

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA

“Relación Histórica de la Variabilidad Climática y Actividad Antrópica en la Planicie Aluvial de la Cuenca Baja del río Chixoy en la Sección Norte de la Ecoregión Lachúa.”

Nora Machuca Mejía

BIÓLOGA

Guatemala, agosto 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA

**“Relación Histórica de la Variabilidad Climática y Actividad Antrópica en la
Planicie Aluvial de la Cuenca Baja del río Chixoy en la Sección Norte de la
Ecoregión Lachuá.”**

INFORME DE TESIS

Presentado por

Nora Machuca Mejía

Para optar por el título de

BIÓLOGA

Guatemala, julio 2018

JUNTA DIRECTIVA

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA

Dr. Rubén Dariel Velásquez Miranda	DECANO
Licda. Elsa Julieta Salazar Meléndez de Ariza, M. A.	SECRETARIA ACADÉMICA
MSc. Miriam Carolina Guzmán Quilo	VOCAL I
Dr. Juan Francisco Pérez Sabino	VOCAL II
Lic. Carlos Manuel Maldonado Aguilera	VOCAL III
Br. Andreina Delia Irene López Hernández	VOCAL IV
Br. Carol Andrea Betancourt Herrera	VOCAL V

Dedico....

A Diego Alejandro, como un ejemplo.

Agradezco....

A Jesucristo por permitirme tener una familia que me ha apoyado en todo momento, a mis papas, hermanos, tios-tias, primos –primas, quienes me ha apoyado en este proceso..

A la Tricentenario Universidad de San Carlos de Guatemala y al pueblo de Guatemala, por permitirme la formación académica y otorgarme el compromiso social para retribuir como ciudadana a esta bella nación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, al proyecto FINDECYT 51-2015 por el financiamiento de la investigación. Al Programa para la Investigación y Monitoreo de la Ecoregión Lachuá PIMEL por el apoyo logístico. A los líderes comunitarios de las comunidades por permitirnos realizar la investigación y por el apoyo en el trabajo de campo.

INDICE

1	RESUMEN.....	7
2	INTRODUCCION	8
3	ANTECEDENTES.....	10
3.1	VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMATICO EN GUATEMALA.....	10
3.2	FACTORES QUE INFLUYEN EN LAS INUNDACIONES	11
3.3	DINÁMICA FLUVIAL.....	14
3.3.1	DINÁMICA DE CUERPOS DE AGUA POR CONDICIONES CLIMÁTICAS.	17
3.3.2	PROCESOS DE DINÁMICA FLUVIAL.....	18
3.3.2.1	Frentes de sedimentación y erosión	18
3.3.2.2	Desplazamiento lateral.....	19
3.3.2.3	Desplazamiento frontal.....	19
3.3.2.4	Cierre y abandono de meandros.....	20
3.3.2.5	Formación de meandros opuestos	20
3.3.3	TIPOS DE MEANDROS	21
3.3.3.1	Migración del meandro.....	21
3.4	CUENCAS HIDROGRAFICAS DE GUATEMALA	22
4	JUSTIFICACION.....	25
5	OBJETIVOS	27
6	HIPOTESIS.....	27
7	AREA DE ESTUDIO.....	27
7.1	CUENCA DEL RÍO CHIXOY	27
7.2	ECOREGIÓN LACHUÁ	29
8	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	31
8.1	DATOS EXPERIMENTALES.....	31
9	COLECTA DE DATOS	32
9.1	METEOROLÓGICOS	32
9.2	MORFOMETRICOS DE CAUCE EN FORMA CUALITATIVA	33
9.3	MORFOMETRICOS DE CAUCE EN FORMA CUANTITATIVA	33
9.4	ANTRÓPICOS	34
10	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	37
10.1	ANÁLISIS EXPLORATORIO Y DE COMPONENTES PRINCIPALES.....	37

10.2	ANÁLISIS TEMPORAL	38
10.3	TASA DE MIGRACIÓN	38
11	RESULTADOS.....	39
11.1	PROCESO DE MIGRACIÓN (DESPLAZAMIENTO LATERAL) DEL RÍO CHIXOY	39
11.2	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE ARCOS MEÁNDRICOS	43
11.3	LÍNEA SOCIAL E HIDROLÓGICA TEMPORAL.....	47
11.4	EVENTOS CLIMATOLÓGICOS Y ANTRÓPICOS	52
12	DISCUSION DE RESULTADOS.....	55
12.1	PROCESO DE MIGRACION (DEZPLAMIENTO LATERAL) DEL RIO CHIXOY	55
12.2	ANALISIS DE LAS CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS DE ARCOS MEANDRICOS	56
12.3	LÍNEA SOCIAL E HIDROLÓGICA TEMPORAL.....	57
12.4	EVENTOS CLIMATOLÓGICOS Y ANTRÓPICOS	58
13	CONCLUSIONES.....	64
14	RECOMENDACIONES	65
15	REFERENCIAS	66
16	ANEXOS	71

1 RESUMEN

En el presente trabajo se relacionó la variabilidad climática y actividad antrópica en la planicie aluvial de la cuenca baja del río Chixoy en la sección Norte de la Ecoregion Lachuá, por medio del procesamiento de imágenes satelitales, análisis multivariado de la precipitación, documentación histórica de actividades antrópicas a lo largo de la cuenca y narrativas locales, que facilito explorar la relación entre factores naturales y culturales con la dinámica histórica de la planicie aluvial de la cuenca baja del río Chixoy en el área de estudio. Al sobreponer el cauce del río en los años 1962, 1987, 2006 y 2016, se observó que los cuatro causes son diferentes, pero el año 2016 presento mayor desplazamiento lateral de 4854.24 metros, principalmente en la parte baja donde se formaron seis nuevos meandros. Se analizaron cinco características morfológicas de arcos meandricos por cada año de estudio, donde el año 2006 reporto mayor longitud del desplazamiento con 3,477.24 m, área de desplazamiento 239,955.20 m² y tasa de migración con 11.99 m. El año 2016 reporto la mayor anchura del Río (154.10 m). Al construir una línea social e hidrológica con las comunidades que viven a orillas del río Chixoy en la Ecoregión Lachuá y datos de precipitación de la estación climática San Agustín Chixoy, se estableció que desde el año 2001 se ha incrementado la precipitación, provocando inundaciones periódicas cada dos años. Asimismo que la cuenca baja del río Chixoy en la Ecorregión Lachuá ha sido impactada por eventos hidrometereologicos extremos como el fenómeno La Niña-ENOS, ciclones tropicales provocando más de 3500 milímetros de lluvia anuales de 1970-2016. Sumando a esto debe considerarse los posibles efectos de la Hidroeléctrica Chixoy y el aumento de las comunidades a orillas del Río. La aplicación de este análisis podrá ser la línea base para el modelaje de los efectos de futuros cambios climáticos abruptos, y para la planificación de desarrollo urbano-rural con medidas de mitigación y adaptación a inundaciones.

2 INTRODUCCION

Se ha estudiado ampliamente a lo largo de la escala geológica, como las condiciones climáticas globales varían a través de la dimensión temporal (Aznar, Dervieux, y Grillas, 2003, p.149), pero cada vez es más reconocido el papel de las teleconexiones regionales y globales en la dimensión espacial (Stuut, Prange Merkel, y Steph, 2012, p. 47). A pesar de la existencia de dichos estudios de escala global, el alcance instrumental de las mediciones climáticas en algunos países, como Guatemala, es relativamente corto (Castañeda, 1995, p.6). Sin embargo, la exploración de registros históricos de eventos regulares y extremos, pueden ser recuperados a partir del análisis de reservorios milenarios y centenarios de tipo sedimentario. Las aplicaciones brinda beneficios múltiples si éstos son capaces de conocer la variabilidad climática en una escala mayor de tiempo, desde ampliar el conocimiento científico de sistemas terrestres, hasta la predicción climática como un ingrediente critico en la planificación y mitigación de desastres ambientales (Stuut, Prange, Merkel y Steph , 2012 p. 58)

En este sentido, en Guatemala existe un particular interés en la temática de dinámica de sistemas fluviales y su relación con procesos climáticos. Estos sistemas naturales se encuentran en equilibrio dinámico, ajustándose permanentemente en el espacio y en el tiempo, a las fluctuaciones de los caudales líquidos y sólidos, lo que se traduce en una constante movilidad lateral y vertical. Esta movilidad es un mecanismo de regulación y es también el motor de una dinámica ecológica y morfológica intensa, garante de la riqueza y diversidad de estos sistemas naturales (Ollero, 2007, p.4).

La morfología de un tramo fluvial está controlada por una serie de variables interrelacionadas con tendencia al equilibrio dinámico, tales como hidráulica del flujo, configuración del canal, carga transportada, y el material del lecho y de los bancos (Pinilla, Pérez, y Benito, 1995, p.101). Los estudios de dinámica en zonas fluviales pueden ayudar a identificar los cambios de los cursos de agua y zonas de sedimentación, asociados a sus lechos activos en el tiempo y el espacio. Estos estudios se realizan a partir de varias fuentes de datos siendo los Registros históricos que puedan documentar comportamientos anómalos de los cauces, como inundaciones, desbordes; los análisis de datos hidrometeorológicos en series de tiempo (30 años); los análisis espacial a partir de sensores remotos con diferente cobertura temporal retrospectiva.

El proceso de formación de meandros en un cauce, está determinado por la erosión y socavación de la margen exterior o cóncava, y el depósito de sedimentos a lo largo del margen interior o convexo (Tuukki, Jokinen, y Kalliola, 1996, p.121). De esta manera el desarrollo de meandros incrementa la longitud del río y por consiguiente disminuye la pendiente, es decir, el meandro es el mecanismo por

el cual el río ajusta su pendiente, cuando la pendiente del valle es mayor que la que requiere (Güneralp, Abad, Zolezzi, Hooke, 2012, p.3). El meandro es en sí entonces, la curva o sinuosidad originada por efecto del cambio de dirección que presenta el cauce de un río, que puede originarse por la resistencia de los materiales del lecho a la erosión fluvial, el tamaño de un meandro dependerá del caudal, la carga y la velocidad de sedimentación del río, así como del tipo de terreno por el que escurra el curso fluvial (Seminara, 2006, p.272).

Los sistemas fluviales son estudiados desde dos perspectivas; geomorfología (formas del relieve, patrones del drenaje), y sedimentología (características del medio y depósitos resultantes, facies sedimentaria) (Pinilla et al. 1995, p.101). Para el presente estudio se utilizó la perspectiva geomorfológica en el análisis de la dinámica de una sección del cauce del Río Chixoy desde el siglo veinte hasta el presente, localizada en la parte norte de la Ecorregión Lachuá. Además de analizar la perspectiva geomorfológica, también se vinculó la variabilidad climática (hidrológica) e influencia antrópica a lo largo de la cuenca con la dinámica de su cauce; y se cuantificó el proceso de migración (desplazamiento lateral) del Río Chixoy a través de la cartografía temporal de la dinámica del río. Por último, se analizaron las variables morfológicas de arcos meándricos, y se construyó una línea social y climatológica temporal de la cuenca del Río Chixoy y Ecorregión Lachuá, con el objetivo de identificar su correlación. La implicación de este estudio en el ámbito social, está vinculada con la vulnerabilidad de poblaciones humanas asociadas a ríos por la estocasticidad de inundaciones. El estudio de sistemas fluviales permite comprender el comportamiento de ríos ante la variabilidad natural y/o procesos de alteración antrópica.

3 ANTECEDENTES

3.1 VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMATICO EN GUATEMALA

Guatemala está ubicada en una zona geográfica de alto riesgo y vulnerabilidad a los efectos de fenómenos naturales de tipo geológico e hidrometeorológico (Gellert, 2003, p.15). Estos fenómenos son una amenaza a la vida y salud humana, a los medios de subsistencia, a la infraestructura básica, y a los medios de producción (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2007, p 2). La vulnerabilidad ha sido definida en el campo del cambio climático como el grado al cual un sistema es susceptible o incapaz de soportar los efectos adversos de la variabilidad del cambio climático. La vulnerabilidad es una función del carácter, magnitud y tasa de cambio y variación climática a la que un sistema se expone, particularmente en cuanto a su sensibilidad y capacidad de adaptación (Cáritas, 2009, p 15).

Estudios sobre vulnerabilidad al cambio climático que se hicieron en el marco de la Primera Comunicación Nacional Sobre Cambio Climático, presentada en diciembre 2001, concluyeron que Guatemala es vulnerable tanto a la variabilidad climática, como al cambio climático, y que los sectores humanos más vulnerables en el país son la Salud Humana, los Recursos Forestales, la Producción de Granos Básicos y los Recursos Hídricos (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2007, p5). Durante las últimas décadas se padecieron los impactos negativos del huracán Mitch (1998) y del huracán Stan (2005). La - Comisión Económica para América Latina y el Caribe –CEPAL- (2005) estimó que los daños de Mitch a nivel centroamericano ascendieron a US\$ 110.4 millones, mientras que los impactos de la Tormenta Stan ascendieron a US\$ 983 millones. En una situación totalmente contraria, en 2001 se experimentó una fuerte sequía en el país ocasionando severos daños a la producción de granos básicos en la región oriental y sur del país.

Las inundaciones y sus efectos pueden ser estudiadas empleando imágenes ópticas y de radar, considerando las ventajas que cada una presenta y dependiendo de la fecha del análisis. Para las inundaciones provocadas por la Tormenta Agatha (2010) se analizaron imágenes de radar de diferentes áreas del país, y se identificó la extensión de las inundaciones. Además, en esta ocasión se analizaron imágenes ópticas de la constelación COSMOS y se generaron productos específicos de inundaciones (Instituto Nacional de Estadística, 2012. p.8).

3.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LAS INUNDACIONES

Una avenida o inundación, se produce cuando un curso fluvial recibe una cantidad tal de aporte de agua que supera su capacidad de almacenamiento, desagüe o filtrado, y en la actualidad, la mayoría de los cauces de los ríos se encuentran saturados por una alta acumulación de material sedimentario y como consecuencia, se generan desbordamientos debido a la falta de capacidad suficiente para evacuar adecuadamente los caudales picos (Chereque, 2003, p.43). Estos valores pico, originan una subida del nivel de las aguas en exceso, por lo que es evacuado por sus márgenes y ocupa las áreas adyacentes, lo que se conoce como llanuras de inundación. Estas llanuras en condiciones promedio se mantienen secas, pero pueden entrar caudales o inundarse éstas áreas, lo cual puede ser repentino o gradual, y su origen normalmente se debe a factores pluviales, fluviales o deslizamientos de tierra. Las inundaciones son procesos geomorfológicos importantes que crean nuevos hábitats, ya que alteran la distribución de recursos a través de transporte y / o deposición de sedimentos, restos de madera y nutrientes (Breña y Jacobo, 2006, p.127). La respuesta de los canales de arroyos y ríos con el cambio climático es una importante consideración ecológica, porque la alteración en dimensiones del canal se traduce directamente en modificación de hábitat acuático y ribereño (Figura 1). Los cambios en las dimensiones de los canales se producen cuando se desplaza el equilibrio entre los sedimentos y flujos de agua, lo que requiere de los canales transmitir más o menos agua o sedimento. La tasa de respuesta del canal varía con la velocidad a la que los regímenes de agua y sedimentos son modificados (Ollero, 2007, p.5).

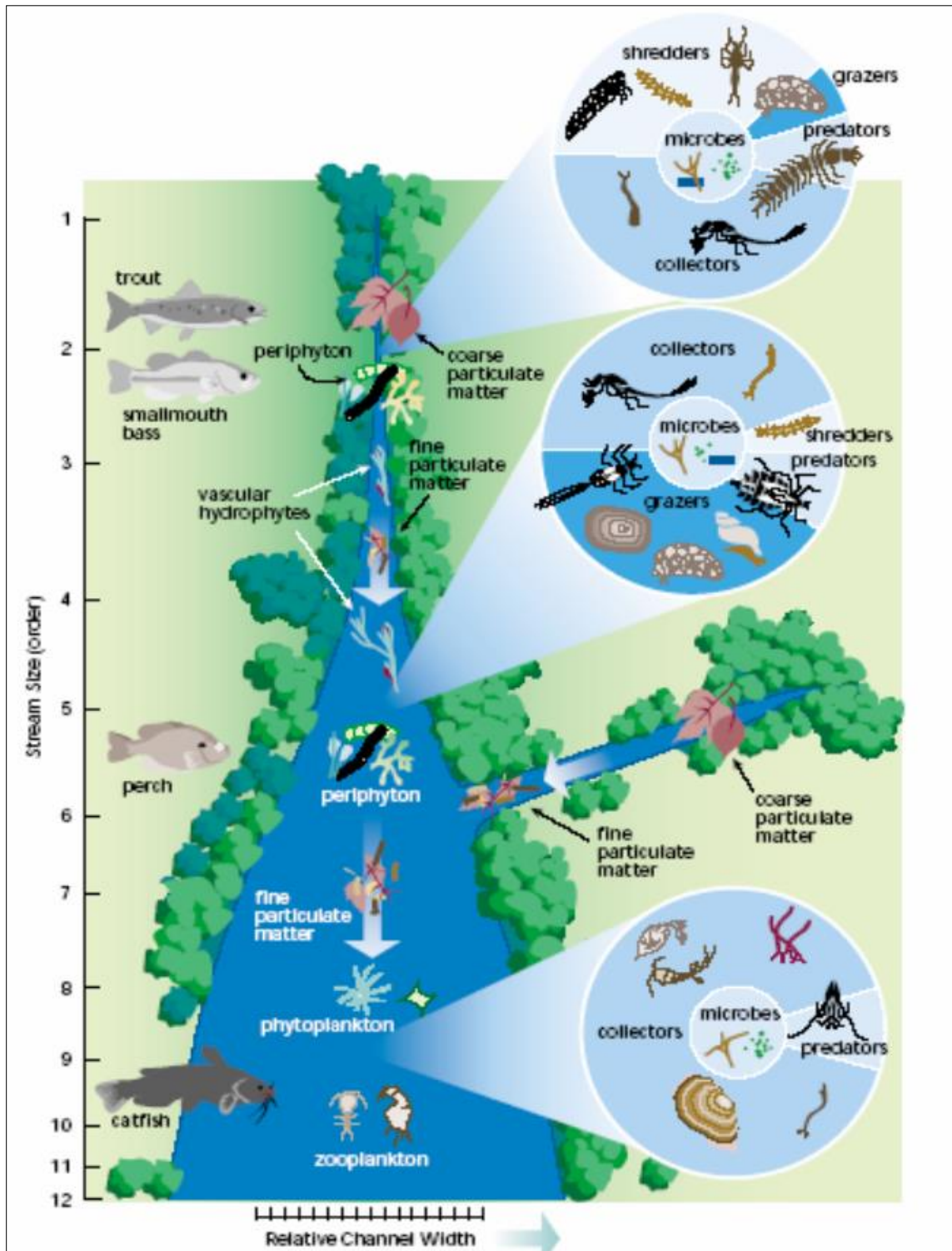


Figura 1. Conectividad Longitudinal y transversal (Ollero, 2007, p.5)

El cambio climático antropogénico que altera los patrones dominantes de la precipitación, representa una amenaza real a la estructura y funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, incluyendo ríos, lagos, humedales y sistemas costeros (LeRoy, 2002, p.1497). Los eventos hidrometeorológicos (figura 2) adversos, en función del tamaño y duración de la tormenta o huracán, pueden originar crecidas en los ríos de una determinada área. Estas crecidas pueden descargar suficiente agua en el área provocando el aumento repentino del caudal, y por consiguiente el desbordamiento en las áreas adyacentes.

El factor antropogénico tiene una influencia decisiva en la magnitud de las inundaciones, altas frecuencias inusuales de grandes inundaciones se observaron en muchas regiones del mundo desde principios de la década de 1950, las cuales posiblemente son atribuibles no sólo al evidente cambio de uso del suelo, sino también al cambio climático rápido forzado debido al aumento de los gases atmosféricos de efecto invernadero. El cambio de climas húmedos a más secos pueden reducir la captación y aumentar la erosión del cauce (ensanchamiento) para la misma unidad de precipitación (Hastenrath, 2012, p.23)

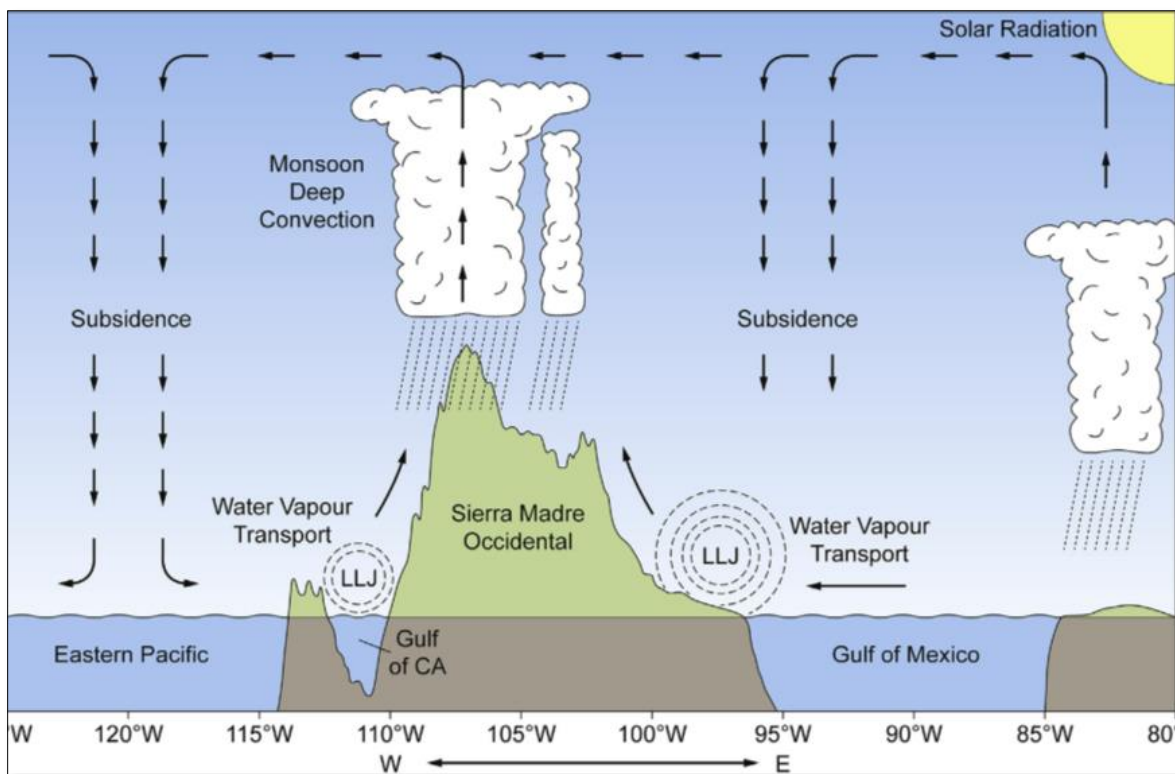


Figura 2. Esquema de sección vertical correspondiente al Norte de México, con vientos de convección. (Metcalf, Barron & Davies, 2015, p.3)

3.3 DINÁMICA FLUVIAL

Desde un punto de vista puramente físico y científico, los ríos son simplemente conductos de agua y sedimentos con componentes químicos asociados que se mueve hacia abajo (LeRoy, 2002, p.1510). Durante inundaciones, grandes volúmenes de agua y sedimentos fluyen a través del valle del río, haciendo una pausa temporalmente en las llanuras de inundación en su ruta hacia el mar, donde a partir de una perspectiva de ingeniería y social, los ríos a menudo representan una necesidad de aprovechamiento para el consumo humano y para su progreso. Las inundaciones hacen un extenso trabajo sobre el cauce del río y sus fronteras, erosionando y depositando sedimentos en el canal, en la llanura de inundación, inundando los humedales ribereños y enriqueciéndolos con nutrientes suspendidos, ahora la ciencia reconoce que estos eventos extremos de perturbación natural, son esenciales para mantener un mosaico en la dinámica del río y en los tipos de hábitat para muchas especies y mantener así la alta productividad biológica y ecológica en los ríos (Verdú, 2003, p.56). No todos los ríos presentan el mismo régimen de inundaciones, ya que existen variaciones tanto intrínsecas como el tamaño del río y su entorno geológico, así como extrínsecas (clima) que controlan el flujo (LeRoy, 2002, p.1508). La regulación de los ríos por presas modifica el flujo, interrumpe la transferencia de sedimentos a través de redes de canales, y altera la dinámica río abajo, afectando por completo la forma y los procesos de canal, por lo cual la forma de un canal aluvial es producto de la interacción entre el flujo de agua y sedimentos, y de las características de la cuenca y el paisaje, las que pueden cambiar con el tiempo como resultado de la interacción continua entre factores naturales y los factores humanos (Chereque, 2003, p.43). En general, los impactos de las represas en los ríos de zonas secas tienden a ser más pronunciados que los de las regiones más húmedas, ya que la forma de canal y la ecología del río se adaptan a los flujos altamente variables, después de la construcción del embalse, el río sufre un ajuste complejo que involucra cambios en el ancho, profundidad, nivel del lecho, pendiente, material del lecho (el tamaño de grano) y forma en planta.

Cada río tiene un sello de caudal característico determinado por el clima, la geología, la topografía, la vegetación y otras características naturales de su cuenca, el cual puede describirse por un hidrógrafo. En climas monzónicos, por ejemplo, los caudales llegan a su pico máximo durante la temporada de lluvias y luego descienden a niveles muy bajos durante la estación de secas. Del mismo modo, los ríos alimentados principalmente por acumulaciones de nieve de montaña, por lo general llegan a su caudal más elevado durante la temporada en que se derrite la nieve en primavera y después caen a niveles bajos durante el verano (Metcalf, Barron & Davies, 2015, p.9). Generalmente, en los lugares donde no hay un deshielo significativo ni una temporada de lluvias bien definida, los caudales de los ríos no varían tanto entre estaciones, sino que aumentan y disminuyen junto con los eventos de

precipitación en la cuenca. Si bien un hidrógrafo anual puede captar el patrón de escurrimiento característico de un río, para captar los fenómenos extremos como inundaciones altas o sequías muy graves, que llegan a ocurrir una vez cada medio siglo y que constituyen una parte importante del régimen natural de caudal del río, es necesario contar con un registro que abarque varias décadas (Postel y Richter, 2010, p.11). Los cambios relativamente rápidos en los canales de los ríos que se conservan en el registro geológico también se han atribuido al cambio climático.

Desde una vista aérea de los ríos indican que sus formas son tantas como ríos existen, pero la morfología fluvial considera tres formas fundamentales (Figura 3), basada en el grado de sinuosidad del río y es ilustrativa de las tres formas principales que suelen tener los ríos. Estas diferentes formas pueden presentarse en tramos sucesivos de un mismo río, en función de la pendiente, del caudal líquido, del caudal sólido, de la granulometría y de otros factores. Naturalmente que hay estados transitorios o intermedios (Rocha, Sf, p.3).

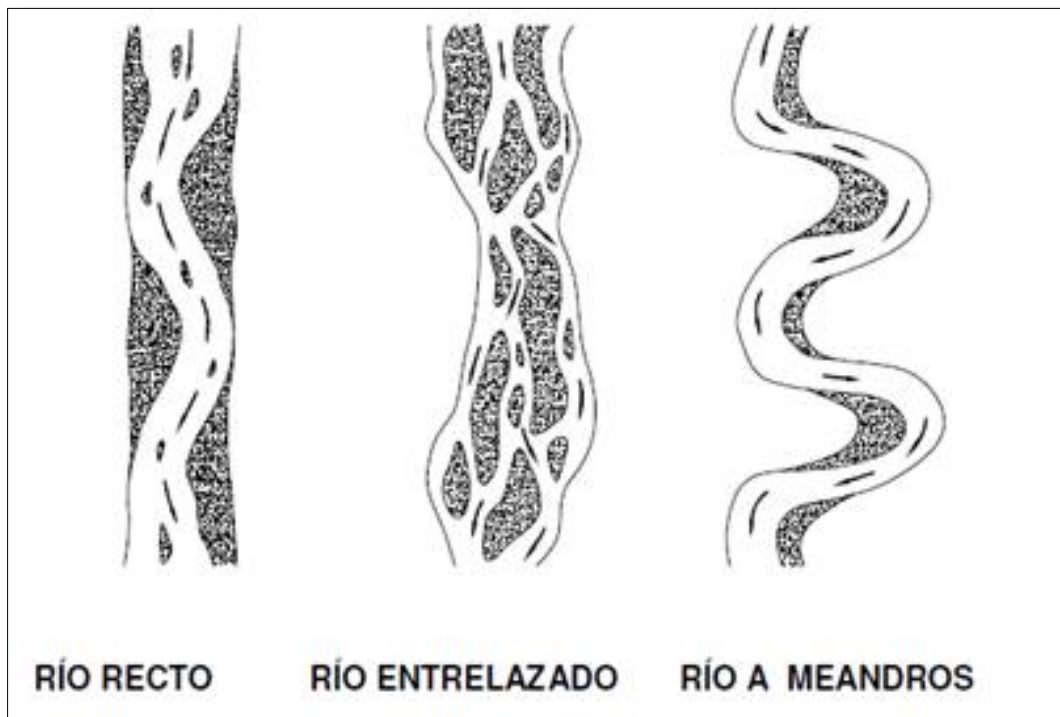


Figura 3. Formas fluviales básicas. (Martín, 2006, p. 104)

Dentro de los cauces de los ríos de llanura son de dos tipos que se denominan meandricos y anastomosados (entrelazados). Los cauces meándricos están caracterizados por una sucesión de ondas regulares llamadas “meandros”, se producen porque el agua fluye en el cauce siguiendo un movimiento helicoidal, es decir, en forma de tirabuzón. Esto produce erosión en una de las márgenes y sedimentación en la margen opuesta, donde se depositan bancos de arena finos y arqueados, denominados espiras de meandro. Eventualmente, la migración lateral avanza tanta que la onda llega a estrangularse pues el río atraviesa directamente entre dos puntos contiguos, durante una inundación quedando el meandro abandonado en forma de laguna aluvial, donde se pueden observar series de espiras de meandro de distinta edad, las más jóvenes cortando a las más antiguas. Ello constituye una llanura de meandros. Los cauces anastomosados están caracterizados por bifurcaciones, brazos menores que se separan del cauce principal y grupos de islas (Martín, 2006 p.102).

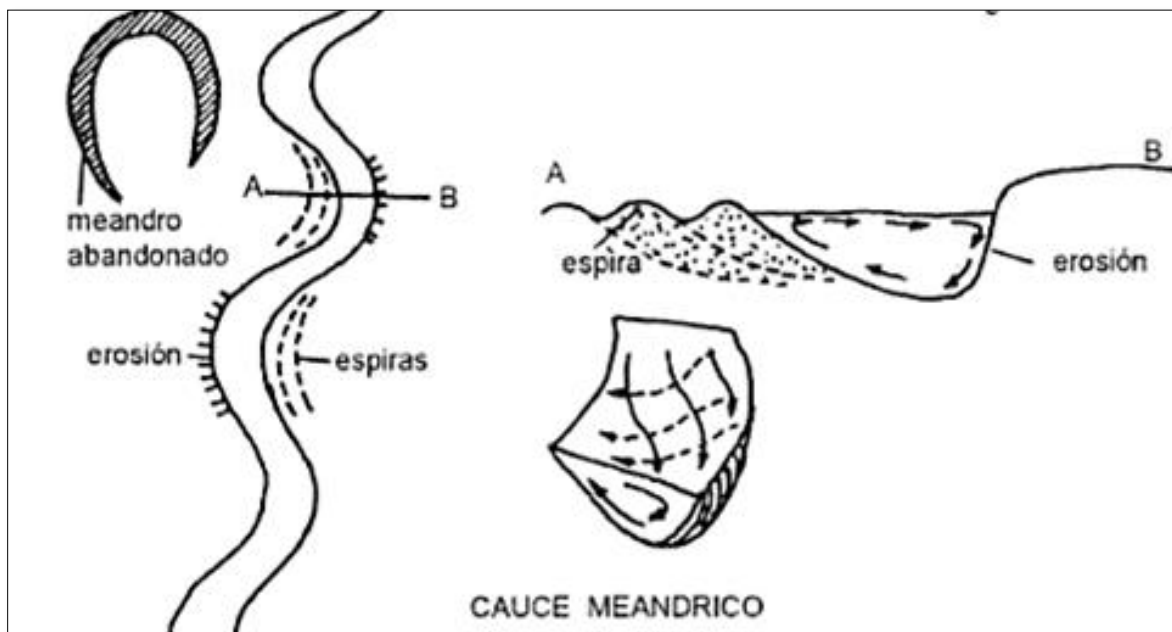


Figura 4. Cauce meándrico. (Martín, 2006, p. 104)

Se llama meandro al arco formado por el accionar del caudal de un río que presenta una gran ondulación en su recorrido (figura 4). Los meandros se originan usualmente en los ríos ubicados en las llanuras aluviales, las que casi no presentan pendiente a causa de los sedimentos de la tierra que comúnmente se asientan en las zonas convexas del meandro. Sin embargo en las zonas cóncavas,

gracias al accionar de fuerzas de características centrífugas, se genera mayor erosión y las orillas se ven disminuidas (Güneralp, Abad, Zolezzi & Hooke, 2012, p.3)

Cuando las corrientes logran formar un canal de características sinusoidales, su tamaño y forma cóncava se verán afectados, en donde las curvas se pronunciarán debido al accionar del flujo helicoidal que se produce gracias a la creciente de las erosiones que se dan en las zonas exteriores de las curvas. Se denomina flujo helicoidal, a un proceso que tiene lugar desde el interior de la curvatura hacia su exterior, en donde las corrientes del agua chocan y erosionan la curva, como producto del aumento de la velocidad en el interior y disminución en la exterior. El accionar de las fuerzas centrífugas provoca que se eleve la superficie en zonas exteriores, movilizandose de esta forma el terreno del agua de forma transversal (Howard & Hemberger, 1991, p.161-164).

3.3.1 DINÁMICA DE CUERPOS DE AGUA POR CONDICIONES CLIMÁTICAS.

La extensión y el volumen de los cuerpos de agua varían con las condiciones climáticas normales (invierno, verano) y extremas (“El Niño”, “La Niña”). Estas condiciones son registradas en los datos de las mediciones de las estaciones hidrometeorológicas (precipitaciones, caudales, niveles, carga de sedimentos, etc.) o de los registros fotográficos (fotografías aéreas) o digitales (imágenes de satélite, datos satelitales) (Vargas, 2008, p.216)

El término “La Niña” (fenómeno frío del Pacífico) corresponde a la aparición irregular de aguas superficiales y subsuperficiales más frías que lo normal en los sectores central y oriental del océano Pacífico tropical. Este fenómeno genera un alto incremento de las precipitaciones, lo cual ocasiona crecientes e inundaciones en valles aluviales y movimientos en masa en zonas de montaña “El Niño”, es el término originalmente usado para describir la aparición periódica de aguas superficiales relativamente más cálidas que lo normal en el océano Pacífico tropical central y oriental (Organización Meteorológica Mundial, 2014, p.23-28). Este fenómeno genera altas temperaturas, con una notable reducción de la oferta hídrica. Para los análisis de dinámica de cuerpos de agua es muy importante tener en cuenta la ocurrencia de estos fenómenos, ya que registran fases extremas de variabilidad climática por altas temperaturas y altas precipitaciones (Vargas, 2008, p.217), lo cual podría explicar en cierta medida variaciones geomorfológicas.

3.3.2 PROCESOS DE DINÁMICA FLUVIAL

Durante los procesos de dinámica de cauces fluviales se presentan varios fenómenos asociados de los cuales describiremos los siguientes: Frenes de sedimentación y erosión, desplazamiento lateral, desplazamiento frontal, cierre y abandono de meandros y formación de meandros opuestos. (Varga, 2008, p. 218)

3.3.2.1 *Frentes de sedimentación y erosión*

En un río sinuoso se presentan dos procesos simétricos de erosión en los frentes convexos del río y sedimentación en la parte opuesta cóncava. (Figura 5). Asociados a la dinámica de cauces fluviales sinuoso o meándricos.



Figura 5. Procesos de erosión (E) y sedimentación (S)

(Varga, 2008, p. 218)

3.3.2.2 *Desplazamiento lateral*

La formación de un meandro se debe a los procesos anteriormente explicados de erosión y sedimentación fluvial, en el cual el río va migrando lateralmente, ampliando su cauce de divagación reciente (Figura 6).

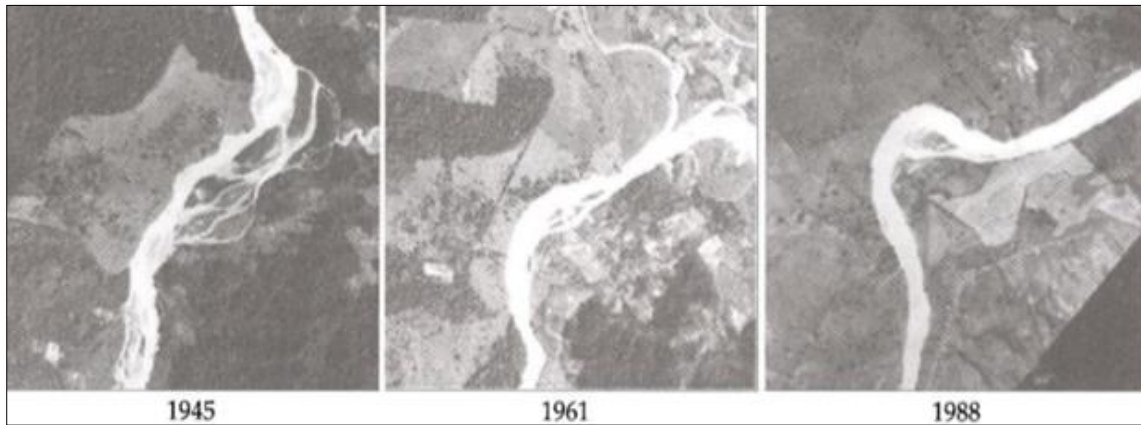


Figura 6. Ejemplo de migración lateral del cauce (río Sinú) (Vargas, 2008, p.218).

3.3.2.3 *Desplazamiento frontal*

Representa el empuje de los meandros frontalmente o hacia adelante hasta el cierre y la pérdida del meandro.

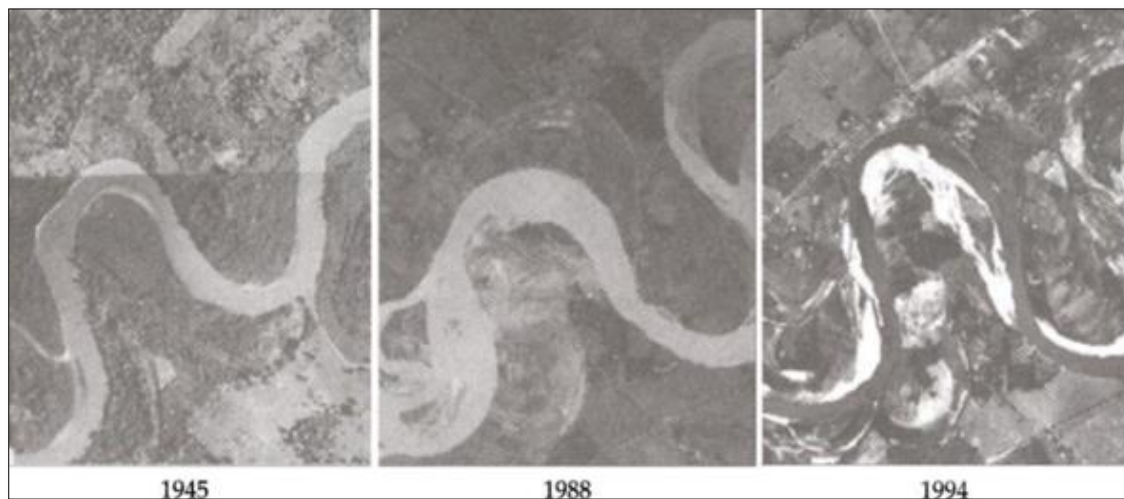


Figura 7. Migración frontal de un meandro (río Sinú,).

(Varga, 2008, p. 218)

3.3.2.4 Cierre y abandono de meandros

Ante el avance lateral y frontal, junto con los procesos de erosión y sedimentación, los meandros de los ríos evolucionaron hasta cerrarse y quedar abandonados. (Figura 8)

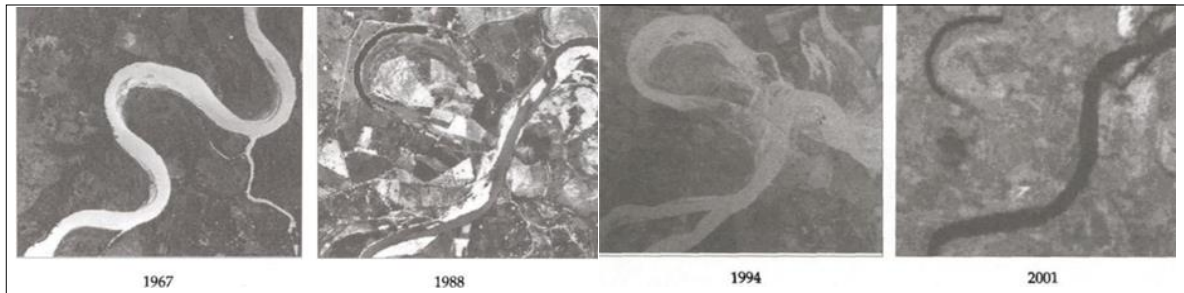


Figura 8. Ejemplo de corte y cierre de un meandro (río Sinú).

(Varga, 2008, p. 218)

3.3.2.5 Formación de meandros opuestos

La migración de meandros laterales y frontales, junto con el cierre y abandono de éstos, produce efectos de formación de nuevos meandros opuestos lateralmente a ellos (Figura 9).

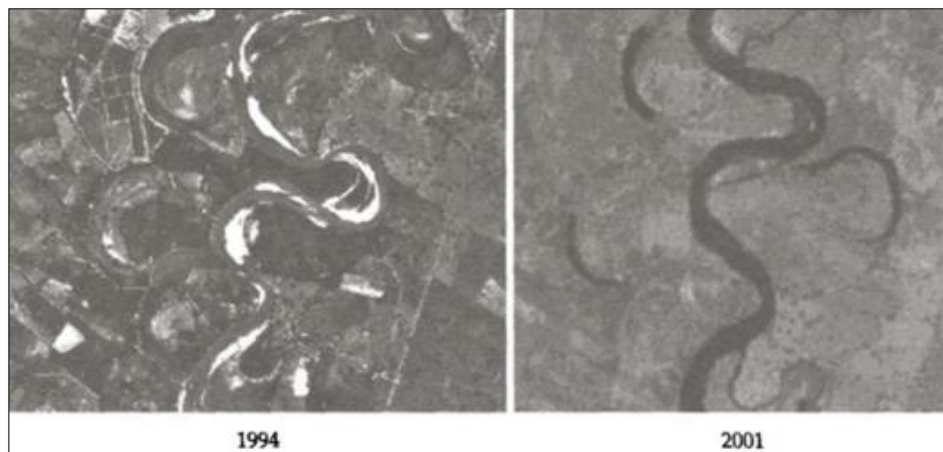


Figura 9. Formación y cierre de meandros opuestos lateralmente.

(Varga, 2008, p. 218)

3.3.3 TIPOS DE MEANDROS

Algunos autores distinguen múltiples tipos de meandros en base a los atributos de sus formas, existiendo toda una nomenclatura meándrica. Los meandros lateralmente confinados, son aquellos que se escurren libremente, sin límites para su desarrollo lateral. El patrón sinusoidal nunca es estático, una vez iniciado, su desarrollo no se detendrá mientras haya energía para erosionar la orilla convexa y acarrear los sedimentos hacia la orilla cóncava (Figura 10) (Domínguez, Farias y Reuter, 2010. p. 180-181).

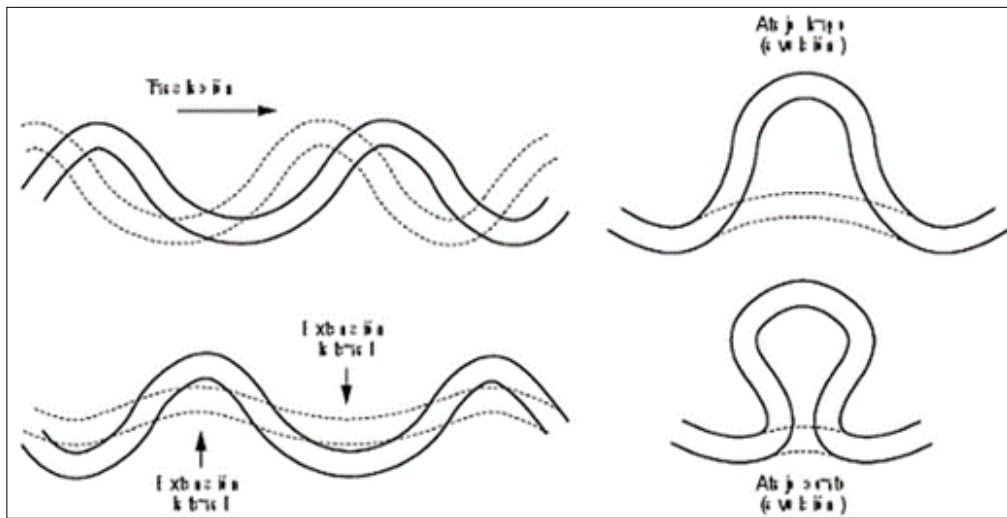


Figura 10. Dinámicas de desarrollo y migratorias de los meandros.

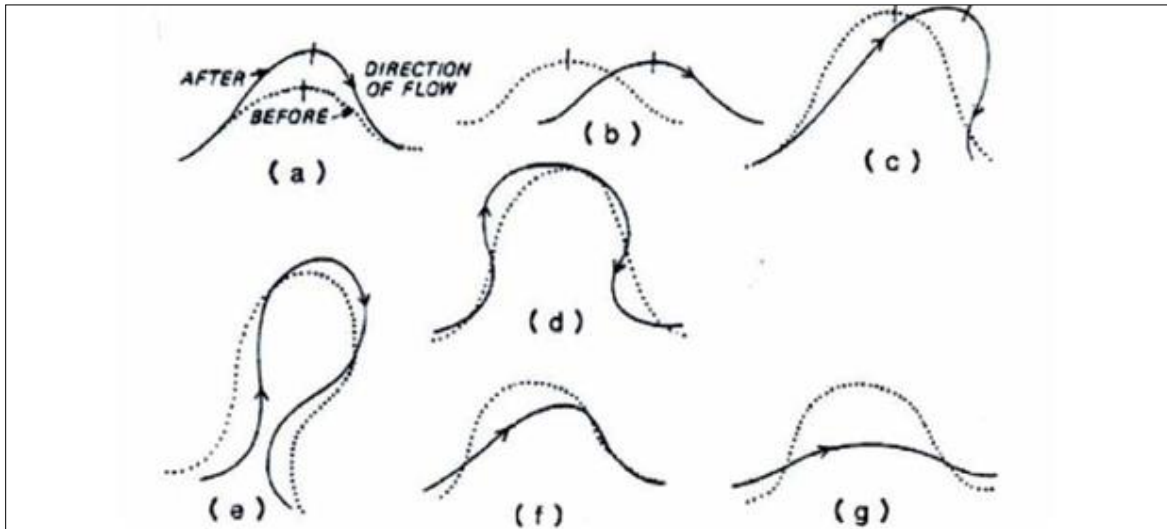
(Domínguez, Farias y Reuter, 2010. p. 180-181).

En valles inclinados con sedimentos aluviales desagregados la erosión de las riberas es dominada por un componente aguas abajo, en cuyo caso el desarrollo lateral se detiene y el patrón sinusoidal migra aguas abajo por el valle (traslación), en condiciones similares pero con una inclinación algo menor, la amplitud del meandro se mantiene estable pero el canal migra lateralmente. Estas dinámicas de traslación aguas abajo y migración lateral corresponden a una condición de equilibrio dinámico, la sección de los canales conserva su forma pero la posición del canal cambia (Domínguez, Farias y Reuter 2010. p. 190-105).

3.3.3.1 Migración del meandro

La migración de un meandro es el proceso por el cual un meandro se mueve dentro de su área del plano de inundación disponible. La migración incluye el cambio lateral del canal, expresado

normalmente en términos de distancia recorrida perpendicular a la línea central del canal. Las migraciones del canal tienen generalmente dos componentes que son el lateral y posterior, (Figura 11) y varios tipos de movimientos que originan; 1) Traslación, cuando la curva cambia de posición contra la corriente río abajo sin la alteración de su forma básica; 2) Rotación, cuando el eje de la curva cambia su orientación; y 3) extensión, cuando la longitud del río aumenta (Morales, 2009, p.5).



a) extensión, b) translación, c) rotación, d) conversión, e) corte del cuello por el encierro, f) corte diagonal por el canal inclinado, g) corte del cuello por el canal inclinado. (Morales, 2009, p.5)

Figura 11. Tipos de movimientos de la migración del meandro,

3.4 CUENCAS HIDROGRAFICAS DE GUATEMALA

Los sistemas montañosos determinan tres grandes regiones hidrográficas (figura 12) las que se conocen con el nombre de vertientes. La vertiente del Pacífico, que es la que cuenta con mayor cantidad de ríos (18 de los 39 existentes), estos se caracterizan por tener ríos cortos y de curso rápido. La vertiente del golfo de México, es la que más posee área geográfica 50730 km² aproximadamente el 47% del territorio nacional, es la más caudalosa (mayor disponibilidad hídrica) en 2006 se contabilizaron 45,668 millones de metros cúbicos, lo que representa aproximadamente el 49% del país. De la cuenca hidrográfica del Golfo de México sobresalen el río de la Pasión y el Chixoy o Negro, todos afluentes del Usumacinta. La vertiente del Atlántico, los ríos que desembocan en el golfo de Honduras (vertiente del Atlántico) son extensos y profundos, propios para la navegación y la pesca (MARN, 2011, p2).

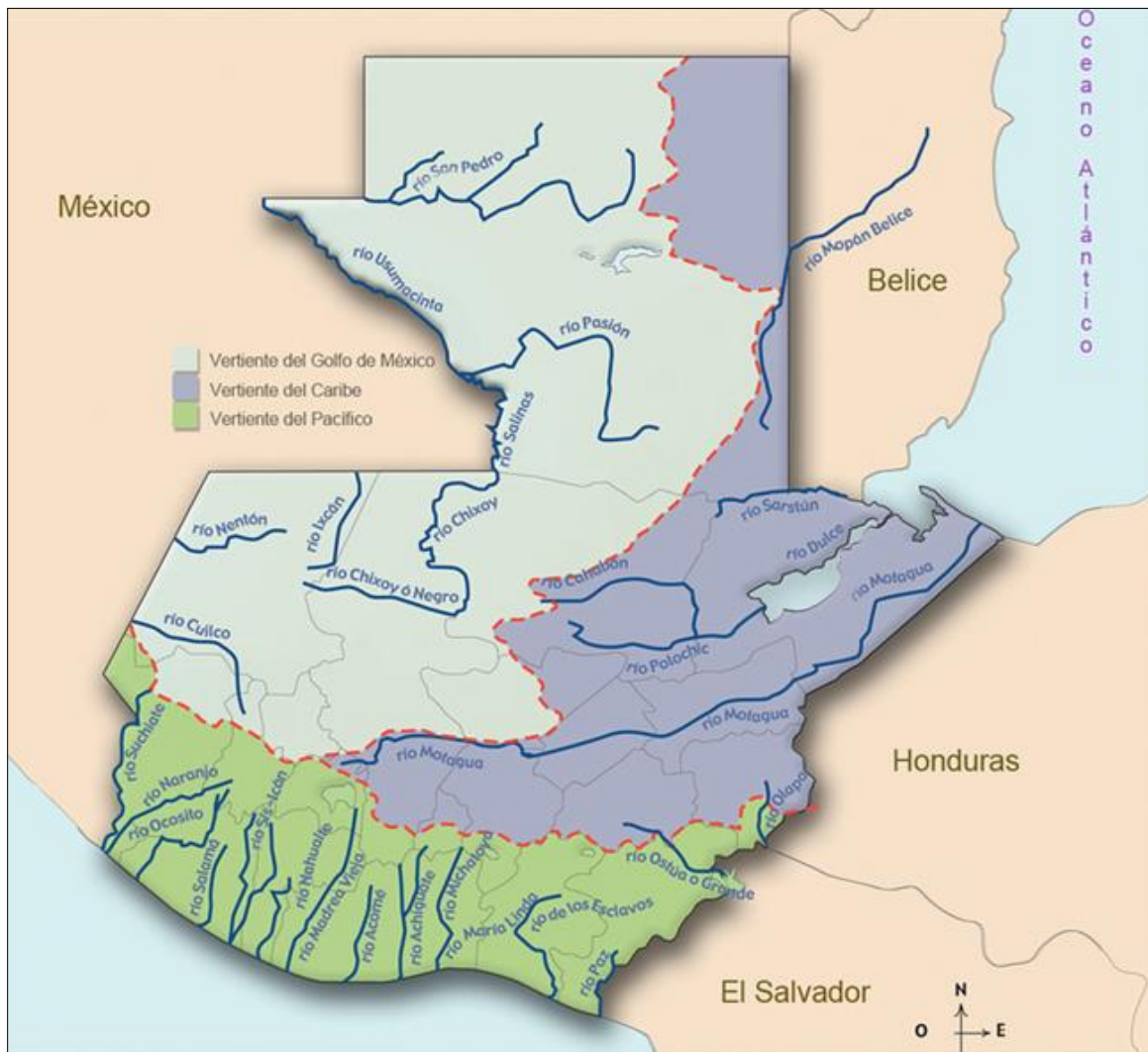


Figura 12 Mapa de las vertientes del Guatemala (Mata, 2015, p.13)

3.5. PERCEPCION CULTURAL DE SISTEMAS FLUVIALES

Hasta la década de 1980, la relación de las personas y el medio ambiente en Geografía y otras disciplinas ambientales fue teorizada como dualista en términos de personas frente al medio ambiente, esta relación diádica se interpretó generalmente en términos de tres posibilidades conceptuales siendo la primera el determinismo del medio ambiente, en el que el medio ambiente es visto como una fuerza activa que en gran medida controla y por lo tanto "determina" las acciones humanas; la segunda el posibilismo, las personas forman y activan su entorno físico, por lo tanto, todos los esfuerzos humanos son "posibles" y por último pero no menos importante la perspectiva ecológica, sostiene que la

relación entre las personas y el medio ambiente es recíproca y que las acciones humanas negativas puede eventualmente socavar y destruir entornos no humanos y humanos. Recientemente, una relación que se supone conceptualmente ser de dos (personas / medio ambiente) es vivido existencialmente como uno (entrelazamiento), debido a esto, la unión de la persona-mundo y persona-medio ambiente, no se puede asignar a fenómenos específicos aislados (Seamon, 2013, p.1).

Por lo cual la memoria social de las prácticas y comportamientos es cada vez más considerada como crucial para preparar el sistema para cambio, aumentar la resiliencia y para hacer frente a las sorpresas. El conocimiento de las sequías e inundaciones, así como la enfermedad y eventos en el pasado pueden condicionar cómo una sociedad no sólo conceptualiza el riesgo probable de los acontecimientos, sino que también aprende de estas experiencias y se anticipa a los impactos de eventos futuros (Lammel, Goloubinoff y Katz, 2008, p. 91-92).

Además, recientemente se ha argumentado que hay evidencia convincente de que las comunidades pueden aprovechar las oportunidades presentadas por episodios de clima extremo o inusual, para generar una sostenida mejora socio-ecológica. La comprensión de la compleja relación entre la variabilidad del clima y respuesta de la sociedad se puede obtener a partir de las investigaciones e interacciones históricas entre las personas y el medio ambiente en regiones donde ha habido una historia de la variabilidad climática y respuesta humana, en los períodos para los que no son de alta resolución los datos temporales y espaciales. Los impactos de los cambios climáticos y por lo tanto el grado en que la sociedad es capaz de responder a ellos, dependerá en gran medida del contexto del tiempo y lugar específico en el que dichos cambios tienen lugar (Endfield & Marks, 2012. p16.).

4 JUSTIFICACION

La geografía de Guatemala tiene un efecto determinante sobre el clima de las regiones del país. La distancia al océano y las barreras montañosas determinan la existencia de zonas de intensa precipitación en las laderas de las montañas, donde la temperatura es generalmente templada y de zonas de menor precipitación en las áreas que se encuentran protegidas por importantes barreras montañosas, donde el clima es caliente (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, 2006, p.1). Las variaciones climáticas alteran los componentes del ciclo hidrológico y los parámetros climáticos. En efecto, precipitación cambian la escorrentía superficial y subterránea aumentando o disminuyendo los niveles de los cuerpos de aguas como los ríos, lagos y mares (Dixon, 2003, p.130). Por lo cual este estudio que se presenta es importante porque establecerá la línea base para el estudio de la dinámica fluvial del Rio Chixoy.

En las últimas décadas, nuevos registros de datos paleoecológicos y paleoclimáticos han surgido para los trópicos, también han habido numerosas reconstrucciones del clima del último milenio utilizando datos derivados o procedentes de fuentes de proxy como sedimentos lacustres, documentos históricos, anillos de los árboles y los corales tropicales (Hastenrath, 2012, p.23). Estos trabajos ponen de manifiesto una gran variabilidad espacial y temporal de las condiciones climáticas en diferentes regiones del mundo tropical, con lo cual se está demostrando cómo los episodios clave en la historia del clima global se manifiestan en estas regiones y cómo los cambios climáticos pueden tener influencia en la historia humana, tanto directa como indirectamente, los trópicos han sido reconocidos como un elemento clave en el proceso dinámico de los cambios climáticos a escala mundial (Endfield & Marks, 2012, p.1).

Se han intentado identificar los vínculos entre inundaciones o sequías en anomalías de la temperatura superficial, indicando que los eventos de La Niña muestran una fuerte asociación con las inundaciones, mientras que los eventos de El Niño se correlacionan con la sequía. Aunque en la actualidad las historias climáticas regionales también han comenzado a destacar entre los fenómenos meteorológicos, por ejemplo una variedad de fuentes provenientes de documentales han sido fundamentales para la reconstrucción de la variabilidad del clima del siglo diecinueve en diferentes partes de África (Organización Meteorológica Mundial, 2014, p.17).

Según Ollero (2007) la dinámica fluvial es la clave no sólo del funcionamiento, sino también del valor ecológico, paisajístico y ambiental de los sistemas fluviales. La conservación de ríos como ecosistemas y como corredores ambientales en un territorio debe considerar la dinámica hidrogeomorfológica, ya que la misma es crítica para la protección integral del sistema. La dinámica

fluvial garantiza la existencia de corredores ya que es esencial para el mantenimiento de la complejidad y diversidad biofísica, y también del establecimiento y heterogeneidad espacio-temporal de biocenosis acuáticas. Numerosos científicos han demostrado que la diversidad y tasa de recambio de la vegetación ribereña está relacionada con la migración del cauce fluvial y de la variabilidad temporal de llanuras aluviales. Se ha demostrado que la reactivación de la dinámica fluvial en un sector determinado (e.g. meandro abandonado), se relaciona a la reactivación de la dinámica ecológica, a un incremento de la biodiversidad, y por lo tanto a la conservación de servicios ecológicos. Cualquier merma o eliminación de la dinámica fluvial genera los efectos inversos, es decir, pérdida de biodiversidad y de calidad en los ecosistemas.

El cauce y los meandros del río constituyen un espacio de gran valor geoecológico, por lo que su estudio es relevante y necesario ya que existen muchos grupos humanos establecidos en estos ambientes. Las perturbaciones periódicas, irregulares y/o impredecibles, pueden tener un impacto negativo en poblaciones ribereñas, ya que las anteriores resultan en inundaciones o en modificaciones drásticas de los cursos de los ríos (Ollero, Sánchez, del Valle, 2004, p. 253)

En este sentido, los estudios de dinámicas de cuerpos de agua fluviales contribuyen a comprender el impacto de factores físicos, hidrológicos y antrópicos en el régimen hidrológico de los cauces, a construir modelos hidrológicos, establecer planes de manejo de usos sostenibles del suelo en estas zonas, determinar efectos por fenómenos climáticos de variabilidad extrema (e.g. “El Niño” o “La Niña”). (Vargas, 2008, p.215).

Tomando en cuenta todas estas razones, es vital que los cambios ambientales tropicales no sean estudiados de forma aislada de sus contextos geográficos, deben relacionarse dentro de las historias sociales, económicos y ambientales que pueden haber condicionado o influido ellos (Endfield & Marks, 2012, p.25).

5 OBJETIVOS

General

Analizar la dinámica del cauce del río Chixoy en la parte norte de la Ecoregión Lachuá desde el siglo veinte hasta el presente y vincular la variabilidad climática en un sentido hidrológico conjuntamente con la influencia antrópica.

Específicos

- i. Cuantificar el proceso de migración (desplazamiento lateral) del río Chixoy a través de la cartografía temporal de la dinámica del cauce
- ii. Analizar las características morfológicas de arcos meándricos del cauce
- iii. Construir una línea social e hidrológica temporal de la cuenca del río Chixoy y Ecoregión Lachuá.
- iv. Correlacionar la dinámica fluvial con la variabilidad temporal de eventos climatológicos y antrópicos.

6 HIPOTESIS

La variabilidad de la precipitación e influencia antrópica inciden en la dinámica del cauce del río Chixoy en la parte norte de la Ecoregión Lachuá.

7 AREA DE ESTUDIO

7.1 CUENCA DEL RÍO CHIXOY

El nombre de la cuenca es Chixoy, Negro o Salinas (figura 13), y abarca 47 municipios en 7 departamentos. El área que cubre es de 1, 215,000 ha, y ocupa un 24% del área en la vertiente del Atlántico y 11 % de área de Guatemala. Pertenece a la vertiente del Atlántico con un caudal reportado para el año 2006 de 459.89 m³/segundo (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. 2011, p 42).

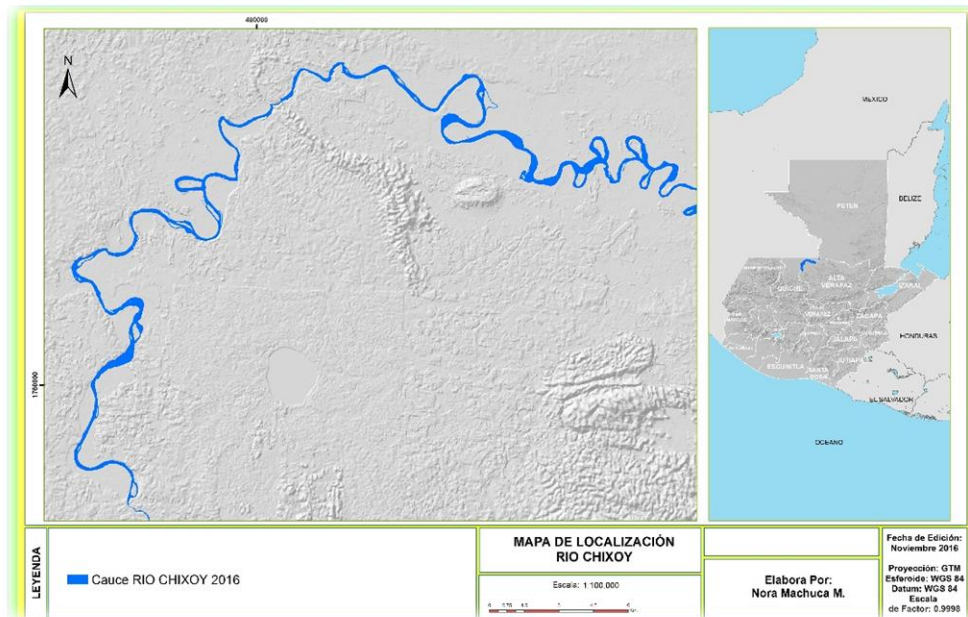


Figura 13 Río Chixoy.

El Río Chixoy o Río negro, nace en El Quiché y desemboca en el Río Salinas, con una longitud de 529 km, una superficie de 12.150 km², y un caudal medio de 551 m³/s. Desde su nacimiento en una zona montañosa y alta, hasta su desembocadura, el río suele ir disminuyendo su pendiente. Normalmente la pendiente es fuerte en el primer tramo del río (curso alto), y muy suave cuando se acerca a la desembocadura (curso bajo). Entre las dos suele haber una pendiente moderada (curso medio). Como cualquier otro río en estas condiciones, su caudal sufre variaciones ya que aumenta en la época lluviosa y disminuye en la época seca. Las crecidas pueden ser graduales o muy bruscas, dando lugar a inundaciones. Este río tiene mucha importancia debido que es un recurso muy valioso para realizar diversas actividades económicas, entre las que encontramos la obtención de agua potable, agricultura, La pesca y acuicultura, Transporte, y el Turismo

La cuenca media del Río Chixoy, ubicada en el departamento de Baja Verapaz, es una zona profundamente agreste y encajonada al norte de los pueblos de Cubulco y Rabinal. La región se caracteriza por ser árida, con temperaturas de hasta 38° centígrados. En la zona se alternan dos estaciones: una seca (de noviembre a mayo) y otra lluviosa (de mayo a noviembre), aunque debido a los cambios climáticos registrados en los últimos años, las estaciones han variado en tiempo y magnitud (Martínez, 2003, p.840). La hidroeléctrica Chixoy (figura 12), la más grande de Guatemala, forma un lago artificial de 14 kilómetros cuadrados, similar al de Amatitlán, almacenando 313

millones de metros cúbicos de agua. El embalse se encuentra próximo a San Cristóbal Verapaz, a 803 metros sobre el nivel del mar. Su construcción se inició en abril de 1977 y concluyó el 27 de noviembre de 1983. Por un fallo en la construcción del túnel de aducción - que conduce el agua del embalse a las turbinas - la hidroeléctrica no funcionó formalmente hasta diciembre de 1985 (Lindenmayer, 2008, p.1). La construcción de la hidroeléctrica implicó la inundación del fondo del valle del río Chixoy, así como la desaparición de 23 aldeas o localidades - afectando a cerca de 3445 personas - 45 sitios arqueológicos, áreas de cultivo y recursos naturales. La inundación abarcó una extensión de aproximadamente 50 km y alcanzó 50 m de profundidad (Martínez, 2003, p.840).

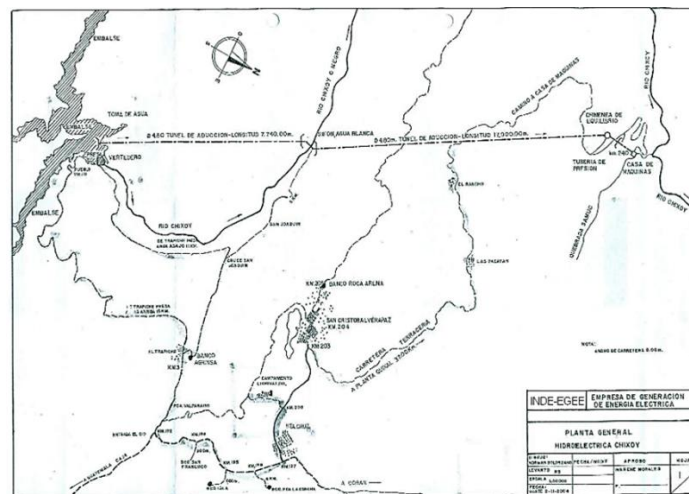


Figura 14. Ubicación Hidroeléctrica Chixoy (Tujab, 2010, p.137).

7.2 ECOREGIÓN LACHUÁ

Esta ecoregión comprende al Parque Nacional Laguna de Lachuá y su zona de influencia (Consejo Nacional de Areas Protegidas, 2011). Los límites geográficos de la zona de influencia son al norte y al oeste el río Chixoy, al este el Río Icbolay y al sur las montañas del Peyán y la Sultana (figura 15) (Fundalachuá, sf).

La Ecorregión de Lachuá corresponde a las tierras bajas del Norte de Guatemala y a la región fisiográfica del Cinturón Plegado del Lacandón, caracterizado por ser una región cárstica con orígenes en el Cretácico superior. La ecoregion es parte de un cinturón de selva lluviosa verdadera (con precipitaciones superiores a los 2,500 mm) que, según la clasificación de Miranda, lo define como selvas altas y medias perennifolias. Esta condición gradualmente varía hacia el Noreste, con la reducción de la precipitación, estableciéndose las selvas altas, medias y bajas subperennifolias de transición características del centro de Petén. La Ecoregion presenta un fragmento de la selva original,

el Parque Nacional Laguna Lachua, en donde habitan aproximadamente una quinta parte de las especies de mamíferos silvestres de Guatemala destacando la presencia del jaguar (*Panthera onca*), el tapir (*Tapirus bairdii*), el mono saraguate (*Alouatta pigra*). Además, se reportan 35 especies de peces en el sistema hidrológico formado por ríos y la Laguna Lachuá, todo parte de la gran cuenca del río Usumacinta, una de las regiones de mayor precipitación y endemismo ictiológico de toda Mesoamérica (FIR, 2014, p.2).

La población que habita la Zona de Influencia alrededor del Parque, es de 18,500 habitantes que componen 2,410 familias, con un promedio de 5.8 miembros por familia. La población se establece en 55 comunidades (comunidades, caseríos y fincas), en torno al Parque Nacional Laguna Lachuá. La población está compuesta en un 91% por la etnia Maya-Q'eqchi' y 9% por otras etnias indígenas y mestizos. Según el proceso de migración estos pueden ser colonizadores, desplazados, repatriados y desmovilizados, que poblaron el área debido a colonizaciones agrarias, o reinserciones de grupos afectados por el conflicto armado (1960 a 1996) (Gobernanza Socio-ambiental, 2010, p.1).

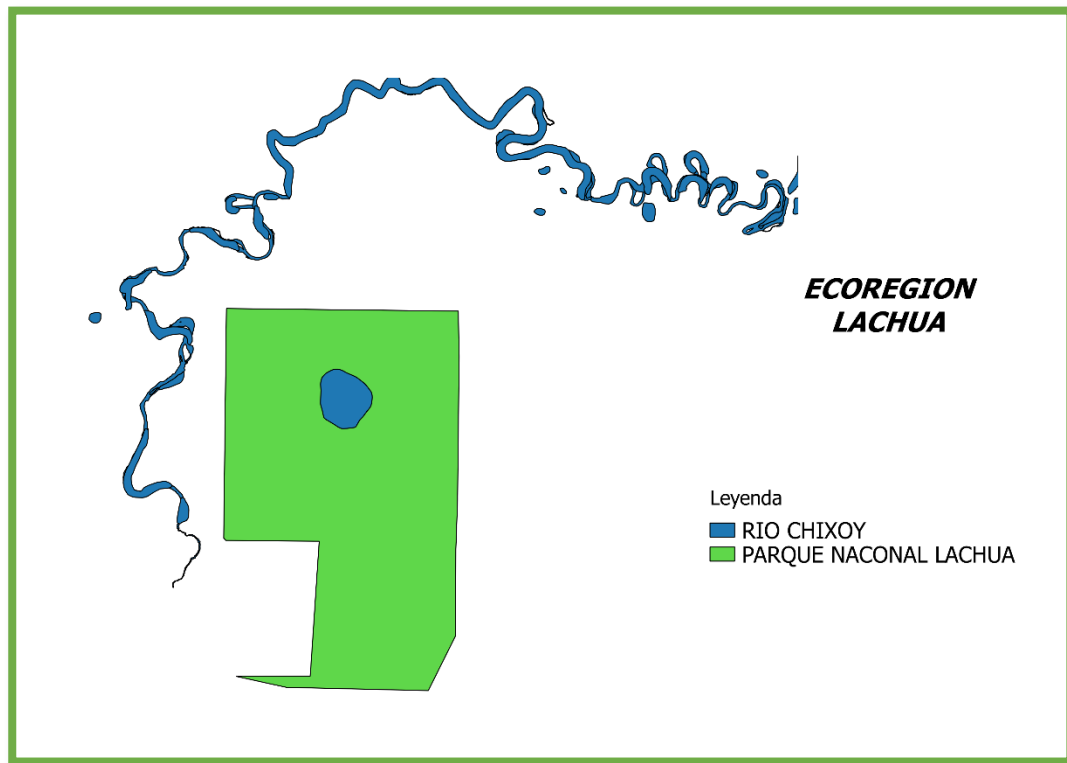


Figura 15. Mapa de la Ecoregión Lachuá. Delimitado al Norte por el Río Chixoy.

Fuente: elaboración propia

8 DISEÑO EXPERIMENTAL

8.1 DATOS EXPERIMENTALES

- a) **Población:** Río Chixoy
- b) **Muestra:** Río Chixoy en la parte norte de la Ecoregión Lachuá.
- c) **Variable Independiente:** Precipitación y actividades antrópicas.
- d) **Tratamientos:** Variabilidad temporal de la precipitación y de actividades antrópicas.
- e) **Unidad Experimental-Unidad de Muestreo:** La unidad experimental es equivalente a la unidad de muestreo, y en este estudio son los intervalos de tiempo del siglo XX hasta el presente del espacio geográfico, en el cauce del Río Chixoy en la parte norte de la Ecoregión Lachuá. Las unidades experimentales no son independientes, ya que es el mismo espacio geográfico del cauce del río Chixoy en la parte norte de la Ecoregión Lachuá.
- f) **Estructura de Tratamientos:** En la secuencia temporal progresiva, y cada unidad experimental presenta parcialmente efectos acumulados del intervalo de tiempo precedente.
- g) **Replicación de Tratamientos:** Cada intervalo de tiempo desde el siglo XX hasta el presente es único para la parte norte de la Ecoregión Lachuá.
- h) **Estructura de Diseño:** La selección de las unidades experimentales se limita a la serie de fotografías aéreas desde el siglo XX hasta el presente o del registro del Instituto Geográfico Nacional.

9 COLECTA DE DATOS

9.1 METEOROLÓGICOS

El Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología –INSIVUMEH– proporciono los datos de precipitación para las estaciones de San Agustín Chixoy y Chixoy ubicadas en el cauce del río Chixoy. La estación Chixoy se encuentra instalada en la parte de arriba del cauce con coordenadas de longitud -90.660600 y latitud 15.356100 y la estación de San Agustín Chixoy se encuentra en la parte baja de la cuenca con coordenadas de longitud -90.438889 y latitud 16.066667 (figura 16)

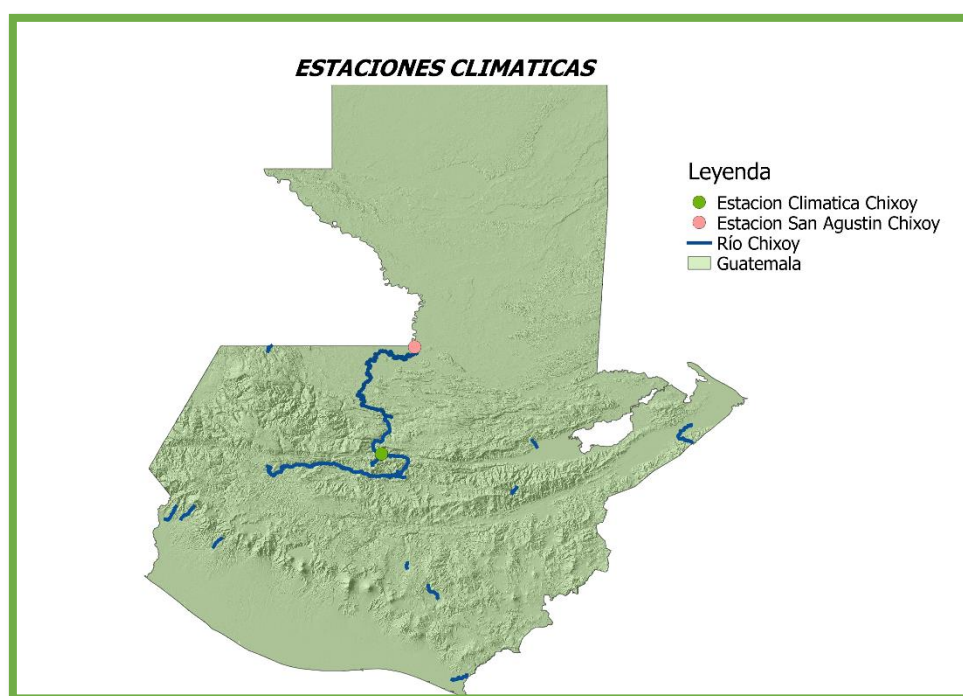


Figura 16. Mapa de las Estaciones climáticas

Fuente: elaboración propia

Para ambas estaciones se tienen datos desde 1970 a 2015, los cuales se utilizaron de forma mensual y anual para ser analizados en el programa Excel. Se hicieron dos gráficas, la primera con gráficos de cajas que representan el análisis mensual de la cantidad de precipitación en tres promedios. El primero es de la precipitación de 1970 a 2000 con línea azul, el segundo promedio es de 2001 a 2015 de color amarillo y el tercer promedio es de todos los años de color rojo. La segunda grafica tiene dos sub-gráficos de caja indicando la diferencia de precipitación de 1970 a 2000, y de 2001 a 2015.

9.2 MORFOMETRICOS DE CAUCE EN FORMA CUALITATIVA

Mediante la superposición del cauce de la secuencia, se estudiaron los cambios de la morfología en planta, así como los distintos tipos de movimiento de los lóbulos (Pinilla, Pérez, Benito, 1995, p.101). El análisis temporal es un procedimiento específico de análisis diferencial o temporal de imágenes. Con la disposición de imágenes de la misma área pero de diferente época o tiempo, es posible realizar el cálculo de la diferencia de imágenes y permite visualizar las áreas que han experimentado cambios sobre el tiempo. Después de realizar este análisis, se pueden generar nuevas imágenes con valores que expresan los cambios ocurridos en el tiempo (Morales, 2009, p.10). El análisis cualitativo de los mapas cartográficos del cauce del río Chixoy desde el siglo XX hasta la fecha se realizó basado en este análisis temporal.

9.3 MORFOMETRICOS DE CAUCE EN FORMA CUANTITATIVA

Para cada tramo se midieron los parámetros morfológicos de longitud de onda (L_o), amplitud (A), anchura (w) y longitud de meandro (Pinilla, et al. 1995, p.102) (ver figura No.13).

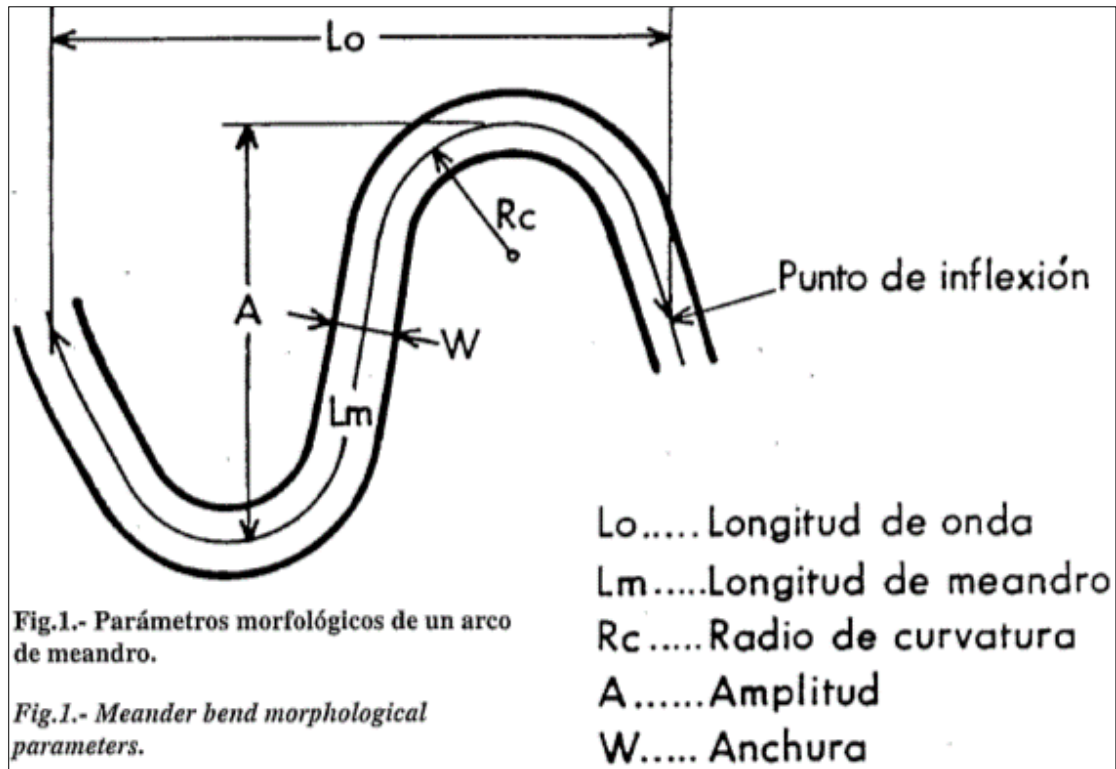


Figura No.17. Parámetros morfológicos de un arco meandrónico

Pinilla, et al. 1995, p.103

9.4 ANTRÓPICOS

Se hizo un listado de las comunidades distribuidas a lo largo de la planicie aluvial en la cuenca baja del río Chixoy que habitan cerca del cauce del río. Se realizaron visitas para explicar el tema de investigación y se invitó a una evaluación comunitaria de cartografía participativa (García y Salgado, 2010, p.10). Dentro de la comunidad se entrevistó a las familias que tenían más años de residir en ella o que fueran fundadoras de la misma. Esta selección se basó en función de que estas personas poseen mayor tiempo de vivir en la región, y por lo tanto con sus experiencias y conocimientos pueden contribuir a conocer con mayor profundidad la dinámica temporal del Río Chixoy.

Las entrevistas fueron semiestructuradas, orientadas a una conversación con el entrevistado de forma que narrara sus experiencias y memorias (Barroso, 1989, p.150). Las entrevistas y registros históricos se utilizaron para construir la línea social y climatológica, y correlacionar los eventos climatológicos y antrópicos en su influencia sobre el cauce del río (Geilfus, 2002, p. 25).

También se realizaron visitas a instituciones relacionadas con el tema, como la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres-CONRED, Cruz Roja, Instituto Geográfico Nacional-IGN- y el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología-INSIVUMEH-. Las revisiones bibliográficas se hicieron en la hemeroteca nacional, Museos de arqueología, libro de actas en la municipalidad de Cobán y libros de actas de los Consejos Comunitarios de Desarrollo Urbano y Rural –COCODE’S- en las comunidades visitadas.

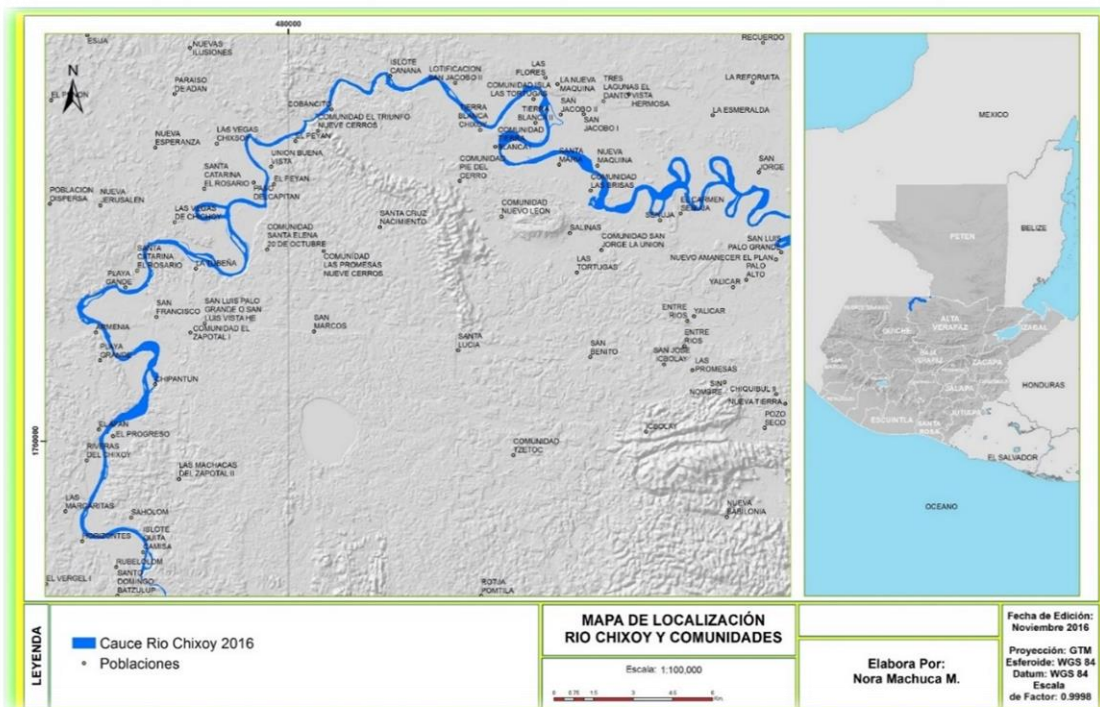


Figura 18 Mapa comunidades de la Ecoregion Lachua.

Fuente: elaboracion propia.

10 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

10.1 ANÁLISIS EXPLORATORIO Y DE COMPONENTES PRINCIPALES

Cuando se desea analizar una gran cantidad de información acerca de algún aspecto o alguna variable (la información de precipitación en este caso), es de gran utilidad el empleo de métodos de análisis multivariado, ya que ayudan a resumir las variables que pueden estar correlacionadas, por medio de relativamente pocos componentes que los simplifican. El análisis multivariado se refiere a todos los métodos estadísticos que analizan simultáneamente medidas múltiples de cada individuo u objeto sometido a investigación (Gibaja, 2008, 36). En este estudio se utilizó el análisis de componentes principales (ACP), para realizar una comparación temporal (tratamientos 1962-presente) de las variables respuesta de los diferentes meandros activos y abandonados (parámetros morfológicos y tasas de migración) del Río Chixoy de la parte norte de la Ecoregión Lachuá (Cortés, 2010, p59). Para representar la variabilidad espacial y temporal de la morfología de los meandros, se utilizaron Cajas de Tuckey (González, Díaz de Pascual, Torres y Garnica, 2000, p31.).

La información de precipitación fue recopilada en el INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología). La variación de la precipitación de un año a otro es indudablemente un valor importante, ya que puede ser medida con parámetros estadísticos, como media, mediana, desviación estándar y rangos inter-cuartiles, por lo que se utilizaron cajas de Tuckey para representar dicha variabilidad. El análisis de estos parámetros demuestra la estructura de las series a pesar de que sean necesarios otros parámetros estadísticos (Nery, Thomaz y Franca, 1998, p.129). Las actividades antrópicas se consideraron variables cuantitativas de escala nominal, según su presencia-ausencia; y ordinal, según su intensidad relativa. La contrastación de la hipótesis de investigación se realizó a partir de análisis canónicos, en los que se combinó la matriz de datos utilizada para el ACP (parámetros morfológicos y tasa de migración), como matriz de respuesta (variables dependientes); y otra con información de precipitación (datos INSIVUMEH) y actividad antrópica, como matriz explicativa (variables independientes).

10.2 ANÁLISIS TEMPORAL

Por medio del análisis temporal se evidencio el desplazamiento de las curvas meándricas del Rio Chixoy en un tiempo determinado (Morales, 2009, p.10). Una vez conocidos los cambios temporales de la orilla del cauce activo, se realizó la zonificación de la estabilidad o movilidad del lecho en el periodo de tiempo definido para el análisis. A partir de esta zonificación se estableció una escala de rangos de los desplazamientos identificados. Cuando la movilidad de las orillas no es alta y se encuentra bajo su margen del lecho estable o permanente, la zonificación se realizó desde cada orilla, pero si las orillas se entrecruzan y se pierde el cauce estable, la movilidad se realizó teniendo en cuenta el desplazamiento máximo por cada margen. La estabilidad del cauce está determinada por la permanencia espacial de su cauce activo en un lugar determinado, y la movilidad se establece por los desplazamientos que han tenido las orillas sobre su lecho mayor (Vargas, 2008, p.225).

10.3 TASA DE MIGRACIÓN

Los tramos de cursos seleccionados se segmentaron para poder identificar sectores con marcado diseño meandriforme (Figura 14). Para cada una de las curvas C_i identificadas de tiempo (t_1 y t_2) que describen la migración, se determinaron su área (A_{Mi}) y perímetro (P_{Mi}) para formar la base de datos usadas en el análisis de migraciones. En esta expresión conviene expresar M_i en metros/año (m/a), ya que los valores referenciales publicados en la literatura habitualmente se indican en esas unidades (Farias, Dominguez, Reuter, 2011).

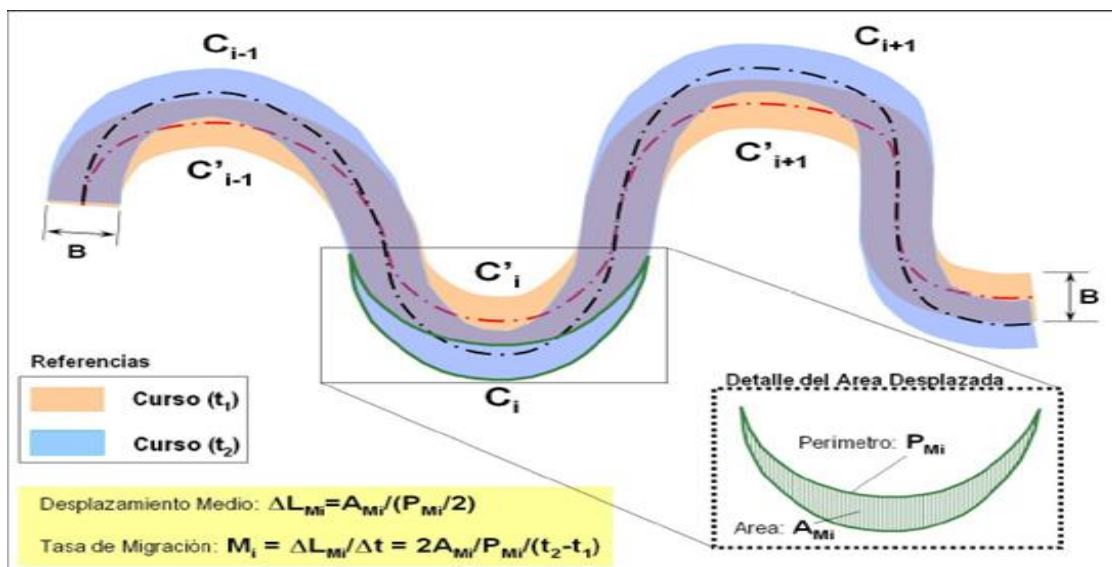


Figura No.19. Definición en planta para calcular la tasa de migración. (Fariás et al 2011)

11 RESULTADOS.

11.1 PROCESO DE MIGRACIÓN (DESPLAZAMIENTO LATERAL) DEL RÍO CHIXOY

Para observar los cambios temporales en el cauce del río Chixoy se elaboraron 6 mapas (Figuras 20-25). Las figuras 20-23 corresponden a la forma del cauce en los años de estudio: 1962, 1987, 2006 y 2016. En la figura 24 se encuentra la superposición de todos los cauces analizados en un mapa cartográfico para facilitar la localización geográfica del Parque Nacional Laguna Lachuá y su Zona de Influencia. En la figura No. 25 se encuentran señalados nuevos meandros en la superposición de los cauces.

Los cambios cualitativos del movimiento de los meandros y del cauce entre 1962 a 2016, son más acentuados en el año 2016, debido a que se formaron seis nuevos meandros ese año, en la parte Norte de la Ecoregión justo al terminar la delimitación de esta (ver figura 25); además, se formaron pequeñas islas en medio del cauce en la sección Noreste del área de estudio.

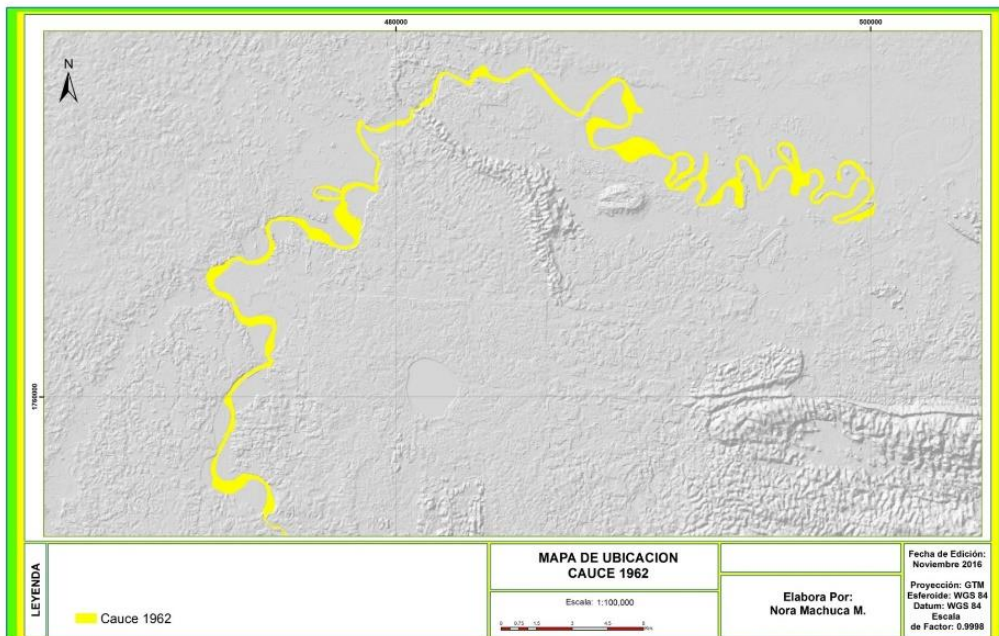


figura 20. Cauce Río Chixoy 1962

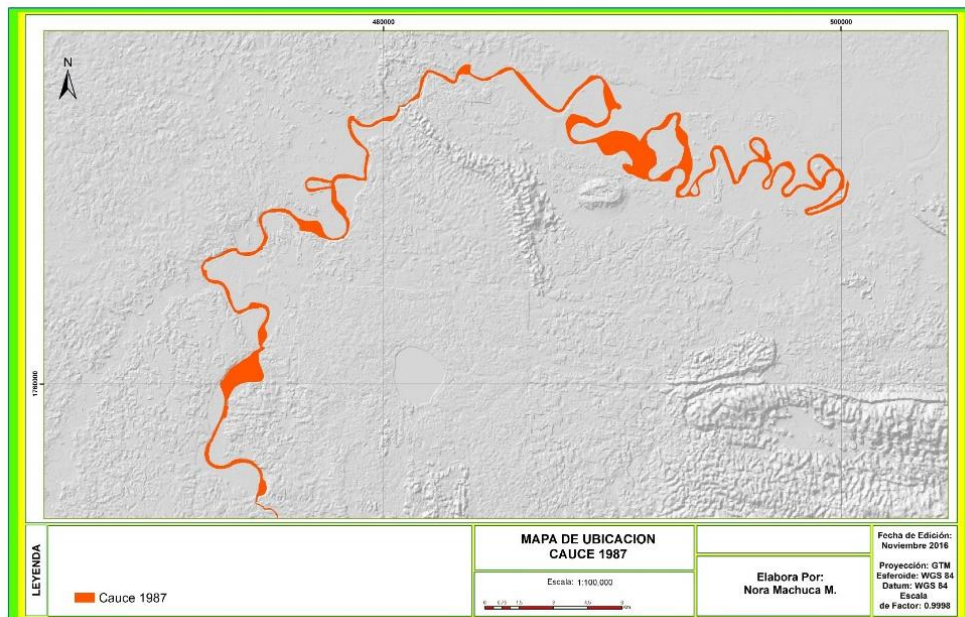


figura 21. Cauce Río Chixoy 1987

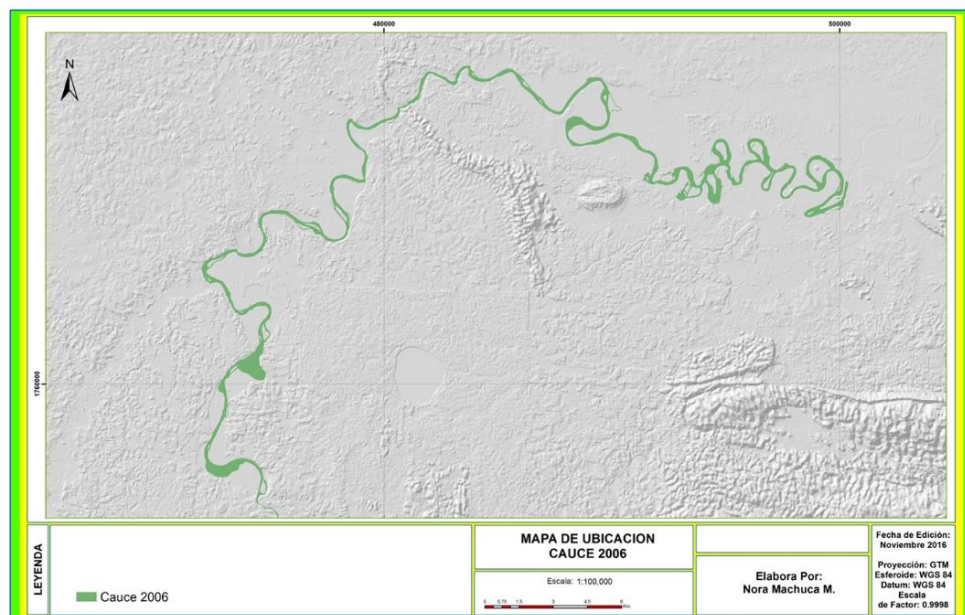


Figura 22. Cauce Río Chixoy 2006

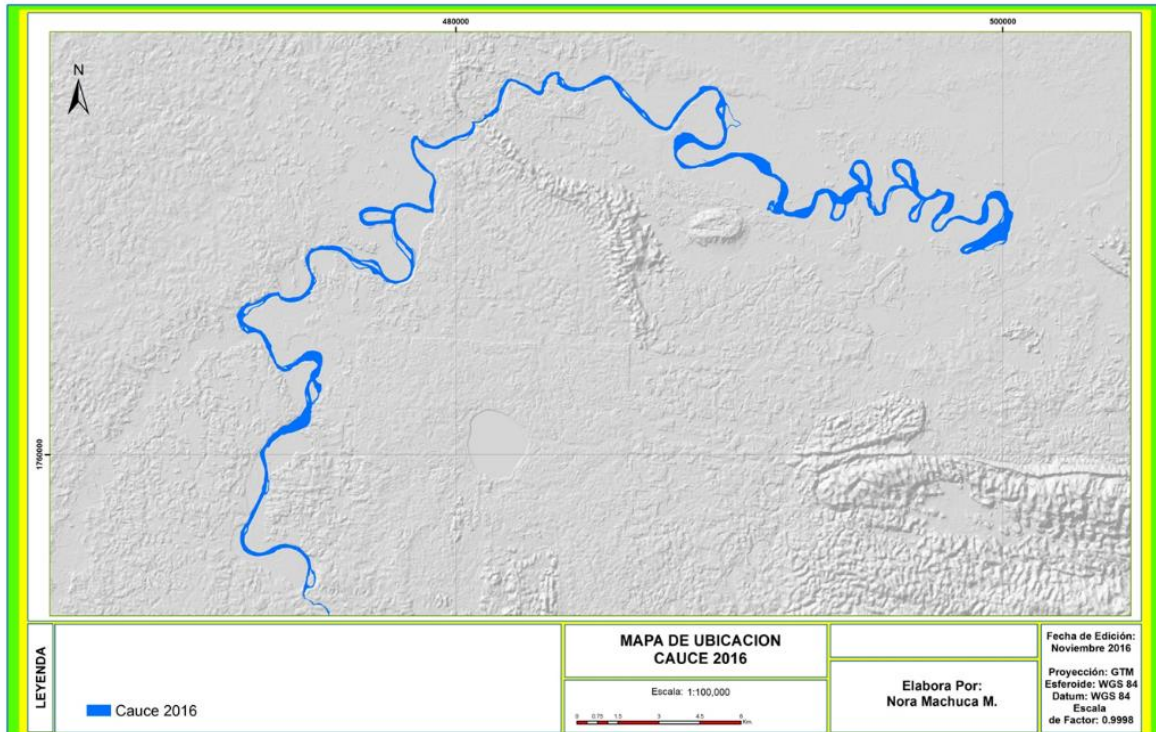


Figura 23. Cauce Río Chixoy 2016

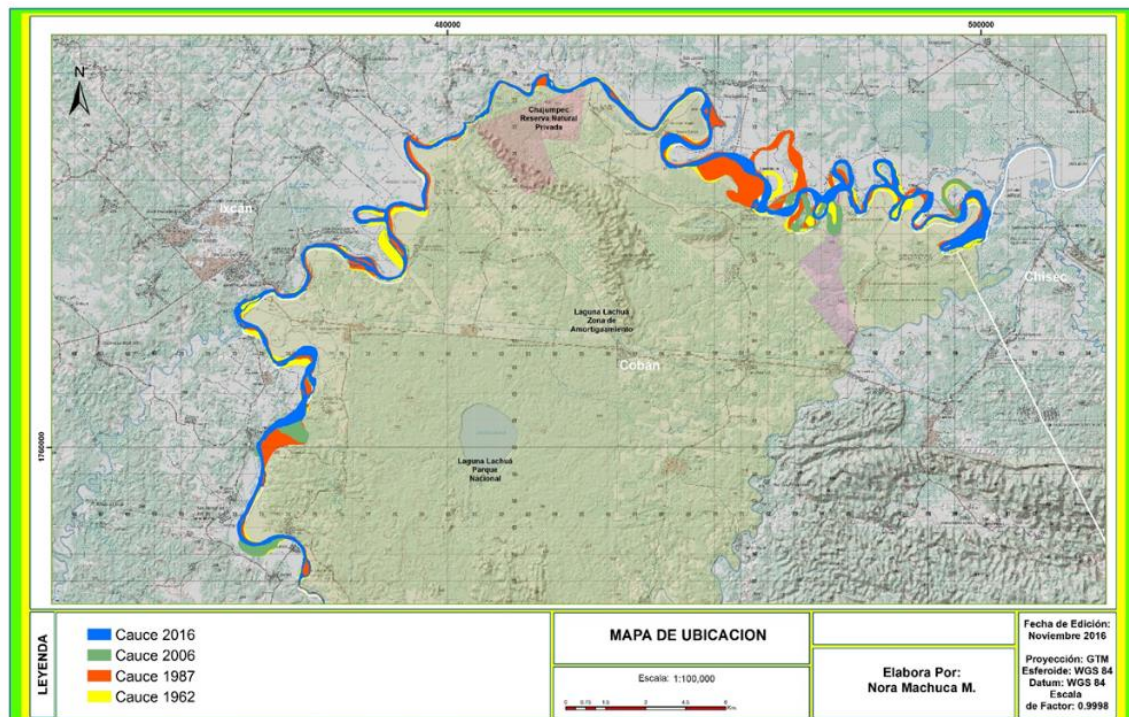


Figura 24. Superposición de Cauces del río Chixoy 1962, 1987, 2006 y 2016 en la sección Norte de la Ecorregion Lachua.

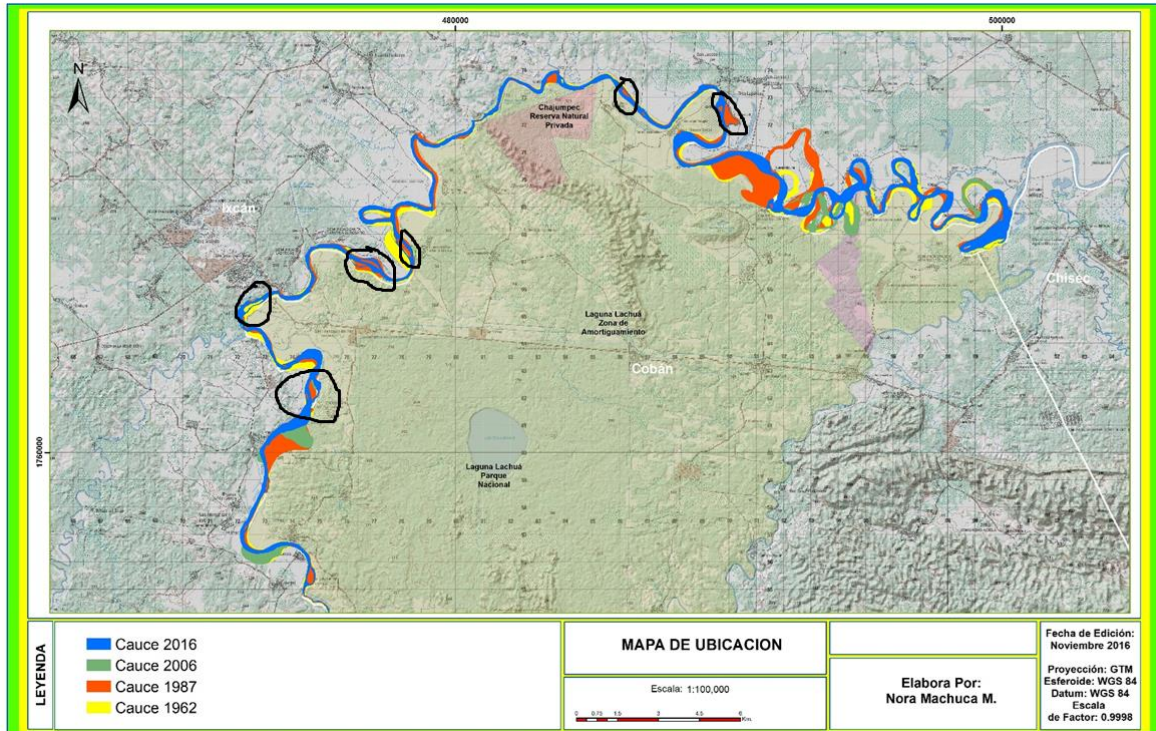
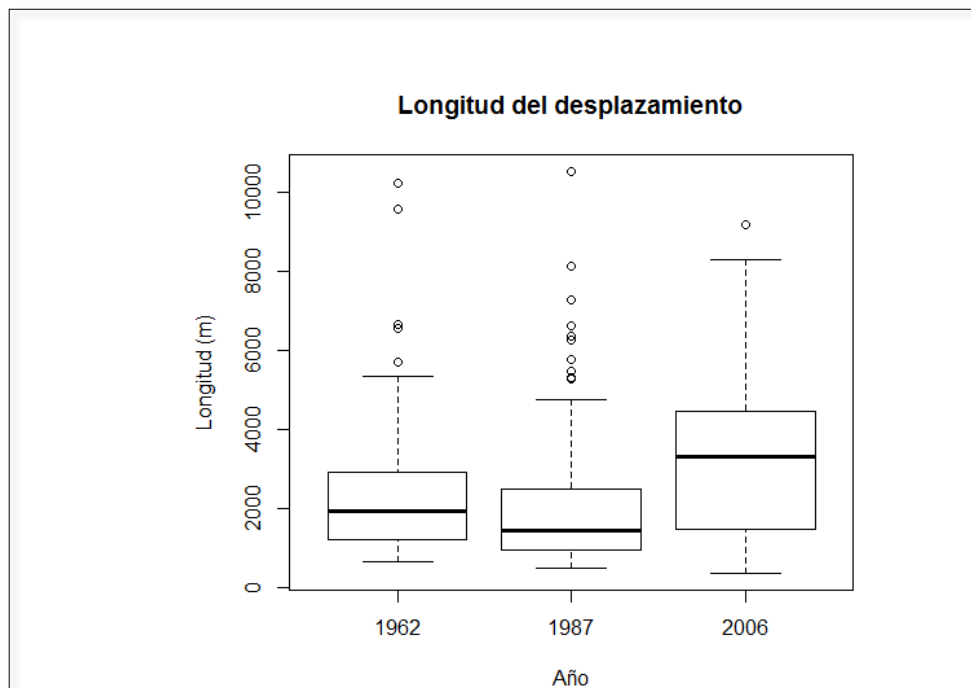


Figura 25. Delimitación de nuevos menadros. Superposición de Cauces del río Chixoy 1962, 1987, 2006 y 2016 en la sección Norte de la Ecorregion Lachua.

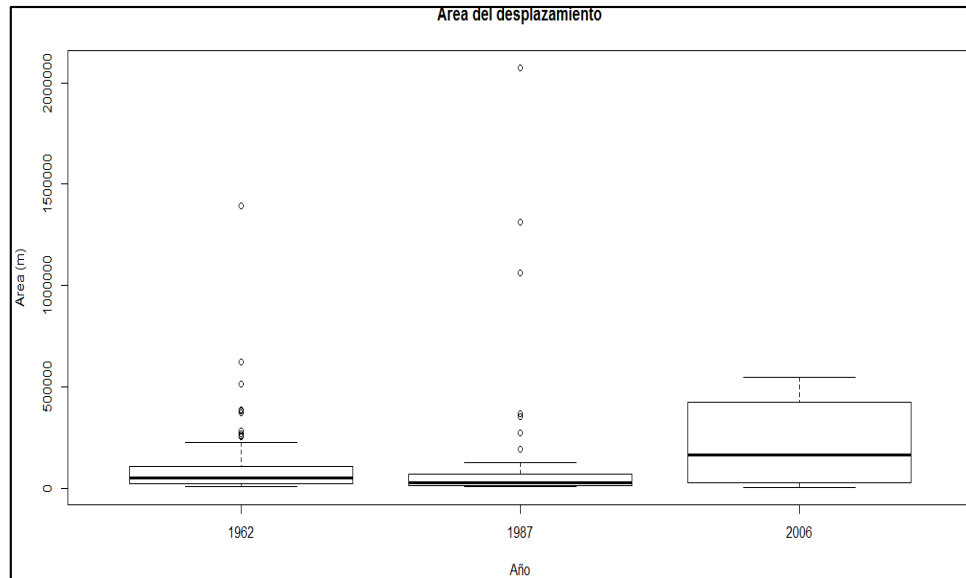
11.2 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE ARCOS MEÁNDRICOS

Los cambios cuantitativos del movimiento del cauce del Río Chixoy a través de los años analizados (1962, 1987 y 2006) comparados contra el último año de estudio (2016), se observaron en las figuras 26 a 30.



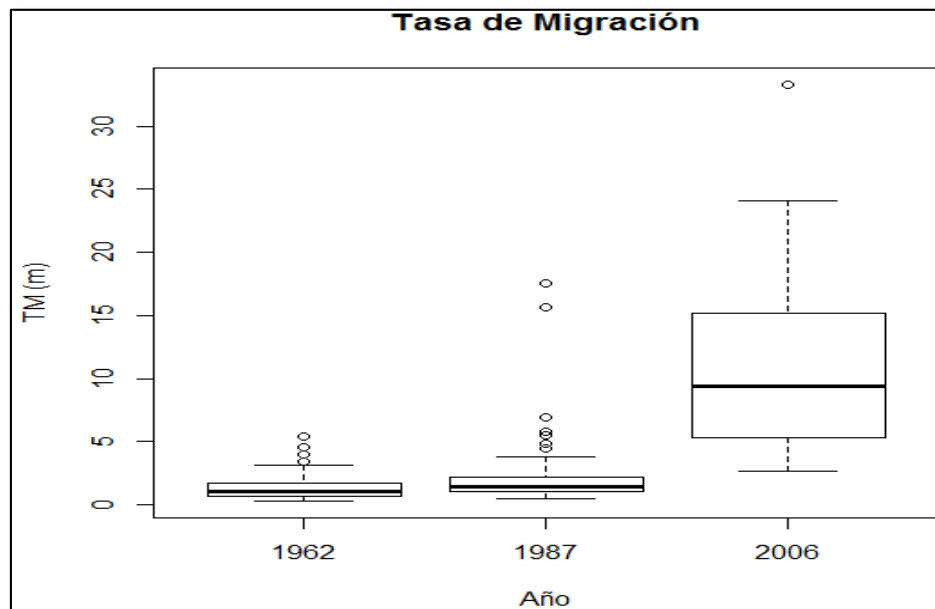
Fuente: elaboración propia. Eje X año, eje Y longitud del desplazamiento (m).

Figura No.26 Longitud del desplazamiento en los años 1962, 1987 y 2006 del Río Chixoy. El año 2006 tuvo 2000 metros (m) más de desplazamiento en comparación con el año 2016, por el contrario el año 1987 en comparación con el 2016, tuvo 2000 m menos de desplazamiento.



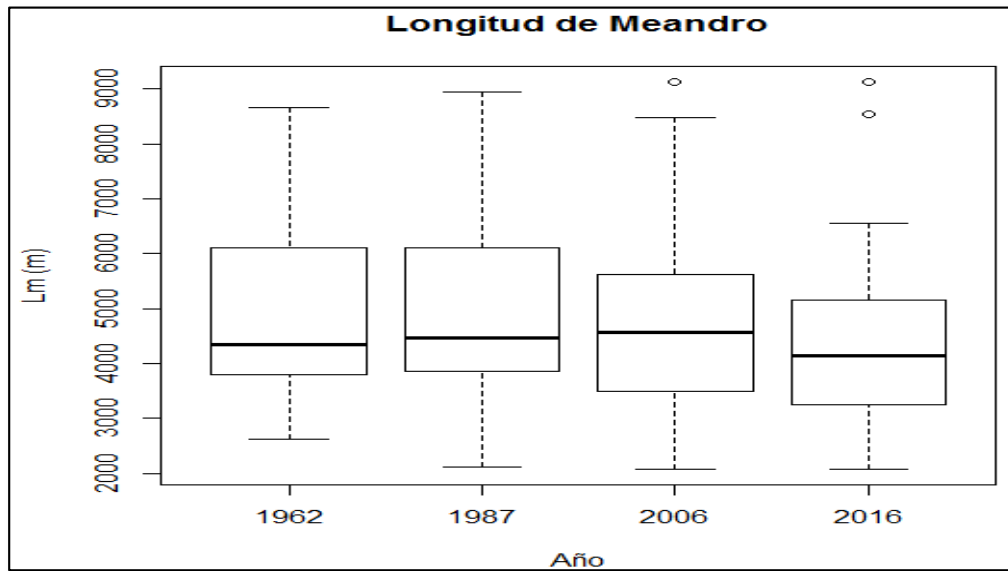
Fuente: elaboración propia. Eje X año y eje Y área (m²)

Figura No. 27 Área del desplazamiento en los años 1962, 1987 y 2006 del Río Chixoy. Al comparar 1962, 1987 y 2006 con el 2016, se evidenció que fue el año de 2006 quien tuvo mayor variación, con 239,955.2 m² de diferencia, aunque 1962 tuvo valores extremos de 1,394.514.7 m² y 1987 de 2,074,686.5 m².



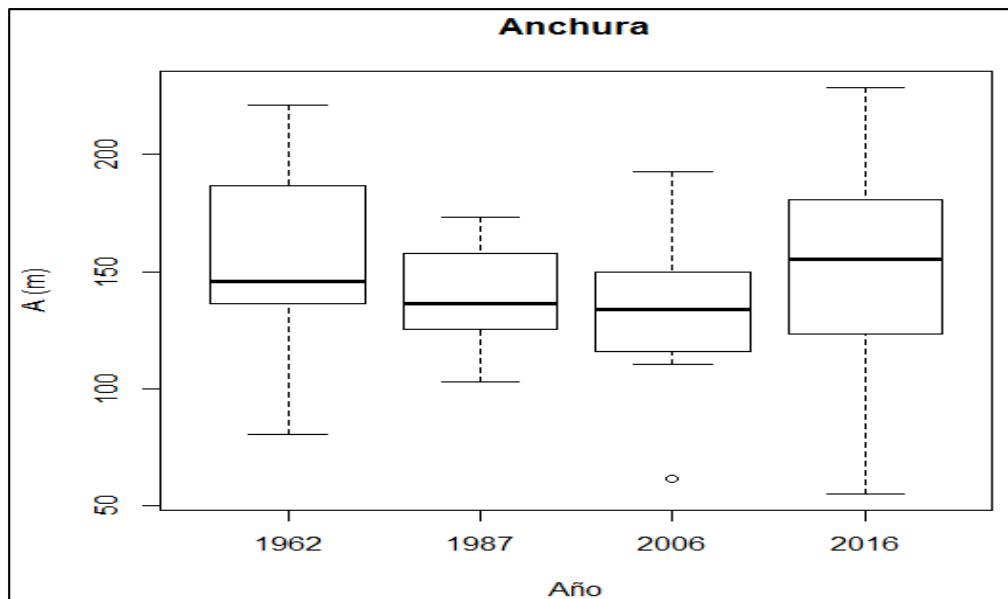
Fuente: elaboración propia. Eje X año, eje Y tasa de migración (m)

Figura No. 28 Tasa de Migración en los años 1962, 1987 y 2006 del Río Chixoy. Se observó que el año 2006 tuvo la mayor migración con 24 metros (m) y 1962 la menor tasa de migración con 3.12 metros(m).



Fuente: elaboración propia. Eje X año y eje Y longitud del meandro (m).

Figura No. 29 Longitud de Meandro en los años 1962, 1987, 2006 y 2016 del Río Chixoy. Al analizar cada año de estudio, 2016 fue el que tuvo menor longitud con 6,546 m, y 1987 el año con mayor longitud con 8,940 m.



Fuente: elaboración propia. Eje X Año y eje Y Anchura (m).

Figura No. 30 Anchura de Meandro en los años 1962, 1987, 2006 y 2016 del Río Chixoy. El año 2016 tuvo el cauce más ancho con 228.4 m, mientras que el año 1987 tuvo el cauce menos ancho con 173.4 m.

Las tablas No. 1 y No. 2 muestran la media y desviación estándar de los parámetros morfológicos del cauce del Río Chixoy.

Tabla No. 1. Longitud, área de desplazamiento y tasa de migración del río Chixoy en los años de 1962, 1987 y 2006.

Años	Longitud del desplazamiento		Área de desplazamiento		Tasa de Migración	
	Media (m)	Desviación	Media (m ²)	Desviación	Media (m)	Desviación
1962	2461.11	1984.67	113267.74	184503.60	1.39	1.00
1987	2173.54	1928.15	103647.53	287002.59	2.17	2.60
2006	3477.24	2844	239955.20	217982.17	11.99	9.07
Promedio	2703.96	2252.27	152290.16	229829.45	5.18	4.23

Fuente: Elaboración propia

TablaNo. 2 Longitud de meandro y anchura del río Chixoy en los años 1962, 1987, 2006 y 2016.









Años	Longitud de meandro		Anchura del Río	
	Media (m)	Desviación	Media (m)	Desviación
1962	4950.92	1784.33	149.10	38.54
1987	5006.85	1901.03	137.62	20.84
2006	4931.64	1972.53	135.31	31.82
2016	4700.14	2083.46	154.10	44.10
Promedio	3667.48051	1444.4807	145.118571	33.8273239

Fuente: Elaboración propia

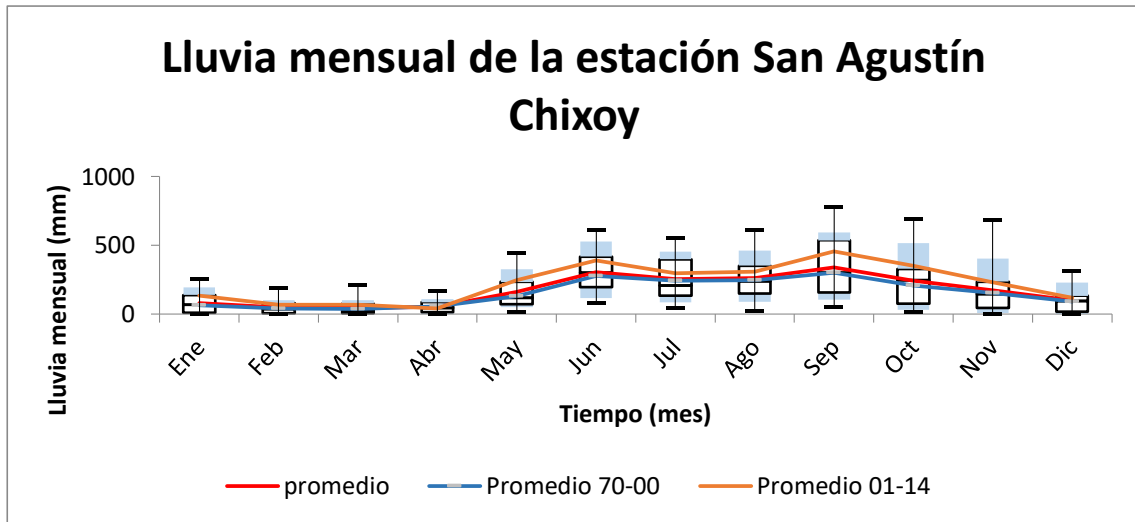
11.3 LÍNEA SOCIAL E HIDROLÓGICA TEMPORAL

En la reseña climática-y social (Tabla No.3) se detectó que en 1998 impactó el huracán Micht, en 2001 hubo fuerte sequía y en 2005 impactó la tormenta Stan. En 2010 el paso del huracán Agatha, y en 2016 el huracán Matthew provocaron inundaciones.

Tabla No. 3 Reseña climática y social

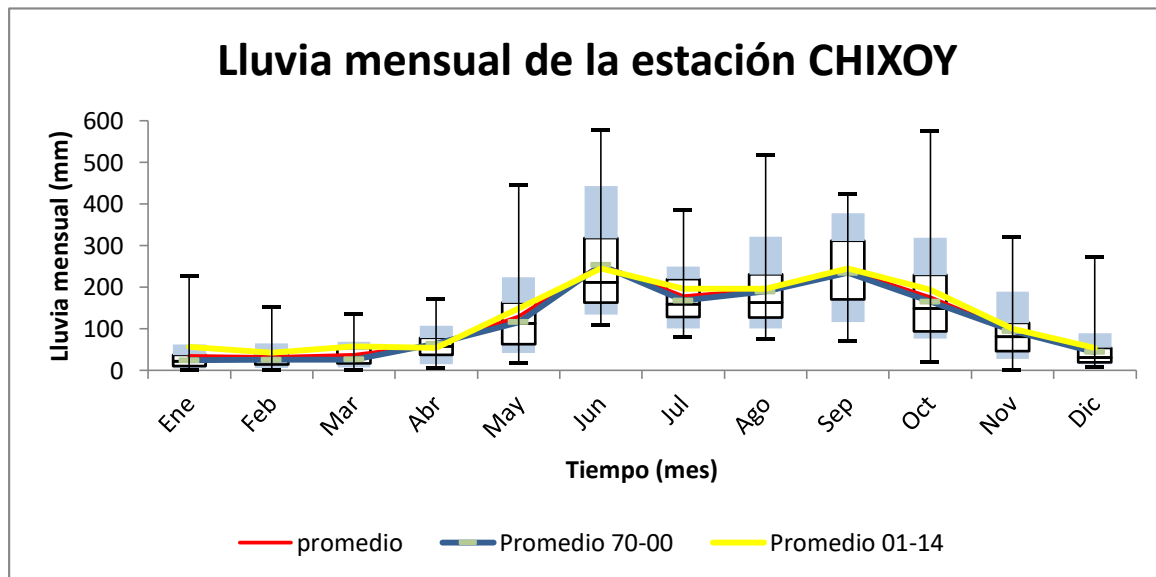
<p>Leve incremento de lluvia por tendencia a enfriamiento en el Pacífico.</p> <p>El huracán Hattie impactó en 1961 y en 1971 el huracán Laura.</p> <p>En 1974 se registra tormenta tropical y el huracán Fifi provoca desastres e inundaciones en Guatemala</p>	<p>Desde 1986- 88 hay fuerte impacto de El Niño pero en 1988-89 también hay un impacto muy fuerte de La Niña y en 1991-92 hay un impacto fuerte de El Niño. En 1997-98 impacto muy fuerte de El Niño. De 1988-2000 impacto moderado a fuerte de La Niña.</p> <p>En 1998 impactó el huracán Micht, en 2001 fuerte sequía. Y en 2005 impacto la tormenta Stan.</p>	<p>De 2002-03 impactó moderado de El Niño.</p> <p>En 2007-08 impacto moderado de La Niña. En 2009-10 impacto moderado de El Niño. En 2010-11 impacto moderado de La Niña. En 2016 impacto muy fuerte de El Niño.</p>	<p>En 2010 paso del huracán Agatha, en 2013 el huracán Barry y en 2016 el huracán Matthew</p> <p>Bajo impacto fuerte de El Niño.</p>
 <p>1962</p> 	 <p>1987</p> 	 <p>2006</p> 	 <p>2016</p> 
<p>En los años 60's se forman las primeras comunidades en el lado Sur de la ecoregion</p> <p>En 1975 se empiezan a fundan comunidades en lado Noroeste en la ecoregion</p> <p>En 1977 se empiezan a fundar en comunidades en el lado Este de la ecoregion.</p>	<p>Continua</p> <p>En 1980 en el centro de la Ecoregion empiezan las comunidades.</p> <p>Empieza la construcción de la Hidroeléctrica Chixoy en 1984.</p> <p>En 1985 se empiezan a instalar comunidades a orillas del río Chixoy hasta 1995. Empieza a cambiar la vegetación a orillas del río, debido al cultivo de maíz. Se utilizó el río como ruta navegable entre las comunidades, tanto para transporte de personas como para transporte de comercio.</p>	<p>En 2006 se fundan más comunidades cercanas a las orillas del río Chixoy</p> <p>A partir del año 2002 las comunidades sufren cada dos años de inundaciones.</p> <p>Las comunidades que cultivan maíz a orillas del río Chixoy obtienen hasta 100 quintales de venta en promedio. Mientras que las comunidades que cultivan al centro de la Ecoregion obtienen 65 quintales en promedio.</p>	<p>El río Chixoy ya no es utilizado como medio de transporte por las comunidades.</p>

Fuente: Elaboración propia



Fuente: elaboración propia. Línea roja es el promedio de precipitación de 1970 a 2015, línea naranja el promedio de precipitación de 2001 a 2015, línea azul el promedio de precipitación de 1970 a 2000

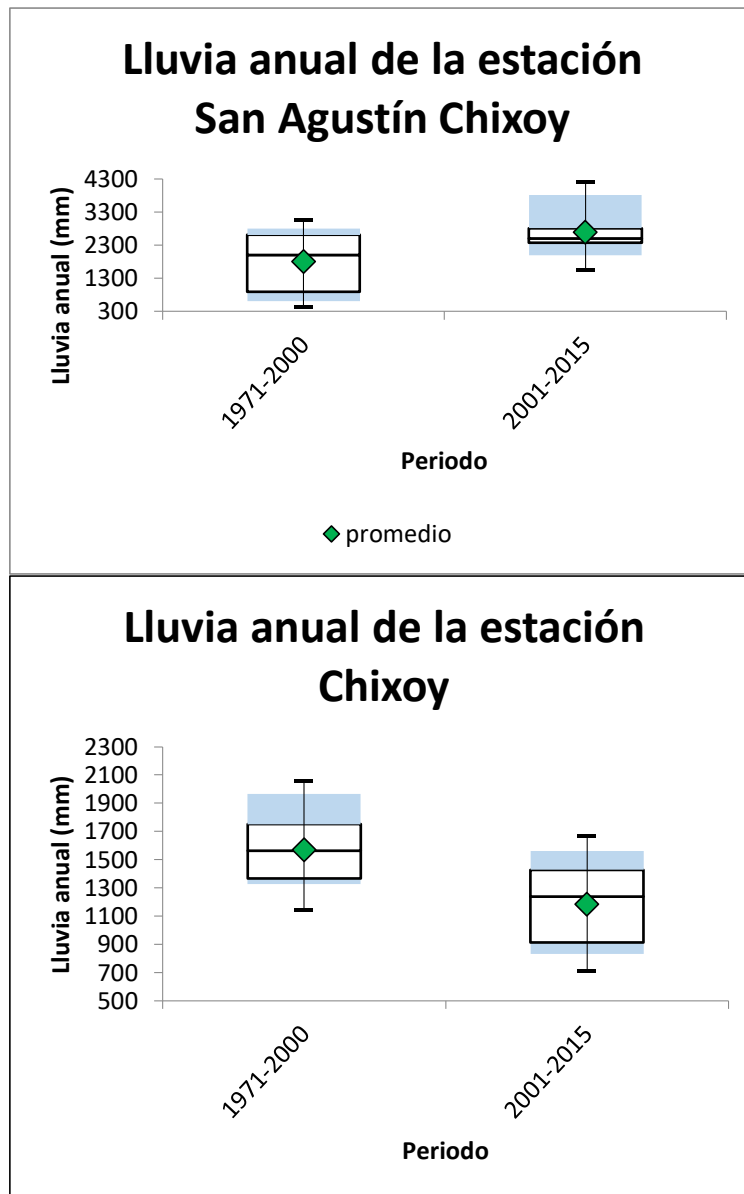
Figura No. 31. Gráfico de cajas de la precipitación mensual de la estación San Agustín Chixoy del año 1970 a 2015



Fuente: elaboración propia. Línea roja es el promedio de precipitación de 1970 a 2015, línea amarilla el promedio de precipitación de 2001 a 2015, línea azul el promedio de precipitación de 1970 a 2000

Figura No. 32 Gráfico de cajas de la precipitación mensual de la estación Chixoy del año 1970 a 2015.

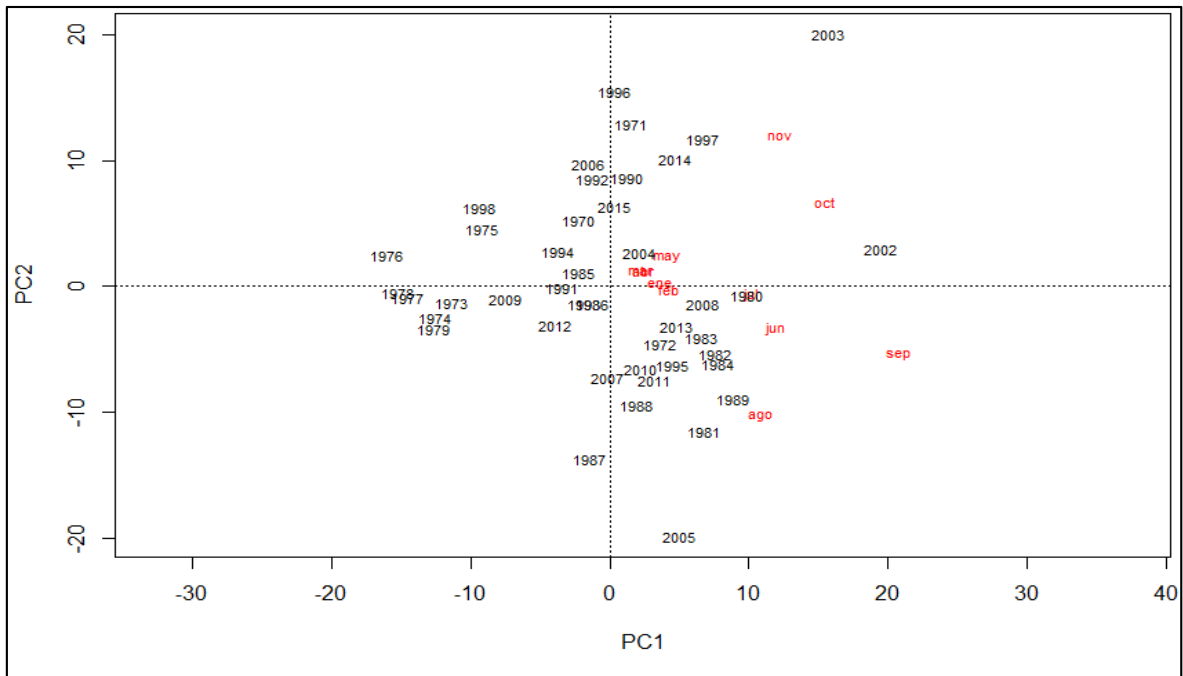
En cuanto a la precipitación mensual, la estación de San Agustín Chixoy registró mayor cantidad en comparación a la estación de Chixoy (figura No.31 y No.32).



Fuente: elaboración propia
Eje Y milímetros de lluvia y eje X periodo en años

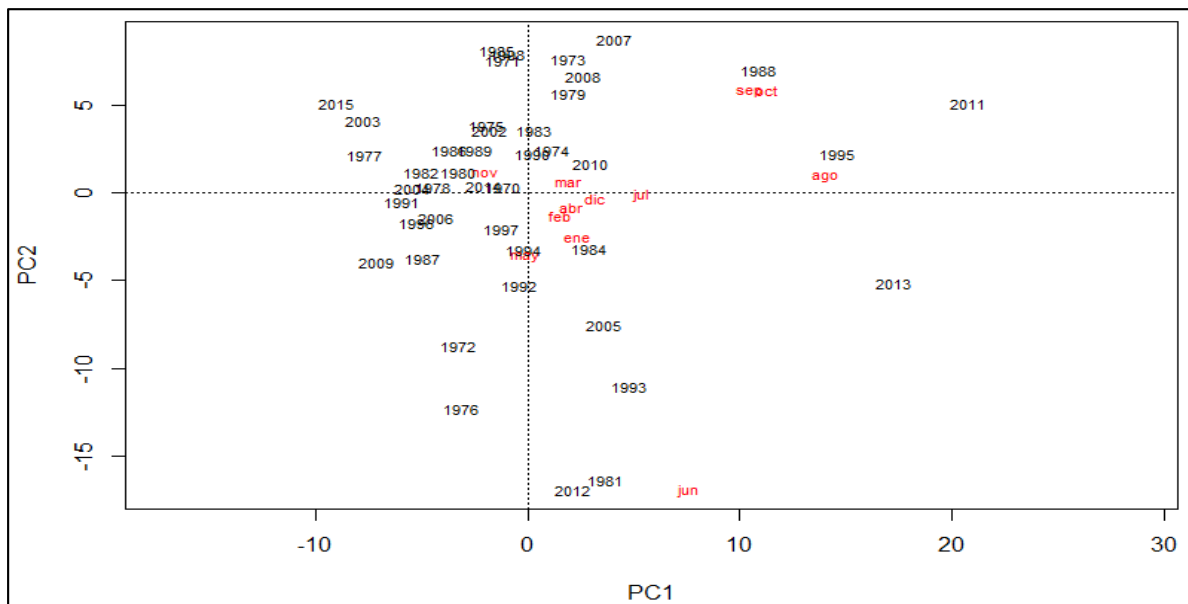
Figura No.33 Gráfico de Cajas de la precipitación anual en los periodos de 1971 a 2000 y 2001 a 2015 en de las estaciones San Agustín Chixoy y Chixoy.

En el gráfico de cajas que muestra la precipitación anual de ambas estaciones (figura No.33) se observó que en San Agustín Chixoy en el periodo de 1971-2000 el promedio de precipitación fue de 1816.1 ml y en 2001-2015 el promedio de precipitación fue de 2701.1 mm la precipitación aumento en el periodo de 2001 a 2015 con 885 mm. En la estación Chixoy en el periodo de 1971-2000 el promedio de precipitación fue de 1570.8 ml y en 2001-2015 fue de 1185.5 mm, la disminución de precipitación en el periodo de 2001 a 2015 fue de 385.4 mm.



Fuente: elaboración propia. En color rojo los meses y en color negro los años.

Figura No. 34 Componentes Principales de precipitación anual de la estación San Agustín Chixoy de 1970 a 2015.

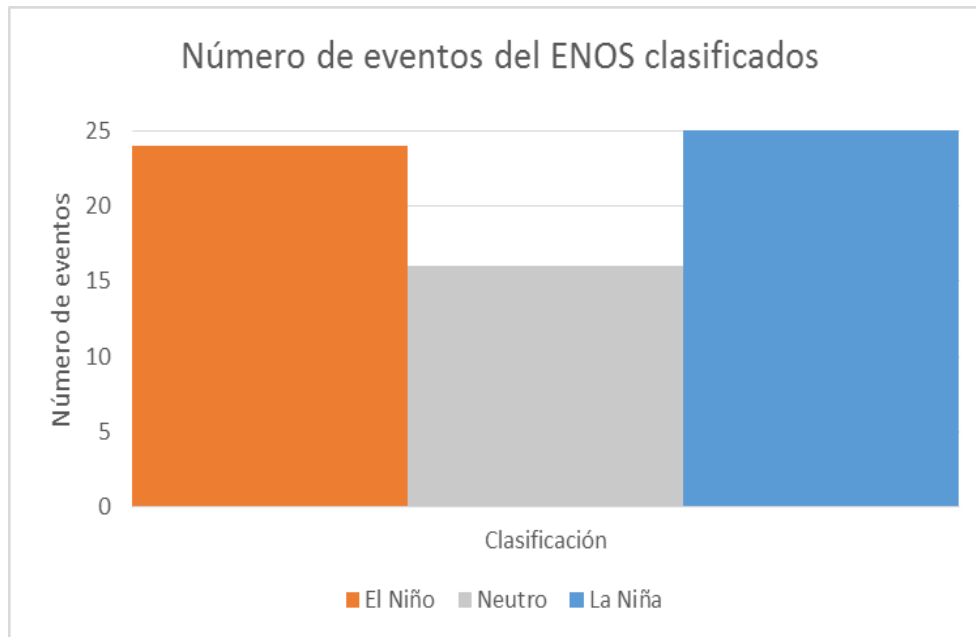


Fuente: elaboración propia. En color rojo los meses y en color negro los años.

Figura No. 35 Componentes Principales de precipitación anual de la estación Chixoy de 1970 a 2015

En los análisis de componentes principales (Figuras No. 34 y 35) se detectaron las temporadas secas y lluviosas en cada estación climática de 1970 a 2015. En la estación San Agustín Chixoy en los años 2002 y 2003 hubo mayor precipitación (Figura No. 34), mientras que en la estación Chixoy, los años con mayor precipitación fueron 2011, 2013, 1995 y 1988.

11.4 EVENTOS CLIMATOLÓGICOS Y ANTRÓPICOS



Fuente: Elaboración Propia

Figura No. 36 Numero de eventos El Niño Oscilación del Sur que han impactado a Guatemala en sus tres fases de 1970 a 2016.

En la figura No.36 se observó que desde 1950 Guatemala ha sido impactada por 24 eventos del ENOS en fase negativa El Niño, 15 estados neutros y 25 eventos La Niña, con fase positiva del ENOS.

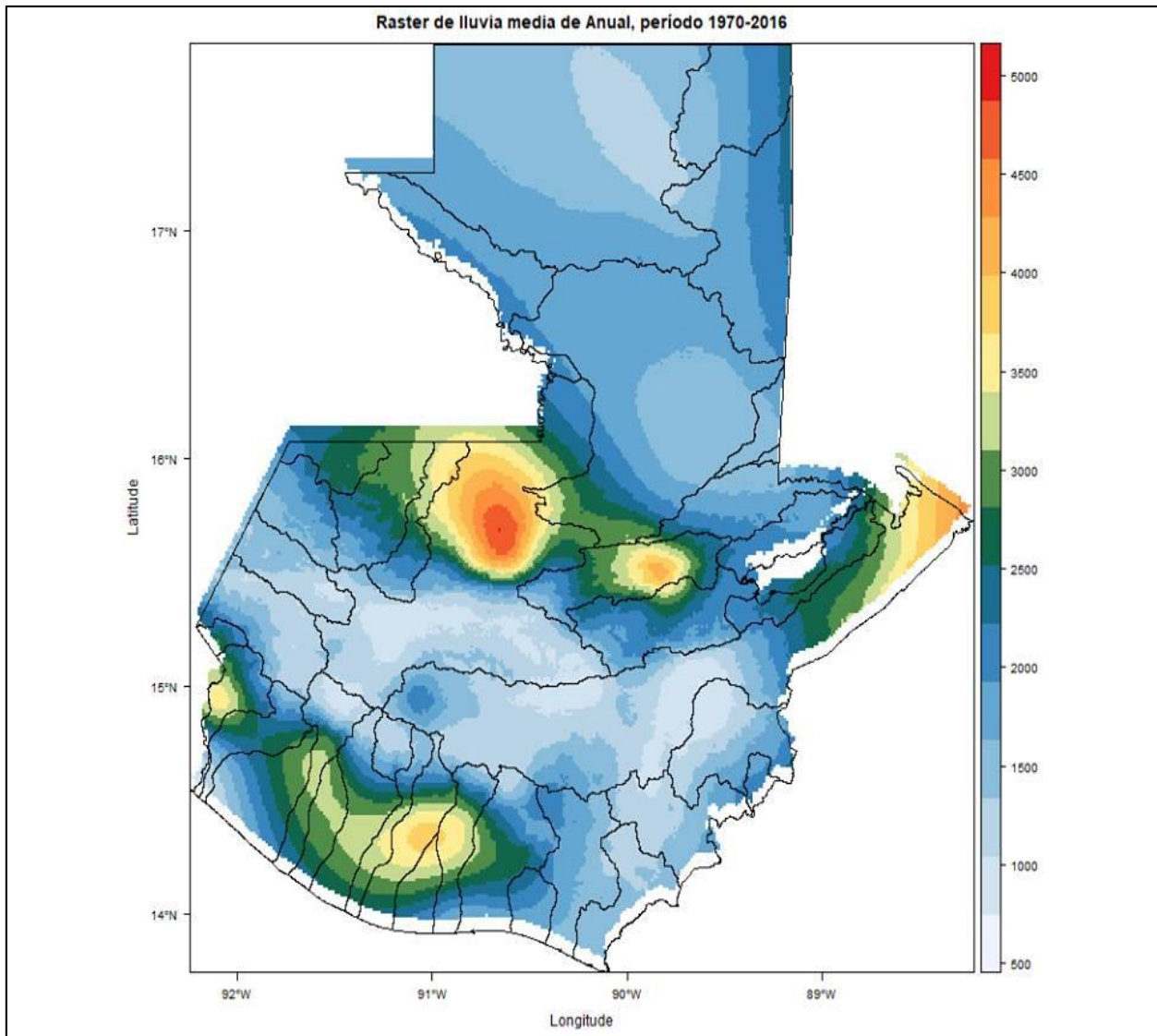


Figura No. 37. Mapa de precipitación media del año 1970 a 2016. Se observó que el área de estudio, la sección Norte de la Ecoregion Lachua ha sido una de las áreas del país con mayor precipitación con aproximadamente 2,500 a 5,000 milímetros de lluvia.

A orillas del Río Chixoy se han establecido un total de 40 comunidades (tabla No4) desde la década de 1960 hasta la década de 1990.

Tabla No.4 *Comunidades establecidas en la Ecoregion Lachua*

Ubicación Sureste	Ubicación Este
<p>A principios de los 60's, se fundan las comunidades de Salacuín, Saholom y El Castaño. Posteriormente, se dividen en nuevas comunidades: Río Tzétoc, Ixloc y Roq'ha Pomtila (1977), San Marcos (1980), Monte Sinaí (1990) y Mansión del Norte.</p> <p>En ese mismo año, y Zapotal II en el lado Sur. y al lado Sur San Benito II.</p>	<p>A finales de los años 70's se fundó la comunidad San José Icbolay (1977). Posteriormente, se establecieron las comunidades de Las Tortugas (1979), San Marcos (1980), y Santa Lucía (1980). En el centro Santa Cruz el Nacimiento (1986). En la ribera del río Chixoy al Norte Las Brisas del Chixoy (1987), San Jorge (1988), la Unión (1988) y Las Tortugas. A finales de los 80's, se fundan tres comunidades Pie del Cerro, Santa Marta Salinas y Nuevo León (1989).</p>
Ubicación Oeste	Ubicación Norte
<p>En las riberas del Río Chixoy, se fundan las comunidades de San Francisco del Río (1983). En el año de 1991, se fundaron las comunidades Islas de las Tortugas, Tierra Blanca Sebol y Tierra Blanca Chixoy cercanas al Río Chixoy.</p>	<p>Fueron fundadas las comunidades Yalicar, Entre Ríos (1975) y San Luis Vista Hermosa (1976). las comunidades Zapotal I, San Benito I y Senuhá (1985). El Triunfo Nueve Cerros (1985) y Las Promesas Nueve Cerros (1985). Santa Elena 20 de octubre (1994), Unión Buena Vista (1995) y Nuevo Amanecer el Plan (1995); y la comunidad de San Luis Palo Grande (1995), Tierra Blanca Salinas (1998) El Palmar (2006) y el Zapote (2015).</p>

12 DISCUSION DE RESULTADOS.

12.1 PROCESO DE MIGRACION (DEZPLAMIENTO LATERAL) DEL RIO CHIXOY

Los meandros no solo crecen lateralmente, también se desplazan valle o pendiente abajo (Sánchez, 2007, p.37), como se observó en el Río Chixoy en los 54 años que cubrió este estudio (figura 24). Los meandros son dinámicos espacialmente y no tienen una posición fija, ya que migran a lo largo de la llanura aluvial, dejando escarpes y barras de meandro arqueadas que marcan sus sucesivas posiciones, lo cual es visible en la figura 25, principalmente en la sección Norte de la Ecoregion Lachuá, donde se observó el cambio en la posición morfológica del cauce del Río a través de los 54 años. También se debe considerar la pendiente de la llanura aluvial de estudio, ya que cuando el río tiene menor pendiente se alcanza un estado de equilibrio en donde el río continúa la excavación lateral de las orillas, como en la sección Norte de la Ecoregión Lachuá.

La erosión lateral en la parte exterior de las curvas tiene como efecto el crecimiento de una ribera aluvial donde el desarrollo de la erosión lateral produce que el cauce del lecho de inundación del Río Chixoy se ensanche, desarrollando una sucesión de meandros. Hecho observado a partir de 1987, cuando el cauce del Río se extendió, dejando meandros desconectados (figura 21 y 22). A través del desarrollo temporal, en los 54 años de estudio el río Chixoy ha tenido migraciones laterales en la planta baja (figuras 24 y 25) donde la anchura del río ha sido diferente en cada año analizado 1962, 1987, 2006 y 2016, como lo indico la figura No.35.

Los ríos serpenteantes se desplazan lateralmente y migran longitudinalmente a través de un proceso de erosión en bancos cóncavos (Tarbut y Lutengs, 2008, p.459), proceso al cual responden el río Chixoy al iniciar la Ecorregion Lachua y al terminar en la parte norte de la Ecorregion, la erosión se ha producido continuamente especialmente en las fases de inundaciones que han ocurrido en esa área. Las erosiones principalmente se producen en la curva donde la longitud del meandro ha sido mayor (figura 25), en particular desde que el Río Chixoy incursiona en las Tierras Bajas Mayas hasta unos ocho kilómetros río abajo de la confluencia Salinas-La Pasión (Burgos, 2009, p.23), donde se observó un incremento en el número de meandros, de cauces secundarios, y de pequeños islotes. Según Leal (1993) esto puede explicarse entonces a que en el área de estudio existen puntos propicios a la erosión fluvial, determinados por el caudal del drenaje y las condiciones pedológicas y geológicas kársticas de fácil disolución.

Se conoce acerca de la influencia de la vegetación en los patrones generales de los ríos en los cauces con la más alta densidad de vegetación se observan de un solo cauce, por lo cual la vegetación juega un papel importante en la estabilización del cauce, limitando el canal de migración y permitiendo canales más profundos y estrechos (Asociación Mundial para el agua, 2008, p. 44). En la reseña histórica se narró el cambio de uso de suelo por la agricultura de las comunidades, por lo cual las características físicas del cauce, en particular, la erosionabilidad depende de la historia previa de la forma en planta, proceso de evolución, así como la presencia de vegetación, las limitaciones geológicas y efectos antropogénicos (Estrada, 2015, p.494).

12.2 ANALISIS DE LAS CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS DE ARCOS MEANDRICOS

Debido a que las inundaciones son erosivas alteran la morfología del cauce casi instantáneamente, la adaptación a esto puede ser inicialmente rápido pero se hace más lento después de 5 a 10 años, produciendo un cambio en el canal principal (Osterkamp, Hooke y Ridgway, 2006, p.6). En el área de estudio el cambio drástico en la época de lluvia fue en 1998, debido al huracán Mitch, que produjo inundaciones y por lo tanto se modificó la morfología del cauce, como en la anchura (ver tabla No.2) ya que en el año 1962 fue de 149.10 metros, el año de 1987 una media de 137.62 m, el 2006 una media de 135.31m y el año de 2016 una media de 154.10 m. El año con mayor anchura fue el 2016, seguido de 1962, 2006 y 1987.

El efecto del huracán Mitch y del huracán Stan se observó en la morfología del cauce (Ramírez, 2015, p.51) principalmente en los años 1987 y 2016 donde varió la longitud del meandro (ver las figuras 29, 30 y la tabla No.2). El año de 1962 tiene una media de 4950.92 m. El año de 1987 tiene una media de 5006.85 m. El año de 2006 tiene una media de 4931.64 m aunque este año tiene un valor máximo disperso de 9,129 m, y el año de 2016 tiene una media de 4,700.14 m.

Tomando en cuenta que la persistencia de la forma de meandros y el desarrollo de estos requiere una llanura inundable como en la sección norte en la Ecoregion Lachua, se observó cambios a través de los 54 años en la tasa de migración, el año con mayor tasa de migración fue 1987, seguido de 1962, 2006 y 2016. La migración del cauce a través de los años da como resultado el desarrollo de un flujo secundario o desarrollo de meandros en la sección norte de la Ecoregion Lachua.

El área de desplazamiento es definida por una tendencia a la bifurcación del cauce de forma asimétrica, esto ocurrió en el año 2006, con mayor área de desplazamiento de 239955 m² seguido de 1962 con 113267 m² y por ultimo 1987 con 103647 m². La bifurcación asimétrica conduce a la inestabilidad del cauce y posteriormente da como resultado el abandono de la rama exterior formando meandros (Tanarro, Díez-Herrero, Llorente, 2008, p.225).

12.3 LÍNEA SOCIAL E HIDROLÓGICA TEMPORAL

Por medio de los talleres de cartografía social realizados en las comunidades que viven a orillas del Río (ver Anexo No. 1), se identificaron los problemas que éstas presentan (Medina, 2011, p. 13), debido al movimiento (migración) del cauce del Río en el último centenio. Siendo uno de los principales problemas las inundaciones periódicas cada dos años. También valiéndose de entrevistas y de la cartografía social como metodología de investigación cualitativa y participativa, (Torre, Gaona y Varela, 2012, p.10) se realizó una reseña histórica en forma de línea del tiempo donde se conoció el cambio en el uso del suelo a través de las últimas décadas en las orillas del Río. Las comunidades han utilizado el terreno para siembras de maíz lo cual facilita el desborde del cauce del Río ocasionando inundaciones, principalmente cuando las precipitaciones son intensas por algún temporal o por efecto del paso de algún huracán como sucedió en las inundaciones ocasionadas por la precipitación intensa del huracán Mitch en 1998. Los impactos de los fenómenos hidrometeorológicos son exacerbados por las actividades humanas relacionadas con malas prácticas agrícolas, uso inadecuado del territorio (e.g. construcción de hidroeléctricas), deforestación y degradación ambiental (Novara y Rodriguez, 1996, p.63)

La hidrología de una región está determinada por sus patrones de clima, topografía, geología y la vegetación. Pero a medida que las actividades humanas invaden gradualmente el medio ambiente natural del agua, se altera el equilibrio dinámico del ciclo hidrológico e inicia nuevos procesos y eventos (Asturias, Dary, Fernandez y Donis, 2006, p.145), como ocurrió en las orillas del cauce del Río Chixoy debido a la llegada y aumento de las comunidades. Teniendo en cuenta que los procesos que controlan el clima están relacionados con la atmósfera, la superficie terrestre, los océanos, las áreas terrestres cubiertas de hielo, la Biosfera y desde luego, las actividades humanas. Las consecuencias de impactos humanos tales como cortes artificiales, construcción de represas, minería o deforestación se han observado en varios países con ríos, en forma de aumentos de meandros en su cauce (Asturias, Dary, Ferandez y Donis, 2006, p56)

El análisis de la precipitación mensual durante un periodo de 45 años, en las estaciones de San Agustín Chixoy y Chixoy, brinda una perspectiva dinámica sobre la variabilidad interanual de cada mes. Además, se observó una estación seca que se extiende de noviembre hasta mayo y una estación lluviosa que dura el resto del año, lo cual coincide con lo presentado por reportes climatológicos regionales (Aguilar 2005 p7). En la cuenca del Río Chixoy se observaron periodos mensuales de baja y alta precipitación (figuras 31 y 32), lo que posiblemente haya contribuido en la geomorfología fluvial del área de estudio en la Franja Transversal de Norte.

El análisis mensual en la cuenca alta, estación Chixoy, son del año 1970 a 2015, siendo un total de 45 años (figura 32). El mes de junio presenta mayor promedio de lluvia con 238 milímetros, aunque también existen promedios similares de precipitación en los años de 1970 a 2000 y de los años de 2001 a 2015. En el análisis mensual de la cuenca baja, estación San Agustín Chixoy, cerca de la sección Norte de la Ecorrección Lachua se observó que el mes de septiembre presenta mayor cantidad de lluvia, con los mayores promedios de 457 ml. También se observó un aumento en la precipitación durante los meses de la época de lluvia, así como mayor promedio de lluvia en los años de 2001 a 2015 en comparación con los años de 1970 a 2000 (ver figura 31).

Los huracanes y tormentas tropicales que impactaron al Río Chixoy han contribuido en los valores extremos de amplitud del cauce del Río Chixoy debido a las altas precipitaciones que estos ocasionan. Según Postel y Richter (2010), esta influencia se intensifica cuando es precedida por un período de sequía, como la ocurrida en mayo del año 1997 con disminución de lluvia en la parte alta de la cuenca y culminó en noviembre de 1998 (ver figura 24), ocasionando que el cauce del río se reduzca más de lo normal con una tasa de migración de 2.17 metros en comparación a la tasa de migración más alta de 11.9 (ver tabla No. 1).

12.4 EVENTOS CLIMATOLÓGICOS Y ANTRÓPICOS

En los últimos 14 años en Guatemala se han observado eventos hidrometeorológicos extremos, como el huracán Mitch (1998), el ciclón tropical Stan (2005) y la tormenta tropical Agatha (2010), además se han presentado sequías prolongadas o canículas más largas (Figueróa, 2016, p.25). Los efectos de esos eventos, son representados en el análisis de componentes principales de los valores de precipitación en los últimos 45 años (1970-2015). Este análisis indica una variabilidad en la precipitación que era esperada entre las estaciones San Agustín Chixoy y Chixoy (figura No.33),

debido a que las estaciones están ubicadas en regiones climáticas diferentes dentro de una misma cuenca hidrológica. En la estación Chixoy ubicada en la cuenca alta (figura 32) se observó en el primer componente que los meses se ordenaron según las estaciones seca y lluviosa, los meses de agosto, septiembre y junio tienen mayor cantidad de precipitación en los 45 años, y los años 1995, 1998, 2011 y 2013, tuvieron mayor precipitación. En la estación San Agustín Chixoy en la cuenca baja (figura 31) también se ordenaron los meses según las estaciones seca y lluviosa, los meses de agosto, septiembre y junio tienen mayor cantidad de precipitación en los años de 1970 a 2015, y los años 2002 y 2003 tuvieron mayor precipitación. En ambas estaciones se observó variaciones de precipitación en los años y meses, lo cual está relacionado a ciclones tropicales (ver anexo 2), que aumentan los niveles de los ríos ocasionando inundaciones en las llanuras aluviales, siendo el número de ciclones tropicales para el Océano Pacífico de 69 y para el Atlántico 55.

La cantidad de precipitación ocasionada por los ciclones tropicales es diferente en la cuenca alta y baja del Río Chixoy, como se observó en el registro de la estación San Agustín Chixoy en 2003 y 2002 (figura 31), y en la estación Chixoy (figura 32), en 1988, 1995, 2011 y 2013. Los ciclones tropicales provocan un aumento de la precipitación en la cuenca alta de Río Chixoy, produciendo aumento en la velocidad del cauce y por lo tanto produce inundaciones en la parte baja de la cuenca (Instituto Nacional De Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, 2015).

En la variabilidad climática diversos estudios han demostrado que muchos impactos que se producen a nivel local están relacionados a anomalías climáticas de gran escala temporal, como el fenómeno El Niño/Oscilación del Sur (ENOS), el cual genera eventos extremos asociados particularmente en Latinoamérica, influenciando en anomalías de la precipitación e impacto en los caudales de los ríos (Pierre y María Tirado, 2007). El efecto ENOS en su fase El Niño y La Niña ha impactó a Guatemala de forma severa en las últimas décadas (figura 36). Donde a partir del 2001 se ha repetido e intensificado el efecto ENOS en Guatemala en su fase El Niño (INSIVUMEH, 2016) el cual ha impactado más en la estación Chixoy (figura No. 33), la precipitación de 1971-2000 es mayor con 1570 ml y en el intervalo de 2001-2015 tuvo menos precipitación con 1,185.4 ml, debido al efecto El Niño la precipitación disminuyó, la diferencia en ambos periodos fue de -385.4 ml. Pero la estación San Agustín Chixoy (figura 33) ha sido impactada por La Niña, para el periodo de 1971-2000 la media de precipitación es de 1,816.1 ml y para el periodo de 2001-2015 es de 2701.1 ml. El aumento de precipitación en el segundo periodo fue de 885 ml. En la parte alta de la cuenca disminuyó la precipitación de 2001 a 2015 con 385 milímetros menos, pero en la parte baja aumento con 885 milímetros, lo cual provoca cambios en la geomorfología del cauce.

El análisis de El Niño - La Niña a escala Interanual ha evidenciado una variabilidad climatológica de año en año, la precipitación de la época lluviosa en el cauce del río Chixoy no siempre es la misma de un año a otro. Por ejemplo, en México, la precipitación nacional promedio también está influenciada por ENOS (Cruz, 2006, p.76), varias ciudades de Brasil sufrieron graves efectos por los deslizamientos e inundaciones durante El Niño, en 1997 y 1998 (Tuukki, Jokien y Kalliola, 1996, p123). En Colombia las dinámicas de ocurrencia e intensidad del ENOS han tenido consecuencias principalmente en los patrones de precipitación (Pinilla y Pinzón, 2010 582.). El mecanismo desencadenante fue la lluvia intensa y continua provocando inundaciones, particularmente en el ENOS 97-98, pero en las últimas décadas la frecuencia del ENOS ha sido mayor (Zeballos, 2004 p. 60). Por lo cual conocer la reducción o aumento de la precipitación, la longitud de meandro, anchura y tasa de migración del caudal que se presenta en la cuenca cuando ocurren las fases extremas de ENOS permite tener un mejor conocimiento del comportamiento de la cuenca (Ávila, Carvajal, Gutiérrez, 2014, p.122).

Del año 1950 al 2014 se han registrado 24 fenómenos de El Niño, algunos de gran duración (Abril 1991 a Julio 1992) y de corta duración (Febrero a Agosto 1993). Los eventos El Niños más intensos se registraron en los periodos de 1997-1998, 1982-1983 y 1972, estos se han caracterizado por ser de corta duración pero su efecto ha causado un gran impacto en el clima, ya que las lluvias disminuyen considerablemente afectando los acumulados de lluvia por debajo de lo normal, reduciendo el cauce del río. Del año 1950 al 2014 se han registrado 25 fenómenos de La Niña, algunos de gran duración (Marzo 1954 a Febrero 1957) y de corta duración (Octubre 1995 a Marzo 1996). Las Niñas más intensas se registraron en 1974-1975, 1988, aumentando los acumulados de lluvia por arriba de lo normal (Figueróa, 2016, p.89). En Guatemala estos fenómenos impactan principalmente en la variación de la lluvia y en la canícula, provocando disminución en el cauce del río Chixoy cuando hay fenómenos de El Niño, el cual después tiene un aumento debido a las crecidas por los acumulados de lluvia arriba de lo normal.

También se considera la migración de la Zona de Convergencia Intertropical – ZCIT (sistema productor de lluvias), como una de las más importantes fluctuaciones climáticas que explica la variabilidad de la precipitación en Guatemala. Aunque existen otros factores que también tienen influencia en la precipitación de Guatemala como los vientos alisios. Y en vista de un aumento hipotético futuro en la temperatura superficial del mar (Aguilar, 2005, p.22), el inicio de una fase de ampliación de la Oscilación del Atlántico Norte, y la intensificación de la temporada provocaría un aumento de la precipitación nacional y de inundaciones, y por lo tanto, un incremento en la variabilidad de la geomorfología fluvial. En la figura 37 se observó que el área de la cuenca baja de

la Ecoregion Lachua ha tenido precipitación con más de 3500 milímetros de lluvia en cada año desde 1970 a 2016, siendo una de las áreas con mayor precipitación del país.

Los cambios inducidos por las actividades humanas (e.g. agricultura y deforestación) se consideran independientes de la variabilidad climática, y así mismo influyen en el transporte de sedimentos de sistemas fluviales y en el movimiento del cauce (Lagasse, Spitz, & Zevenbergen, 2004, p.69). Como se observó en la variabilidad geomorfológica de los parámetros analizados, existe un cambio pronunciado a partir del año 1987, posiblemente relacionado a procesos de colonización que se dieron hasta el año 2006. En estos 19 años se dieron migraciones relacionadas al proceso de firma de paz en 1996 (i.e. retornados), con dinámicas particulares después del fin del conflicto armado. Los pulsos migratorios se han relacionado a procesos de cambio de uso de suelo en la Ecoregión Lachuá, lo que incluye un aumento de la deforestación (e.g. agricultura y ganadería), incluyendo bosques en la ribera del río (Giménez, 2001, p.6). La remoción de la vegetación en la ribera del río tiene un efecto en el flujo del agua de lluvia, ya que la misma no es interceptada, ni infiltrada, por lo que escurre y erosiona con mayor facilidad los suelos, lo que por un lado resulta en un mayor transporte de sedimentos; y, por otro lado, en un aumento del caudal y de inundaciones. En los periodos de estación seca y de sequías, se dan disminuciones en el transporte de sedimentos, lo que contribuye en la dinámica temporal de los ecosistemas asociados al río (Organización Meteorológica Mundial, 2014, p.24). La combinación de los efectos climáticos con la actividad antrópica, aumentan considerablemente el potencial del paisaje para producir sedimentos. En este sentido no hay que subestimar los asentamientos humanos que ya se registraban en las orillas del cauce del río Chixoy desde 1962.

Según las entrevistas realizadas a las comunidades por medio de los talleres (ver anexo 1), cuando las lluvias llegan tarde o caen con mucha irregularidad la cosecha peligra, lo que genera una fuerte angustia en la población. Debido a que en su mayoría viven del cultivo de maíz (*Zea mays*) y de las plantas que se le asocian, en especial el frijol (*Phaseolus acutifolius* y *Vigna unguiculata*), aunque en la época seca practican diversas actividades complementarias. Por tanto se comprende porque los elementos climáticos ocupan un lugar preponderante en los pensamientos y en las prácticas que ellos realizan, con las primeras lluvias el río entra en crecidas y el cauce del río tiende a ampliarse.

Entre otras facetas del cambio de uso del suelo, hay que considerar la construcción de infraestructura en los ríos, como por ejemplo presas, diques artificiales y puentes, que pueden alterar el transporte y deposición de sedimentos dentro de un río y en su llanura de inundación (Martinez, Horacio, 2003, p2). Deben así considerarse los posibles efectos de la Hidroeléctrica Chixoy, construida entre 1977 hasta 1985, donde se desvió y modifico el curso del Río Chixoy, y podría haber

modificado el cauce en la parte de la planicie aluvial en la Franja Transversal del Norte. La construcción de la hidroeléctrica implicó la inundación del valle de inmediato, así como la desaparición de 23 aldeas o localidades - afectando a cerca de 3,445 personas - 45 sitios arqueológicos, áreas de cultivo y recursos naturales. La inundación abarcó una extensión de aproximadamente 50 km² y alcanzó 50 m de profundidad (Dobias, 2005, p8). El curso del Río cambio después de la obra de ingeniería influenciando en los parámetros hidráulicos como se observó en el mapa de la figura 25. Estos mapas permitieron un análisis cuantitativo y cualitativo de la evolución del río y las mediciones de la tasa y la ubicación de los cambios en los meandros (Martínez, 2003, p.241).

También se debe tener en cuenta que la parte de ingeniería compleja trabajada en los ríos fue durante el siglo pasado y continúa hasta nuestros días (Coordinadora de Comunidades Afectadas por la Construcción de la Hidroeléctrica de Chixoy, 2008 p, 238).

Aunque según Leal (1993), en la reconstrucción del cauce de la cuenca baja del río Chixoy hace 1350 años AC utilizó una hipótesis acerca de una ciudad maya, en el sentido que cuando los mayas la erigieron en las márgenes del río Salinas esto alteró el curso del cauce provocando que el río se distanciara de la ciudad.. Se tendría entonces que hace 1350 años el cauce evidenciaría una ligera geomorfología con respecto al actual y los cambios en el cauce del Río por origen antropogénico han venido desde siglos atrás.

En general se describió el grado de alteración geomorfológica experimentado por el río Chixoy en la cuenca baja, principalmente debido a los cambios físicos del cauce, debido a la variabilidad climática y actividades antropogénicas. Al tomar en cuenta que la escorrentía, el flujo de la corriente, y la vegetación a la orilla del Río, entre otras variables, siempre tendrán impactos directos e indirectos sobre los procesos de sedimentación, es importante tomar en cuenta la variabilidad en la intensidad y cantidad de precipitación estacional, para manejar los recursos hídricos con respecto a la sedimentación que afecta la geomorfología fluvial (Aguilar, 2010, p.16). Además del aumento en la frecuencia de eventos extremos de lluvia y de los episodios ENOS como se analizó anteriormente pueden afectar la intensidad y duración de la precipitación. Es útil conocer esta información para afinar los modelos de predicción del clima y los esquemas de prevención de desastres hidrológicos, principalmente en comunidades que viven a orillas de los ríos (Rodríguez, Ruíz, Medina, Padilla y Gunter, 2014, p.1927).

Dando como resultado el incremento de mayor acumulado de lluvia, principalmente por eventos extremos de precipitación y no de lluvias con patrones regulares, haciendo más vulnerable la

zona de estudio e incrementando el cauce del río. Ya que tanto la cuenca alta representada por la estación Chixoy como la cuenca baja representada por la estación San Agustín Chixoy del 2001 al 2015 han tenido precipitación, pero en periodos menores que en los años de 1971 a 2000 figura No. 22. Teniendo en cuenta que un evento extremo de lluvia no es solamente un huracán, ya que solo un día o incluso unas horas de lluvia intensa pueden causar daños graves, algo que ocurre ahora cada año (Castellanos, y Guerra, 2009, p.27).

13 CONCLUSIONES.

1. Al superponer de forma espacial el cauce de los años 1962, 1987, 2006 y 2016, se observó que los cuatro cauces son diferentes, pero el año 2016 presentó mayor desplazamiento lateral con 4,854.24 metros, principalmente en la parte baja donde se formaron seis nuevos meandros.
2. Se analizaron cinco características morfológicas de arcos meandricos por cada año de estudio, donde el año 2006 reportó mayor longitud del desplazamiento con 3,477.24 metros, área del desplazamiento 239,955.20 m y tasa de migración con 11.99 m, mientras que el año 2016 reportó la mayor anchura del Río (154.10 m)
3. Al construir una línea social e hidrológica con las comunidades que viven a orillas del río Chixoy en la Ecoregión Lachuá y datos de precipitación de la estación climática San Agustín Chixoy, se estableció que desde el año 2001 se ha incrementado la precipitación, provocando inundaciones periódicas cada dos años.
4. La cuenca baja del río Chixoy en la Ecorregión Lachuá ha sido impactada por eventos hidrometeorológicos extremos como el fenómeno La Niña-ENOS, ciclones tropicales provocando más de 3500 milímetros de lluvia anuales de 1970-2016; sumando a esto debe considerarse los posibles efectos de la Hidroeléctrica Chixoy y el aumento de las comunidades a orillas del Río.

14 RECOMENDACIONES

1. realizar más análisis con más variables morfométricas sobre el cauce del río para tener un mejor conocimiento de la velocidad del río, así como de su caudal.
2. Obtener ortófonos de un mayor número de años ayudaría a cuantificar el proceso de migración (desplazamiento lateral) del río Chixoy a través de la cartografía, ya que se tendría un mayor número de años para realizar un mejor análisis espacial y estadístico.
3. Incluir un análisis de la granulometría del sitio de estudio para obtener resultados del transporte de sedimentos, lo cual ayudaría a tener un mejor análisis de las características morfológicas de los arcos meándricos del río Chixoy
4. Buscar datos de precipitación de la estación ubicada en el Parque Lachua, para tener una base de datos de precipitación intermedia.
5. Se podría analizar el paleocauce relacionado a la ciudad Arqueológica de Salinas Nueve Cerros, con base fotografías satelitales y análisis SIG.
6. Desarrollar estudios de filogeografía en base a los movimientos del cauce del Río Chixoy, utilizándolo como una barrera geográfica.

15 REFERENCIAS

- Aguilar, I. (2010). *Más vale que prevenir que lamentar las cuencas y la gestión del riesgo a los desastres naturales en Guatemala*. Guatemala, Guatemala: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
- Aguilar, E. (2005). Cambios en las precipitaciones y las temperaturas extremas en América Central y el norte del sur. *Revista de Geofísica*, 110 (2), páginas 3-10. doi:10.1029/2005JD006119.
- Asociación Mundial para el agua (2008). *Manejo integrado de recursos hídricos*. Estocolmo, Suecia: Asociación mundial para el agua.
- Asturias, L., Dary, C., Fernández., y Donis, D. (2006). *Bosques, tierra y gestión comunitaria en el oriente de Guatemala*. Guatemala, Guatemala: Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales.
- Ávila, D., Carvajal, Y., y Gutiérrez S. (2014). la oferta hídrica mensual de la cuenca del río Cali. *Tecnura*, 18(41), 120 – 133.
- Aznar, J., Dervieux, A., y Grillas, P. (2003). Asociación entre la vegetación y el paisaje indicadores acuáticos de la presión humana. *Humedales*, 23(1), 149-160.
- Barroso, L. (1989) Notas críticas en torno al uso y abuso de las encuestas. *Revista Canaria De Filosofía Y Ciencia Social*, 4(3), 147-157.
- Breña, A., y Jacobo, G. (2006). *Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial*. Ciudad de México, México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Burgos, W. (2009). *Tesoros Mayas. Las sociedades prehispánicas de la cuenca del río Chixoy*. Guatemala, Guatemala: Cooperación Alemana por medio del Servicio Alemán de Cooperación Social-Técnica
- Castañeda, C. (1995). *Sistemas Lacustres de Guatemala recursos que mueren*. Guatemala, Guatemala: Editorial Universitaria.
- Castellanos, E y Guerra, A. (2009). *El cambio climático y sus efectos sobre el desarrollo humano en Guatemala*. Guatemala, Guatemala: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Cáritas. (2009). *Reducción del Riesgo a Desastres. Plan zonal de vulnerabilidad Ambiental*. Guatemala, Guatemala: Cáritas Española.
- Chereque, W. (2003). *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2005). Efectos en Guatemala de las lluvias torrenciales y la tormenta tropical Stan. México, México: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Consejo Nacional de Áreas protegidas. 2011. Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar. Recopilado de: https://web.archive.org/web/20111008161133/http://www.conap.gob.gt/Members/admin/documentos/documentos-centro-de-documentacion/areas-protegidas/SIGAPublico_Enero.xls/view.
- Coordinadora de Comunidades Afectadas por la Construcción de la Hidroeléctrica de Chixoy. (2008). *Plan de Acción*. Guatemala, Guatemala: SEGEPLAN.
- Cortés, A. (2010). *Análisis de la Variabilidad Espacial y Temporal de la Precipitación en una Ciudad de Media Montaña Andina. Caso De Estudio: Manzales*. Manzales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

- Cruz, R. (2006). Análisis de la influencia del ENSO en el Valle del Yaqui (Sonora, México) mediante modelos de regresión dinámica y múltiple. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 2(2): 65-80.
- Dixon, M. (2003). Effects of flow pattern on riparian seedling recruitment on sandbars in the Wisconsin River, Wisconsin, USA. *Wetlands*, 23(1), 125–139.
- Dobias, J (2005). El fenómeno de El Niño y su impacto en la generación hidroeléctrica de Chixoy. Guatemala, Guatemala:
- Endfield, G., & Marks, R. (2012). *Quaternary Environmental Change in the Tropics*. EE.UU.: John Wiley & Sons, Ltd.
- Estrada, B. (2015). Aplicación de análisis de drenaje para deformación tectónica local. *Bull Eng Geol Enviro*, 74(2), 493–506
- Farias, H., Dominguez, R., y Reuter, A. (2011). *Migraciones del curso y forma en planta observadas en ríos meandriiformes de varias regiones Argentinas*. Argentina; Memorias del Quinto Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos.
- Figueróa, J. (2016). *Análisis De La Variabilidad Hidrometeorológica en La Parte Alta De La Cuenca Del Río Chixoy*. Guatemala, Guatemala: Universidad De San Carlos De Guatemala.
- FUNDALACHUA. Parque Nacional Laguna Lachua. Guatemala. Recuperado de http://www.comunitatis.com/fundalachua/#section_main
- García, B., y Salgado, A. (2010). *Del paradigma de los croquis a la georreferencia automatizada. Historia y su aplicabilidad en la gestión de programas comunitarios e investigaciones en salud*. Venezuela; Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico.
- Geilfus, F. (2002). *Herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación*. San José, Costa Rica; El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Gellert, G. (2003). *Gestión de Riesgos en Centroamérica: iniciativas, actores y experiencias locales en El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua*. Guatemala, Guatemala: Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales.
- Gibaja, J. (2008). *Análisis Componentes Principales General*. EditDeleteMove
- Giménez, G. (2001). Cultura, territorio y migraciones, aproximaciones teóricas. *Alteridades*, 11(22), 5-14.
- Gobernanza Socio-ambiental. (2010). *Bosque Modelo Lachua Ecoregión Lachua, Cobán, Alta Verapaz. El caso de comunidades indígenas Q'uechi's en la Ecoregión Lachuá, Cobán, Alta Verapaz, Guatemala*. Guatemala, Guatemala: Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales.
- González, P., Díaz de Pascual, A. Torres, P. y Garnica E. (2000). Una Aplicación Del Análisis De Componentes Principales en el Área Educativa. *Revista Economía*. 9(72), 21-41.
- Güneralp, I., Abad, J, Zolezzi, G., & Hooke (2012). Advances and challenges in meandering channels research. *Geomorphology*. 2(3), 1–9.
- Hastenrath, S. (2012). *Quaternary Environmental Change in the Tropics*. USA: John Wiley & Sons, Ltd.
- Howard, A., & Hemberger, A. (1991). Multivariate caracterización of meandering. *Geomorphology. Elsevier Science Publishers*. 2(4), 161-186.
- Instituto Nacional de Estadística. (2012). Sistemas de información geográfica de la secretaría Ejecutiva de CONRED. *Observador Estadístico Ambiental de Guatemala*. 3(2), 5-15.

- Instituto Nacional De Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. (2006). Fenómeno Océano-Atmosférico “El Niño” (ENOS) Informe 1-2006. Guatemala, Guatemala: Instituto Nacional De Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología
- Instituto Nacional De Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. (2015). Lluvia Maxima Diaria con Periodo de Retorno de 30 Años. Tomado de: http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS_HIDROMETEOROLOGICO/Atlas_Hidrologico/pd30.jpg
- Lagasse, P., Spitz, W., & Zevenbergen, L. (2004). *Handbook for Predicting Stream Meander Migration*. Washington, D.C, EEUU :National Cooperative Highway Research Program
- Lammel, A., Goloubinoff., y Katz, E. (2008). *Aires y Lluvias del clima en México*. Ciudad de México, mexicana: Centro de investigaciones y Estudios Superiores en Antropología social.
- Leal, M. (1993). *Ríos y arqueología de Petén. Guatemala*. Guatemala, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- LeRoy, N. (2002). Ecological response to and management of increased flooding caused by climate change. *The Royal Society*. 360 (1), 1497-1510.
- Lindenmayer, V. (2008). *La Presa Chixoy. Río Negro. Centro Historico y Educativo “Rij Ib’ooy”*. Guatemala, Guatemala: Servicio Alemán de Cooperación Social
- Lobera, G., Besné, P., Vericat, D., López-Tarazón, J., Tena, A., Aristi, I., Díez, J., Ibisate, Larrañaga, A., Elosegi, A., & Batalla, R. (2015). Geomorphic status of regulated rivers in the Iberian Peninsula. *Science of the Total Environment*, 508 (5), 101–114.
- Mata, J. (2015). Principales mapas de Guatemala. Guatemala, Guatemala.: Universidad de San Carlos de Guatemala
- Nery, J., Thomaz, S., y Franca, V. (1998). Caracterización de la precipitación del estado de San Pablo. *Atmosfera*, 3(3), 125-142.
- Novara, J., y Rodríguez, R. (1996). *Lineamientos para la preparación de proyectos de manejo de cuencas hidrográficas para eventual financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo*. Washington, D.C.: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2011). *Cuencas Hidrográficas de Guatemala*. Guatemala, Guatemala: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
- Martínez, H. (2003) *La cuenca media del río Chixoy: Dos décadas después*. Guatemala, Guatemala: Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala.
- Medina, M. (2011). *Cartografía Social Para Evaluar Y Proponer Una Solución A Los Problemas De Contaminación Del Río Soacha*. Bogotá, Colombia: Universidad Militar Nueva Granada.
- Metcalf, S., Barron, J., & Davies, S. (2015). The Holocene history of the North American Monsoon: ‘known knowns’ and ‘known unknowns’ in understanding its spatial and temporal complexity. *Quaternary Science Reviews*, 120, 1-27.
- Morales, N. (2009). *Diagnóstico del comportamiento histórico del río Ichilo en el área de Puerto Villarroel*. La Paz, Bolivia; Universidad Mayor de San Simón.

- Ollero, A., y Sánchez, del Valle, J. (2004). *Problemática actual del corredor ribereño del Ebro Aragonés en su curso de meandros libres*. Zaragoza, España; Departamento de geografía y ordenación del territorio, Universidad de Zaragoza e Institución Fernando el Católico.
- Ollero, A. (2007). *Algunos Apuntes Sobre La Dinámica Fluvial: Los Ríos Actuales Como Resultado de su Propia Libertad y de la Intervención Humana en sus Riberas. Una propuesta para los jóvenes de la Cuenca del Ebro*. Zaragoza, España: Fundación Nueva Cultura Del Agua. Universidad de Zaragoza
- Organización Meteorológica Mundial (2014). *Ejemplo representativo sobre la reducción de riesgos de desastre para la plataforma de interfaz de usuario del Marco Mundial para los Servicios Climáticos*. Suiza: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
- Organización Meteorológica Mundial. (2014). *El Niño/oscilación del Sur*. Organización Meteorológica Mundial –Nº 1145.
- Osterkamp, Hooke y Ridgway. (2006). *Morfología del cauce fluvial y posición*. Tomado de: www.lgt.lt/geoin/files/19_Morfologia_del_cauce_fluvial.DOC
- Pierre, F, & Tirado, M. (2007). Influencia del enos sobre la precipitación en la cuenca del río yacambú y la depresión de quíbor, estado lara, Venezuela. *Bioagro*, 19(1), 41-52. Recuperado en 09 de enero de 2018, de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612007000100006&lng=es&tlng=es.
- Pinilla,L., Pérez, G., y Benito, G., (1995). Cambios históricos de los cauces de los ríos Tajo y Jarama en Aranjuez. *Geogaceta*, 18, 101-104.
- Pinilla, M, y Pinzón, C. (2010). *Influencia Del Ciclo Enos Sobre La Precipitación En Los Municipios De Betulia, San Vicente de Chucurí, Zapatoca y Girón, Departamento De Santander, Colombia*. Bogota, Colombia: FUNDACIÓN NATURA.
- Postel, S., Richter, B. (2010). *Ríos para toda la vida. La gestión del agua para las personas y la naturaleza*. México, D.F.; The Nature Conservancy
- Ramírez, C. (2015). *Variabilidad Climática Local Y Su Relación Con Eventos Del Fenómeno El Niño-Oscilación Del Sur (Enso) En La Vertiente Del Pacífico*. Guatemala, Guatemala: Universidad Rafael Landívar.
- Rocha, A. La Morfología Fluvial y su Incidencia en la Estabilidad de las Obras Viales. VIII Congreso Internacional Obras De Infraestructura Vial. Instituto de la Construcción Y Gerencia.
- Rodríguez, V., Ruíz, J., Medina, G., Padilla, J., y Gunter, T. (2014). Efecto de la condición ENSO en la frecuencia e intensidad de los eventos de lluvia en la península de Baja California (1998-2012). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 12(10), 1923-1937.
- Sánchez, c. (2007). *Origen y Evolución de Meandros en Corrientes Naturales*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
- Seamon, D. (2013). *El papel de la Place de identidad en la percepción, comprensión, y Diseño de entornos construidos*. EE.UU: Editores Bentham Science.
- Seminara, G. (2006). Meanders. *J. Fluid Mech.* 3(4) 271–297.

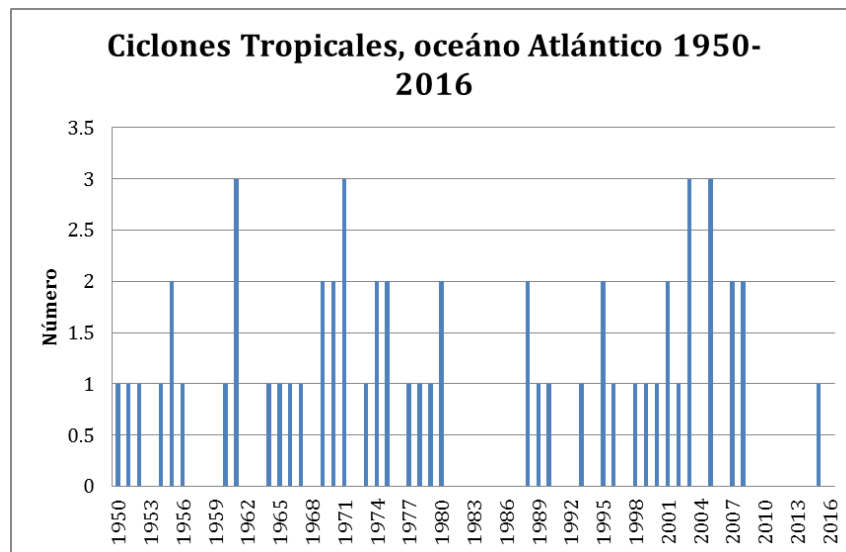
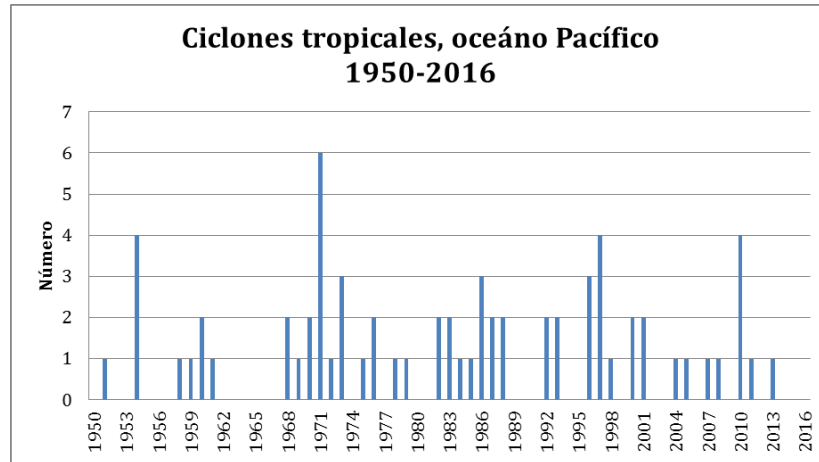
- Stuut, J., Prange M., Merkel, U y Steph S. (2012). Metcalfe, E. (Ed) Quaternary Environmental Change in the Tropics, First Edition. EEUU: John Wiley & Sons, Ltd.
- Tanarro, L. Díez-Herrero, A., y Llorente, M. (2008). *Origen y significado evolutivo de los torrentes afluentes colgados del cañón del Duratón (Segovia)*. Segovia, España: Trabajos de Geomorfología en España.
- Tarbut, E. y Lutengs F., (2008). *Ciencias de la Tierra, una introducción a la geología física*. Madrid, España Pearson Educacion, Madrid.
- Tujab, E. (2010). Optimización de la Generación de la Planta Hidroeléctrica Chixoy. Guatemala, Guatemala; Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
- Tuukki, E., Jokinen, P., y Kalliola, R. (1996). Migraciones en el río Amazonas en las últimas décadas, Sector Confluencia ríos Ucayali Y Marañón - Isla De Iquitos. *Folia Amazónica*. 8(1), 111-130.
- Vargas, C.G. (2008). *Río Magdalena. Navegación marítima y fluvial (1986-2008)*. Barranquilla, Colombia; Ediciones Uninorte.
- Vélez, I., Torre, I., Gaona, V., y Varela S. (2012). *Cartografía social como metodología participativa y colaborativa de investigación en el territorio afrodescendiente de la cuenca alta del río Cauca*. Cauca, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Verdú, J. (2003). *Análisis y modelización de la respuesta hidrológica y fluvial de una extensa cuenca de montaña mediterránea (río Isábena, Pre-Pirineo)*. Cataluña, España: Universidad de Lleida
- Zeballos, O. (2004). Proyecto Gestión Del Riesgo ENSO En América Latina. Investigación Comparativa, Información y Capacitación desde una Perspectiva Social. *Revista Colombiana de Geografía*. 21 (2), p. 59 - 73, 2012.

16 ANEXOS


Anexo 1. Fotografías de los talleres realizados en las comunidades, San Luis Palo Grande, Senunha y Brisas del Chixoy.



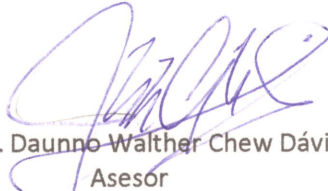
ANEXO 2. Ciclones tropicales en océano Pacífico y Atlántico del año 1950 a 2016.



Numero de Ciclones Tropicales en Océano Pacífico y Atlántico
desde 1950 a 2016



Nora Machuca Mejía
Estudiante de Biología



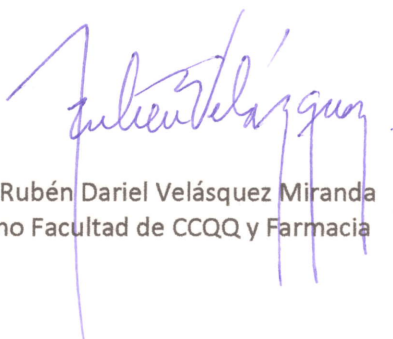
Ing. Agr. Daunno Walther Chew Dávila
Asesor



M. Sc. Javier Antipano Rivas Romero
Revisor



Licenciada Ana Rosalito Barrios Solís
Directora de Escuela



PhD. Rubén Dariel Velásquez Miranda
Decano Facultad de CCQQ y Farmacia