SI	
290	2539,10		0			0			0			SI	
291	2539,09		0			0			0			SI	
292	2539,09		0			0			0			SI	
293	2539,08		0			0			0			SI	
294	2539,09		0			0			0			SI	
295	2539,09		0			0			0			SI	
296	2539,08		0			0			0			SI	
297	2539,07		0			0			0			SI	
298	2539,07		0			0			0			SI	
299	2539,07		0			0			0			SI	
300	2539,06		0			0			0			SI	
301	2539,06		0			0			0			SI	
302	2539,11		0			0			0			SI	
303	2539,12		0			0			0			SI	
304	2539,13		0			0			0			SI	
305	2539,14		0			0			0			SI	

306	2539,15		0			0			0			SI	
307	2539,15		0			0			0			SI	
308	2539,17		0			0			0			SI	
309	2539,18		0			0			0			SI	
310	2539,18		0			0			0			SI	
311	2539,20		0			0			SI			SI	
312	2539,21		0			0			SI			SI	
313	2539,21		0			0			SI			SI	
314	2539,22		0			0			SI			SI	
315	2539,27		0			0			SI			SI	
316	2539,28		0			0			SI			SI	
317	2539,28		0			0			SI			SI	
318	2539,28		0			0			SI			SI	
319	2539,29		0			0			SI			SI	
320	2539,28		0			0			SI			SI	
321	2539,28		0			0			SI			SI	
322	2539,27		0			0			SI			SI	
323	2539,26		0			0			SI			SI	
324	2539,27		0			0			SI			SI	
325	2539,32		0			0			SI			SI	
326	2539,34		0			0			SI			SI	
327	2539,33		0			0			SI			SI	
328	2539,32		0			0			SI			SI	
329	2539,31		0			0			SI			SI	
330	2539,33		0			0			SI			SI	
331	2539,32		0			0			SI			SI	
332	2539,34		0			0			SI			SI	
333	2539,36		0			0			SI	37		SI	

334	2539,36		0			0			SI			SI	
335	2539,34		0			0			SI			SI	
336	2539,34		0			0			SI			SI	
337	2539,32		0			0			SI			SI	
338	2539,31		0			0			SI			SI	
339	2539,29		0			0			SI			SI	
340	2539,27		0			0			SI			SI	
341	2539,26		0			0			SI			SI	
342	2539,25		0			0			SI			SI	
343	2539,24		0			0			SI			SI	
344	2539,23		0			0			SI			SI	
345	2539,22		0			0			SI			SI	
346	2539,21		0			0			SI			SI	
347	2539,20		0			0			SI			SI	
348	2539,19		0			0			0			SI	
349	2539,19		0			0			0			SI	
350	2539,19		0			0			0			SI	
351	2539,18		0			0			0			SI	
352	2539,17		0			0			0			SI	
353	2539,17		0			0			0			SI	
354	2539,16		0			0			0			SI	
355	2539,16		0			0			0			SI	
356	2539,16		0			0			0			SI	
357	2539,15		0			0			0			SI	
358	2539,15		0			0			0			SI	
359	2539,17		0			0			0			SI	
360	2539,20		0			0			SI			SI	
361	2539,25		0			0			SI	7		SI	

362	2539,29		0			0			SI			SI
363	2539,31		0			0			SI			SI
364	2539,32		0			0			SI			SI
365	2539,33		0			0			SI			SI
366	2539,33		0			0			SI			SI
		Duracion de evento en el año	52			84			262			366

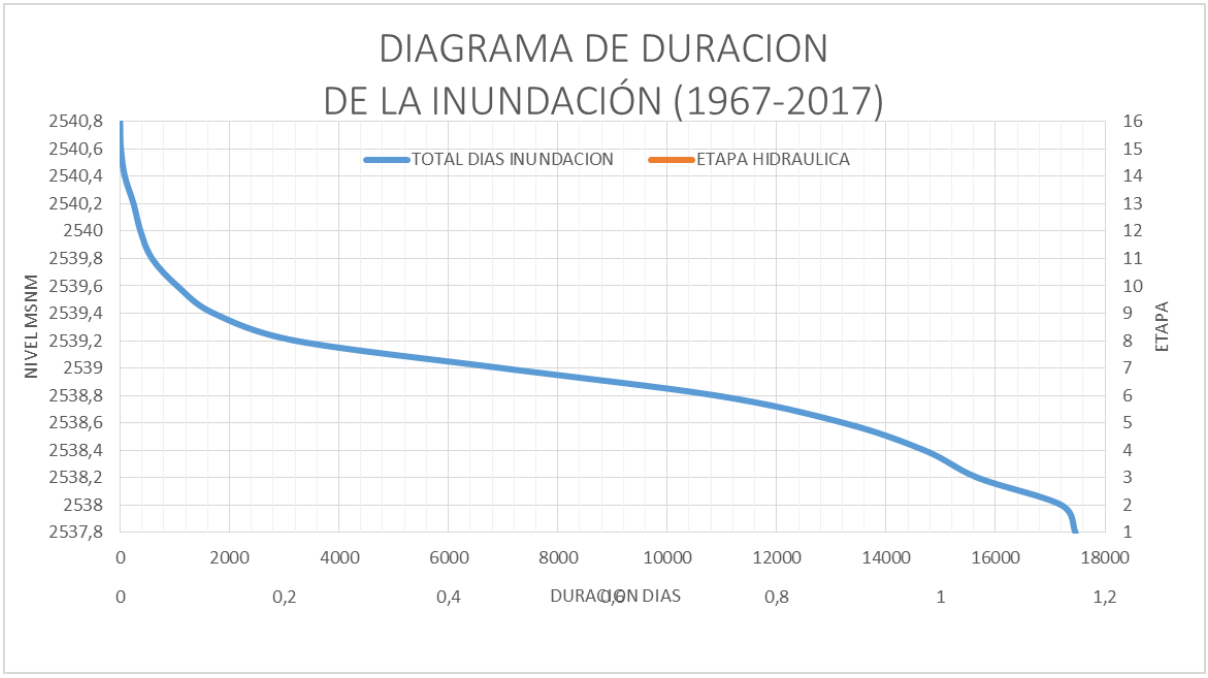
Tabla 4.Duración de etapas año 1967.
Fuente: Autores

Con el fin de caracterizar la variabilidad de cada una de las etapas se consolidan los datos obtenidos a partir del análisis anual presentado en el anexo 3, esta consolidación muestra la duración de inundación de cada una de las etapas en el tiempo de estudio.

ETAPA HIDRAULICA	NIVEL msnm	228	230	232	234	235	238	241	245	246	249	255	256	258	259	261	263	271	272	276	286	287	294	300	302	306	316	365	TOTAL DIAS INUNDACION
16	2540,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	2540,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14
14	2540,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	86
13	2540,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	246
12	2540	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	373
11	2539,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	583
10	2539,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1045
9	2539,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1714
8	2539,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3208
7	2539	0	230	232	0	0	0	0	0	0	249	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	300	0	0	0	365	6986
6	2538,8	0	0	0	0	0	0	241	0	0	0	0	256	0	0	522	0	271	0	276	0	0	0	0	0	306	316	1825	10899
5	2538,6	0	0	0	234	235	0	0	0	246	0	0	256	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	306	0	7665	13229
4	2538,4	228	0	0	234	0	238	0	0	0	0	0	0	258	259	0	263	271	0	0	0	0	294	0	302	0	0	9855	14704
3	2538,2	0	0	0	0	0	0	0	245	0	0	255	0	0	0	0	0	0	272	0	286	0	294	0	0	0	0	12775	15678
2	2538	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	287	0	0	0	0	0	16060	17209
1	2537,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	306	0	17155	17461

Tabla 5.Tabla reducida de la inundación (1967-2017).

Fuente: Autores



Grafica 2.Diagrama de duración de la inundación (1967-2017).

Fuente: Autores

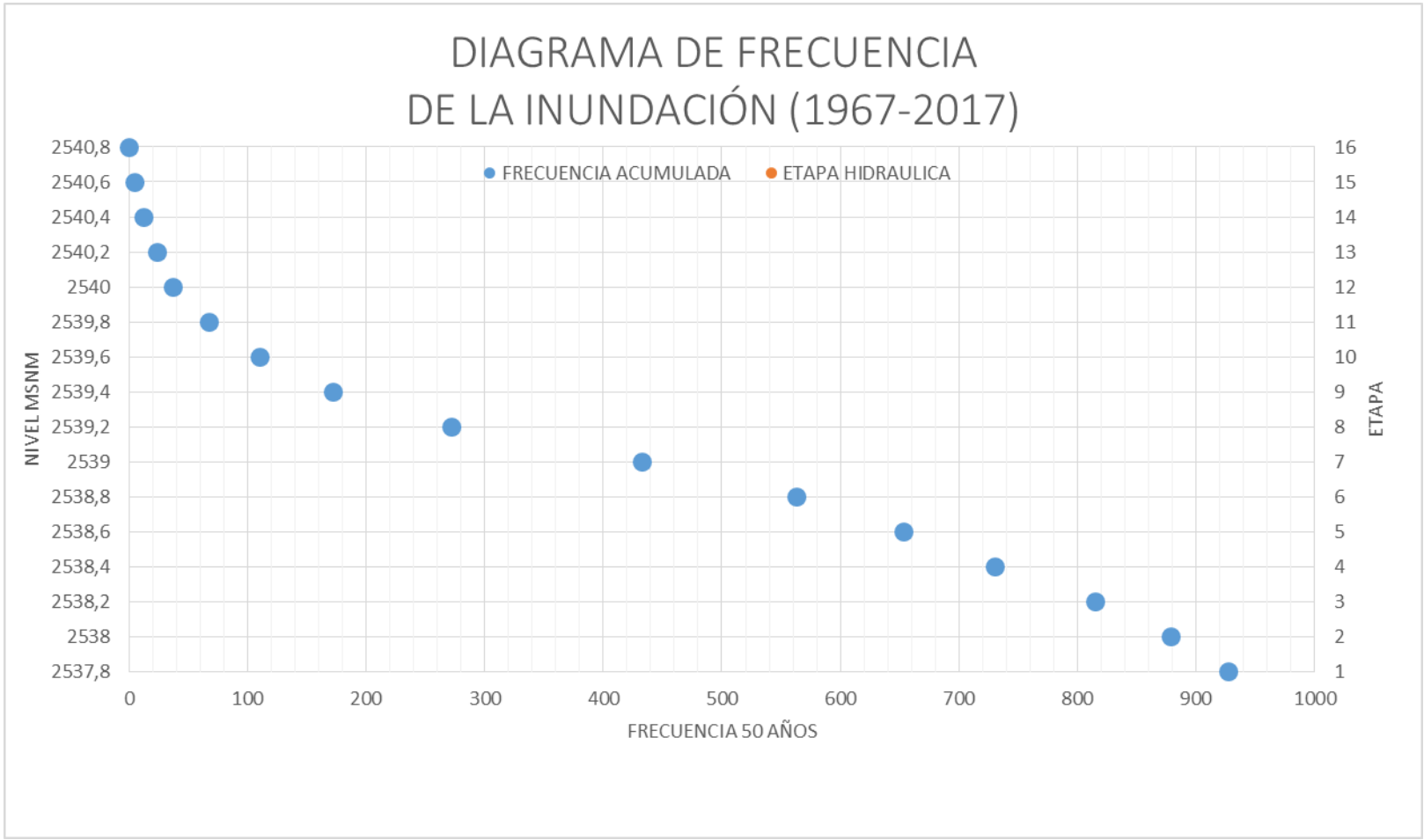
10.3. ESTIMACION DE FRECUENCIAS DE HIDROPERIODOS

Cada etapa comprende una duración en días, lo que nos relaciona con éxito el tiempo de inundación, pero como este tiempo no es continuo se hace necesario conocer la frecuencia con la que aparece, motivo por el cual se analizó las frecuencias de aparición de cada etapa inicialmente anual (anexo 5) y posteriormente consolidadas (anexo 6), dando como resultado diagrama de frecuencias de inundación.

ETAPA HIDRAULICA	NIVEL msnm	TOTAL DIAS INUNDACION	FRECUENCIA INUNDACION	FRECUENCIA ACUMULADA
16	**2540,8**	0	0	0
15	**2540,6**	14	4	4
14	**2540,4**	86	8	12
13	**2540,2**	246	11	23
12	**2540**	373	14	37
11	**2539,8**	583	30	67
10	**2539,6**	1045	43	110
9	**2539,4**	1714	62	172
8	**2539,2**	3208	100	272
7	**2539**	6986	160	432
6	**2538,8**	10899	131	563
5	**2538,6**	13229	90	653
4	**2538,4**	14704	77	730
3	**2538,2**	15678	85	815
2	**2538**	17209	64	879
1	**2537,8**	17461	48	927

Tabla 6.Consolidación de duración y frecuencia de la inundación (1967-2017).

Fuente: Autores



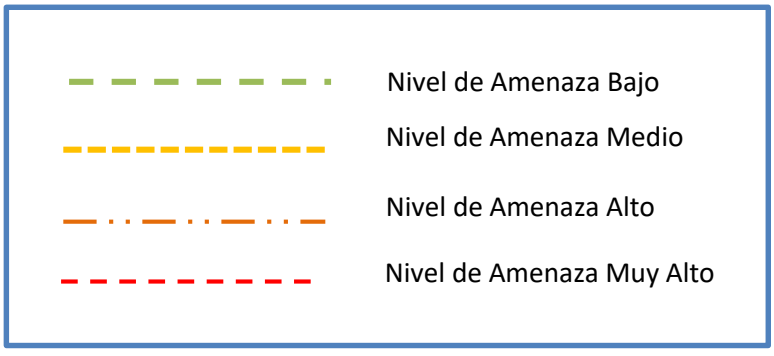
Grafica 3.Diagrama frecuencia de la inundación (1967-2017).

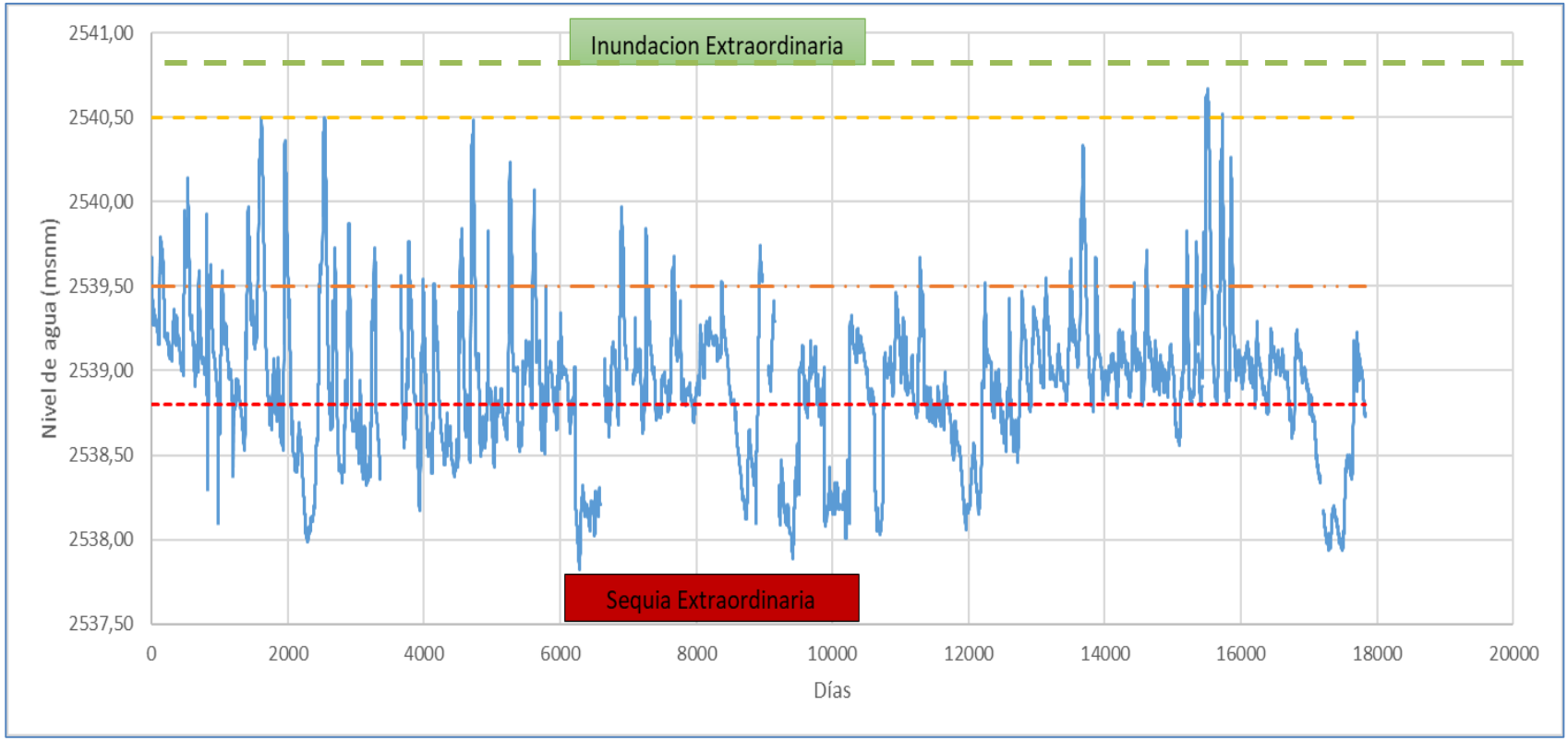
Fuente: Autores

11.ANALISIS DE LOS RESULTADOS

De acuerdo a la información suministrada por la Car (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca) mediante radicado 20172139874; se realizó la gráfica 4 donde se relaciona los niveles diarios de agua de la Laguna Fuquene desde 1967 hasta el año 2017. Allí se diferencia los niveles de amenaza conforme a clasificación que se encontró en un estudio de diagnóstico elaborado por la Unión Temporal Audicon para el contrato de consultoría No 800 de 2005(tabla 7).

La clasificación presenta 4 niveles de amenaza de acuerdo a la cota de terreno; el primer nivel es el bajo y su cota está por encima de 2548.3 msnm, en este se produce una inundación extraordinaria, el siguiente nivel es el medio y se encuentra entre 2548.2 y 2540.5 msnm, el tercer nivel es el alto y su intervalo es 2540.5 y 2539.5 msnm, finalmente se encuentra la muy alta cuya cota es inferior a 2539.4 msnm, clasificándola como una sequía extraordinaria.





Grafica 4.Pulsos de Inundación (1967-2017).
Fuente: Autores

AMENAZA	DESCRIPCIÓN	AREA*
BAJA	Áreas situadas por encima de la cota 2548.3, que corresponde a la cota media histórica reportada para la Laguna de Fúquene. Son áreas donde es poco probable la ocurrencia de un evento de inundación, pero por las condiciones morfológicas podrían ser ocupadas en un evento de invierno extremo.	55.273 ha
MEDIA	Zonas localizadas entre la cota 2540.5 y la cota 2548.3, que corresponde a los niveles máximos de los últimos 30 años y medios históricos ocupados por la Laguna.	57.781 ha
ALTA	Zonas de inundación natural del embalse, ubicadas entre la cota 2539.5 y 2540.5 que corresponde a la ronda técnica delimitada en 2004 y los niveles máximos reportados en los últimos 30 años	49.505 ha
MUY ALTA	Corresponde a las áreas de ronda de la laguna, en las que se han realizado procesos de desecación de los bordes del cuerpo hídrico. Se desarrolla entre el nivel medio y la ronda técnica delimitada por INCODER en 2004. Aproximadamente cotas 2538.8 a 2539.5	0.9897 ha

Tabla 7.Tabla amenaza de inundación

Fuente: Unión temporal Audicon

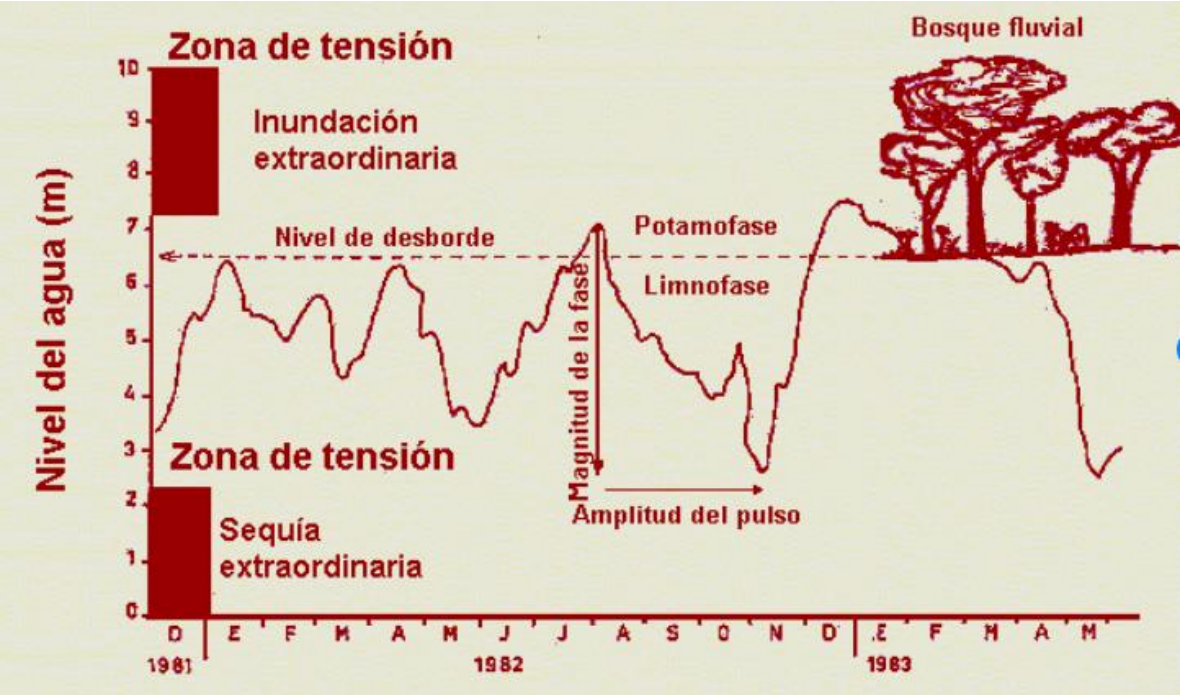


Ilustración 7.Representación esquemática Pulsos de inundación Fuente: Articulo Bosques fluviales dela cuenca Paraná.

Teniendo en cuenta la gráfica 4, se infiere que durante el periodo de 1967 hasta el 2017, la Laguna Fuquene presento afectación en las zonas de amenaza media, alta y muy alta,.

De acuerdo a la gráfica No 2 y No 3, enlazándola con la tabla No 7, se puede establecer los días de inundación y sus frecuencias presentes para cada categoría de amenaza, planteando de esta manera que para la zona de amenaza muy alta tuvo 17461días totales de inundación con una frecuencia 48 veces.

Para la zona de amenaza alta se estimó 1380 días totales de inundación con una frecuencia de 53 veces

En la zona de amenaza media presento 50 días totales de inundación con una frecuencia de 6 veces.

En la zona de amenaza baja no se presentó inundación durante el periodo de 50 años.

AÑO	NIVEL MAXIMO msnm	NIVEL MINIMO msnm	AMENAZA EVENTOS DE INUNDACION NIVEL MAXIMO	AMENAZA EVENTOS DE INUNDACION NIVEL MINIMO	MAXIMA AREA DE INUNDACION ha	MINIMA AREA DE INUNDACION ha
1967	2540	2539,06	ALTA	MUY ALTO	49,505	0,9897
1968	2540	2538,91	ALTA	MUY ALTO	49,505	0,9897
1969	2540	2538,10	ALTA	MUY ALTO	49,505	0,9897
1970	2540	2538,38	ALTA	MUY ALTO	49,505	0,9897
1971	2541	2538,65	ALTA	MUY ALTO	49,505	0,9897
1972	2540	2538,40	ALTA	MUY ALTO	49,505	0,9897
1973	2540,5	2538,00	MEDIA	MUY ALTO	57,781	0,9897
1974	2540,04	2538,34	ALTA	MUY ALTO	49,505	0,9897
1975	2539,73	2538,32	ALTA	MUY ALTO	49,505	0,9897
1976	2538,77	2538,36	MUY ALTO	MUY ALTO	0,9897	0,9897
1977	2539,76	2538,17	ALTA	MUY ALTO	49,505	0,9897
1978	2539,51	2538,39	ALTA	MUY ALTO	49,505	0,9897
1979	2540,48	2538,37	ALTA	MUY ALTO	49,505	0,9897
1980	2539,83	2538,43	ALTA	MUY ALTO	49,505	0,9897
1981	2540,23	2538,52	ALTA	MUY ALTO	49,505	0,9897
1982	2540,07	2538,51	ALTA	MUY ALTO	49,505	0,9897
1983	2539,34	2538,63	MUY ALTO	MUY ALTO	0,9897	0,9897
1984	2538,32	2537,82	MUY ALTO	MUY ALTO	0,9897	0,9897
1986	2539,97	2538,61	ALTA	MUY ALTO	49,505	0,9897
1987	2539,84	2538,63	ALTA	MUY ALTO	49,505	0,9897
1988	2539,68	2538,71	ALTA	MUY ALTO	49,505	0,9897
1989	2539,43	2538,69	ALTA	MUY ALTO	49,505	0,9897
1991	2539,53	2538,96	ALTA	MUY ALTO	49,505	0,9897
1992	2539,22	2538,12	MUY ALTO	MUY ALTO	0,9897	0,9897
1993	2539,74	2538,10	ALTA	MUY ALTO	49,505	0,9897
1994	2538,57	2537,89	MUY ALTO	MUY ALTO	0,9897	0,9897
1995	2539,18	2538,68	MUY ALTO	MUY ALTO	0,9897	0,9897
1996	2538,47	2538,01	MUY ALTO	MUY ALTO	0,9897	0,9897
1997	2539,33	2538,74	MUY ALTO	MUY ALTO	0,9897	0,9897
1998	2539,46	2538,03	ALTA	MUY ALTO	49,505	0,9897
1999	2539,67	2538,72	ALTA	MUY ALTO	49,505	0,9897
2000	2538,99	2538,65	MUY ALTO	MUY ALTO	0,9897	0,9897
2001	2538,79	2538,06	MUY ALTO	MUY ALTO	0,9897	0,9897
2002	2539,52	2538,15	ALTA	MUY ALTO	49,505	0,9897

2003	2539,47	2538,46	ALTA	MUY ALTO	49,505	0,9897
2004	2539,55	2538,76	ALTA	MUY ALTO	49,505	0,9897
2005	2539,66	2538,82	ALTA	MUY ALTO	49,505	0,9897
2006	2540,33	2538,76	ALTA	MUY ALTO	49,505	0,9897
2007	2539,24	2538,78	MUY ALTO	MUY ALTO	0,9897	0,9897
2008	2539,71	2538,79	ALTA	MUY ALTO	49,505	0,9897
2009	2539,2	2538,88	MUY ALTO	MUY ALTO	0,9897	0,9897
2010	2539,83	2538,56	ALTA	MUY ALTO	49,505	0,9897
2011	2540,67	2538,79	MEDIA	MUY ALTO	57,781	0,9897
2012	2540,26	2538,80	ALTA	MUY ALTO	49,505	0,9897
2013	2539,29	2538,74	MUY ALTO	MUY ALTO	0,9897	0,9897
2014	2539,24	2538,60	MUY ALTO	MUY ALTO	0,9897	0,9897
2015	2539,13	2538,34	MUY ALTO	MUY ALTO	0,9897	0,9897
2016	2538,49	2537,94	MUY ALTO	MUY ALTO	0,9897	0,9897
2017	2539,23	2538,36	MUY ALTO	MUY ALTO	0,9897	0,9897
				PROMEDIO	**33,011**	**0,990**

Tabla 8.Areas de inundación Máximas y mínimas anuales (1967-2017)
Fuente: Autores

Teniendo en cuenta la información establecida en la tabla No 8, con relación a la tabla No 7 y No 1, evidenciamos los niveles máximos-mínimos históricamente registrados, donde podemos relacionar la afectación de manera cuantitativa, estableciendo así las áreas de inundación presentes en cada año. De igual manera podemos estimar un promedio de área de inundación mínimo de 0.9897 ha, y un promedio de área máxima de inundación de 33.011 ha, cabe aclarar que se registraron valores atípicos en los años 2011 y 1973, los cuales presentaron un área de inundación de 57.781ha.

12.CONCLUSIONES

Una vez realizado el proyecto de investigación se podría definir los siguientes términos, de acuerdo a la búsqueda realizada y el trabajo desarrollado; dado que muchos términos aún se desconocen en el área de la hidrología.

Pulsos de Inundación se puede definir con el periodo de transición entre la cota máxima de nivel agua y la cota mínima de nivel de agua, relacionado de esta manera el nivel de agua y duración de la misma. Este concepto es aplicable para definir los periodos de lluvia y sequía que se presenta en un cuerpo hídrico.

Hidroperiodo se describe como la disponibilidad de agua que un cuerpo hídrico, compuesto por dos elementos; la duración y la frecuencia de inundación, dichos elementos son variables debido a su patrón estacional (etapas de lluvia y sequia) e interanual de inundación. Este término se puede visualizar de manera clara con la ayuda de un limnograma (anexo 2). Se consideran 3 tipos básicos: permanente, temporal y marial.

- Hidroperiodo Permanente: es el nivel que se encuentra presente en todo el estudio, es decir, es la cota mínima del nivel de agua que presenta el cuerpo hídrico, se aclara que dicho nivel no debe confundirse con la cota cero.

- Hidroperiodo Temporal: es el nivel cuya permanencia no es continua en el cuerpo hídrico, registrando varias frecuencias atreves de los años.

- Hidroperiodo Marial: es el nivel que corresponde a comportamientos atípicos en los cuerpos de agua.

Para graficar el Hidroperiodo en el limnograma es necesario establecer unos rangos continuos, los cuales definen las etapas de estudio, que son los niveles de referencia. Estas etapas son definidas por el investigador con base al rango determinado.

De acuerdo al concepto descrito anteriormente y relacionando la tabla No 7 podemos clasificar los Hidroperiodo de la siguiente manera:

- La zona de amenaza muy altas pertenece a un Hidroperiodo permanente, debido a que se mantienen con una cota de 2537.8 y pertenece a la etapa 1 de las gráficas 1, 2 ,3 y anexo 2, con una duración de 17461días totales de inundación y una frecuencia 48 veces en el periodo de estudio.

- La zona de amenaza altas se puede clasificar como Hidroperiodo Temporales, y se evidenciaron en los años de 1967 a 1972, de 1974 a 1975, del 1977 a 1982, del 1986 a 1991, 1993, de 1998 a 1999, 2002 al 2006, 2008 al 2010, y 2012. Estos Hidroperiodo temporales están relacionados en las grafica 1,2 y 3 y anexo 2 por las etapas 2 al 14. Se determinó valores máximos de 1380 días totales de inundación con una frecuencia de 53 veces en el periodo de estudio.
- La zona de amenaza Media se puede clasificar como un Hidroperiodo marial, es decir años de lluvia excesiva registrados en el año de 1973 y 2011, los cuales conforman las etapas 15 y 16, y se relacionan en las gráficas 1,2,3 y anexo 2. En la zona de amenaza media presento 50 días totales de inundación con una frecuencia de 6 veces.

Se debe aclarar que, según la información suministrada por la Car, no se registran durante varios meses datos de niveles de agua de los siguientes años: 1976 de los meses marzo, al mes de diciembre; 1986 de enero a Marzo; 1985 no se tuvo información; 1987 de febrero a Mayo; 1990 no se tuvo información; 1993 de Julio a Octubre; de 1994 Enero a Febrero; 2010 de Junio; 2015 Diciembre.

Los datos suministrados pueden ser un aporte para realizar un Plan de Ordenamiento Territorial, de forma más cuantitativa enfocado a la protección de las zonas de inundación donde se presenta zona de amenaza media y baja. Encaminado en la conservación de especies de flora y fauna, además de algunas actividades realizadas por el hombre tales como: siembra y ganadería; en un área aproximada de 33.011 ha.

13.REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- APARICIO MIJARES, Francisco J. Fundamentos de hidrología de superficie.LIMUSA. México, 1992.
- CHEREQUE MORAN, Wendor. Hidrología para estudiantes de ingeniería civil. Concytec. Lima, Perú.
- Elaboración de los estudios de diagnóstico prospectiva y formulación para la cuenca hidrográfica de los ríos Ubaté y Suárez. Corporación autónoma regional de Cundinamarca car. (Bogotá. 2006). www.car.gov.co/index.php?idcategoria=43494&download=Y
- Glosario. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. (Febrero, 2018). Tomado de http://www.ideam.gov.co/web/atencion- y-participación-ciudadana/glosario.
- Mapa Demo OpenCycleMap. The Thunderforest Platform. Tomado de https://www.thunderforest.com/maps/opencyclemap/.
- OTALORA MOZO, Magda E. Mapa de Riesgo de la Calidad del agua para el consumo humano del centro urbano del municipio de Chiquinquirá. GOBERNACION DE BOYACÁ. Boyacá.
- Problemática ambiental de la Laguna de Fúquene. (25 junio, 2017). La Villa.
- JUAN JOSE NEIFF, Articulo Bosques fluviales dela cuenca Paraná, Argentina. Enero 2004.

ANEXOS

- **ANEXO 1.** Respuesta radicado 20171134121- Corporación autónoma regional de Cundinamarca- CAR
- **ANEXO 2.** Limnigrama 1967-2017
- **ANEXO 3.** Tabulación duración de etapas anuales (1967-2017)
- **ANEXO 4.** Tabulación duración de la inundación consolidada
- **ANEXO 5.** Tabulación frecuencias de inundación anuales
- **ANEXO 6.** Tabulación frecuencia de inundación consolidada (1967-2017)