



Universidad de Carabobo
Área de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Maestría Ingeniería Ambiental



Efectos del Transporte de sedimentos de la Cuenca del Rio Chirgua sobre la capacidad de almacenamiento del Embalse Pao Cachinche con el uso de imágenes satelitales

Autor: Ing. Luzmary Camacho

C.I 15174524

Tutor Académico: Ing. Msc. Dra. Adriana Márquez

Bárbula, Julio 2017



Universidad de Carabobo
Área de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Maestría Ingeniería Ambiental



Efectos del Transporte de sedimentos de la Cuenca del Rio Chirgua
sobre la capacidad de almacenamiento del
Embalse Pao Cachinche con el uso de imágenes satelitales

Autor: Ing. Luzmary Camacho

Trabajo de Grado presentado ante el área de Estudios
de Postgrados de la Universidad de Carabobo para
optar al título de Magister en Ingeniería Ambiental

Barbula, Julio 2017

AGRADECIMIENTOS

A mi Dios amigo incondicional, fortaleza en los momentos más difíciles y quien me ha permitido una vez más alcanzar esta nueva meta propuesta en mi vida

A mi Tutora la Ing. Msc. Dra. Adriana Márquez quien fue un gran apoyo para lograr la culminación de esta meta.

A mis padres, por su apoyo en el logro de esta nueva meta.

A mi hermana Mariana Camacho, quien me dio palabras llenas de sabiduría y necesarias en la distancia, y el apoyo necesario para lograr materializar esta meta.

A la Ilustre Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería por ser responsable de la preparación académica y profesional, enriqueciendo día a día con el fortalecimiento de conocimientos.

A todas las personas, amigos, familiares que fueron un gran apoyo para poder materializar esta meta, por sus palabras de motivación y sabias en momentos de debilidad y agotamiento.

Gracias

RESUMEN

Efectos del Transporte de sedimentos de la Cuenca del Rio Chirgua sobre la capacidad de almacenamiento del Embalse Pao Cachinche con el uso de imágenes satelitales

Autor: Ing. Luzmary Camacho

Tutor Académico: Ing. Msc. Dra. Adriana Márquez

La estimación de la erosión hídrica en la cuenca del Rio Chirgua a partir de la ecuación universal de la pérdida de suelo (EUPS) y el transporte de Sedimentos con la ecuación universal de la pérdida de suelo modificada (MUSLE), con el uso de 36 imágenes satelitales de Landsat de los años 2015 al 2017, con la integración del Sistema de información Geográfica, para la obtención de cada uno de los factores en la Cuenca del Rio Chirgua, estimando la Erosividad de la lluvia (R) a partir de precipitaciones mensuales y anuales, con el uso de mapa de tipos de Suelo en Venezuela para obtener el factor K y el empleo de la ecuación sugerida por (Wischmeier y Smith) para su obtención, el factor topográfico (LS) con la ecuación propuesta por Moore and Burch, el factor de cobertura de Suelo (C) basado en la clasificación realizada de los usos de suelos para cada una de las imágenes, estableciendo seis clases: agrícola, vegetación, suelo deforestado, nubes, sombras y urbano presentes en la zona de estudio y el factor P prácticas de conservación usadas para el desarrollo de los cultivos. Se obtuvo valores de pérdida de suelo de 1271,75. 13340,59 y 3198,75 ton/ha.año para 2015, 2016 y 2017 respectivamente y el transporte de Sedimentos en 7605981.55, 12987404.1, 1728003.68 ton/año 2015, 2016 y 2017 identificando las zonas con mayor pérdida de suelo y transporte de sedimentos. El Volumen de sedimentos generado en la cuenca de 2.87, 4.9 y 0.65 Mm³ que representa el 3, 15 y 2 % del área total de diseño del embalse Pao Cachinche siendo esta 1300 ha.

Palabras Claves: pérdida de suelo, sistemas de información geográfica, EUPS, MUSLE, transporte de sedimentos.

Summary

Effects of Sediment yield in the watershed the river Chirgua on the storage capacity of the Pao Cachinche reservoir with the use landsat images

Author : Ing. Luzmary Camacho G

Tutora: Ing. Msc. Dra. Adriana Márquez

Date: July, 2018

ABSTRACT

The estimation of soil loss in the watershed of the river Chirgua with the Universal Soil Equation and of sediment estimation with Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE) with the use 36 of Landsat images until 2015 to 2017, and geographic information system , GIS data layers including, rainfall erosivity (R), soil erodibility (K) with the map of kind soil in Venezuela, slope length and steepness (LS), cover management (C) with the classification of use the soil: and conservation practice (P) factors are computed to determine their effects on average annual and monthly soil loss in the plantation area. Vegetation, low vegetative cover, clouds, shadow and urban areas and conservation practices (P). The resultant map of annual soil erosion shows a maximum soil loss of 1271.75, 13340.59 y 3198.75 ton/ha.year for 2015, 2016 and 2017 and sediment yield 7605981,55 , 12987404,1, 1728003,68 ton/ h. year 2015, 2016 and 2017. And the relation with the total area of Pao Cachinche.

KEYWORDS: loss soil. Geo information Tecnology, USLE, MUSLE, sediment yield.

INTRODUCCIÓN

En la Cumbre de la Tierra celebrada en Río de Janeiro en 1992; 173 gobiernos concluyeron entre otras cosas, que la degradación de las tierras es el problema más importante que enfrentan tanto países desarrollados como países en desarrollo. En el caso de Venezuela; el principal factor a tomar en cuenta para la protección de las tierras es la erosión hídrica; debido a que genera pérdidas de los nutrientes del suelo, además de que incrementa las escorrentías generando inundaciones en las poblaciones aguas abajo.

Según la ONU, para el 2025 la demanda de alimentos y otros productos básicos agrícolas en países en desarrollo, será tal que los recursos y tecnologías disponibles serán insuficientes; por lo tanto la agricultura deberá hacerle frente a este reto mediante el aumento de la producción en las tierras utilizadas actualmente, y evitando el aprovechamiento aún más intenso de las tierras que son marginalmente aptas para el cultivo. (Rivero, Vanesa, 2011)

El proceso de erosión superficial en una cuenca o región, es un problema que afecta directamente a todo el medio físico pues genera la reducción de la capa orgánica superficial del suelo rica en nutrientes generando impactos que en muchos casos son irreversibles o que requieren de procesos de tratamiento muy costosos afectando tanto económica como socialmente a dicha región, además representan en muchos casos el origen principal de los sedimentos que contaminan las corrientes de agua (Schwab et al, 1990). (Montoya, Rubén 2005)

Los problemas de erosión de suelos no solo están limitados a las zonas en las cuales la erosión toma lugar sino también a zonas aguas abajo donde los sedimentos llevados por el escurrimiento pueden también causar daños a las infraestructuras hidráulicas, canales de riego, en la sedimentación de reservorios y contaminación asociada a los sedimentos resultando en una declinación en la física y química de la calidad del agua. (Saavedra, Carlos 2003)

El incremento de la población mundial ha obligado a la apertura de nuevos espacios para solventar las necesidades básicas de alimentación, vivienda, calor, energía, vestido y bienes de consumo. Estas demandas ocasionan un alto requerimiento de recursos naturales. El ser humano, a lo largo del tiempo, ha alterado el medio ambiente, ya sea por el establecimiento de una población, por la apertura de nuevas tierras de cultivo o la práctica de una ganadería

extensiva, ocasionado un deterioro en los recursos naturales (Colín-García, Gerardo; Ibáñez-Castillo, Laura A. 2013)

La predicción de la erosión en parcelas experimentales y en pendientes de montaña o el modelamiento de la erosión de pequeñas cuencas a la misma escala de análisis, ha sido exitosa usando modelos físicos que requieren una medición detallada de parámetros y considerable cantidad de datos de entrada (Jane, L.J. 1988; Zhang, X et al, 1999, 2001 y 2002) en muchos casos, p. ej., para propósitos de manejo y planificación de cuenca. Existe por lo tanto una gran necesidad de estimar la erosión de suelos y sedimentación en grandes extensiones y a una escala regional (p. ej. provincias, departamentos, distritos, etc.). Debe tenerse presente sin embargo que a esta escala existe una densidad de datos menor, y que la disponibilidad de datos con menor resolución espacial es también obvia. (Saavedra, Carlos 2003)

Por otra parte en el caso de las presas y embalses uno de los principales problemas es la sedimentación. Los sedimentos son recogidos por el flujo de agua en su recorrido por la cuenca y se mantienen en suspensión mientras el agua está en movimiento, pero tan pronto como el agua deja de fluir y se asienta en el lago artificial, los sedimentos se acumulan en el fondo. Si estos sedimentos no se remueven, la presa termina por colmatarse. Hay soluciones para el colmataje de presas: se puede elevar la presa, dragarla o construir una presa secundaria aguas arriba con el fin específico de capturar los sedimentos, pero todas éstas son soluciones caras. Por otra parte, es preciso tener presente que la mayor parte de los sedimentos arrastrados y que se depositan en la presa, representan tierras erosionadas de la cuenca, es decir, tierra que se pierde por fenómenos de erosión. De allí entonces que, parece obvio, la mejor manera de evitar el colmataje prematuro de presas y embalses es una práctica adecuada de suelos en la cuenca y el control de los procesos de deforestación, muchas veces originados por la propia construcción de la presa, y de la erosión.

Por lo tanto en esta investigación se desarrollara el estudio de los efectos del transporte de sedimentos de la Cuenca del Rio Chirgua en la capacidad de almacenamiento del Embalse Pao Cachinche la cual comprende los siguientes capítulos:

El Capítulo I, se presenta en detalle el planteamiento del problema, los objetivos de la investigación y por último la justificación.

El capítulo II, contiene el marco teórico orientado a conocer los antecedentes del problema, por otra parte se examina las bases teóricas y los términos utilizados.

El Capítulo III: está conformado por la metodología desarrollada para procesamiento de las imágenes satelitales de Landsat 8 con el uso de los Software **Erdas Imagine 2014** para el apilamiento de todas las bandas que conforman las imágenes satelitales para un periodo de estudio entre el año 2015 y 2017 que permita la extracción del área delimitada para el estudio, posteriormente con el uso de **Atcor** realizar las correcciones de terreno y atmosféricas de la Cuenca del Rio Chirgua, realizar la clasificación de cada una de las imágenes de acuerdo a los usos de la tierra con **Envi Classic**. Una vez realizado todo el procesamiento de las imágenes aplicar los modelos seleccionados para la estimación de la Erosión Hídrica y transporte de Sedimentos con el uso **Argis 10.1**.

El Capítulo IV: contiene el análisis de los resultados obtenidos, conclusiones y recomendaciones de la investigación realizada.

INDICE

	Pág.
Agradecimientos	i
RESUMEN	ii
INTRODUCCIÓN	iii
Capítulo I El Problema.....	1
1.1 Planteamiento del Problema.....	1- 4
1.2 Formulación del Problema.....	5
1.3 Objetivos.....	5
1.4 Objetivo General.....	5
1.5 Objetivos Específicos.....	5
1.6 Justificación.....	5- 8
1.7 Alcances y Limitaciones.....	8
Capitulo II Marco Teórico	
2.1 Antecedentes.....	9 -12
2.2 Bases teóricas.....	13
2.2.1 Embalses	13
2.2.2 Usos de los Embalses	14
2.2.3 Estructura Básica de un embalse	14
2.2.4 Volumen de Almacenamiento de un embalse	15
2.2.5 Diseño de un Embalse	15
2.2.6 Operación de un Embalse	16
2.2.7 Altura de un presa	17
2.2.8 Determinación del Volumen Muerto de un Embalse	18 -21
2.2.9 Calculo del Volumen de Operación o Volumen útil	21 -22
2.2.10 Calculo del Volumen de Crecidas	22

2.2.11	Calculo del Borde Libre	23
2.2.12	Sedimentación y Transporte de Sedimentos	23
2.2.13	Efecto de la erosión sobre la vida útil de los embalses.....	24
2.2.14	Proceso de Erosión Hídrica	25
2.2.15	Modelo de Erosión Hídrica.....	26 – 32
2.2.16	Transporte de Sedimentos.....	32 - 33
2.2.17	Sistema de Información Geográfica.....	34
2.3	Marco Referencial	35
2.4	Definición de Términos.....	36- 37

Capitulo III Marco Metodológico

3.1	Tipo de Investigación	38-39
3.2	Diseño de la Investigación	39
3.3	Población y Muestra	40
3.4	Fases de la Investigación.....	41- 51

Capitulo IV Análisis y Discusión de Resultados

4.1	Caracterizar factores topográficos, geomorfológicos, hidrológicos de la Cuenca del Rio Chirgua con imágenes satelitales o con el uso de sensores remotos.....	52-55
4.2.-	Estimar la erosión hídrica y el transporte de sedimentos en la Cuenca del Rio Chirgua.....	55- 71
4.3.-	Determinar la carga de sedimentos actual en el embalse Pao Cachinche.....	
4.4.-	Analizar la relación entre la erosión hídrica, el transporte de sedimentos y la acumulación de estos entre la cuenca del Rio Chirgua y el embalse Pao Cachinche.	

	Conclusiones	91
	Recomendaciones	92
	Referencias Bibliográficas	93-96

FIGURAS POR CAPITULOS

Figura N° 2.1 Elementos constitutivos de un Embalse.....	14
Figura N° 2.2 Eficiencia de atrapa de un embalse	20
Figura N° 2.3 Diagrama de Rippl para calcular la capacidad necesaria de un embalse en un río	22
Figura N° 2.4 Proceso General de Erosión.....	25
Figura N° 2.5 Esquematación del proceso de erosión del suelo causado por el Agua.....	26
Figura 2.6 Metodología a seguir para estimación de Erosión Hídrica.....	35
Figura N° 4.12 Modelo de Elevación Digital.....	52
Figura N° 4.13 Dirección de Flujo.....	53
Figura N° 4.14 Acumulación de Flujo.....	54
Figura N° 4.15 Pendiente.....	55
Figura N° 4.16 Precipitación Enero-Diciembre 2015.....	57
Figura N° 4.17 Precipitación Enero- Diciembre 2016	59
Figura N° 4.18 Precipitación Enero-Diciembre 2017.....	60-61
Figura N° 4.19 Precipitación 2015	61
Figura N° 4.20 Factor de Erodabilidad Año 2015.....	62- 63
Figura N° 4.21 Factor de Erodabilidad Año 2016	64
Figura N° 4.22 Factor de Erodabilidad Año 2017	66
Figura N° 4.23 Factor K	67
Figura N° 4.24 Factor LS 2015- 2016-2017	68
Figura N° 4.24 Usos de la Tierra Enero 2015-2016-2017	69-72
Figura N° 4.25 Factor P	73
Figura N° 4.27 Erosión Hídrica Año 2015-2016-2017	77-79
Figura N° 4.28 Grafico de Erosión Hídrica Anual	79
Figura N° 4.29 Transporte de Sedimentos 2015	86
Figura N° 4.30 Transporte de Sedimentos 2017	89
Figura N° 4.31	90

TABLAS POR CAPITULOS

Tabla N° 2.1 Eficiencia de atrape de Embalses.....	19
Tabla N° 2.2 Valores de ρ_{bi} y β	21
Tabla N° 2.3 Factor a, Código de Estructura del Suelo de USLE.....	30
Tabla N° 2.4 Factor b, Código de Permeabilidad del Suelo de USLE.....	31
Tabla N° 3.5 Estaciones Climatológicas en el entorno del área de Estudio	43
Tabla N° 3.6 Tipos de Suelo en Chirgua	44
Tabla N° 3.7 Erodabilidad del Suelo de la Cuenca del Río Chirgua	47
Tabla N° 3.8 Diámetro de partículas	50
Tabla N° 4.9 Factor P de prácticas de Conservación	54

Tabla N° 4.10 Erosión Hídrica Anual con la Ecuación de la Pérdida de Suelo	56
Tabla N° 4.11 Estadísticas Mensuales de la Precipitación Mensual Año 2015	58
Tabla N° 4.12 Estadísticas Mensuales de la Precipitación Mensual Año 2016.....	58
Tabla N° 4.13 Estadísticas Mensuales de la Precipitación Mensual Año 2017	58
Tabla N° 4.14 Clasificación general del tamaño de los Sedimentos	62
Tabla N° 4.15 Volumen de Sedimentos estimado	63
Tabla N° 4.17 Usos de los Suelos en la Cuenca del Río Chirgua	68
Tabla N° 4.18 Estadísticas Mensuales de la Erosión Hídrica en el año 2015.....	75
Tabla N° 4.19 Estadísticas Mensuales de la Erosión Hídrica en el año 2016	76
Tabla N° 4.20 Estadísticas Mensuales de la Erosión Hídrica en el año 2017	76
Tabla N° 4.21 Erosión Hídrica y Transporte de Sedimentos Anual Estimados.....	76
Tabla N° 4.22 Caudal y Área de la zona agrícola del año 2015	81
Tabla N° 4.23 Caudal y Área de la zona agrícola del año 2016	81
Tabla N° 4.24 Caudal y Área de la zona agrícola del año 2017	82
Tabla N° 4.25 Estadísticas del Transporte de Sedimentos año 2015	82
Tabla N° 4.26 Estadísticas del Transporte de Sedimentos año 2016	82
Tabla N° 4.27 Estadísticas del Transporte de Sedimentos año 2017	83
Tabla N° 4.29 Volumen de Sedimentos estimado. Fuente Elaboración Propia	87
Tabla N° 4.30 Área estimada para cada año del periodo de estudio.....	87
Tabla N° 4.31 Datos para obtención de Curva Capacidad Vs Área del Embalse Pao Cachinche 1974. Fuente: Tesis de Batimetría Año 2015.....	88
Tabla 4.32 Área estimada ocupada por los sedimentos estimados en esta investigación ..	90

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1.- Planteamiento del Problema:

El embalse Pao-Cachinche ha visto afectada su capacidad debido a las actividades antrópicas en la cuenca, principalmente por factores tales como: la tala y la quema de la vegetación primaria para el desarrollo de actividades agrícolas, pecuarias y recreativas sin un control efectivo de la erosión y sedimentación por parte de las instituciones competentes. En relación a la calidad de sus aguas, ésta se ha visto afectada por el incremento de las descargas domésticas e industriales, así como también por las actividades agropecuarias, agravado por el vertiginoso crecimiento demográfico en la cuenca.

Siendo la degradación de los suelos un proceso en el que, factores físicos, químicos y biológicos contribuyen al deterioro de la capacidad productiva. Los tipos y formas de degradación varían con las regiones. En Venezuela, por ejemplo, la principal forma de degradación la constituye la erosión hídrica, especialmente en áreas deforestadas para cultivos y asentamientos, potreros para ganados y otros usos (Guevara, 2000). La degradación de los suelos y la pérdida de la fertilidad son ocasionadas por la erosión; por otra parte, la sedimentación ocasiona la contaminación de los cuerpos de agua y conduce a la acumulación de sedimentos en los cauces, canales y a la sedimentación de los embalses. En términos de volumen, los sedimentos constituyen la primera fuente de contaminación por lo que para establecer las medidas de control se requiere un conocimiento profundo del fenómeno. En Venezuela, la sedimentación ha ocasionado una reducción de más del 50% de la vida útil en una gran parte de los embales; algunos de ellos han quedado inutilizados. (Guevara, 2004)

En nuestro país este tipo de infraestructuras son de data relativamente nueva, siendo el primer embalse construido con características modernas en esta nación fue el dique de Caujarao, gestionado en el año 1866. Entre los años 1969 - 1974 correspondió emprender 9: El Zamuro, Guaremal, Santo Domingo, Cabuy, Pao-Cachinche, El Tablazo, Onia, Socuy y San Francisco de Macanao. El Embalse Pao-Cachinche data su construcción entre los años 1971-1974, con una capacidad de 150 Millones de m³ y una superficie de 1300 Hectáreas con la finalidad

de abastecer a la ciudad de Valencia; y cubrir el riego de 6.000 Has. (Buffone, Mario Julio 2013)

En Venezuela sólo recientemente se han acometido estudios detallados sobre conservación de cuencas. Tradicionalmente las estimaciones de la producción de sedimentos se efectúan sobre la base de mediciones de concentración de sedimentos medidas en las estaciones hidrométricas; y a través de análisis de regresión se extrapolan a cuencas carentes de información. Estudios sobre los factores que causan el fenómeno son muy escasos, restringiendo la adaptación o modificación de técnicas usadas en otras partes para estimar las tasas de erosión.

En esta investigación se presenta la estimación de la erosión hídrica y el transporte de sedimentos en la Cuenca del Rio Chirgua durante los años 2015 – 2017 a partir de modelos de pérdida de suelo y transporte de sedimentos que permitan determinar la influencia sobre la capacidad de almacenamiento del Embalse Pao Cachinche con el uso de sensores remotos partir de imágenes satelitales.

Existe un estudio realizado en el embalse Santo Domingo localizado en la Cordillera de Los Andes a pocos metros aguas abajo del sitio de unión de los ríos Santo Domingo y Aracay. Donde el área de la cuenca es de 417 km² con elevaciones máximas en la sierra de 4.750 msnm. La precipitación media es en el orden de 1.400 mm. Los principales tributarios son los ríos Aracay, Pueblo Llano y el propio Santo Domingo. Donde se estimó que el área destinada al uso agrícola representa el 17,5% del área de la cuenca y que, en aproximadamente 4.600 ha se está llevando a cabo actividad agrícola en suelos no aptos para dicho fin, lo cual trae como consecuencia una degradación de este recurso y aumento en la producción de sedimentos de la cuenca. El volumen total del embalse es de 5,0 x 10⁶ m³, siendo el volumen útil 2,6 millones de m³ y el volumen muerto 0,4 millones de m³. (Córdova^{1,2}, J.R., López¹, J.L., Artigas¹, J.L. Septiembre, 2016).

De acuerdo a estudios realizados en Cuba, los embalses desempeñan un papel importante para la sociedad, como control de avenidas, suministro de agua, generación de energía hidroeléctrica, riego, navegación, recreo, acuicultura, etc. Con el paso del tiempo, en muchos embalses, en especial aquellos construidos en ríos que arrastran grandes volúmenes de

sedimentos, se ha observado una cierta reducción de su capacidad de almacenamiento debido a la sedimentación. La UNESCO promovió desde inicios de este siglo la Iniciativa Internacional para la Erosión y la Sedimentación (ISI) y en la región fue constituida la ISI-LAC, la cual participa con sus conocimientos en la protección de las cuencas y los embalses. La sedimentación en embalses es un problema científico (además de ambiental y económico) de gran importancia, pues los embalses pueden definirse como grandes trampas de sedimento que retienen la mayor parte de los materiales transportados por el río. La existencia de batimetrías permite estimar el volumen total de sedimentos depositados en el vaso del embalse e incluso su evolución (CSIC 2003). (Laiz y Flores 2010)

A consecuencia de reducción de la vida útil, por asolvamiento, de algunos de los embalses más importantes de nuestro país, se ha creído conveniente realizar una investigación bibliográfica sobre el tema de aporte de sedimentos, su origen, sus efectos en los embalses, forma de distribuirse y muy especialmente, como se ha venido enfrentando este problema en otros países, en los cuales la escasez de agua, se une a condiciones propicias al aporte de sedimentos. Se ha verificado como estas condiciones, sedimentos y escasez de agua, han conducido a una concepción, completamente diferente, en lo que al manejo del recurso agua se refiere y en especial, a la operación y diseño de los embalses. Se ha constatado, como en el pasado, el problema de la sedimentación no fue evaluado en su verdadera dimensión, no fue parámetro de mayor importancia, en el momento en que se diseñaron y construyeron la mayoría de los embalses, actualmente en funcionamiento. Muy pocos embalses fueron diseñados y construidos, en función de las condiciones reales de aporte de sedimentos de los ríos a embalsar. Igualmente se constató, como la operación de los embalses, se ha hecho con completo desconocimiento del problema. En los pocos embalses diseñados con dispositivos especiales para retirar sedimentos, nunca se operó en función de permitir atenuar sus efectos. (Gaspar, 2003)

La cuenca del Río Yaracuy se ha caracterizado por su elevada producción y transporte de sedimentos, comportamiento que se ha agudizado a medida que las partes altas han sido intervenidas por las actividades humanas. Una de las consecuencias directas de esta situación ha sido la acelerada pérdida de capacidad del embalse Ing. Francisco Amelinck, puesto en funcionamiento en el año de 1.971, con una vida útil estimada en 100 años. La cola del

embalse se encuentra totalmente colmatada, observándose un pequeño espejo de agua que no tiene conexión con la parte del vaso ubicada aguas abajo del viaducto de la carretera Nirgua - Chivacoa. Se determinó que los sedimentos han ocupado el 49,8 % de la capacidad total del reservorio. La producción específica de sedimentos calculada para la cuenca alta del Río Yaracuy es de 3.611 m/km²año, siendo 21,7 veces superior a la producción estimada en el diseño del embalse. Mediante la aplicación de movimientos de embalses dinámicos se determinó que de mantenerse constante la producción específica de sedimentos, el Embalse Cumaripa podrá mantener su nivel de operación actual hasta el año 2.012. Se estudió la factibilidad de aumentar la capacidad actual del embalse, mediante la realización de una sobre-elevación de la presa; en segundo término se analizó la rehabilitación de parte del volumen perdido mediante el dragado y por último el desvío de los sedimentos a través de un By Pass, con el fin de reducir la entrada de los mismos al vaso de almacenamiento. (Castro, 2004).

El embalse Pao-Cachinche representa la principal fuente de abastecimiento de agua potable del área metropolitana de Valencia, así como otras poblaciones del estado Carabobo y de Tinaquillo, en el estado Cojedes. A su vez este embalse es alimentado principalmente por los ríos Pao y sus tributarios, principalmente los ríos Chirgua y Paito. El agua de este embalse es bombeada a la planta de potabilización Alejo Zuloaga y de allí se distribuye a distintas comunidades de la cuenca del Lago de Valencia. Y tomando en cuenta que el embalse Pao-Cachinche comenzó su funcionamiento en el año de 1973, y su vida útil es de 50 años. Sin embargo, los problemas en las cuencas de los ríos que lo alimentan, pueden generar un colapso del embalse en un corto plazo. Debido a que las descargas directas al embalse Pao Cachinche de 3.300 litros por segundo de aguas residuales de la Planta TAR La Mariposa, al lado de los 10.500 lps que se le inyectan en aguas residuales con material de desechos químicos que recibe el embalse desde el año 2005, y por trasvase de Los Guayos-Río Cabriales de 5.600 lps y 1.600 lps, respectivamente. Por lo tanto el trabajo de investigación se desarrollara para determinar los efectos de los sedimentos generados de la Cuenca del Río Chirgua que afectan la capacidad de almacenamiento del Embalse Pao Cachinche con el uso de sensores remotos.

1.2.- Formulación del Problema

Para poder dar solución al planteamiento del problema realizado es necesario dar respuesta a las siguientes interrogantes Cuáles son los efectos del transporte de sedimentos de la cuenca del río Chirgua en la capacidad de almacenamiento del Embalse Pao Cachinche? Como caracterizar los factores topográficos, geomorfológicos, hidrológicos de la cuenca del Río Chirgua con el uso de imágenes satelitales de sensores remotos? Como estimar la erosión hídrica y el transporte de sedimentos en la cuenca del río Chirgua mediante uso de imágenes satelitales? Como determinar la carga actual de sedimentos en el Embalse Pao Cachinche con el uso de Sensores Remotos? Como analizar la relación entre la erosión hídrica, el transporte de sedimentos entre la cuenca del río Chirgua y el embalse Pao Cachinche con el uso de sensores remotos?

1.3.- Objetivo General:

Determinar efectos del Transporte de sedimentos de la Cuenca del Río Chirgua sobre la capacidad de almacenamiento del Embalse Pao Cachinche

1.4.- Objetivos Específicos:

- 1.- Caracterizar factores topográficos, geomorfológicos, hidrológicos de la Cuenca del Río Chirgua con imágenes satelitales o con el uso de sensores remotos.
- 2.- Estimar la erosión hídrica y el transporte de sedimentos en la Cuenca del Río Chirgua.
- 3.- Determinar la carga de sedimentos actual en el embalse Pao Cachinche.
- 4.- Analizar la relación entre la erosión hídrica, el transporte de sedimentos y la acumulación de estos entre la cuenca del Río Chirgua y el embalse Pao Cachinche.

1.5.- Justificación

El relieve es un factor formador del suelo, y por tanto tiene gran incidencia en las características **edáficas** que determinan el uso, el manejo, la conservación y la degradación de este recurso (Moore et al., 1991). En el caso de la degradación por erosión, el relieve es un factor que facilita el transporte y la acumulación del suelo, dependiendo de las

características particulares de la forma terreno en las que actúa. Tradicionalmente, la representación cartográfica del relieve y su caracterización se efectúan, como parte de los estudios de los suelos, en forma cualitativa, generalmente mediante la interpretación visual de fotografías aéreas o imágenes de radar, separando unidades o formas de terreno, como base para el mapeo y la caracterización de los suelos.

La erosión genera impactos negativos en el ambiente, a nivel social y económico, afectando la seguridad alimentaria, contribuyen al deterioro de los recursos naturales, limitan el desarrollo de regiones y de zonas de hábitat humano (Lal, 1988).

Los modelos predictivos de erosión y transporte de sedimentos permiten la evaluación, la caracterización y la cuantificación de la erosión; sin embargo, estos difieren enormemente en cuanto a su complejidad, sus aportes y necesidades de datos, en los procesos que evalúan, la escala de aplicación y la confiabilidad de la información que ofrecen (Merritt et al., 2003; FAO, 1997). Algunos modelos de erosión presentan limitaciones para involucrar la variabilidad espacial y temporal; o requieren una cantidad apreciable de datos que no están disponibles y son difíciles de obtener en nuestras condiciones. Uno de los modelos empíricos más utilizados es la Ecuación universal de pérdida del suelo (USLE; Universal Soil Loss Equation; Morgan, 2005) que fue desarrollada para parcelas individuales de 100 m², con una pendiente de 5 grados y una longitud de 22,5 m, lo cual implica que no se pueda aplicar en áreas mayores (Morgan, 2005). Se han realizado aplicaciones de esta Ecuación, utilizando como fuente de datos los estudios de suelo a escala general; su predicción no ha mostrado confiabilidad debido a la alta variabilidad espacial de los suelos y del relieve dentro de las unidades de mapeo. Algunos modelos, como el proyecto de predicción de erosión por agua (WEPP; Water Erosion Prediction Project) han ido remplazando la ecuación universal de la pérdida de suelo, pero tienen altos requerimientos de información espacial y temporal de la zona evaluada (Wilson y Lorang, 2000).

Por lo tanto en esta investigación se realizara la estimación de la erosión hídrica para un periodo comprendido desde el 2015 – 2017 con el uso de imágenes satelitales obtenidas a partir de sensores remotos, que desde hace unos 40 años ha tenido un auge significativo para obtener información sobre los elementos presentes en la superficie terrestre. Sobre todo han sido agencias espaciales de países desarrollados los que llevan la vanguardia en tal

investigación, pero últimamente algunos países en desarrollo han tomado interés en tales tecnologías, pocos en su desarrollo, algunos en su uso. Paralelo a lo anterior se han desarrollado los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los que, por sus características intrínsecas, permiten el manejo de grandes volúmenes de información georeferenciada de forma rápida y eficaz. Además, los Sistemas de Información Geográfica permiten modelar descriptiva y predictivamente el ambiente que nos rodea, lo que permite entender de forma más cercana a la realidad nuestro espacio geográfico. (Gutiérrez, Julián 2005)

Por otra parte la Teledetección puede ser definida como el uso de la tecnología y las técnicas para obtener información acerca de objetos distantes utilizando la radiación electromagnética reflejada o emitida, energía acústica, campos potenciales (gravedad, magnéticos), o mediciones geoquímicas. Los Sistemas de Información Geográfica pueden definirse como un Sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos georeferenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión (Gutiérrez, Julián 2005)

Razón por la cual en los últimos años la Teledetección se ha desarrollado de una manera espectacular, diseñándose aplicaciones para casi todas las áreas de las ciencias de la tierra (Fabregat, 1999) debido a las grandes posibilidades y ventajas que presenta: localización de espacios geográficos, observación de fenómenos temporales e integración de resultados en un Sistema de Información Geográfica (S.I.G), reduciéndose en muchos casos el tiempo empleado y el dinero invertido en los estudios sobre el terreno (Baker et al., 2006; Shanmugan, 2006).

Entre las ventajas proporcionadas por estos sistemas destacan, la cobertura global y exhaustiva, perspectiva panorámica, observación multiescala, información sobre regiones no visibles del espectro, multitemporalidad de las observaciones, transmisión a tiempo real y registro digital de la información (Chuvieco, 2002).

Cabe destacar que con el uso de los SIG se pueden obtener los modelos digitales de elevación (MDE), que constituyen una fuente de datos con alto potencial para caracterizar el relieve en forma cuantitativa, siendo un insumo importante para diversos modelos que buscan predecir

o estimar las pérdidas de suelo, evaluar el avance en los procesos erosivos o el riesgo de una zona a sufrir el deterioro (Mitasova et al., 1996; Moore et al., 1991).

Esta investigación persigue dar un aporte de gran importancia a la línea de investigación de la Maestría en Ingeniería ambiental incluyendo en el contenido programático materias vinculadas con el uso de los Sistemas de Información Geográfica en imágenes satelitales , obtenidas de Landsat 8, sobre las cuales se delimita el área de estudio, para realizar el procesamiento requerido para obtener los elementos topográficos, geomorfológicos, hidrológicos de la Cuenca del Rio Chirgua y poder determinar la erosión hídrica, transporte de sedimentos , y analizar la relación de cada uno ellos sobre la capacidad de almacenamiento del Embalse Pao Cachinche.

1.6.- Alcances y Limitaciones

Esta investigación se desarrollara partiendo de la evaluación de los factores topográficos, geomorfológicos, hidrológicos de la Cuenca del Rio Chirgua para el periodo establecido entre el año 2015 – 2017 que permitan determinar cuáles son los efectos del transporte de sedimentos y la erosión hídrica en la capacidad de almacenamiento del embalse del Pao Cachinche.

Siendo una limitación la gran cantidad de datos necesarios de las diferentes estaciones pluviométricas, ubicadas en los alrededores de la zona de estudio, que son suministrados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) que instalo medidores automáticos que permiten obtener datos cada cinco minutos, sin embargo no existe registro para todos los meses de cada uno de los años de estudio.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

Este capítulo contiene los antecedentes de la investigación y las bases teóricas de los modelos que estiman los procesos de erosión y transporte de sedimentos. Los antecedentes incluyen investigaciones que se han llevado a cabo tanto nacional como internacionalmente. En cuanto a las bases teóricas se describen los aspectos conceptuales de erosión y sedimentación, así como los modelos de estimación en función de los tipos de erosión y otra clasificación que los categoriza como empíricos, conceptuales y basados en proceso físicos.

2.1 Antecedentes

Castillo, Laura (2013) estimó la erosión hídrica en la Cuenca del Río Pichucalco, México mediante la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo (EUPS), con la herramienta de álgebra de mapas en ArcGIS 9.3, y basado en la clasificación de la FAO, la Erosión actual de clase nula es de 55.47 %, clase ligera de 24.62 %, clase moderada de 18.68 %, clase alta de 0.96 % y clase muy alta de 0.27 %. Es decir, en un 20 % de la cuenca urgen obras de conservación del suelo y prácticas de manejo del agua, ya que el suelo se pierde con valores de entre 10 y 200 t/ha*año-. Las áreas más afectadas por la erosión se localizan en las partes alta y media de la cuenca en zonas de alta pendiente y con pastizales; las menos afectadas son las áreas bajo bosque y selva y las partes bajas, donde la topografía es prácticamente plana y con zonas pantanosas. Las causas de degradación se relacionan principalmente con la ganadería extensiva en laderas, la cual se lleva a cabo en el 76.20 % de la cuenca. En esta investigación se estimó la Erosión Hídrica en las zonas agrícolas de la Cuenca del Río Chirgua.

Artigas, Jacinto (2016) llevó a cabo la estimación de la concentración de sedimentos en el Río Orinoco usando sensores remotos, en este caso se usaron imágenes del Landsat 8 de las bandas que cubren longitudes de onda de 530 – 590 nm, 640- 670 nm y 850- 880 nm, siendo el rango donde el espectro solar ofrece la mejor reflectancia de los sólidos suspendidos, teniendo en cuenta el ajuste y la calibración de las imágenes ya que los cuerpos de agua por lo general absorben gran parte de la luz solar que reciben y por esto tienen muy baja reflectancia, sin embargo, los sedimentos suspendidos en el agua aumentan la reflectancia de

los mismos, esta propiedad fue utilizada para establecer relación entre la de sedimentos y los valores de reflectancia captado por las imágenes de satélite, usaron la metodología de espectros mezclados para determinar la concentración de los sedimentos y la relación con la reflectancia que establece que en 1 megapixel dado de la imagen la concentración de sedimentos, se puede expresar como la suma ponderada de diferentes pares conocidos de reflectancia- concentración. Usaron firmas espectrales o patrones de concentración de sedimentos obtenidos en el laboratorio del Lago Chicot en el Rio Misisipi. En esta investigación se llevara a cabo la evaluación de los efectos del transporte de sedimentos en la capacidad de almacenamiento del embalse Pao Cachinche con el uso de imágenes satelitales.

Según Márquez, Adriana (2008) realizo la evaluación de los parámetros que influyen en la resistencia a la erosión tomando en cuenta la pendiente en un campo agrícola ubicado en la Cuenca del Rio Chirgua durante lo cual evaluaron cuatro modelos de erosión demostrando que no existe variabilidad entre los modelos en cuanto a las pendientes bajas pero si difieren entre los dos grupos, por lo que concluyen que se debe explorar funciones de mayor curvatura. La diferencia es que durante la investigación se llevara a cabo la estimación de la erosión hídrica en la Cuenca del Rio Chirgua con el uso de sensores remotos.

Montoya, Rubén y otros (2005), presentaron la aplicación de la ecuación universal de pérdidas de suelo revisada (RUSLE) en la cuenca del proyecto hidroeléctrico del rio la Miel (Miel I), usando sistemas de información geográfica (SIG), que les permitieron representar la perdida de suelo (t/ha*año) en formato raster e identificar las áreas con mayores valores de perdida de suelo. Usaron 13 estaciones de precipitación para estimar el factor de erosividad R, una imagen Landsat para obtener el mapa de suelos y el factor de cobertura vegetal C. El factor K y P lo obtuvieron tomando referencias de otros autores basado en el tipo de suelo y el factor topográfico LS a partir del método tradicional de Wischmeier y Smith y el propuesto por Hamilton y Hickey (2001), en esta investigación se aplicó la ecuación universal de pérdidas de suelo (EUPS) con las operaciones algebraicas entre raster para cada uno de los factores de la ecuación con Argis 10.1.

Orlando Laiz y Ernesto Flores en septiembre del 2010 publicaron la investigación basada en Perdida de Capacidad de almacenaje en embalses Cubanos, como efecto de la sedimentación partiendo de los estudios que desde el año 2006 la Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Habana (EIPHH) usando el método batimétrico. En este estudio se analizaron 5 embalses en tres provincias, Bacuranao y la Zarza (prov. Ciudad de La Habana), Laguna El Pesquero (Munic. Sandino, prov. Pinar del Río), Paso Bonito (prov. Cienfuegos), La Yaya (prov. Guantánamo). Unido al estudio de pérdida de capacidad de almacenamiento han sido estimados algunos otros datos referidos al proceso de sedimentación tales como: la edad promedio de estos embalses fue de 35 años, la pérdida de capacidad fue 28,6% para Bacuranao con una pérdida anual promedio de 0,817%, la Zarza 18,5 y una pérdida anual promedio de 0,499%. El Pesquero 28,1 con una pérdida anual promedio de 0,721%, Paso Bonito 37,8 y su pérdida anual promedio fue de 1,145% y la Yaya 21,6 y una pérdida anual promedio de 0,654%. La tasa de sedimentación para las cuencas en estos embalses se ha estimado entre 91.660 a 1.030.559 m³año⁻¹. Concluyendo que la pérdida de capacidad de almacenamiento de los embalses cubanos es debido a los procesos de erosión, transporte de sedimentos y sedimentación, algunos de los factores que provocan la misma incluye fundamentalmente: el cambio climático con una magnitud y frecuencia inusual de las precipitaciones, sobre todo aquellas generadas por las tormentas tropicales y los huracanes, el uso de la tierra, la cobertura vegetal y la protección de las cuencas hidrográficas. En esta investigación se realizara la determinación de la erosión hídrica y transporte de sedimentos en la Cuenca del Rio Chirgua y su relación con la capacidad de almacenamiento del Embalse Pao Cachinche.

En el 2011 Buitrago, Jeiner llevo a cabo el trabajo de grado sobre el Desarrollo de un modelo de erosión hídrica en el Municipio de Samaca (Boyacá) partiendo de que en la actualidad los Modelos Digitales de Elevación (MDE) y la visualización espacial, son una alternativa que permiten evaluar en forma cuantitativa la erosión, permitiendo observar la variabilidad espacial y temporal del proceso. El modelo de visualización incorporó los factores que inciden en la erosión como la erosividad de la lluvia, erodabilidad del suelo y el relieve, el uso y manejo de las tierras. Se evaluaron tres fuentes de modelos de datos de elevación como el ASTER, curvas de nivel y SRTM, los parámetros geomorfométricos evaluados fueron la pendiente, las curvaturas horizontal y vertical, índice de poder de flujo, índice de capacidad

de transporte de sedimentos e índice topográfico de humedad. Se realizaron correlaciones entre los diferentes parámetros geomorfométricos de las diferentes fuentes de datos y ANOVA para los diferentes Modelo de Elevación Digital por unidad de paisaje. El modelo SRTM representó mejor el comportamiento del relieve en el área de estudio. La visualización espacial generó dos escenarios del comportamiento de la erosión; el conservacionista donde se realizan prácticas de reforestación y manejo de los suelos, observándose zonas de recuperación de suelos, el escenario no conservacionista donde no realiza ninguna práctica, muestra el progreso de la erosión. La visualización espacial permitió observar zonas que deben priorizarse en su conservación. La visualización espacial permitió observar las áreas con mayor riesgo a la erosión, y así establecer territorios de prioridad de manejo para su conservación. En esta investigación se realizó la comparación entre la erosión hídrica, el transporte de sedimentos y la acumulación de estos en la Cuenca del Río Chirgua y el embalse Pao Cachinche con el uso de imágenes satelitales.

Córdova, José Rafael en el 2016 desarrolló un estudio sobre la Producción de Sedimentos en la Cuenca del Embalse Santo Domingo; partiendo del procesamiento digital del terreno, para delimitar las cuencas y subcuencas, haciendo uso de la rutina de procesamiento del modelo de elevación digital que forma parte del SWAT. Las áreas tributarias de las subcuencas de los ríos Santo Domingo, Pueblo Llano y Aracay, delineadas con el modelo SWAT, alcanzan los valores de 241,24 km², 94,28 km² y 80,71 km², respectivamente. Totalizando un área de 416,73 km², hasta el sitio de presa (incluyendo una pequeña área intermedia). Para evaluar la producción de sedimentos realizaron levantamientos batimétricos que arrojaron los siguientes resultados: el depósito de sedimentos promedio, en el embalse, está en el orden de los 290.000,0 metros cúbicos/año, cifra similar a la estimación realizada sobre el acarreo de carga de fondo promedio anual, que se ubica en 324.000 metros cúbicos (un 12 % mayor que la obtenida por las batimetrías, lo cual se puede explicar por la incertidumbre asociada a la eficiencia de atrape). Dado que el área tributaria al dique Aracay representa el 86 % del área total del río Aracay hasta el embalse, el volumen de sedimentos anuales, que entran como carga de fondo al embalse, por el río Aracay, pudiesen estar en el orden de los 107.000 m³, lo cual representa un 37 % de lo depositado en el embalse (290.000 m³), según las batimetrías realizadas por DESURCA, que coinciden con las estimaciones realizadas por Krumdieck A. & P. Chamot. Esta cifra también es similar a la carga de fondo en el río Aracay (112.000,0

m³). En este estudio se realizara la relación de la erosión hídrica y el transporte de sedimentos con la capacidad de diseño del embalse Pao Cachinche.

Saavedra, Carlos (2003) llevo a cabo la Evaluación y monitoreo de modelos de erosión y sedimentación a escala regional usando sensores remotos y SIG, en la región Andina, Cochabamba, Bolivia. El estudio se basó en el uso de cinco modelos de erosión (Rusle3D, Thornes, Barnes, Morgan, USPED) fueron aplicados a una escala regional en el departamento de Cochabamba, Bolivia. El modelamiento fue hecho en un entorno de SIG, usando un km² de resolución espacial y un intervalo de tiempo de un mes. Datos geográficos de dominio público y bases de datos de clima, topografía y cobertura de la tierra de nivel mundial fueron utilizados. Imágenes NOAA-AVHRR fueron usadas para dirigir la dinámica de la cobertura de la tierra en los modelos de erosión. Los mapas de erosión resultantes para el departamento de Cochabamba, Bolivia; fueron determinados a través de la aplicación de los cinco modelos con datos de entrada similares para el área de estudio. Los valores de pérdida de suelos obtenidos fueron consecuentemente agrupados en seis clases de intensidad de erosión usando un análisis estadístico de distribución de frecuencia, resultante en los mapas de erosión. De los resultados obtenidos con la aplicación de los cinco modelos, pudieron apreciar, claras diferencias en tasas y riesgos de erosión. Esta variación es consecuencia inmediata de los criterios de modelación utilizados para cada uno de los casos. En esta investigación se utilizara los Sistemas de Información Geográfica (SIG) con el uso de imágenes satelitales de Landsat 8 para un periodo de tres años desde el 2015- 2017.

Bases Teóricas

2.2.1 Embalse

Desde el punto de vista de riego, hemos definido **embalse** como un lago artificial construido para almacenar agua durante la estación lluviosa y para distribuirla durante la estación seca. Tanto para Venezuela como para la mayoría de los países del mundo, ésta es una condición general impuesta por el clima. Nuestras lluvias, salvo contadas áreas, están concentradas durante un periodo de cinco o seis meses, que llamamos invierno, siendo muy escasa o nulas

durante el resto del año: entonces esa mala distribución del agua de lluvia nos obliga a almacenarla mediante la construcción de embalses.

2.2.2 Usos de los Embalses

Los embalses pueden almacenar agua y tiene muchos usos no menos importantes como son: en riego; usos domésticos e industriales, obteniéndose como beneficio; Incremento de la producción agropecuaria. Suministro de agua para uso de las poblaciones y de las industrias. En control de inundaciones; prevención de daños causados por desbordamiento durante la creciente, en defensa de las poblaciones y áreas cultivadas o industriales. Generación de Energía; protección y suministro de energía para usos domésticos e industriales. Navegación; facilidades de transporte por vía fluvial, permitiendo la navegación entre poblaciones. Control de sedimentos; pequeños embalses para control de sedimentos a otros embalses o a corrientes de agua. Control de erosión. Recreación; aumento de bienestar de la población. Mejoramiento de la piscicultura para usos industriales. Mejoramiento de la ecología vegetal y animal.

2.2.3 Estructura básica de un Embalse

Por otra parte y no menos importante se debe mencionar que todo embalse consta de las siguientes estructuras básicas: la presa, el aliviadero y las obras de toma. (Ver Figura N°2.1)



Figura N° 2.1 Elementos constitutivos de un Embalse

La presa, dique o represa, es la estructura de retención de las aguas y resiste un empuje. Debe ser por lo tanto, impermeable y estable, conjuntamente con su fundación y sus estribos.

El aliviadero o estructura de alivio o descarga de los excedentes que llegan al embalse, los cuales no se desean almacenar. Sus características más importante es la de evacuar con facilidad las máximas crecientes que llegan al vaso de almacenamiento. Su insuficiencia provoca el desborde del agua por encima de la cresta de la presa y el posible colapso de esta estructura si se trata de una presa de tierra o enrocado.

Las obras de toma son un conjunto de estructuras formado por una estructura de entrada o toma, un túnel o conducto a través de un estribo o de la presa y una estructura de salida. Este conjunto permite tomar las aguas del embalse y pasarlas al canal principal. Debe tener suficiente capacidad para descargar las aguas abastecer a la zona de riego con el gasto necesario, de acuerdo a los requerimientos de los suelos para niveles mínimos del embalse.

En algunos embalses se construyen diques o presas adicionales para el cierre de alguna depresión en la divisoria de aguas del vaso de almacenamiento. Algunos de estos diques se diseñan como diques fusibles, es decir, que pueden destruirse con el paso de las aguas sobre los mismos, aumentando así la seguridad de la presa principal.

2.2.4 Volumen de Almacenamiento de un Embalse

El objeto de los embalses es regular el caudal del río, mediante la creación de un lago artificial que proporciona un volumen de almacenamiento, obteniendo así el agua, en la cantidad y oportunidad requerida para su uso en un proyecto. En general, los embalses creados al construirse una presa son de dos tipos: los ubicados sobre el lecho del río y los laterales. Cuando se construye una presa en el lecho del río, esta actúa como una trampa de sedimentos, y una parte de los sólidos transportados por la corriente queda retenida en el embalse, disminuyendo así el volumen de almacenamiento.

2.2.5 Diseño de un embalse

Consiste en la determinación del tamaño del almacenamiento, incluyendo el volumen muerto, el útil, de crecidas, las pérdidas, y el borde libre; así como también del diseño de las

obras necesarias para su óptimo mantenimiento (vertedero o aliviadero, obras de toma, y orificios de purga).

2.2.6 Operación de embalses

Es la simulación del comportamiento del embalse a través del tiempo. Las reglas de operación que se deducen están afectadas por los datos hidrológicos que son difíciles de predecir, por lo que la regulación que se establezca para el embalse debe ser ajustada o variada de acuerdo con las condiciones reales de funcionamiento que se presenten (Guevara, 2000).

Los estudios se pueden dividir en tres tipos:

- Determinar la descarga óptima del embalse teniendo en cuenta almacenamientos largos o estacionales (multianuales, anuales, mensuales).
- Hacer la operación del embalse para suplir las fluctuaciones de la demanda en horas picos (regulación horaria, diaria, semanal).
- Dar las reglas para la operación del embalse en épocas de sequía o de precipitaciones extremas.

La operación del embalse se hace para cualquiera de los siguientes casos:

- Determinar el volumen necesario a embalsar para suplir la demanda.
- Determinar el consumo máximo que se puede garantizar si se tiene como limitante el volumen del embalse.
- Optimización del embalse en proyectos multipropósito.

La operación de embalses está regulada por las siguientes ecuaciones básicas:

ECUACIÓN DE CONTINUIDAD:

$$\Delta V = V_{\text{ingreso}} - V_{\text{salida}} \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

ΔV = Cambio en el almacenamiento durante un período dado (semana, mes).

V_{ingreso} = Aportes al embalse durante un período dado (semana, mes).

V_{valida} = Caudales de demanda, vertimiento, pérdidas durante un período dado.

Las pérdidas en el embalse pueden ser por evaporación o por filtración.

$$\Delta V = V_f - V_i \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

V_f = Almacenamiento al final del período.

V_i = Almacenamiento al inicio del período.

La operación de embalses se hace para un ciclo. Un ciclo se considera formado por el número de años para los cuales existen datos hidrológicos. Para la mayoría de estudios se buscan datos de mínimo 20 años. Para el caso de muchos pequeños proyectos la información disponible es solo la que se puede recoger durante los estudios. Para realizar la operación de embalses se asume que el caudal que ha ocurrido en el pasado se repite en el futuro. Teóricamente se puede construir una presa en cualquier sección de un curso de agua pero no siempre resulta práctico hacerlo de modo que resulte segura, económica y de capacidad suficiente para suplir las necesidades de los usuarios. Se puede dar el caso de que la demanda de agua exceda la capacidad disponible del vaso. En estos casos, toca por ejemplo, aumentar la altura de la presa y a veces también se hace necesario la construcción de diques para aumentar la capacidad de almacenamiento.

2.2.7 Altura de la presa:

La altura de la presa, puede estar implícitamente controlada por la topografía y las condiciones geológicas del sitio de cierre del río, las cuales a su vez definen el tipo de presa: presa de tierra, de gravedad, de arco, etc. (Davis et al, 1969; USBR, 1987).

Los datos básicos necesarios que se deben tener en cuenta, una vez seleccionado el sitio, para poder calcular la altura de una presa son (Fattorelli & Fernandez, 2011):

- Mapas topográficos del vaso que permitan determinar las relaciones de cota volumen y cota-área. Para vasos grandes la escala adecuada puede ser 1:25.000 y 1:10.000 o menor para vasos medianos o pequeños. Igualmente las curvas de nivel deberán tener un espaciamiento tal que permita obtener mapas de los sectores del vaso para alturas sucesivas con buena precisión.

- Datos de caudales o volúmenes anuales y mensuales de series históricas o generadas.
- Datos de aporte de sedimentos en el río.
- Datos de demandas estimadas a nivel anual y mensual.
- Datos climáticos de lluvias (si son importantes), evaporación y vientos.
- Datos de crecientes.
- Curvas de superficie libre del río aguas abajo de la presa para diferentes descargas y áreas inundables correspondientes a las mismas.

2.2.8.- Determinación del volumen muerto del embalse (VM)

Para el dimensionamiento de embalses, se requiere contar con estimativos suficientemente precisos del tipo, magnitud y variación a través del tiempo, del transporte de sólidos por las corrientes de agua que llegan al embalse. Esta información es útil para planear medidas de control de erosión en la cuenca del embalse y anticipar los efectos de modificaciones en el valle sobre la producción de sedimentos. Es frecuente que la información histórica sobre transporte de sedimentos sea muy deficiente en cuanto a su calidad, representatividad y duración.

Los factores principales que afectan el transporte de sedimentos a un embalse son:

- a. Características hidráulicas del cauce.
- b. Características de los materiales del cauce.
- c. Factores hidrometeorológicos que afectan el proceso erosivo.
- d. Factores topográficos, especialmente importantes en zonas de montaña que en combinación con lluvias copiosas generan crecientes rápidas con alto potencial de arrastre.
- e. Factores geológicos causantes de problemas principalmente en la zona andina de Colombia con frecuentes inestabilidades de los taludes y cañones de los ríos y quebradas. Estas inestabilidades generan la formación de depósitos de sedimentos poco consolidados que a su vez constituyen aporte de sedimentos a los cauces.

f. Factores erosivos agravados por reforestación.

g. Mal manejo de materiales sobrantes de obras de ingeniería civil.

El sedimento en suspensión es el que interesa porque el arrastre de fondo en su mayoría se deposita en la cola del embalse. El sedimento en suspensión se deposita en el embalse en una proporción diferente según sean las características del sedimento, las normas de operación y la relación entre la descarga del río y el volumen del embalse. Con respecto a las normas de operación, si un embalse retiene el agua por varios meses tendrá más sedimentación que otro que en pocos días descarga el agua que recibe. El porcentaje del sedimento que ingresa y es retenido en el embalse, se llama “eficiencia de atrape” (η_A), la cual es función de la relación entre el volumen del embalse (V_E) en m^3 y el volumen anual de la descarga del río (V_{DR}), en m^3 (Ecuación 2.3):

$$\eta_A = f () \text{ Ecuación 2.3}$$

Así, se tendrá que un embalse pequeño en comparación con la magnitud de la descarga anual de un río dejará pasar gran parte del sedimento, mientras que un embalse cuyo volumen sea significativo con respecto a la descarga del río presentará una alta eficiencia de atrape. La relación volumen anual de descarga del río vs volumen del embalse ha sido tratado por Brune y Churchill. Ver Tabla N° 2.1.

Tabla N° 2.1 Eficiencia de atrape de Embalses

V_E/V_{DR}	η_A	
	BRUNE	CHURCHILL
0.01	0.45	0.47
0.10	0.86	0.72
1.00	0.98	0.88
10.00	0.98	0.96

En resumen, para el dimensionamiento del volumen muerto de un embalse, se requiere contar con información de caudales máximos y de aporte y calidad de los sedimentos que llegan al embalse como se indica en la Figura N° 2.2

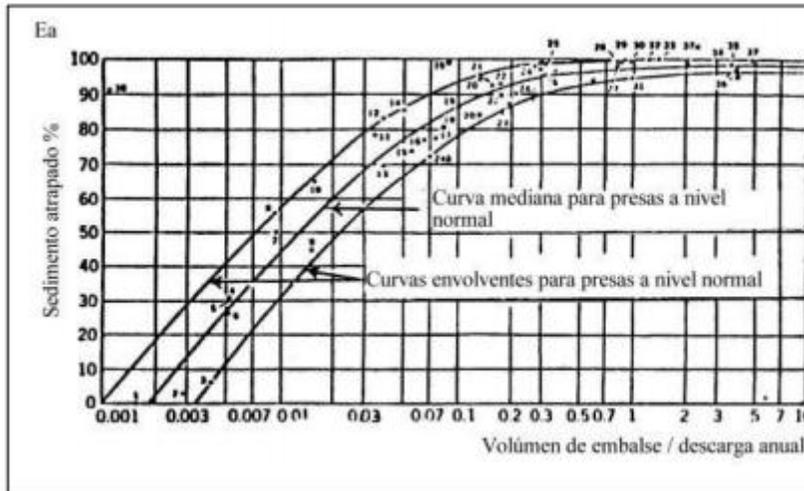


Figura N° 2.2 Eficiencia de atrapa de un embalse (Según Brune, 1953)

Cálculo del volumen de embalse de operación o volumen útil (V_U) A. Teniendo en cuenta información de caudal y de sedimentos

$$V_M = CQT \rho bT * FC \text{ Ecuación 2.4}$$

V_M = Volumen muerto

C = concentración de sedimentos en un intervalo de tiempo Δt [kg/m^3]

Q = caudal máximo mensual [m^3/s]

T = vida útil de la obra [años]

ρbT = densidad bulk del sedimento al cabo de la vida útil del embalse, peso volumétrico del sedimento [kg/m^3]

FC = factor de conversión de unidades 1 año = 31536,000 segundos

$$\rho bT = \rho b_i + \beta \log T \text{ Ecuación 2.5}$$

ρ_{bi} = densidad bulk inicial [kg/m³], β = coeficiente de consolidación Lane & Koelzer (1953) dan los siguientes valores para el cálculo de los parámetros anteriores.

Tabla N° 2.2 Valores de ρ_{bi} y β según Lane & Koelzer (1953)

Estado del embalse	Arena		Limo		Arcilla	
	ρ_{bi} (kg/m ³)	β	ρ_{bi} (kg/m ³)	β	ρ_{bi} (kg/m ³)	β
Siempre o casi siempre lleno	1500	0	1050	90	500	250
Embalse algo bajo	1500	0	1185	45	750	170
Embalse casi vacío	1500	0	1275	15	950	100
Embalse normalmente vacío	1500	0	1320	0	1250	0

El volumen muerto se puede calcular: mes a mes o año a año considerando la información hidrológica disponible.

El volumen muerto total en un año se obtiene sumando el volumen muerto obtenido para cada intervalo de tiempo Δt en un año y multiplicándolo por el número de años de vida del embalse.

2.2.9. Calculo del volumen de embalse de operación o volumen útil (V_U)

Un análisis más detallado a nivel mensual, o diario o incluso horario según sean las necesidades en un estudio de operación del embalse, dará el ajuste final del cálculo del volumen útil. Para obtener la primera aproximación se usa la comparación de la curva de masa de volúmenes del río vs la curva de masa de los volúmenes de las demandas estimadas denominado diagrama de Rippl (Figura N° 2.3)

Con el diagrama de Rippl se pueden resolver dos problemas:

- a. Determinar la capacidad de embalse necesaria en un río para diferentes niveles de consumo. En este caso, se trazan líneas tangentes a la curva de masa siguiendo la pendiente de las diferentes líneas de demandas, desde el punto inicial del período seco hasta la intercepción con la misma, la máxima separación proporciona el valor de Volumen Útil (V_U).

b. Para una capacidad dada de embalse determinar la demanda que puede satisfacer. En ciertos casos, la capacidad del embalse está fijada por razones topográficas, geológicas o constructivas. El procedimiento en este caso, consiste en trazar para los diferentes períodos de sequías líneas de demanda tales que, la máxima separación de la curva de masa, no supere el valor fijado de capacidad del embalse predeterminada. De todas las líneas trazadas, aquella que tenga la menor pendiente será la que satisface la demanda primaria (caudal firme). Otros niveles de demanda superiores corresponderán a demandas secundarias que implican el riesgo de una determinada posibilidad de sequía. La elección de un determinado riesgo de sequía depende del uso del recurso y por lo tanto, de las consecuencias sociales y económicas que la restricción pueda ocasionar.

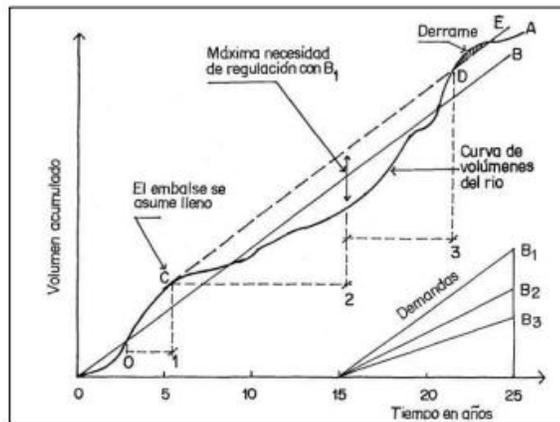


Figura N° 2.3 Diagrama de Rippl para calcular la capacidad necesaria de un embalse en un río (Según Fattorelli & Fernandez ,2011)

2.2.10. Cálculo del volumen de crecidas (V_C):

En todos los estudios de embalses se deben hacer análisis hidrológicos de las crecidas del río, ya que el adecuado control de estas contribuye no sólo con la seguridad hacia aguas abajo de la presa, sino a la estabilidad de la misma. El volumen de crecidas, en los embalses de propósito múltiple, o el volumen total del embalse en aquellas que se construyen sólo para ese fin, tiene como objetivo amortiguar el pico del hidrograma de la creciente, embalsando agua en el momento que se producen los valores máximos de caudal, para luego descargar al río los mismos volúmenes en tiempos más largos (caudales menores). En un embalse el volumen de crecidas es un espacio vacío reservado para almacenar temporalmente agua, mientras que el volumen de operación es sinónimo de agua embalsada para usos posteriores.

El dimensionamiento del volumen de crecidas implica el cálculo previo de la creciente de diseño.

Sí se cuenta con el hidrograma de la creciente de proyecto, la metodología a seguir es la siguiente:

- Se realiza un diseño preliminar de los descargadores y del vertedero de crecidas.
- Se selecciona la descarga máxima posible.
- Se efectúa la curva de descarga de la presa para diferentes niveles del embalse.
- Finalmente, se simula el tránsito de la creciente del proyecto y se calcula el nivel máximo preliminar del embalse.

El volumen de embalse de crecidas puede tener un nivel N_C correspondiente a crecientes hasta un cierto valor de probabilidad de ocurrencia (100 años por ejemplo) y otro nivel N_E , para las situaciones de crecientes extraordinarias (1000 años o más) que descargan un volumen por encima del vertedero (VE). Para analizar esta última situación, bastaría repetir el cálculo del tránsito de la creciente partiendo de un valor inicial de embalse lleno al nivel de N_C .

2.2.11 Cálculo del borde libre (BL):

Este nivel que no se ocupa con agua, se llama borde libre, evita que por efecto de olas o movimientos en la superficie libre del embalse el agua derrame por encima de la presa. Esta situación sería altamente indeseable principalmente en presas de tierra y material mixto. En el cálculo del borde libre (BL) intervienen: la acción del viento, la inclinación de la superficie del embalse, el choque de las olas en la presa, revanchas y el asentamiento de la presa.

2.2.12 Sedimentación y transporte de Sedimentos

La sedimentación que ocurre aguas arriba de una presa es un fenómeno inevitable. Su origen es muy sencillo: al elevarse artificialmente los tirantes (calados) del río y aumentar considerablemente la sección, la velocidad de la corriente disminuye, y aun en avenidas pueden tener valores muy pequeños, por lo menos la “velocidad media” teórica. En el Río

Chira, durante una avenida del orden de $3000 \text{ m}^3/\text{s}$, en una sección ubicada unos cientos de metros aguas arriba de la presa, la “velocidad media” sería de apenas unos milímetros por segundo. Las velocidades pequeñas favorecen la sedimentación.

Cada metro cúbico depositado fuera del lugar previsto representa un metro cúbico de volumen menos de regulación y en algunos casos varios metros cúbicos de volumen menos de volumen regulado. La cantidad de sedimentos producida por una cuenca depende de varios factores, que en última instancia son una expresión del grado de erosionabilidad de la cuenca y de la intensidad de ataque de los agentes externos. Todos estos factores son variables con el tiempo. (El Ingeniero Civil Julio- Agosto 1983 N° 25 pág. 10 ,12).

2.2.13 Efecto de la erosión sobre la vida útil de los embalses:

El mayor problema que enfrentan las grandes presas es el acortamiento de la vida útil, fenómeno común a la mayoría de presas del mundo, ocasionada por la acelerada erosión de las cuencas de captación, con lo cual las presas tienden a colmatarse rápidamente por la acumulación acelerada de sedimentos a tasas muy superiores a las previstas en los diseños (Jiménez, O., Farías, H., 2005). Por ello, la sedimentación de embalses es un tema de mucho interés por constituir un grave problema, y más aún en países con mayor incidencia de fenómenos hidrológicos extremos (Spalletti, P., Brea, J. 1998). En el Perú, son muy vulnerables las grandes presas ubicadas en las cuencas bajas de la Vertiente del Pacífico norte, cuencas caracterizadas por tener un relieve muy irregular, abrupto y escarpado, fuertes pendientes, suelos inestables, escasa cobertura vegetal y un régimen de intensas y recurrentes precipitaciones, problema agravado por la presencia los eventos de fenómenos periódicos de El Niño (Rocha A., 2006). Todo esto, unido a la falta de prácticas de manejo, acelera el proceso de sedimentación y colmatación temprana de las grandes presas allí asentadas, la presa Gallito Ciego constituye un buen referente de toda esta problemática.

La carencia o escasa información hidrometeorológica, sobre todo, en lo que respecta a hidrometría y sedimentología, con adecuada distribución en espacio y tiempo, constituye una de las grandes debilidades en los países en vías de desarrollo, situación que influye en forma severa en la calidad de los estudios hidrológicos. Los estudios hidrológicos de mala calidad conllevan también a que los estudios hidráulicos estén condenados a seguir el mismo camino

en cuanto a producto, aun cuando se recurra a modelos matemáticos sofisticados. Esta situación, de falta de información, posterga enormemente el uso adecuado de la ciencia y tecnología modernas en la solución de problemas relacionados con la hidráulica de transporte de sedimentos, tal como sucede con las grandes presas construidas en Perú. (Ortiz, Oswaldo)

2.2.14. Proceso de Erosión Hídrica:

La erosión causada por el agua es más significativa que aquella causada por el viento. Los procesos responsables de la erosión hídrica son: desprendimiento, transporte y deposición de partículas de suelo. (Figura N° 2.4)

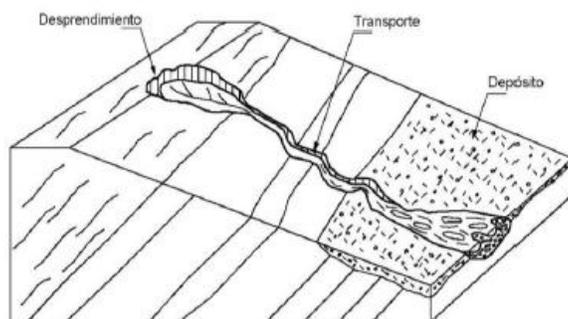


Figura N° 2.4 Proceso General de Erosión

El desprendimiento es la separación de partículas de suelo, la que puede ser originada por la energía cinética del impacto de las gotas de la lluvia o por el desplazamiento provocado por la corriente de agua sobre las partículas del suelo. Una vez que una partícula de suelo ha sido desprendida, se encuentra disponible para su transporte. Las partículas de suelo pueden ser desplazadas en unos pocos milímetros, como en el caso de las removidas por la salpicadura de las gotas de lluvia, o transportadas cientos de kilómetros por el agua corriente. No todos los sedimentos llegan hasta los océanos; algunos son depositados en las bases de las laderas, en las represas, acequias y otros lugares.

La Erosión se inicia con el salpique, que ocurre cuando las partículas del suelo se separan y son transportadas, como resultado del impacto de la caída de la gota de lluvia (Figura 2.5a 2.5.d). La erosión en láminas inicia mediante remoción de capas del suelo y es causada por una combinación del efecto de las gotas de lluvia y la escorrentía superficial (Figura 2.5e), posteriormente, a medida que el agua se concentra, se forma la erosión en surcos (Figura

2.5f) y finalmente cuando la concentración del flujo se profundiza, hay una ampliación en los surcos, dando origen a la erosión en cárcavas (Figura 2.5g). Adicionalmente la dinámica de las cárcavas no se limita a procesos de escorrentía, sino a flujos superficiales. (TESIS DE JEINER BUITRAGO)

Es necesario comprender los procesos de la erosión del suelo para reducir o eliminar eficientemente la erosión. El desarrollo y utilización de un modelo físico nos permite visualizar los factores que tienen influencia en el comportamiento de un sistema. Por ejemplo, en el control de la erosión del suelo se puede utilizar un modelo para estudiar los efectos de las distintas prácticas de manejo en la erosión del suelo, la calidad del agua o la productividad de los cultivos.

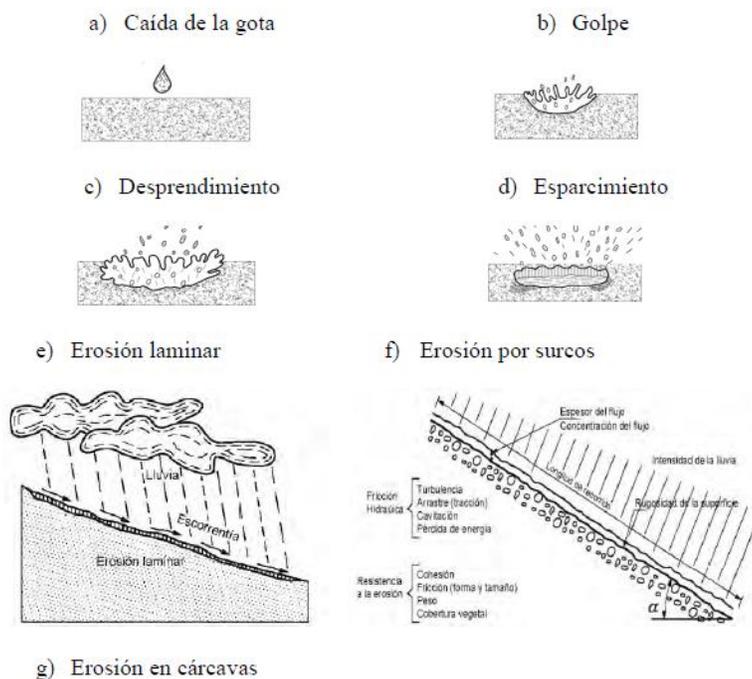


Figura N° 2.5 Esquematización del proceso de erosión del suelo causado por el Agua

2.2.15 Modelo de Erosión Hídrica:

“Cuando se predice la erosión, se debe decir si la predicción es para un año, un día, una tormenta o para periodos cortos en una tormenta, si se refiere a una ladera, una parcela o una cuenca. Estas perspectivas en el tiempo y en el espacio influirán en los proceso que deben

incluirse en el modelo, en la forma que deben describirse y en el tipo de datos necesarios para validar el modelo y su funcionamiento.” (Morgan 1994)

Existen modelos que se han utilizado para desarrollar políticas de conservación de suelos, aunque en general hasta los momentos han sido modelos paramétricos como la Ecuación Universal de la pérdida de suelo (USLE), el SLEMSA y últimamente la RUSLE. Pero teniendo en cuenta que el conocimiento de los procesos erosivos ha mejorado significativamente en los últimos años, ahora se pueden desarrollar modelos con base física y de caja blanca desarrollados con un soporte digital. Si lo clasificamos según los datos obtenidos, modelos cuantitativos de evaluación indirecta, básicamente físicos. Por lo tanto la revisión de los modelos existentes intentara clasificar los modelos según si son empíricos o físicos pero sin olvidar que el límite entre un tipo de modelo y otro no es nítido y la evolución en el desarrollo de los modelos es importante.

Por lo tanto para seleccionar un modelo de predicción que pueda ser utilizado en conservación de suelos o en el desarrollo de estrategias políticas, se requiere una evaluación de los modelos para determinar la capacidad para trabajar según la escala espacial (a nivel local, regional o nacional) y la exactitud de los datos requeridos.

a Modelos Empíricos: durante la década de los años sesenta aparecieron varios modelos sencillos de tipo caja negra , que relacionan la pérdida del suelo con la lluvia o con la escorrentía en grandes cuencas, pero con la gran limitación que supone no saber cuál es la causa de la erosión:

$$Q_s = a Q^b \quad \text{Ecuación 2.6}$$

Donde Q_s es la descarga de sedimento, Q es la descarga de agua y a es un índice de la severidad de la erosión que no siempre se puede establecer. Para el modelo de Jovanovic et. Al (1958) $b = 2.25$ que para un modelo semejante de Leopold et. al (1964) b tiene un valor entre 2.0 y 3.0.

b. Fournier (1960):

Fournier en 1960 desarrollo un modelo empírico de caja gris que relacionaba la producción media anual de sedimentos (Q_s , g/m²), la altitud media (H, m) y la pendiente media de la cuenca (S, grados) y la lluvia mediante una ecuación de regresión:

$$\text{Log } Q_s = 2.65 * \text{Log } p^2/p + 0.46(\text{log } H)(\text{Tang}S) - 1.56 \quad \text{Ecuación 2.7}$$

Donde p es la mayor precipitación media mensual, P es la precipitación media anual, luego la relación p^2/P es un índice de concentración de la precipitación en un solo mes (no es una medida de la intensidad de la precipitación). El problema es que la ecuación no se puede extrapolar más allá del campo de valores que la definieron.

c. Ecuación universal de la pérdida de Suelo:

La Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (EUPS), desarrollada en los años 70 por Wischmeier y Smith (1978), es largamente utilizada en el mundo, incluso en los trópicos. Esta ecuación, que calcula la pérdida de suelo promedio anual en laderas bajo usos y manejos de suelo específicos, es una ecuación estocástica, dado por el producto de seis factores independientes. Su buena precisión en la estimación de la pérdida de suelo promedio anual, como su sencillez de aplicación y la relativa disponibilidad de datos en distintas regiones, permiten una utilización prácticamente universal (González del Tánago, 1991; Chaves, 1996).

En bases promedios anuales, la eficiencia predictiva de pérdida de suelo a nivel vertiente es mejor que la de otros modelos más complejos y, sus coeficientes de eficiencia varían de 0,75 (Risse *et al.*, 1993) a 0,80 (Tiwari *et al.*, 2000).

Como en cualquier modelo, las limitaciones predictivas de la EUPS se deben a su estructura, o *incertidumbre de conocimiento* (Wischmeier, 1976), y a las incertidumbres resultantes de errores de estimación de sus factores, o *variabilidad estocástica*, debido a la variabilidad del ambiente natural (McIntosh *et al.*, 1994). Esta última puede ser dividida en variabilidad temporal y variabilidad espacial (Hession *et al.*, 1996). (Procesos de Erosión – Sedimentación en cauces y cuencas Volumen 1)

El modelo se expresa mediante:

$$A = RKLSCP \quad \text{Ecuación 2.8}$$

A = Promedio anual de pérdida de suelo (t /ha · año)

R = Factor de Erosividad de la lluvia (MJ mm/ha.año)

K = Factor de Erosionabilidad del suelo (t · /ha · año) (MJ mm /ha)

L = Factor de longitud de la pendiente (adimensional)

S = Factor del grado de la pendiente (adimensional)

C = Factor de manejo del cultivo (adimensional)

P = Factor de prácticas mecánicas para el control de la erosión (adimensional).

C.1 Factor de la Erosividad de la lluvia, R

El factor de Erosividad de la lluvia (R) está representado por la intensidad de la lluvia, y es considerado el desencadenante del proceso de erosión del suelo, debido a que representa el efecto del impacto de la lluvia, por la cantidad y velocidad de la tormenta asociada con la precipitación del evento, por lo tanto es definido como el producto de la energía cinética y la intensidad máxima durante treinta minutos que determina la erosividad de la lluvia.

Está definida como la capacidad potencial de esta para causar erosión, es medida por medio de los índices de erosividad (Figueroa et al., 1991). La ecuación usada para el cálculo fue desarrollada por Wischmeier y Smith y modificada por Arnoldus es la siguiente:

$$R = \sum_1^{12} 1.735 \times 10 \left(1.5 \times \log_{10} \frac{P_i^2}{P} \right) - 0.08188 \quad \text{Ecuación 2.9}$$

Donde:

R es el factor de Erosividad de la lluvia (MJ mm/ha.año)

Pi precipitación mensual (mm)

P precipitación anual (mm)

C.2.- Factor de Erodabilidad del Suelo K:

El término erosionabilidad del suelo se usa para indicar la susceptibilidad de un suelo a la erosión (Figueroa et al. 1991).

El modelo de la Ecuación universal de la pérdida de suelo utiliza la técnica propuesta por Wischmeier para medir el factor K del tipo de Suelo, esta metodología incluye muchas propiedades del suelo así como el tamaño de (limo, arena y arcilla), contenido de materia orgánica, estructura del suelo y permeabilidad del suelo. El tamaño de las partículas fue clasificado en cinco clases (arena, arena muy fina, limo, limo muy fino y arcilla) con el uso del método de la pipeta. Y los códigos de la permeabilidad fueron obtenidos de la National Soils Handbook N° 430 USDA, 1983. (Belasri, A. and Lakhouili, A. (2016).

La Erodabilidad es la cantidad promedio de suelo perdido por unidad del factor R cuando el suelo en cuestión es mantenido permanentemente desnudo, con laboreo secundario a favor de la pendiente. Es un factor que toma en cuenta el tipo de suelo. La erodabilidad del suelo K, es un factor que indica la susceptibilidad de los suelos a erosionarse. Puede ser estimado de manera directa o de manera gráfica. El método utilizado involucra muchas propiedades del suelo. La expresión desarrollada por Wischmeier y Smith es la siguiente:

$$100K = [2,1 M^{1.14} 10^{-4} (12-a) + 3,25 (b-2) + 2,5 (c-3)] \text{ Ecuación 2.10}$$

Donde:

M = (% arena muy fina y limo) (100 - % arcilla);

a = % de materia orgánica

b: Código de tipo de estructura establecido según la USLE (Tabla N° 2.3)

c: Código del tipo de permeabilidad establecido según la USLE (Tabla N° 2.4)

Tabla N° 2.3 Factor a, Código de Estructura del Suelo de USLE

Código USLE	Estructura del Suelo
1	Granular muy fina $\varnothing < 1 \text{ mm}$
2	Granular fina $1 \text{ mm} < \varnothing < 2 \text{ mm}$
3	Granular de media a gruesa $2 \text{ mm} < \varnothing < 10 \text{ mm}$
4	Cúbica, laminar o masiva

Tabla N° 2.4 Factor b, Código de Permeabilidad del Suelo de USLE

Código USLE	Permeabilidad
1	Rápida de (125 a 250 mm/h)
2	De rápida a moderada (62 mm/h 125 mm/h)
3	Moderada (20 mm/h 62 mm/h)
4	De moderada a lenta (5 mm/h 20 mm/h)
5	Lenta (1,2 mm/h 5 mm/h)
6	Muy lenta < 1,2 mm/h

C.3.- El Factor LS:

Tanto la longitud de la ladera como su pendiente influyen considerablemente en las tasas de erosión de un suelo, siendo el relieve uno de los principales factores que determinan la emisión de sedimentos de las cuencas vertientes. Wischmeier y Smith (1978) definen la longitud de ladera como la longitud que recorre la gota de escorrentía desde que se forma, en la divisoria, hasta que encuentra un cauce o una zona de sedimentación. La combinación del Factor LS de una cuenca fue derivado del modelo de elevación digital por medio de ARGIS, la cual fue propuesta por Moore and Burch a través de la siguiente ecuación:

$$LS = \frac{(acumulaci\acute{o}n\ de\ flujo \times\ tama\~{n}o\ de\ celda)^{0.4} (sen\ pendiente)^{1.3}}{22.13 \cdot 0.0896} \quad \text{Ecuaci\acute{o}n 2.11}$$

Donde:

Acumulaci3n de Flujo = acumulaci3n en una celda, Tama1o de la Celda Seno de la Pendiente en Grados de la Cuenca.

C .4.- Factor C: es el factor de manejo del cultivo y representa la relaci3n entre la p3rdida de suelo con un cultivo dado y la que se produce con ese mismo suelo desnudo. Como las p3rdidas de suelo varían con la erosividad y la morfología de cubierta vegetal, es necesario tener en cuenta los cambios que se producen en estas a lo largo del a1o para obtener el valor anual. Este factor se obtiene de tablas que relacionan el manejo de cultivo con el uso de la tierra en la zona de estudio.

C.5.- Factor P: es el factor de prácticas de control de la erosión se obtienen de las tablas que relacionan las pérdidas de suelo en parcelas donde se aplican las prácticas con las producidas sin ellas. Sin prácticas de control de la erosión, el valor de P es igual a 1,0. Cuando se construyen terrazas de drenaje, se utiliza el factor P de cultivo a nivel y el factor LS se ajusta para la longitud de pendiente que representa la distancia horizontal entre terrazas. Este método no es apropiado para terrenos abancalados, pero a partir de investigaciones en Taiwan, Chan (1961), obtuvo distintos valores para los diferentes tipos de bancales.

En el pasado, las estimaciones de la erosión del suelo se predecían utilizando ecuaciones obtenidas empíricamente, como la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo (USLE) (Wischmeier y Smith, 1978). Recientemente los modelos de erosión de suelos y movimiento químico han sido basados en los procesos más importantes de erosión de suelos y movimiento de agua tales como el desprendimiento y transporte de partículas causado por la lluvia y el escurrimiento (Beasley, 1977). Mediante este tipo de modelo se trata de describir las razones del comportamiento observable del fenómeno en mayor detalle y lograr de este modo una mejor comprensión de los factores que influyen en la erosión del suelo y el movimiento químico. Los modelos desarrollados hasta la fecha han proporcionado una percepción significativa de los procesos de la erosión del suelo; sin embargo, tienen una serie de limitaciones que restringen su utilización.

2.2.16 Transporte de Sedimentos:

La erosión hídrica es un fenómeno de transporte de material sobre la superficie terrestre que comprende tres procesos: la erosión, el transporte y el depósito de sedimentos. La erosión se requiere al desprendimiento de los sedimentos por la acción de la escorrentía superficial agua, el transporte comprende el tránsito de los sedimentos a través del flujo y el depósito corresponde a la decantación de los sedimentos sobre la ladera y los cuerpos de agua (Nearing et al., 1989). La carga de material sólido que llega hasta la salida de una cuenca hidrográfica, durante un periodo determinado, por medio de los procesos sedimentológicos se denomina tasa de producción o rendimiento de sedimentos (Jain y Kothiyari, 2000)

De acuerdo con Julien (1995), un acercamiento representativo de la realidad física considera que los procesos de erosión, transporte y depósito de sedimentos son función del material

disponible y la capacidad de arrastre del flujo. Según esta aproximación los procesos erosivos dependen de dos grupos de variables: las que dominan la energía del flujo y las que reflejan las propiedades de los sedimentos. En el primer grupo se pueden mencionar variables tales como la precipitación, la pendiente y la rugosidad; en el segundo grupo se encuentran factores como la textura del suelo y la cohesión de los agregados.

Para calcular la producción de sedimentos en la ladera existen diversas aproximaciones, unas totalmente empíricas y otras con base física. La Ecuación Universal de Pérdidas de Suelos (EUPS) (Wischmeier y Smith, 1978) y sus derivados han sido las aproximaciones empíricas más empleadas; sin embargo estos modelos presentan muchos inconvenientes tales como la limitación en el rango de aplicación, la carencia de significado físico y la necesidad de usar un factor de entrega (SDR) dependiente del área de agregación.

Williams (1975) determina que la estimación del transporte de Sedimentos para una tormenta individual puede ser simplificada por el uso de la EUPS reemplazando el factor R, para lo cual llevo a cabo la revisión de la EUPS con el uso de 778 eventos de lluvia de 18 cuencas pequeñas, con áreas que variaban entre 15 a 1500 ha, pendiente de 0.9 a 5.9 % y longitud de pendiente de 78.64 a 173.74 m (Williams and Berndt 1977, Hann et al.1994) y es denominada la ecuación universal de pérdida de suelo modificada (MUSLE). La MUSLE tiene la siguiente forma:

$$S_y = a (V \cdot Q_p)^b K L S C P \quad \text{Ecuación 2.12}$$

Donde:

S_y es el transporte de Sedimentos en ton/año

V es el volumen para un evento en m^3

Q_p es el flujo máximo del evento en m^3 / Seg

K es el factor de erosionabilidad del suelo ($t \cdot /ha \cdot \text{año}$) (MJ mm /ha)

L es el factor de longitud de la pendiente (adimensional)

S es el factor del grado de la pendiente (adimensional)

C es el factor de manejo del cultivo (adimensional)

P es el factor de prácticas mecánicas para el control de la erosión (adimensional).

Para el área donde la ecuación fue desarrollada $a = 11.8$ y $b = 0.56$

2.217 Sistemas de Información Geográfica:

El SIG es un sistema de información diseñado para trabajar con datos referenciados con coordenadas espaciales o geográficas. En otros términos, un SIG es tanto un sistema de base de datos con capacidades específicas para datos especialmente referidos, como una serie de operaciones para trabajar con los datos. En general, el SIG puede ser definido como una herramienta para recolectar, exhibir, manejar, analizar y producir datos especialmente referenciados. Una capa de un mapa es un mapa geográfico en el cual cada ubicación está caracterizada por un solo tipo de dato (ej. suelos, elevación, o vegetación). Los estratos de datos SIG pueden considerarse como una pila de "mapas flotantes" con referencias espaciales comunes, lo que permite al usuario "mirar" hacia abajo y a través de los datos utilizando las capacidades de despliegue y análisis del SIG (Berry, 1987).

Los SIG se utilizan en una amplia variedad de situaciones. Los arquitectos paisajistas han acogido los conceptos del SIG por muchos años, analizando la idoneidad de los sitios y desarrollando capacidades de planificación para un uso específico. Los ingenieros civiles y arquitectos dedicados al desarrollo de grandes áreas tienen intereses y técnicas comparables, incluida la consideración de los impactos ambientales tales como la percepción del ruido y el obscurecimiento o cambio de las vistas. Los profesionales forestales usan esta tecnología para la confección de mapas y manejo de terrenos y para el seguimiento de plagas y enfermedades. Los planificadores de ciudades están utilizando el SIG para ayudar a automatizar la tasación de impuestos, el establecimiento de rutas para los vehículos de emergencia, y el mantenimiento de los servicios de transporte y tierras públicas.

Los administradores del medio ambiente y los científicos utilizan estos sistemas en actividades tales como el mantenimiento de un inventario de especies raras y amenazadas y de sus hábitats, así como para el monitoreo de vertederos riesgosos. Por ejemplo, los SIG se están utilizando en la realización de estudios de los hábitats de la vida silvestre (Tomlin et al. 1983 Davis y DeLain, 1986), de la contaminación de fuentes no puntuales (Gilliland y Baxter Potter, 1987), el cambio del uso de la tierra (Ross, 1985), manejo de las plagas forestales (Jordán y Vietinghoff, 1987) la erosión del suelo (Oslin et al. 1988), análisis de aptitud de uso del suelo (Berry y Berry, 1988), y en modelación hidrológica (DeCoursey, 1988).

Hay cinco elementos esenciales que debe contener un SIG (Knapp, 1978): adquisición de datos, preprocesamiento, manejo, manipulación y análisis, y generación de productos. (Sistemas de información geográfica conexión con los modelos de simulación y aplicación a las materias relacionadas con la erosión, Deposito de Documentos de la FAO)

2.3 Marco Referencial

El embalse Pao-Cachinche es la principal fuente de abastecimiento de agua potable del área metropolitana de Valencia, así como otras poblaciones del estado Carabobo y de Tinaquillo, en el estado Cojedes. Este embalse es alimentado principalmente por los ríos Pao y sus tributarios, principalmente los ríos Chirgua y Paito. El agua de este embalse es bombeada a la planta de potabilización Alejo Zuloaga y de allí se distribuye a distintas comunidades de la cuenca del Lago de Valencia. El embalse Pao-Cachinche comenzó su funcionamiento en el año de 1973, y su vida útil es de 50 años. Sin embargo, los problemas en las cuencas de los ríos que lo alimentan, pueden generar un colapso del embalse en un corto plazo. Ciudades cercanas: Municipio Veroes, Gran Barquisimeto, Municipio Autónomo Alberto Arvelo Torrealba
Coordenadas: 9°54'8"N 68°7'5"W Rio Chirgua (Río Chirgua) es una corriente (class H - Hidrográfica) en Estado Carabobo (Carabobo), Venezuela (South América) con un código de región de Americas/Western Europe. Se encuentra a una altitud de 487 m.s.n.m (metros sobre el nivel del mar) y tiene 650 ha. Sus coordenadas son 9°55'26" N y 68°10'14" W en formato DMS (grados, minutos, segundos) o 9.92389 y -68.1706 (en grados decimales). Su posición UTM es EL99 y su referencia Joint Operation Graphics es NC19-11.



Figura N° 2.6 Ubicación de la Zona de Estudio

2.4 Definición de Términos:

EUPS: Ecuación Universal de la pérdida de Suelo

Embalse: a la acumulación de agua producida por una construcción en el lecho de un río o arroyo que cierra parcial o totalmente su cauce.

Niveles característicos de los caudales de los embalses:

Nivel mínimo: es el nivel mínimo que puede alcanzar el embalse; coincide con el nivel mínimo de la toma situada en la menor cota.

Nivel mínimo operacional: es el nivel por debajo del cual las estructuras asociadas al embalse y la presa no operan u operan en forma inadecuada.

Nivel medio. Es el nivel que tiene el 50 % de permanencia en el lapso del ciclo de compensación del embalse, que puede ser de un día, para los pequeños embalses, hasta períodos plurianuales para los grandes embalses. El período más frecuente es de un año.

Nivel máximo operacional: al llegarse a este nivel se comienza a verter agua con el objetivo de mantener el nivel pero sin causar daños aguas abajo.

Nivel del vertedero. Si la presa dispone de un solo vertedero libre, el nivel de la solera coincide con el nivel máximo operacional. Si el vertedero está equipado con compuertas, el nivel de la solera es inferior al máximo operacional.

Nivel máximo normal: al llegarse a este nivel la operación cambia de objetivo y la prioridad es garantizar la seguridad de la presa. En esta fase pueden ocurrir daños aguas abajo; sin embargo, se intentará minimizar los mismos.

Nivel máximo: en este nivel ya la prioridad absoluta es la seguridad de la presa, dado que una ruptura sería catastrófica aguas abajo. Se mantiene el nivel a toda costa; el caudal descargado es igual al caudal que entra en el embalse.

Volumen muerto: volumen almacenado hasta alcanzar el nivel mínimo.

Volumen útil: es el comprendido entre el nivel mínimo y el nivel máximo operacional.

Volumen de laminación: es el volumen comprendido entre el nivel máximo operacional y el nivel máximo normal. Este volumen, como su nombre indica, se utiliza para reducir el caudal vertido en las avenidas, para limitar los daños aguas abajo.

Caudal firme. Es el caudal máximo que se puede retirar del embalse en un período crítico. Si el embalse ha sido dimensionado para compensar los caudales a lo largo de un año hidrológico, generalmente se considera como período crítico al año hidrológico en el cual se ha registrado el volumen aportado mínimo. Sin embargo, existen otras definiciones para el período crítico también aceptadas, como, por ejemplo, el volumen anual de aporte hídrico superado en el 75 % de los años, que es una condición menos crítica que la anterior.

Caudal regularizado. Es el caudal que se puede retirar del embalse durante todo el año hidrológico, asociado a una probabilidad.

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1.- Tipo de Investigación:

Partiendo de las características del planteamiento del problema y de los objetivos de esta investigación se define de tipo descriptiva la cual es definida según Fidiás, Arias 2013 “consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere.” (p.24)

En este Sentido según Hernández Sampieri, Roberto en el 2014 establece “Con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas”. (p. 92)

Razón por la cual esta investigación se enfocó en el desarrollo del cumplimiento de los objetivos específicos planteados siguiendo estas características del estudio descriptivo.

Este tipo de investigación se caracterizó porque las fuentes primarias y secundarias vienen a constituir parte importante en el desarrollo de la investigación. Teniendo en cuenta que según Hernández Sampieri, Roberto en el 2014 “La revisión de la literatura implica detectar, consultar y obtener la bibliografía (referencias) y otros materiales que sean útiles para los propósitos del estudio, de donde se tiene que extraer y recopilar la información relevante y necesaria para enmarcar nuestro problema de investigación. Esta revisión debe ser selectiva, puesto que cada año se publican en el mundo miles de artículos en revistas académicas y periódicos, libros y otras clases de materiales sobre las diferentes áreas del conocimiento. Si al revisar la literatura nos encontramos con que en el área de interés hay 5 000 posibles referencias, es evidente que se requiere seleccionar sólo las más importantes y recientes, y que además estén directamente vinculadas con nuestro planteamiento del problema de

investigación. En ocasiones, revisamos referencias de estudios tanto cuantitativos como cualitativos, sin importar nuestro enfoque, porque se relacionan de manera estrecha con nuestros objetivos y preguntas. (p. 61)

Esta investigación de carácter documental que se trata de los efectos del transporte de sedimentos de la Cuenca del Rio Chirgua sobre la capacidad de almacenamiento del Embalse Pao Cachinche se requirió una revisión y selección de referencias bibliográficas y documentales.

Por otra parte el enfoque se presenta bajo un planteamiento cuantitativo en el cual se estudiaran los efectos del transporte de sedimentos de la cuenca del Rio Chirgua sobre la capacidad de almacenamiento del Embalse Pao Cachinche partiendo de la caracterización de los factores topográficos, hidrológicos y geomorfológicos de la cuenca del Rio Chirgua , y con la validación , calibración de modelos de erosión hídrica en la cuenca del Rio Chirgua con el uso de sensores remotos; basado en lo siguiente Lester y Lester (2012) consideran que los planteamientos son útiles para: 1) evaluar, 2) comparar, 3) interpretar, 4) establecer precedentes y 5) determinar causalidad y sus implicaciones. Esta tipología es muy adecuada para la investigación aplicada (incluyendo la que tiene como justificación adelantos y productos tecnológicos) y para las investigaciones de las que se derivan acciones. (p 42)

3.2. Diseño de la investigación:

De acuerdo a Hernández Sampieri, Roberto en el 2014 “ Una vez que se precisó el planteamiento del problema, se definió el alcance inicial de la investigación y se formularon las hipótesis (o no se establecieron debido a la naturaleza del estudio), el investigador debe visualizar la manera práctica y concreta de contestar las preguntas de investigación, además de cumplir con los objetivos fijados. Esto implica seleccionar o desarrollar uno o más diseños de investigación y aplicarlos al contexto particular de su estudio”. (p 128)

De acuerdo a Hernández Sampieri, Roberto en el 2014 “En esta obra adoptamos la siguiente clasificación:1 investigación experimental e investigación no experimental. A su vez, la primera puede dividirse de acuerdo con las clásicas categorías de Campbell y Stanley (1966)

en: preexperimentos, experimentos “puros” y cuasiexperimentos. La investigación no experimental la subdividimos en diseños transversales y diseños longitudinales. “(p129)

Esta investigación se planteó bajo el diseño de no experimental y longitudinal para obtener la información y darle cumplimiento al planteamiento del problema.

Teniendo en cuenta que los” Diseños longitudinales son estudios que recaban datos en diferentes puntos del tiempo, para realizar inferencias acerca de la evolución del problema de investigación o fenómeno, sus causas y sus efectos” (p 159)

3.3.- Población y Muestra:

De acuerdo a Hernández Sampieri, Roberto en el 2014 para el proceso cuantitativo, la muestra es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectarán datos, y que tiene que definirse y delimitarse de antemano con precisión, además de que debe ser representativo de la población (p173).

De acuerdo a Hernández Sampieri, Roberto en el 2014 El interés es que la muestra sea estadísticamente representativa.

Hernández Sampieri, Roberto (2014) por otro lado una vez que se ha definido cuál será la unidad de muestreo/análisis, se procede a delimitar la población que va a ser estudiada y sobre la cual se pretende generalizar los resultados. Así, una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones (Lepkowski, 2008b). (p. 174)

De acuerdo a las definiciones descritas según Hernandez Sampieri, Roberto (2014) en esta investigación se utilizara una muestra de la población de los datos de las variables meteorológicas en el periodo de 2015 – 2017 que serán suministrados por el INAMEH, y de la Base de datos del Centro de Investigaciones hidrológicas y ambientales de la Universidad de Carabobo.

3.4.- Fases de la Investigación:

Adecuando la metodología al problema en estudio, que permitieron el desarrollo de la investigación. Estuvo enmarcada en cuatro fases:

Primera Fase: Diagnóstico

En esta primera fase se realizaron los siguientes pasos: selección del título, planteamiento del problema, delimitación de los objetivos de la investigación y justificación de la investigación.

Segunda Fase: Recopilación de información

En esta fase se realizó la revisión de la documentación relacionada con el tema, la ubicación de las fuentes bibliográficas, textos, investigaciones afines, entre otros y por consiguiente se efectuó la discriminación de información significativa a fin de estructurar el contexto teórico, luego se sistematizó la información seleccionada, para finalmente analizar la información obtenida.

Tercera Fase: Procesamiento de datos y obtención de Resultados

En esta fase se llevó a cabo el diseño del instrumento de recolección de datos, la aplicación del instrumento para recabar la información, para finalmente organizar, tabular y procesar los datos desde el año 2015 al 2017.

El diseño del procedimiento a desarrollar para dar resultado a cada uno de los objetivos se planteo de la siguiente manera:

- 1.- Para llevar a cabo la caracterización de la Cuenca del Rio Chirgua a través de imágenes satelitales con el uso de sensores remotos se utilizó el satélite Alos Palsar el cual tiene una resolución de 12,5 m para la obtención del Modelo de Elevación Digital (DEM) de la Cuenca del Rio Chirgua y con el uso del Software Argis 10.1 bajo la herramienta de Hidrología que

contiene el programa se obtiene los factores topográficos (longitud y pendiente) y los factores hidrológicos (dirección y acumulación de flujo).



Figura N° 3.7 Pasos a seguir para caracterizar la Cuenca del Río Chirgua

2.- Para el alcance del segundo objetivo, con el uso del Earth Explore del Servicio Geológico de Suelo de los Estados Unidos (USGS) se obtendrán imágenes satelitales pertenecientes a Landsat 8 para el periodo de estudio establecido en esta investigación desde el año 2015 al 2017. Las cuáles serán procesadas bajo la interfaz de Argis 10.1, Erdas Imagine y Envi. Para llevar a cabo la estimación de la pérdida de suelo ocasionada en la cuenca del Río Chirgua entre los años 2015 al 2017, se utilizaron imágenes del satélite Landsat de alta resolución, y se empleó la Ecuación Universal de la Perdida de Suelo (EUPS), dado que la ecuación se puede usar en cualquier región geográfica. La EUPS calcula el promedio anual de erosión usando una relación funcional de varios factores y por otra parte para la estimación del transporte de sedimentos se usó la ecuación modificada (MUSLE).

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (\text{Ecuación N° 3.13})$$

$$S_y = 11.8 (V * Q_p)^{0.56} KLSCP \quad (\text{Ecuación N° 3.14})$$

Para la obtención de cada una de las variables ecuación de la pérdida de suelo (ecuación N° 3.11) se siguieron los siguientes pasos:

2.1.- Obtención del Factor R (Erosividad de la lluvia)

Para determinar el factor de Erosividad de la lluvia fue necesario estimar las precipitaciones mensuales y el acumulado anual expresadas en mm para el periodo de estudio, usando la información meteorológica del INAMEH disponible a través de la página estaciones.inameh.gob.ve, de precipitaciones mensuales en las diferentes estaciones

distribuidas a lo largo de todo el territorio nacional, con sus respectivas coordenadas geográficas. Y a partir de esta información se llevó a cabo la selección de las estaciones ubicadas en el entorno de la Cuenca del Río Chirgua (Tabla N° 3.5), y realizando la interpolación por el método de Kriging en Argis 10.1 se obtuvieron los mapas de las precipitaciones mensuales y anuales, realizando los ajustes posibles de los datos disponibles para obtener un factor de correlación de R por encima de 0,5.

A partir de los mapas de precipitación mensual y anual se realiza la obtención del factor de Erosividad de la lluvia a escala mensual y el acumulativo anual.

Tabla N° 3.5 Estaciones Climatológicas en el entorno del área de Estudio

	X	Y	Estado	Cuenca
1	608178	1131078	CARABOBO	VALENCIA-OFICINA
2	608490	1159760	CARABOBO	PTO CABELLO BASE NAVAL
3	592724	1106863	CARABOBO	CAMPO CARABOBO
4	616988	1138671	CARABOBO	SAN DIEGO
5	622892	1135723	CARABOBO	VIGIRIMA
6	613822	1154779	CARABOBO	HDA EL MANGLAR
7	626026	1110365	CARABOBO	AGUA BLANCA
8	647852	1133364	ARAGUA	MARACAY
9	682730	1096657	GUARICO	SAN JUAN DE LOS MORROS
10	209945	1163763	ZULIA	LA CANADA
11	301257	799936	BARINAS	GUASDUALITO

2.2.- Factor de Erosionabilidad (K):

Para la estimación de la erosionabilidad de suelos la cual está influida por algunas de sus propiedades, tales como distribución del tamaño de las partículas primarias, materia orgánica, estructura del suelo, óxidos de hierro y aluminio, uniones electroquímicas, contenido inicial de humedad y procesos de humedecimiento y secado.

Y sabiendo que en Venezuela los suelos son de origen aluvial y de acuerdo con su textura varían entre grava y arcilla. Los aluviones en las porciones central y oriental de la Cuenca de Valencia se clasifican como Entisoles y Molisoles. (F.C.Westin FAO).

A partir del mapa de Venezuela de la página web del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (MARN), el cual se georeferencio a través del Software Argis 10.1 y luego con el software Erdas Imagine se realizó la extracción del área de la Zona de Estudio.

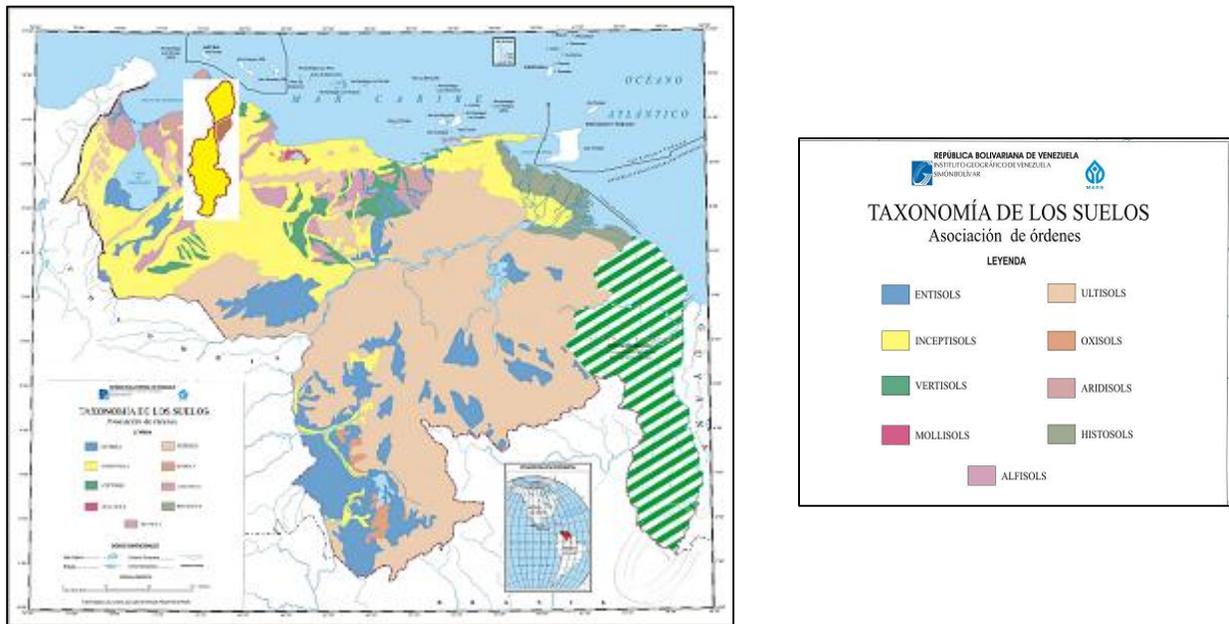


Figura N° 3.8 Mapa de los tipos de Suelo en Venezuela. Fuente: MARN

Para obtener la composición del tipo de Suelo en la cuenca del Río Chirgua se consultó la página de la FAO a través de la dirección: www.fao.org/geonetwork y se obtuvo lo siguiente:

Tabla N° 3.6 Tipos de Suelo en la Cuenca del Río Chirgua

Símbolo de Suelo	Tipo de Suelo	% de arena	% de limo	% de arcilla	% de materia Orgánica
AO	Orthic Acrisols/ Inceptisols	53,6	15,8	30,6	2,25
JE	Eutric Fluvisols/ Oxisols	70,8	12,8	16,5	1,15

Conocida la composición de los suelos que predominan en la cuenca del Río Chirgua de acuerdo a lo que se indica en la Tabla N° 3.5, el factor de permeabilidad y la estructura del suelo en la zona de estudio se tomaron de los resultados obtenidos en estudios previos

realizados por Márquez, Adriana (2011) en la Cuenca del Rio Chirgua obteniendo que la permeabilidad es muy lenta y la estructura del suelo es de partículas muy finas , y finalmente se aplicó la ecuación desarrollada por Wishmeier y Smith en 1978 para obtener el factor de Erodabilidad del Suelo en la zona de estudio por unidad del Factor R.

2.3.- Factor de Grado de Pendiente (LS):

L y S son los factores de la Ecuación universal de la pérdida de Suelo que reflejan el efecto de la erosión en la topografía del suelo. Por lo tanto uno de los factores claves en la pérdida de suelo es la topografía. El factor combinado LS de la Cuenca fue derivado del modelo de Elevación Digital del terreno de la Cuenca y para su estimación se usaron los mapas raster de la acumulación de Flujo y la Pendiente de Chirgua.

Para la obtención de este factor se utilizó la ecuación 2.11 descrita en el Capítulo II que fue adaptada y propuesta por Moore y Burch 1986 (Belasri, A. and Lakhouili, A. (2016)



Figura 3.9 Pasos para la obtención del Factor LS

2.4.- Factor de Cobertura Vegetal (C):

C representa el efecto sobre el suelo de: las actividades, las plantas, secuencia de crecimiento y nivel de productividad, suelo cubierto. Este parámetro representa la capacidad de la vegetación para impedir el arrastre de sedimentos, razón por la cual la vegetación natural juega un rol muy importante, ya que es el factor de reducción de la erosión. El rango de este factor va de 0 a 1.

Para la obtención del mapa de Uso de Tierra para cada una de las imágenes del periodo de estudio se realizó el procesamiento de las imágenes en ArcGIS para la correcciones atmosféricas y de terreno y el apilamiento de las siete bandas que conforman cada una de las

imágenes, y con Software Envi Classic se llevó a cabo la clasificación de cada una de las imágenes, identificando seis usos de tierra en la Cuenca del Río Chirgua, con el uso del modelo de Clasificación Supervisada y el factor de selección de los píxeles de acuerdo a la zona de la clasificación con valores por encima del 0,6%, y finalmente el Valor del factor C se asignó a cada una de las clases de acuerdo a la Bibliografía, las clases obtenidas en cada una de las imágenes fueron : Agrícola , vegetación , Suelo Deforestado, Nubes , Sombras y Zonas Urbanas.



Figura N° 3.10 Pasos para Clasificación de los usos de Tierra

2.5.- Factor de prácticas mecánicas: (P)

Cuando se introducen cultivos en suelos con pendiente, en ocasiones se utilizan prácticas mecánicas que reducen el agua de escurrimiento y por consecuencia la cantidad de suelo que se puede transportar (Figuerola et al. 1991). El factor *P* se define como la relación que existe entre la pérdida de suelo con una práctica de conservación a la pérdida correspondiente en un terreno bajo cultivo en el sentido de la pendiente, su valor es adimensional y se encuentra entre 0 y 1.

Este factor es utilizado para reflejar el efecto de las prácticas mecánicas como lo son: el surcado en contorno, el cultivo en fajas en contorno y las terrazas en los cultivos y las prácticas de manejo utilizadas para reducir el escurrimiento de agua en las tasas de erosión. En esta investigación se tomó el efecto de las prácticas mecánicas del surcado en contorno.

Para la obtención del factor de prácticas mecánicas fue necesario determinar la pendiente de la zona de estudio y luego realizar una reclasificación de los rangos de pendiente obtenidos para relacionarlos con los valores de *P* suministrados por la Bibliografía.

Tabla N° 3.7 Factor P de prácticas de Conservación Fuente: Manual USLE Wischmeier y Smith (1978)

Pendiente (%)	Cultivo en contorno o curvas de nivel		P para cultivo en terrazas
	P*	Longitud máxima de ladera (m)	
1 - 2	0,60	122	0,12
3 - 5	0,50	91	0,10
6 - 8	0,50	61	0,10
9 - 12	0,60	37	0,12
13 - 16	0,70	24	0,14
17 - 20	0,80	18	0,16
21 - 25	0,90	15	0,18

* Se pondera por 0,8 si considera contornos realizados con pilas de residuos

Para la estimación del transporte de sedimentos se tomó en consideración el riego de las zonas agrícolas por aspersión, y de acuerdo a los estudios realizados por **Márquez, Adriana** (2011) "Modelación y Transporte de sedimentos en Surcos en un campo agrícola bajo riego en Venezuela" se extrajeron los datos del caudal por surco de 18lt/min y el área del surco equivalente a 120 m², los cuales se relacionaron con el área de la zona agrícola obtenida en la clasificación de los usos de tierra realizados de cada una de las imágenes incluidas en el estudio, se obtiene el caudal y el volumen mensual estimado para luego ser sustituidos en la ecuación modificada de la pérdida de Suelo y obtener el transporte de sedimentos que son arrastrados hasta el Embalse Pao Cachinche en escala mensual y el acumulado anual.

Con la integración del caudal (Q), volumen (V) y los factores de la ecuación de la pérdida de suelo K, LS, C y P se obtiene la distribución del transporte de sedimentos en la Cuenca, mensual y anual para los años 2015 – 2017 con el uso del Software Argis 10.1.

$$tasaporsurco = \frac{Caudal\ surco}{Area\ surco}$$

Tasa por surco = m/seg

Área = m²

Caudal = m³/seg

Volumen surco = Caudal surco * tiempo (evento de riego)

Caudal Área Agrícola = Área zona agrícola *tasa por surco

Caudal área agrícola = m^3/seg

Área zona agrícola = m^2

Tasa por surco = m/seg

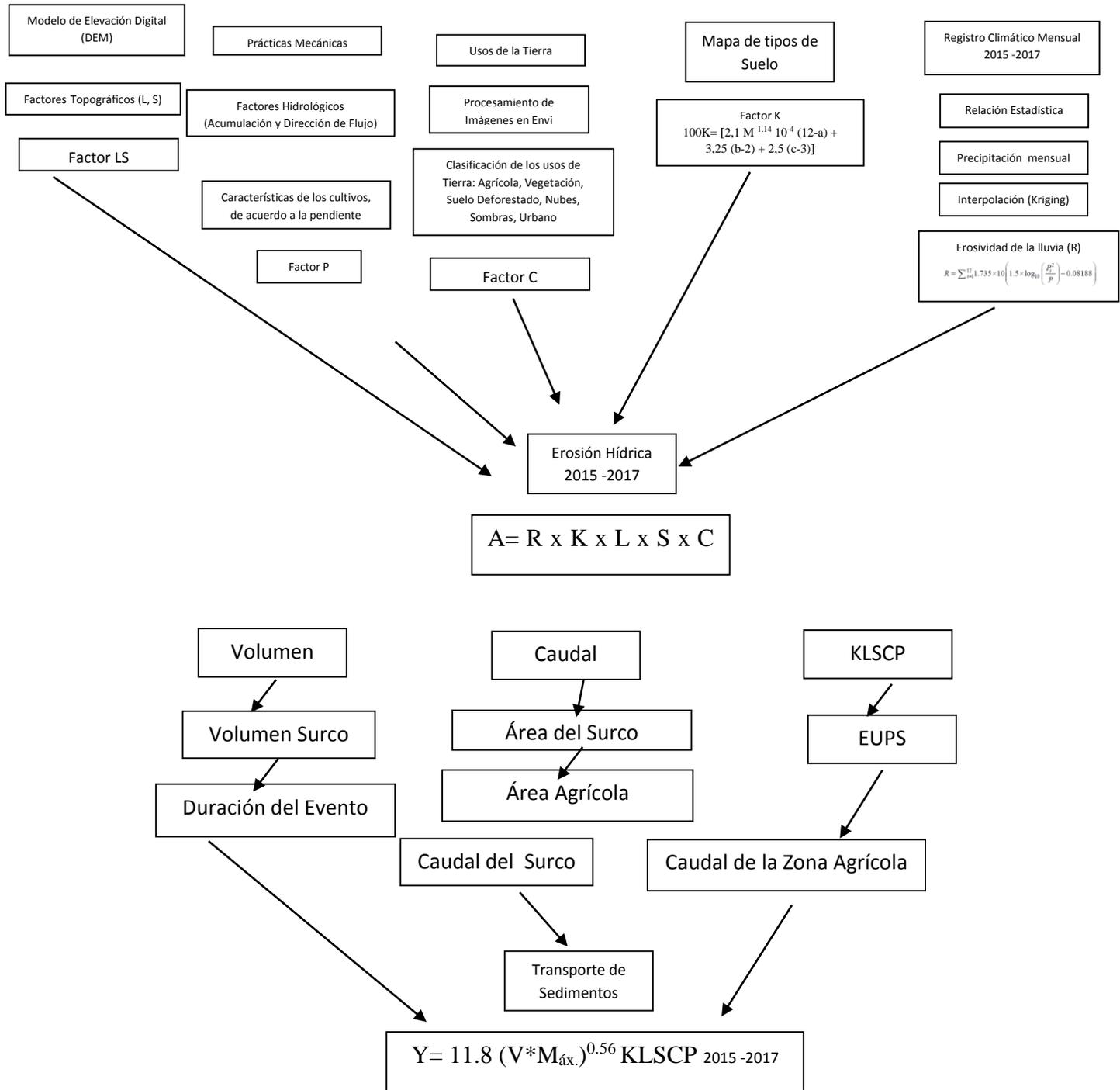


Figura N° 3.11 Metodología para estimación de Erosión Hídrica / Estimación del Transporte de Sedimentos

3.- Para estimar la carga de sedimentos en el embalse para cada uno de los años incluidos en esta investigación, y sabiendo que la Cuenca del Río Chirgua representa una de las corrientes de entrada al embalse, y el aporte de sedimentos que son arrastrados en las diferentes épocas del año hacia el embalse, siendo el factor más influyente las precipitaciones sobre la zona y la acumulación de agua por el sistema de riego usado en las zonas agrícolas, lo que constituye el medio de transporte para los sedimentos.

De acuerdo a Guevara, Edilberto “El sedimento se mueve en las corrientes como sedimento suspendido en el agua que fluye, y como carga a lo largo del lecho del canal. Los dos procesos no son totalmente independientes, puesto que el material que viaja como carga de fondo en una sección puede convertirse en carga suspendida subsecuentemente y viceversa.

A su vez las características que definen los procesos de suspensión, transporte y posterior deposición del sedimento dependen no sólo de las condiciones del flujo, sino también de las propiedades del sedimento. Estas propiedades pueden caracterizar al sedimento como un conjunto, o a las partículas que lo forman, individualmente.”

Y Tomando en cuenta que los sedimentos se clasifican de acuerdo con el tamaño, peso específico, forma, composición mineralógica, color y otros factores. Respecto a su movimiento sobre el agua, el tamaño de las partículas es el factor más importante, ya que debido a él, se origina un amplio rango de movilidad. En la Tabla 12 se muestra la clasificación general del tamaño de los sedimentos y las características que origina al movimiento. (Guevara, Edilberto. Cap 11, Sedimentos, pág. 302)

Tabla N° 3.8 Clasificación general del tamaño de los Sedimentos Fuente: Guevara, Edilberto

Tamaño	Designación	Observación
D<0.005 mm	Coloides	Siempre en suspensión
0.005 mm<D<0.05 mm	Arcilla	Algunas veces o parcialmente en suspensión
0.05 mm<D< 0.64 mm	Limo	Cristales individuales no suspendidos
0.64 mm < D<2 mm	Arena	Fragmentos de rocas
2 mm<D	Grava, piedras	Fragmentos de rocas

La grava y las piedras constituyen predominantemente la carga de fondo, mientras que el limo y las arcillas se mueven predominantemente en suspensión. La arena puede estar sometida a ambos tipos de movimiento. (Guevara, Edilberto). Basado en lo anteriormente descrito y en la información extraída de la página web del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (MARN) sobre los tipos de Suelo en la Cuenca del Rio Chirgua y su composición se tomo como peso específico el de la arena igual a 2,65 (Guevara, Edilberto Capitulo 11, pág. 303) para poder realizar la estimación de la carga de sedimentos expresado en metros cúbicos para cada año.

Y a partir del transporte de Sedimentos estimado de la Cuenca del Rio Chirgua en la Zona Agrícola se realizó la estimación de la carga de sedimentos durante el periodo de estudio.

$$Carga\ de\ Sedimentos = \frac{Y_s}{P.e\ relativo}$$

$$Carga\ de\ Sedimentos = m^3$$

$$Y_s = \text{Transporte de sedimentos ton /año}$$

p.e = peso específico relativo de la arena

Y para dar respuesta al objetivo N° 4 El embalse Pao- Cachinche pertenece al sistema hidrológico del río Pao, formando parte de la cuenca alta con un área de 8.018 hectáreas y suministrando agua al Embalse Guataparo. La subcuenca Pao Cachinche está constituida por las microcuencas de los ríos Chirgua, Paíto, Pirapira, Paya y San Pedro.

Con los valores estimados de la carga de sedimentos y los estudios de Batimetría realizados en la tesis denominada “Análisis Comparativo de la capacidad de almacenamiento del embalse Pao Cachinche en el estado Carabobo” en el año 2015 por: La Cruz, Sara y Mijares, Nairobi. De este estudio se extrajeron una serie de datos con respecto a las características de diseño del Embalse, así como también las Curvas construidas de área – volumen y capacidad, a partir de los cuales se relacionó el volumen de sedimentos estimado en esta investigación. A partir de la Curva de Nivel- Área – Capacidad para el embalse Pao Cachinche de fecha 1973 y con el volumen estimado de sedimentos se obtiene la estimación del porcentaje del área total del embalse ocupado por los sedimentos en el periodo de estudio.

CAPITULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el presente Capítulo se presentan los resultados del proceso de investigación, orientado básicamente al objetivo general que es determinar los efectos del transporte de sedimentos de la Cuenca del Rio Chirgua sobre la capacidad de almacenamiento del Embalse Pao Cachinche con el uso de imágenes satelitales, y los objetivos específicos establecidos en la Investigación.

Este capítulo, está constituido por la tabulación de los resultados obtenidos a partir de los instrumentos aplicados en la investigación y la representación de las imágenes satelitales obtenidas del área de estudio y la interpretación de cada una de ellas para el periodo de estudio establecido.

Objetivo N° 1 Caracterizar factores topográficos, geomorfológicos, hidrológicos de la Cuenca del Rio Chirgua a partir de imágenes satelitales con el uso de sensores remotos

Caracterización de la Zona de Estudio:

1.1.- Obtención del Modelo de Elevación Digital:

Con el uso del Satélite Alos Palsar se obtuvieron las imágenes del área de estudio, con una resolución de 12,5 m, y luego fueron procesadas en la Interfaz de Argis 10.0 para obtener el Modelo de Elevación Digital con una elevación de terreno de 1751 m.s.n.m, en una matriz de 1331 columnas y 4070 filas con un tamaño de celda de 12,5 m (Figura N° 4.12),

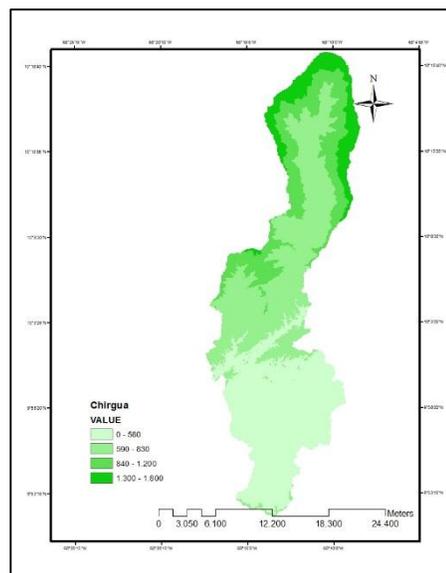


Figura N° 4.12 Modelo de Elevación Digital

El modelo de Elevación Digital representa la proyección del terreno de la Cuenca del Río Chirgua sobre el nivel del mar, a partir de las imágenes obtenidas del satélite Alos Palsar , que representa las diferentes alturas de proyección del terreno , en un rango de 0 a 1800 m.s.n.m , siendo la altura de la ubicación de la cuenca de 487 m.s.n.m

A partir del modelo de elevación digital de la Cuenca del Río Chirgua se obtuvo la **Dirección de Flujo**, el cual sale desde cada celda, Arcgis 10.1 genera ocho direcciones de salida que tiene asignado valores de 1,2,4,8,16,32, 64 y 128 estas direcciones están dadas en función de la pendiente del terreno por lo tanto al hacer una reclasificación se obtiene lo siguiente: 1 al 4 corresponden a pendientes entre 0 -12 % , 4-8 corresponden pendientes entre 12-24 % , 8-32 corresponden pendientes entre 24-36% y 32-128 corresponden pendientes 36-48% (Figura N° 4.13)

Dirección de Flujo %

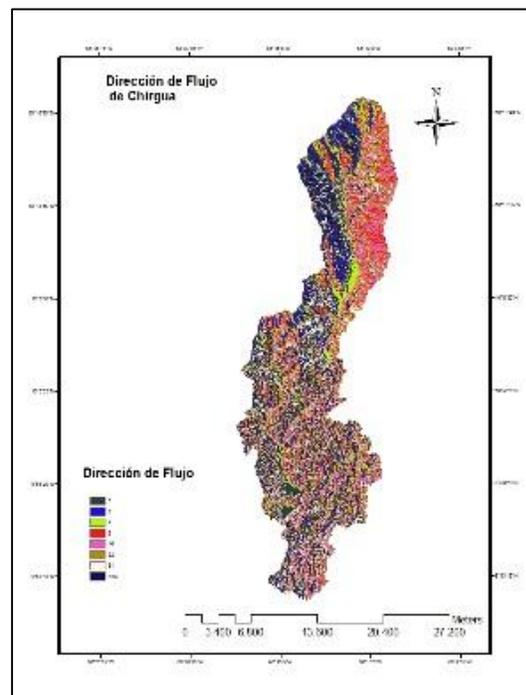
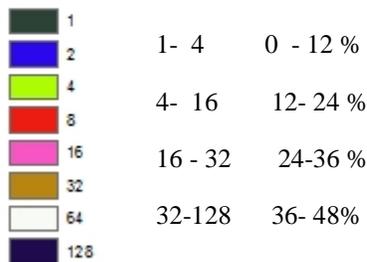


Figura N° 4.13 Dirección de Flujo

Obtenido el Raster de la dirección de flujo se genera la Acumulación de Flujo que representa la cantidad de agua que fluye dentro de cada celda desde todas las celdas de pendiente descendente, y a partir de este se puede deducir que la zona del terreno donde se acumula más agua son las de menor pendiente que oscilan en un rango de (0 - 7,7) (Figura N° 4.14).

Acumulación de Flujo

<VALUE>

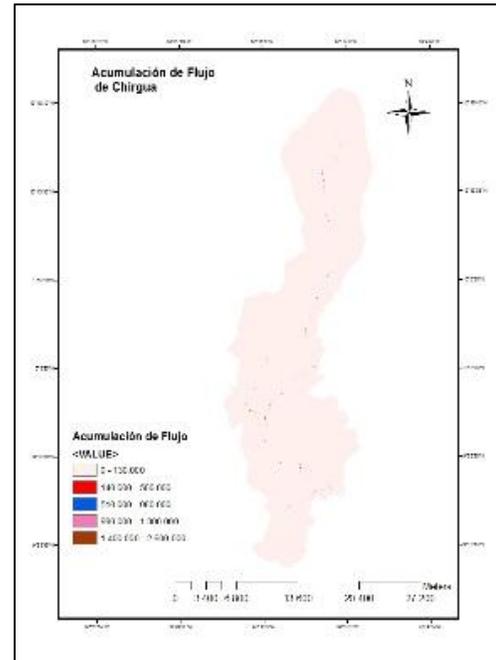


Figura N° 4.14 Acumulación de Flujo

El factor topográfico de la Cuenca del Río Chirgua obtenido del Modelo de Elevación Digital, pendiente, que va de 0 a 89,24%, y de acuerdo a lo que se puede observar en el mapa obtenido para este factor los valores de pendiente de la Cuenca se encuentran en mayor porcentaje entre 0 -25.2% (Figura N° 4.15)

Pendiente (%)

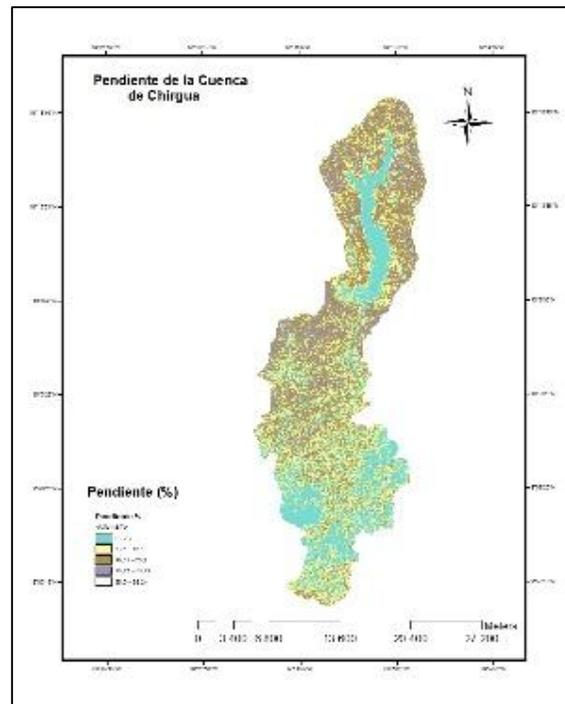
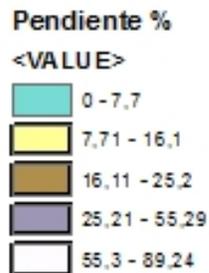


Figura N° 4.15 Pendiente de la Cuenca del Rio Chirgua

Objetivo N° 2 Estimar la erosión hídrica y el transporte de sedimentos en la Cuenca del Rio Chirgua

2.1.- Factor R (Erosividad de la lluvia):

El factor de Erosividad de la lluvia depende de valores de precipitación mensual y anual por lo tanto en este estudio se llevó a cabo la estimación y obtención de mapas de precipitación mensual y el anual se obtuvo con el acumulativo para cada uno de los años del periodo de estudio.

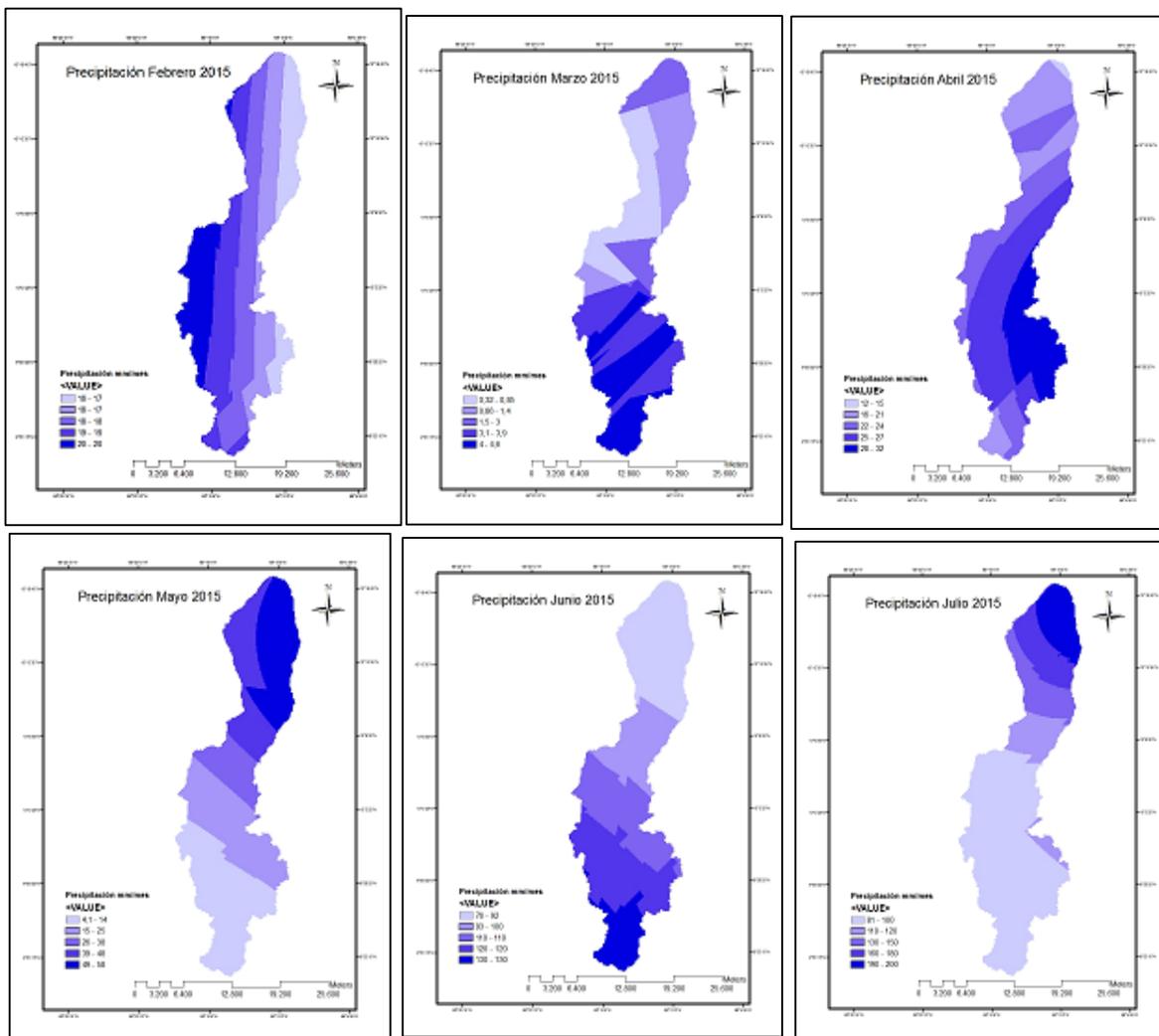
Los mapas de precipitaciones mensuales se obtuvieron de la interpolación con el método de Kriging, obteniendo valores de ajustes de R en las correlaciones entre: 0,34 y 0,79 para el año 2015, 0,29 y 0,44 año 2016 y 0,22 y 0,79 año 2017, y la precipitación anual se obtuvo del acumulativo para cada uno de los años, a partir de los mapas mensuales, esta variable de precipitación se obtuvo en mm/mes y el acumulativo en mm/año.

De los mapas de precipitaciones mensuales, se extrajeron los valores máximo y mínimo registrado para cada uno de ellos, esto se muestra en la Tabla N° 4.8, 4.9 y 4.10 para los años

2015, 2016 y 2017 respectivamente. Y en los mapas mensuales de precipitación se puede apreciar el comportamiento de la precipitación durante el mes y las zonas donde se registraron los valores más altos.

Tabla N° 4.9 Precipitación Mensual Año 2015

Precipitación mm/mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Min	0	16	0,32	12	4	76	81	170	21	48	57	40
Max	12	20	5	32	58	130	200	280	280	180	107	56



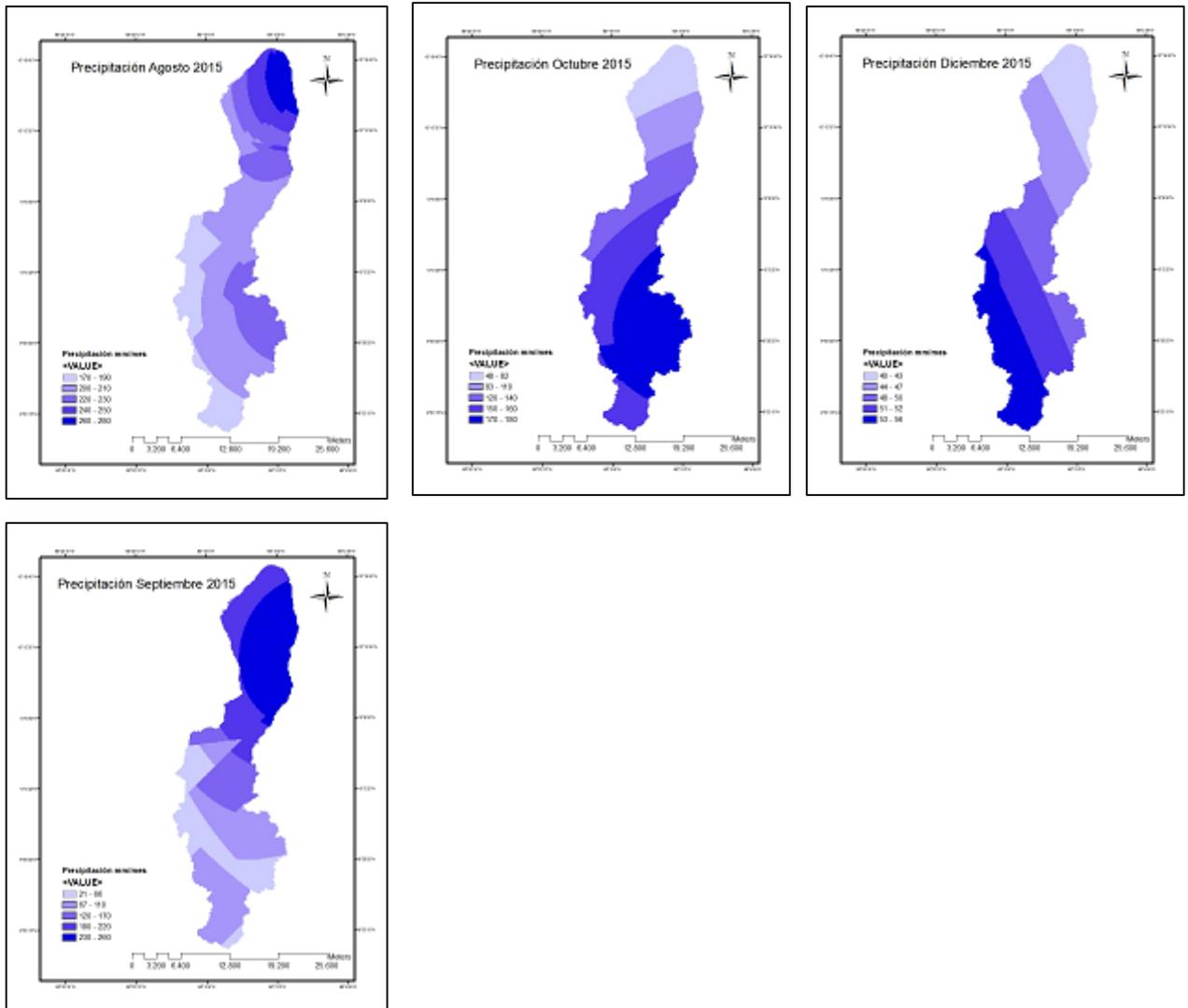
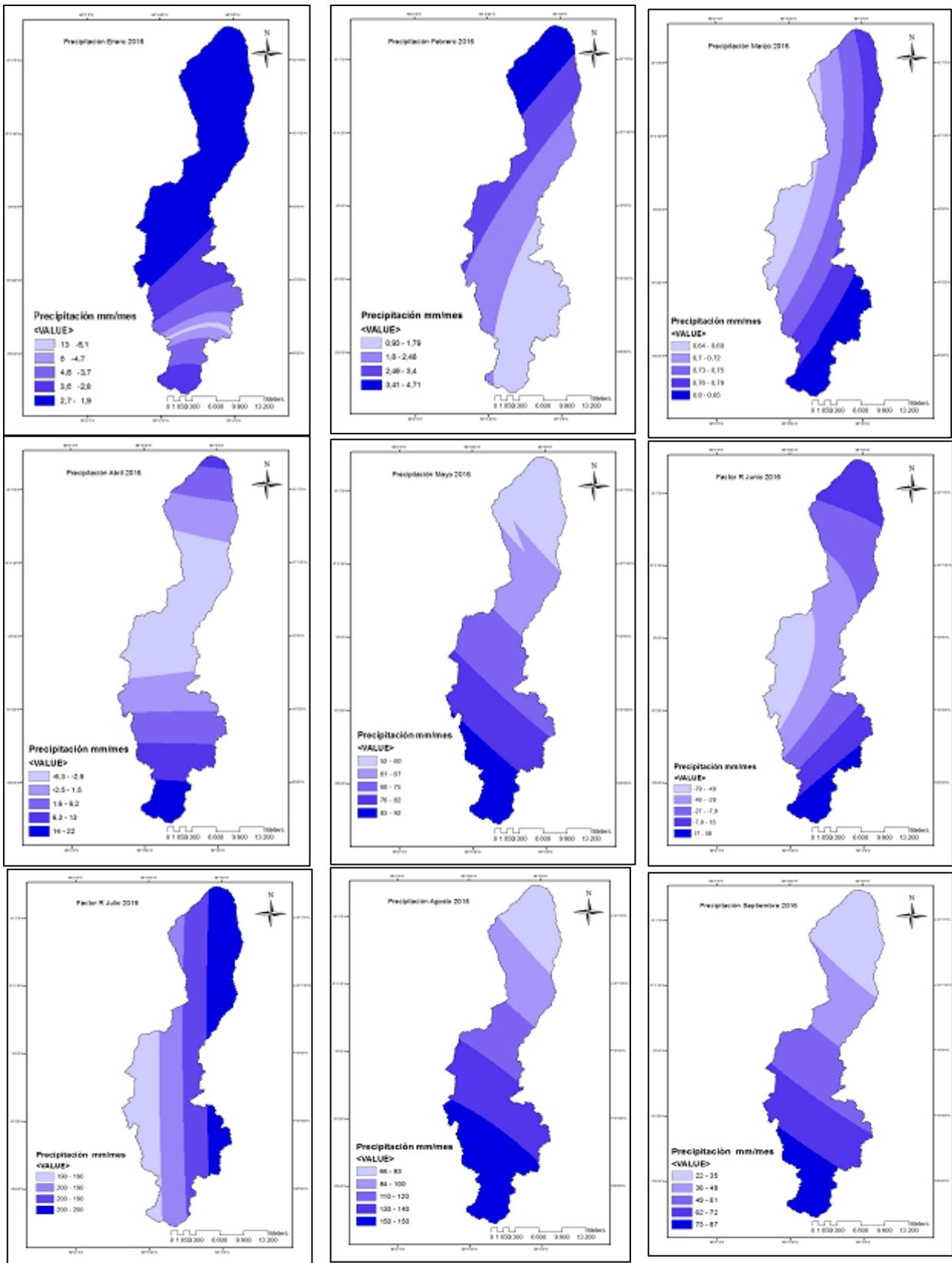


Figura N° 4.16 Precipitación Mensual año 2015

Tabla N° 4.10 Estadísticas de Precipitación Mensual Año 2016

Precipitación mm/mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Min	0	0	0,64	0	52	0	190	66	22	192	220	16
Max	5	5	0,85	22	92	58	195	150	87	190	1500	32



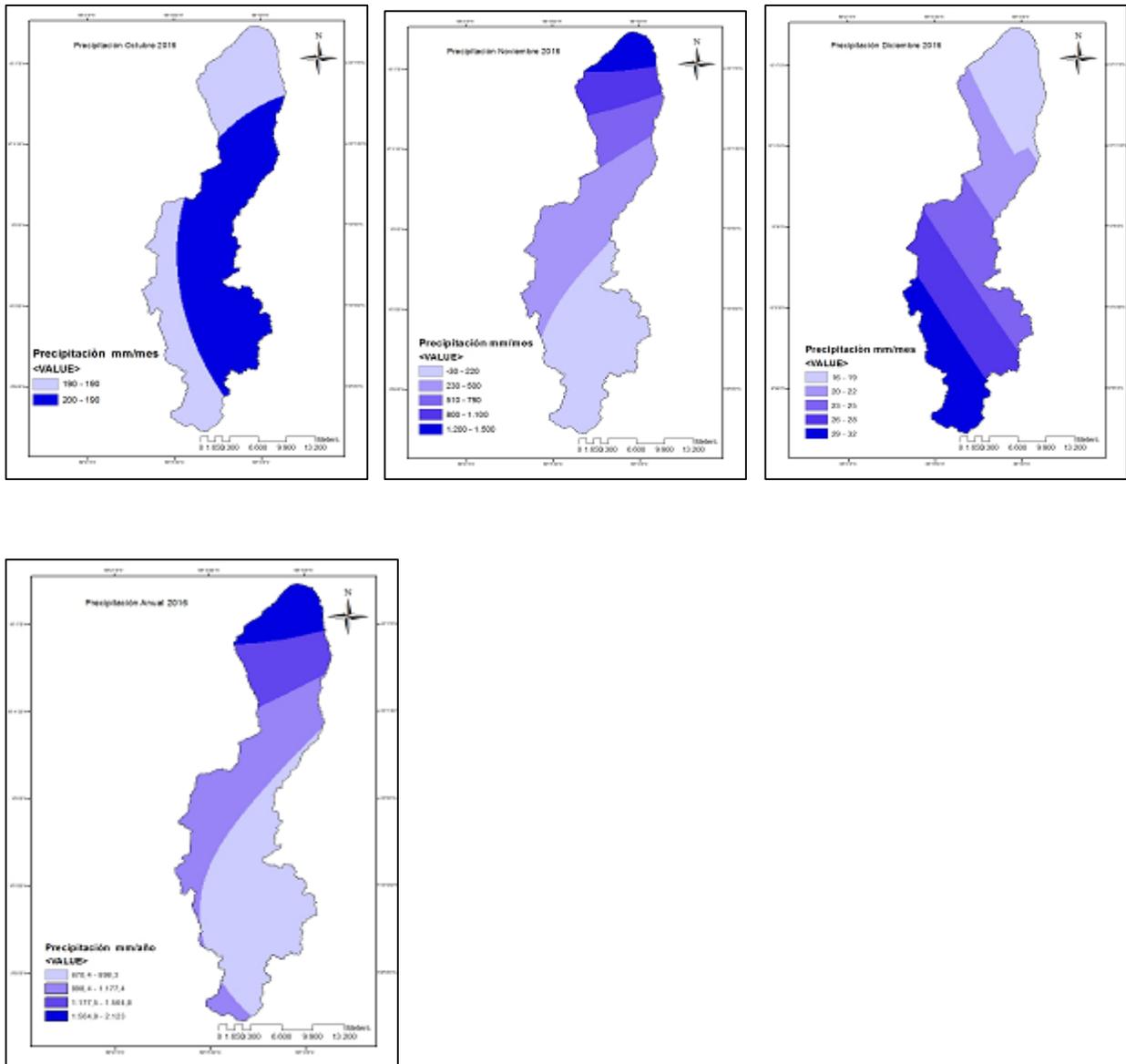
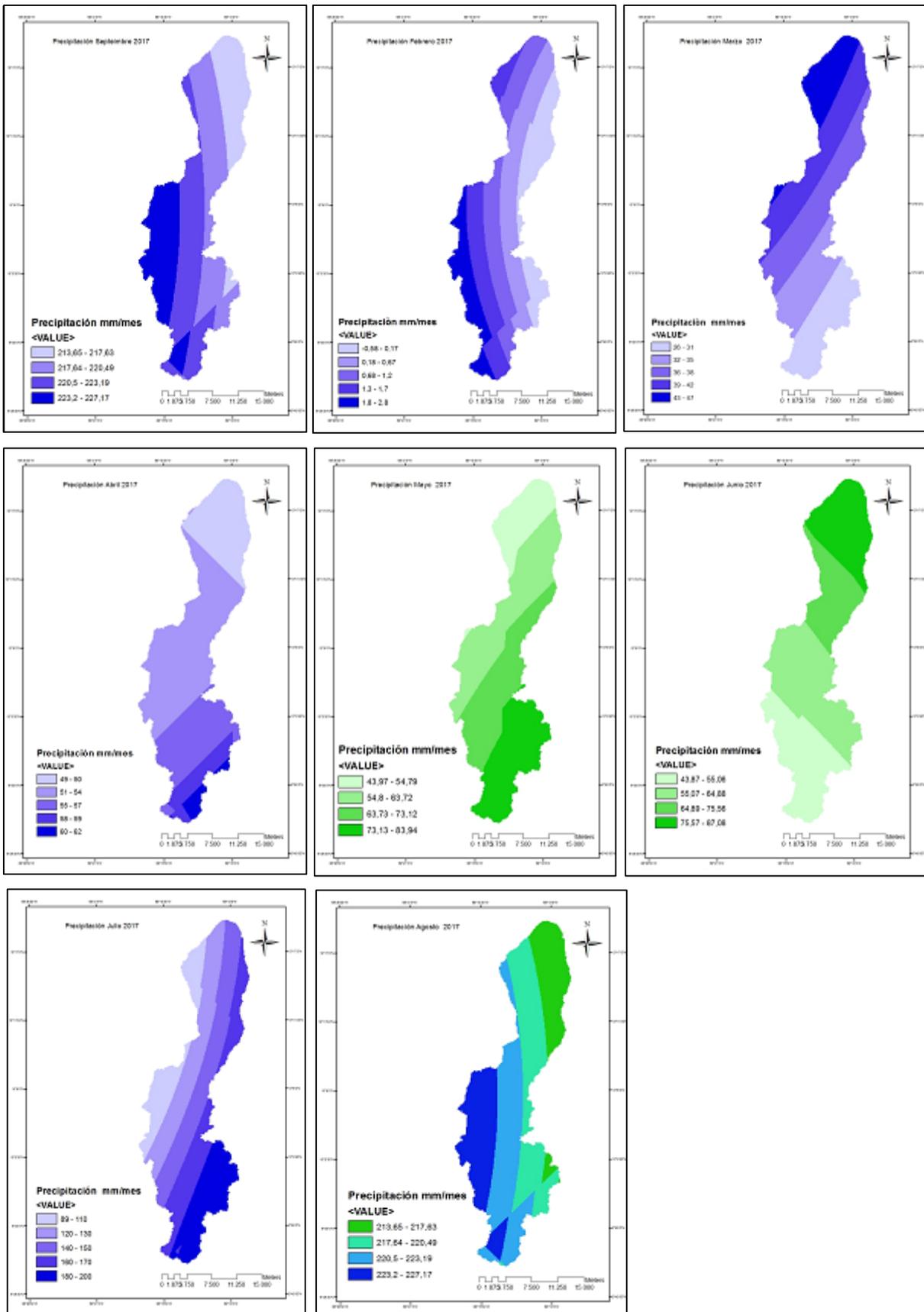


Figura N° 4.17 Precipitación Enero a Diciembre año 2016

Tabla N° 4.11 Estadísticas de Precipitación Mensual Año 2017

Precipitación mm/mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Min	18	0	26	49	43	43	89	213	213	6,4	6,4	0,03 1
Max	25	2,8	47	62	83	87	200	227	227	38	38	6,3



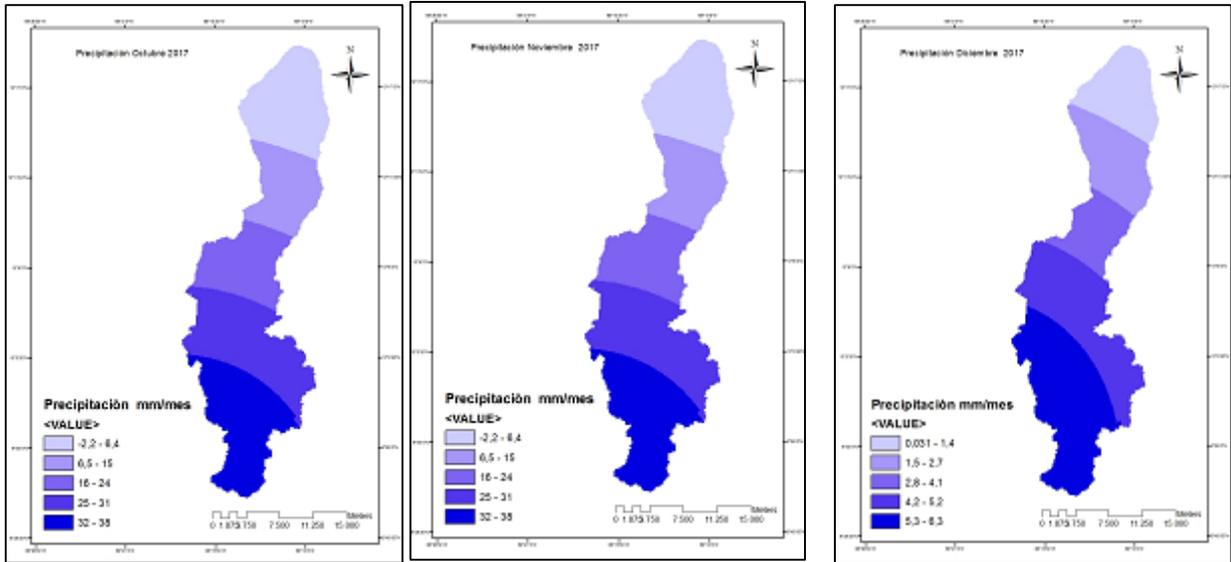


Figura N° 4.18 Precipitación Enero a Diciembre año 2017

A partir de los mapas de las precipitaciones mensuales y con el uso de Argis 10.1 se realizó la estimación de las precipitaciones anuales 2015 -2017 expresadas en mm

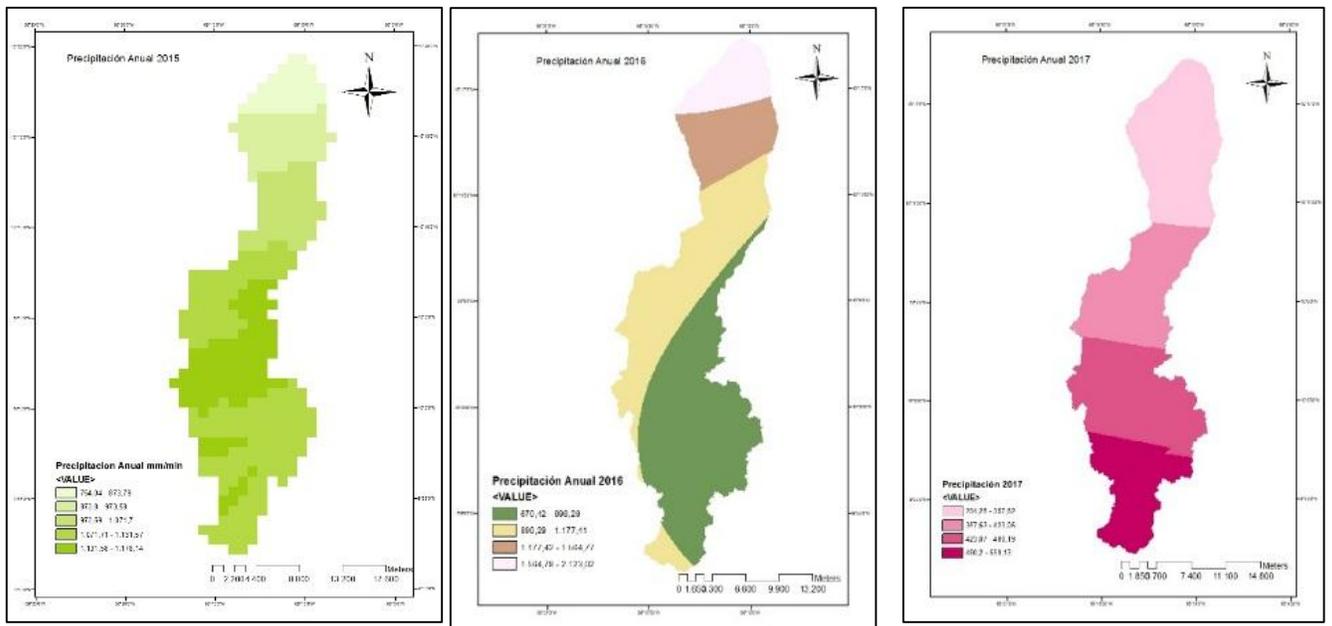
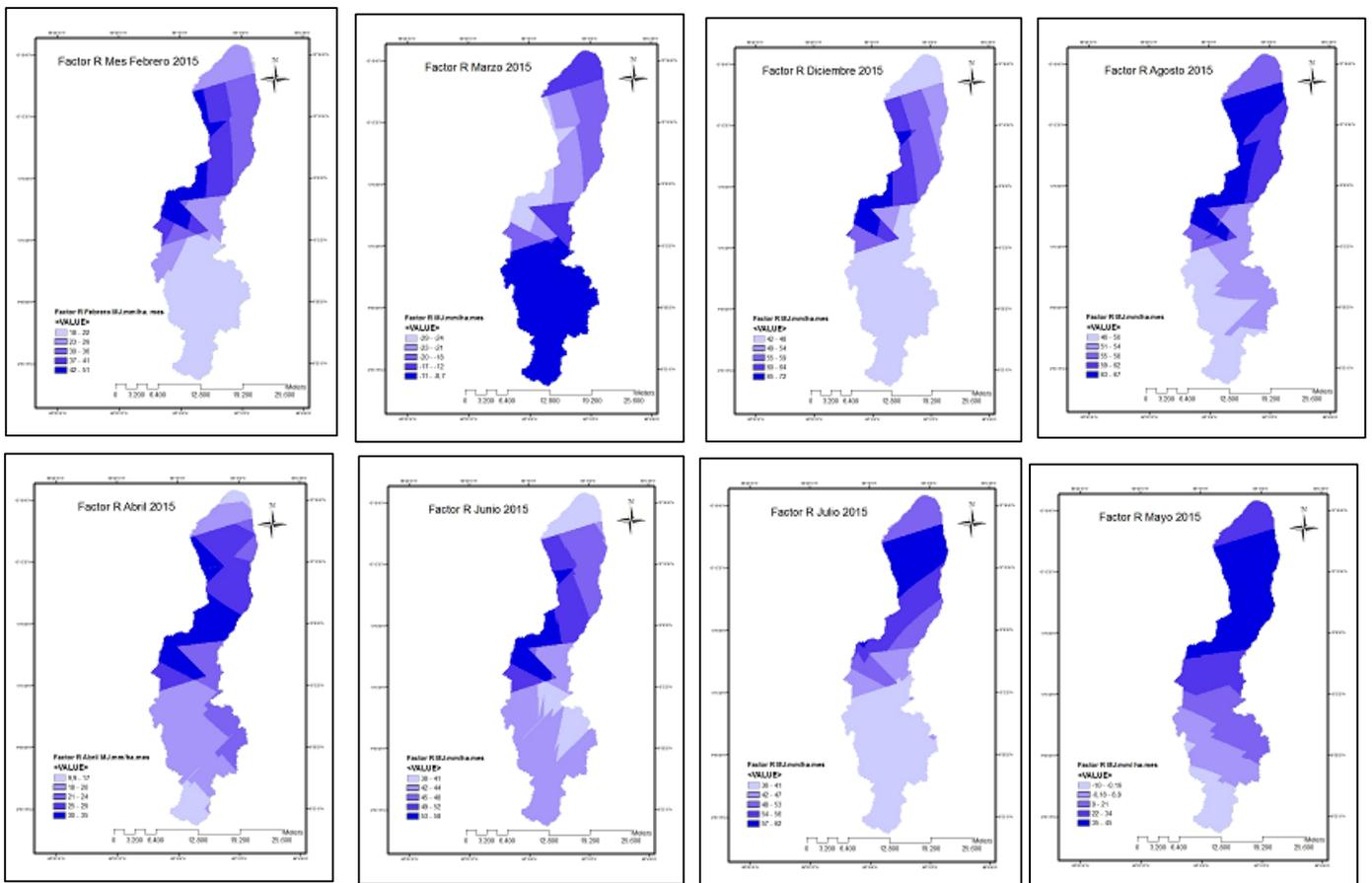


Figura N° 4.19 Precipitación Anual 2015-2016-2017

Tabla N° 4.12 Valores Máximos y Mínimos de Precipitación Anual

Precipitación (mm/año)	Mínimo	Máximo
2015	754	1178
2016	670	2123
2017	294	559

Por lo tanto el Factor de Erosividad de la lluvia (R) se obtiene para una escala mensual y el acumulativo anual, este viene expresado en MJ.mm/ha.mes cuando se obtiene a partir de cada mapa de precipitación mensual y el acumulativo anual se obtiene en MJ.mm/ha .año, este factor es delimitado para el área de la zona agrícola de la Cuenca del Río Chirgua.



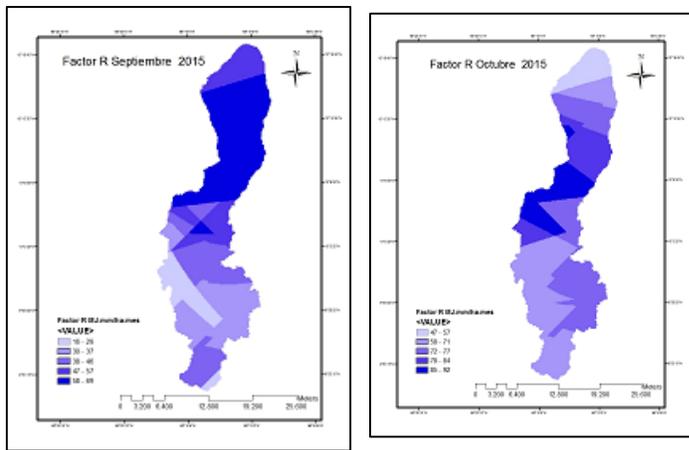


Figura N° 4.20 Factor de Erosividad de la lluvia (R) MJ.mm/ha.mes Año 2015

Tabla N° 4.13 Factor de Erosividad del año 2015

R MJ.mm/ha.mes	Ene	Feb	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Dic
Min	48	18	11	5	38	39	46	18	56	42
Max	92	50	85	59	58	68	66	69	92	69

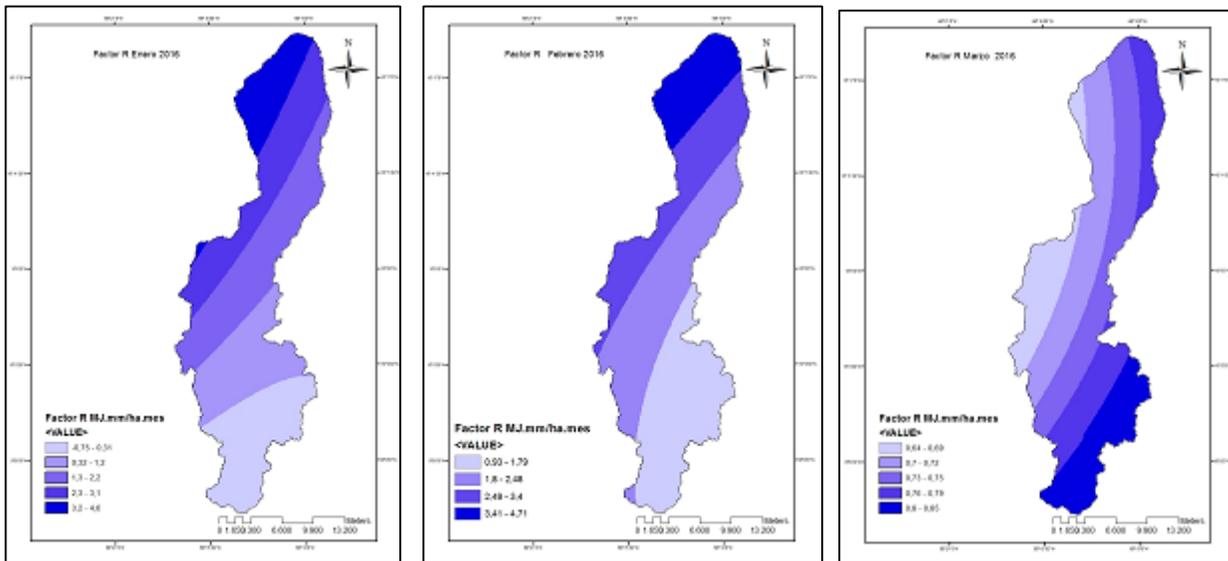
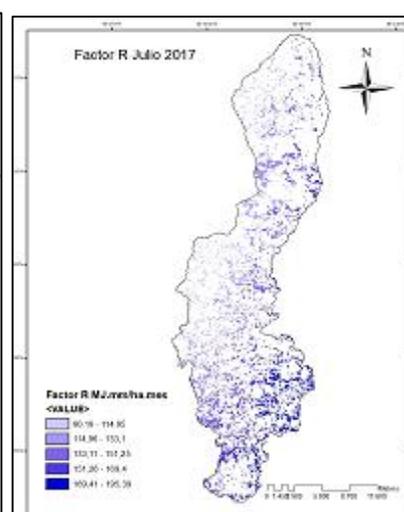
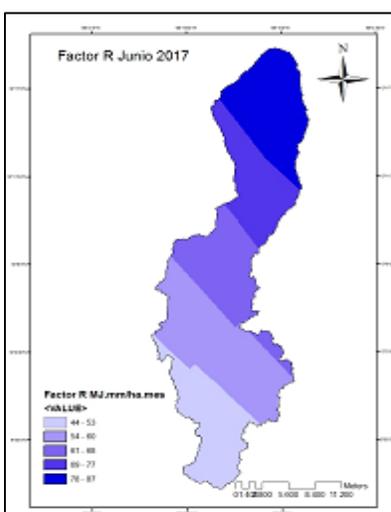
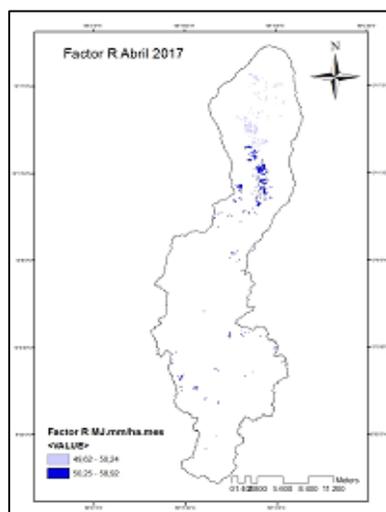
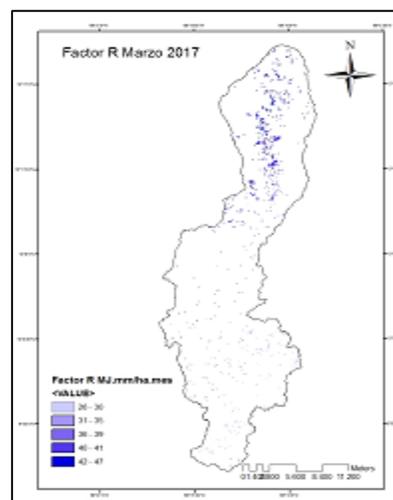
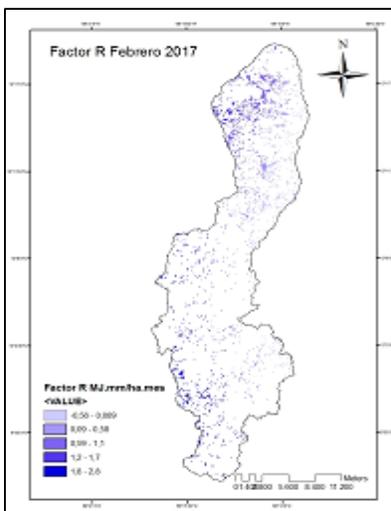
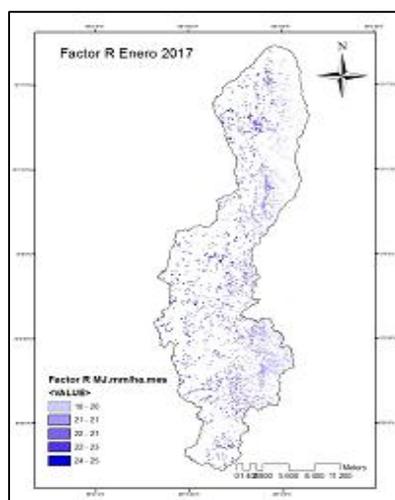




Figura N° 4.21 Factor de Erosividad de la lluvia (R) MJ.mm/ha.mes 2016

Tabla N° 4.14 Factor de Erosividad del año 2016

R MJ.mm/ha.mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Sep	Oct	Nov	Dic
Min	0,74	0,92	0,6	0,64	53	0	90	23	191	262	17
Max	4,6	4,69	0,9	0,84	77	59	196	87	192	1484	33



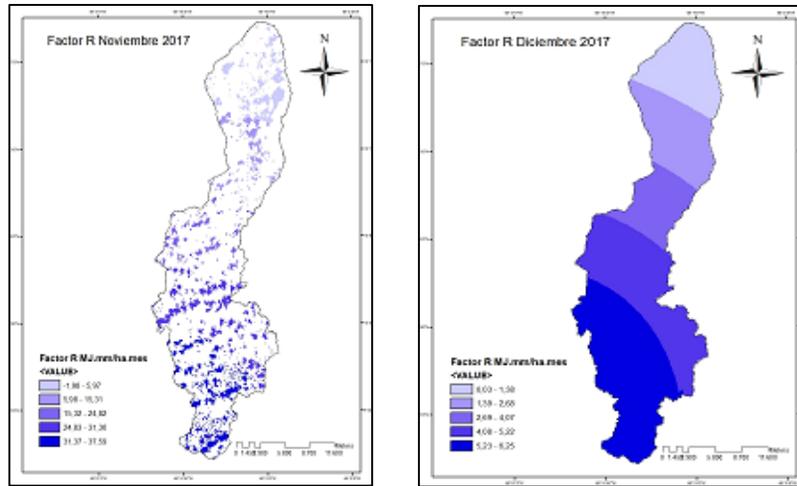


Figura N° 4.22 Factor de Erosividad de la lluvia (R) MJ.mm/ha.mes Año 2017

Tabla N° 4.15 Factor de Erosividad del año 2017

R MJ.mm/ha.mes	Ene	Feb	Mar	Abr	Jun	Jul	Oct	Nov	Dic
Min	18	0	26	50	44	90	0	6	0,21
Max	25	2,8	47	59	87	196	37	38	6,2

En los mapas obtenidos del Factor de Erosividad de la lluvia se aprecia la concentración de los valores más altos en la zona agrícola, que corresponde a la columna vertebral de la Cuenca del Río Chirgua donde están concentradas la mayor cantidad de parcelas de siembra, esta zona del suelo se puede considerar que se encuentra más expuesto a la acción de la lluvia por ser suelos manipulados por el hombre para llevar a cabo las siembras de papa, teniendo en cuenta que los meses que favorecen al cultivo de la papa son los meses más fríos del año, enero, febrero y marzo.

En el año 2015 se obtuvieron valores máximos de 92 y 85 MJ.mm/ha.mes durante el mes de Enero y Abril respectivamente, en el 2016 valores máximos de 196 y 1484 MJ.mm/ha.mes en el mes de Julio y Noviembre respectivamente, en el 2017 valores máximos de 87 y 196 MJ.mm/ha.mes en Junio y Julio respectivamente.

2.2.- Factor de Erodabilidad del Suelo (K):

Tabla N° 4.16 Erodabilidad del Suelo de la Cuenca del Rio Chirgua

Símbolo de Suelo	Tipo de Suelo	b	c	K (t.ha.mes/ha .MJ.mm)
AO	Orthic Acrisols/ Inceptisols	1	5	0,01985
JE	Eutric Fluvisols/ Oxisols	2	5	0,05323

En la cuenca del Rio Chirgua se obtuvo que predominan dos clases de suelo, como se indica en la tabla N° 4.15, los valores de permeabilidad se toman de estudios realizados en la Cuenca del Rio Chirgua y de consideraciones de otros autores que la clasifican como baja a muy baja(Teraghi y Peck 1967) . Aplicando la ecuación para la estimación del factor de Erodabilidad del Suelo se obtiene el factor de erodabilidad para los dos tipos de Suelo presentes en la Cuenca del Rio Chirgua, siendo con presencia en menor porcentaje el suelo tipo Inceptisol con valor de Erodabilidad de 0,01985 y los oxisoles el mayor porcentaje de la cuenca con un valor de 0,05323 t.ha.mes /ha.MJ.mm, y luego a partir de la clasificación de usos de tierra estimada para cada uno de los meses se obtiene la Erodabilidad correspondiente.

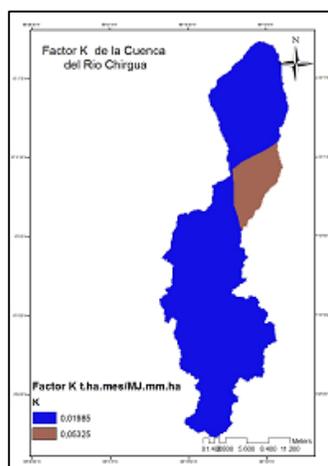


Figura N° 4.23 Factor de Erodabilidad del Suelo de la Cuenca del Rio Chirgua

2.3.- Factor LS: Este es el factor topográfico de la Cuenca del Rio Chirgua en un rango entre 0 y 24.

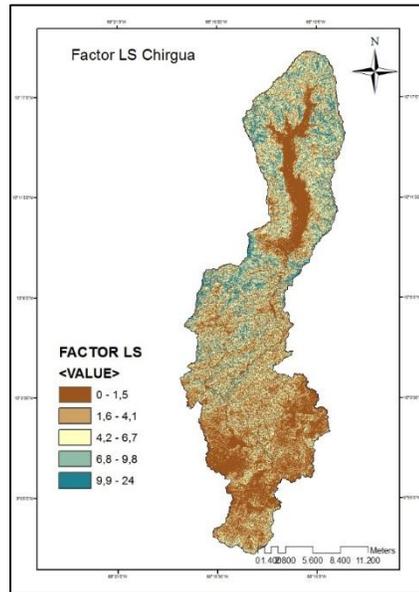


Figura N° 4.24 Mapa Raster del Factor LS de la Cuenca del Rio Chirgua

El factor topográfico LS representa la relación de suelo perdido, en función de longitud y la pendiente de la Cuenca oscila en un valor de 0 a 24 siendo adimensional, para cada uno de los meses del periodo comprendido entre el 2015 – 2017, se realiza la extracción de la zona agrícola para obtener la zona de la variación existente de acuerdo al mes y año de estudio.

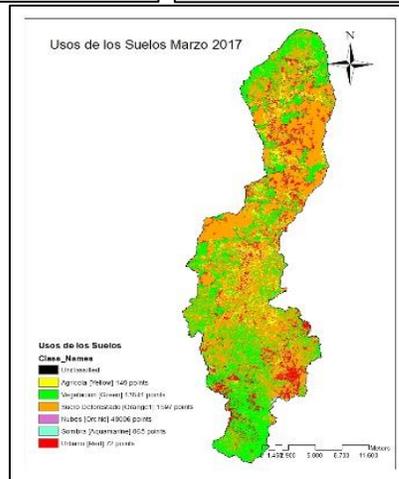
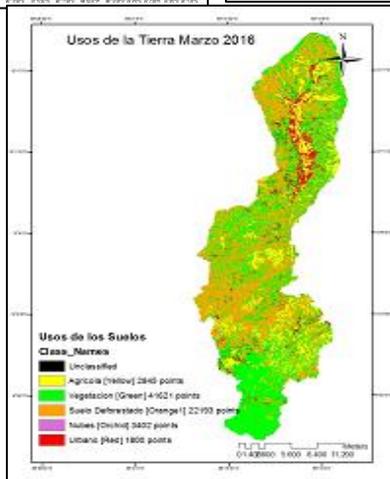
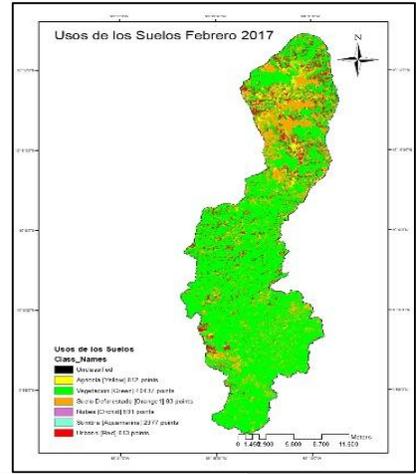
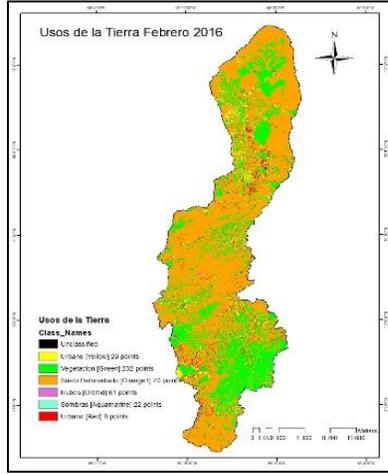
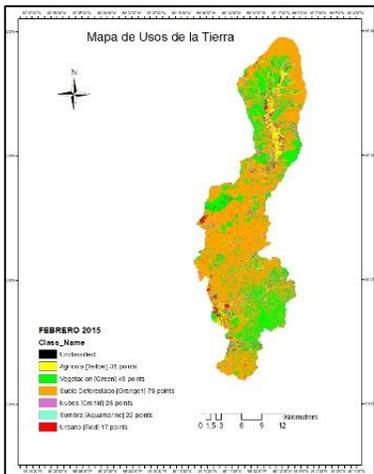
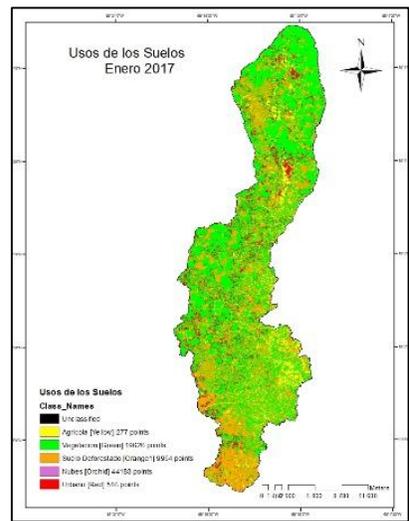
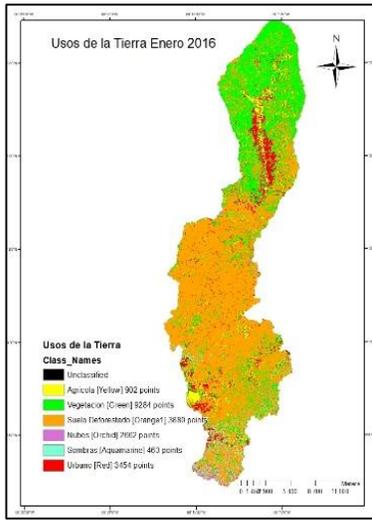
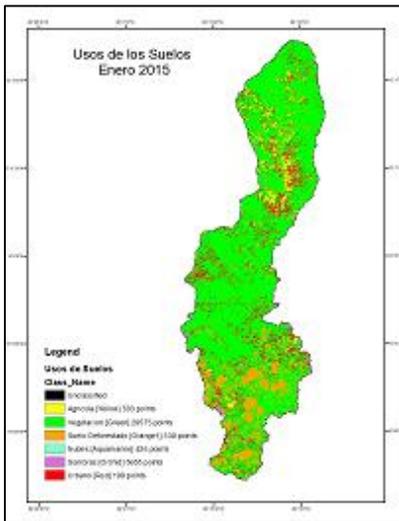
2.4.- Factor de Cobertura Vegetal (C):

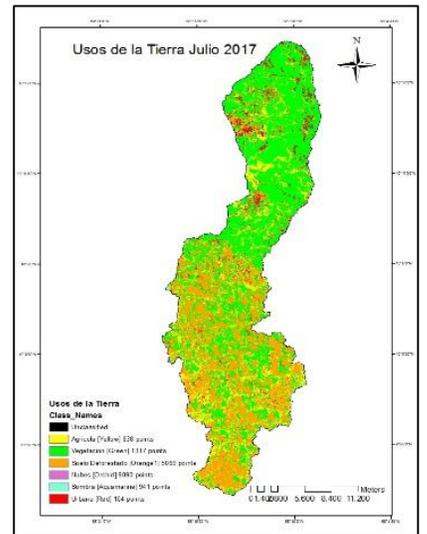
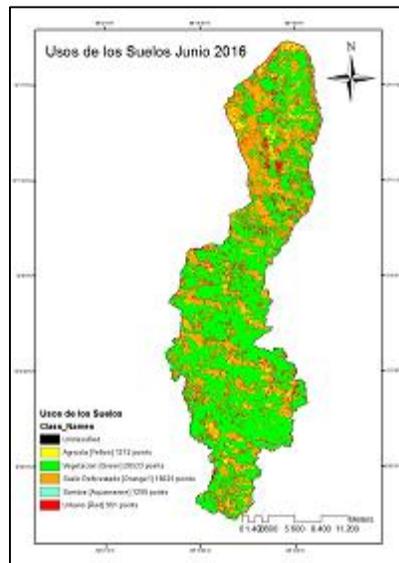
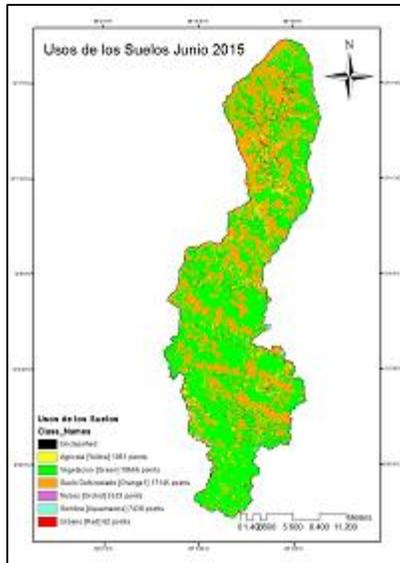
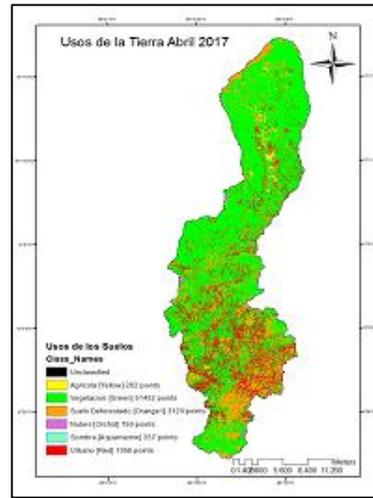
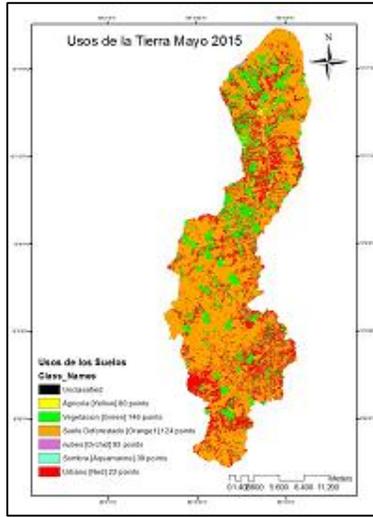
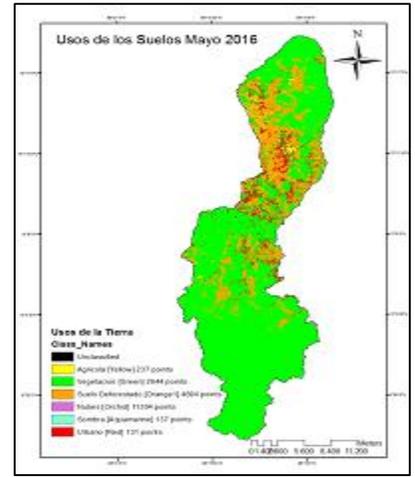
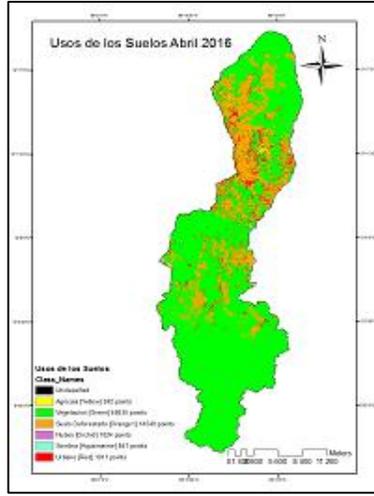
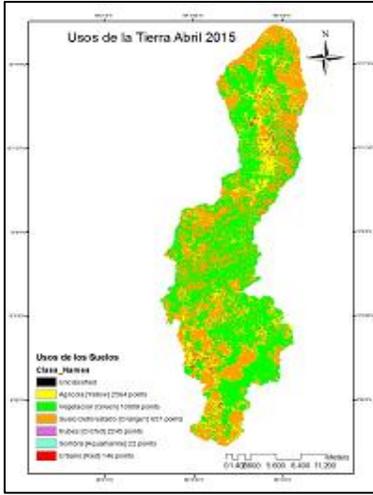
En la Cuenca del Rio Chirgua se llevó a cabo la clasificación de los Usos de la Tierra, se definieron seis categorías y para cada una de ellas el valor de C de la siguiente manera:

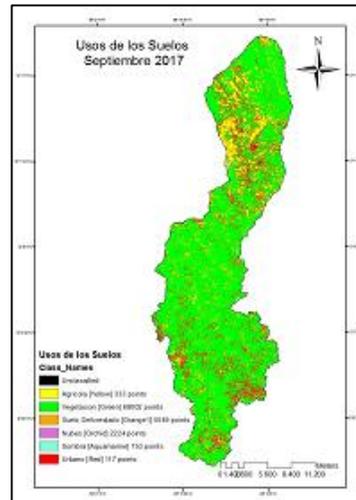
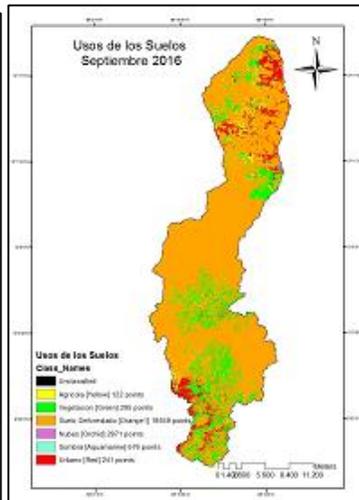
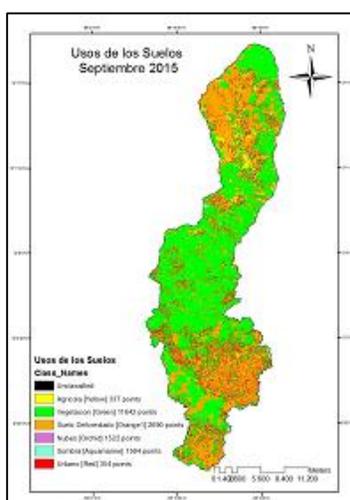
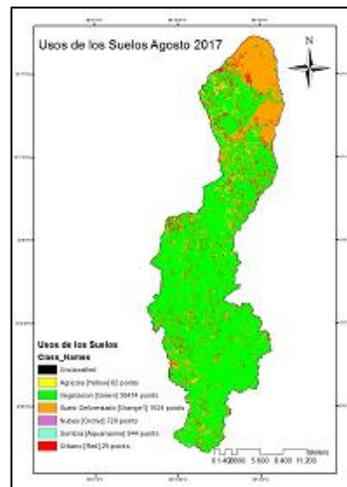
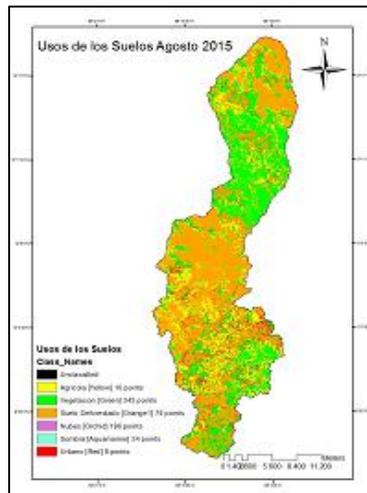
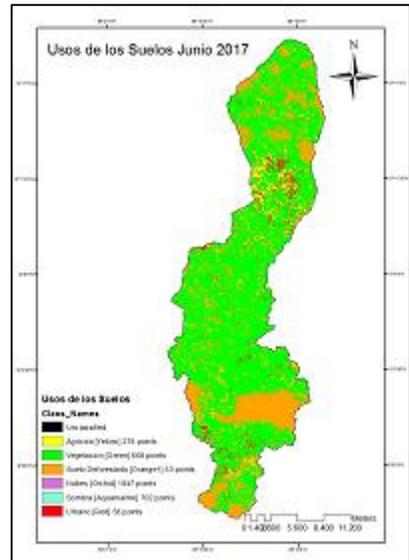
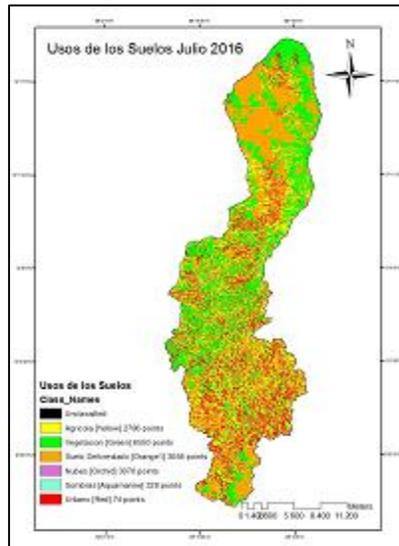
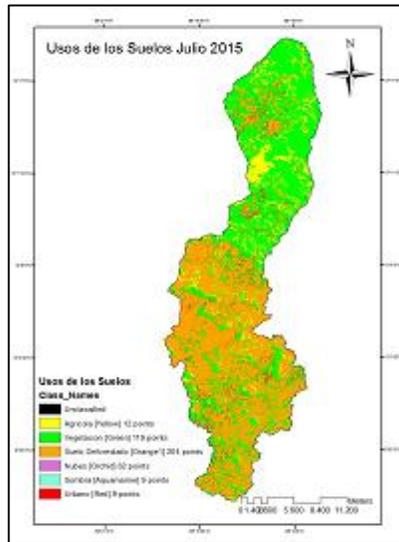
Tabla N° 4.17 Factor de Cobertura Fuente: (Mancilla, Gabriel 2008)

N°	Usos de la Tierra	Factor C
1	Agrícola	0,62
2	Vegetación	0,20
3	Suelo Deforestado	0,11
4	Nubes	0
5	Sombras	0
6	Urbano	0,16









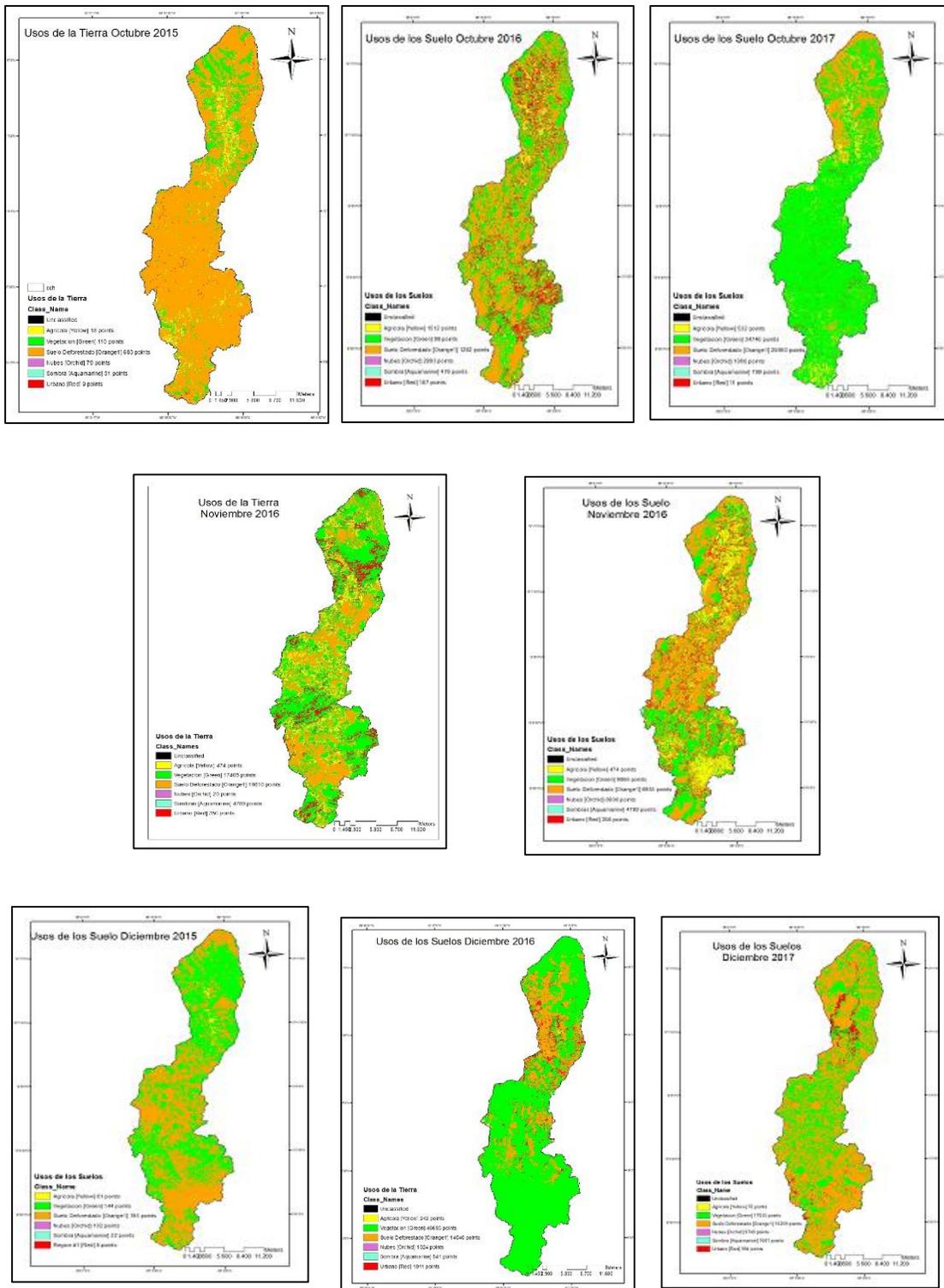


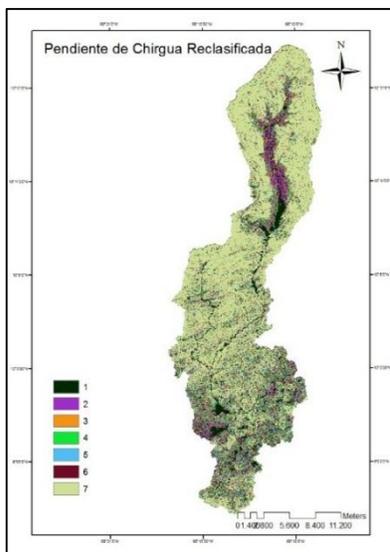
Figura 4.27 Mapas de Usos de la Tierra 2015-2016-2017

Los mapas obtenidos en la clasificación de los usos de tierra, nos permite observar que el uso de tierra dedicado a la zona agrícola en la cuenca del Rio Chirgua se concentra en la parte superior de la Cuenca que representa la zona aledaña al mayor porcentaje de zona urbana.

El valor de C indica el efecto de la cubierta vegetal en la pérdida de suelo, razón por la cual es expresada como la relación entre la pérdida de suelo de un área o parcela con una vegetación dada y sistemas de manejos específicos; por lo tanto cuando los valores de C son pequeños el suelo se encuentra protegido del impacto de la lluvia, lo que quiere decir que mientras mayor sea el valor de C menor es la cobertura del suelo y por lo tanto hay menor protección. En este estudio el valor de C usado para la zona agrícola fue de 0,62 lo que nos indica que los suelos tienen una alta probabilidad de sufrir daños por la acción por la erosión.

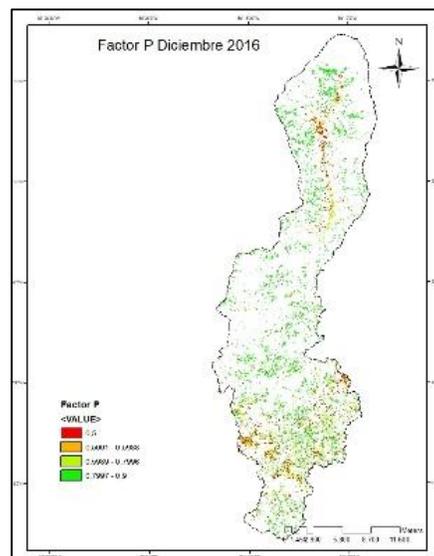
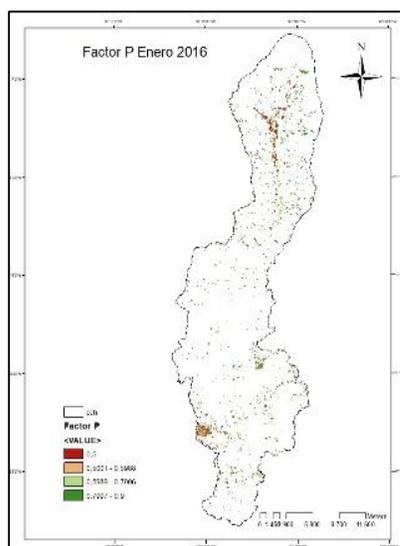
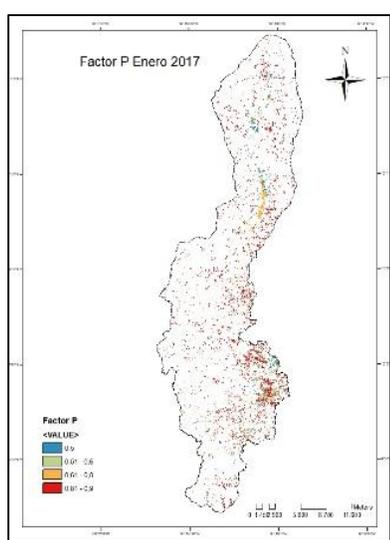
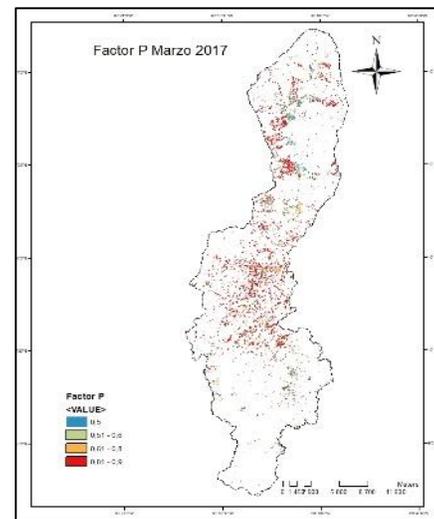
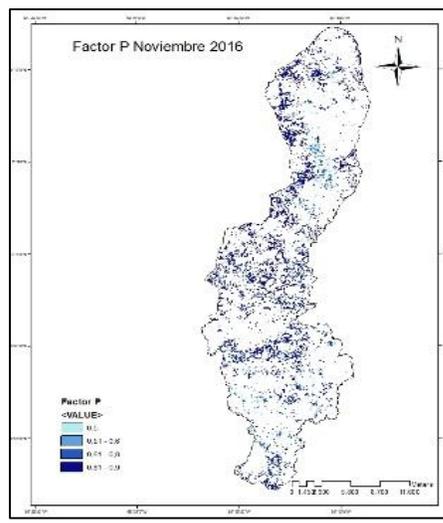
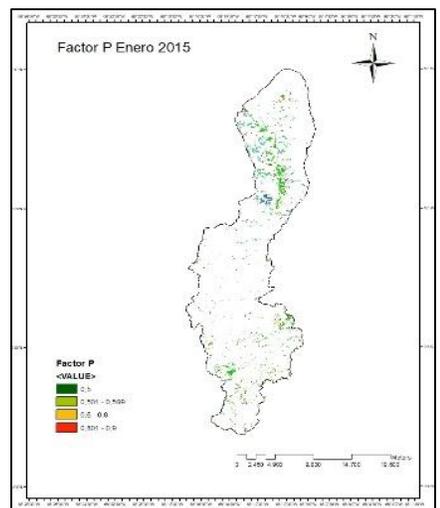
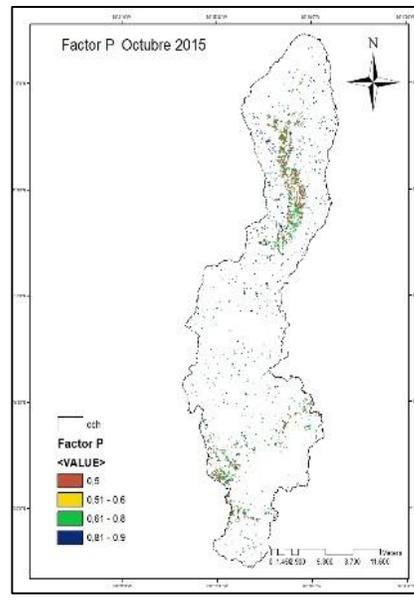
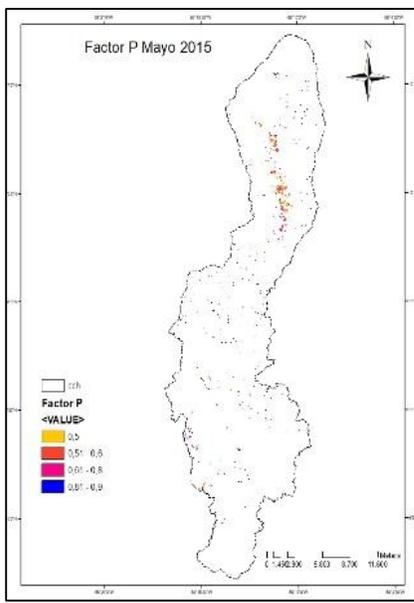
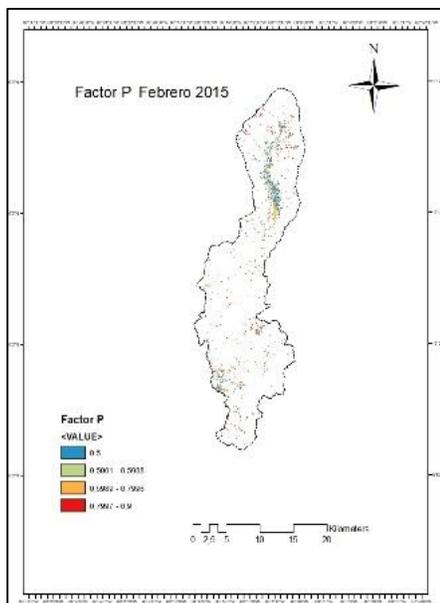
2.5.- Factor de prácticas mecánicas: (P)

Este factor se obtiene a partir del mapa de pendiente de la Cuenca del Rio Chirgua expresada en grados en Argis 10.1, y a su vez se realiza una reclasificación para ajustar estos valores a los rangos obtenidos de las referencias bibliográficas para poder estimar el valor del Factor P de la Cuenca del Rio Chirgua. El valor P tiene un rango de 0,5 a 0,9 de acuerdo al valor de la pendiente, en este estudio el rango obtenido para este factor bajo la consideración práctica de contorno fue de 0,5 a 0,6 luego de hacer la reclasificación de la pendiente.



OID	GRIDCODE *	Cnt GRIDCO	P
0	1	15509	0,6
1	2	40038	0,5
2	3	56503	0,5
3	4	66244	0,6
4	5	73010	0,7
5	6	77326	0,8
6	7	3621	0,9

Figura N° 4.25 Pendiente de la Cuenca del Rio Chirgua Reclasificada



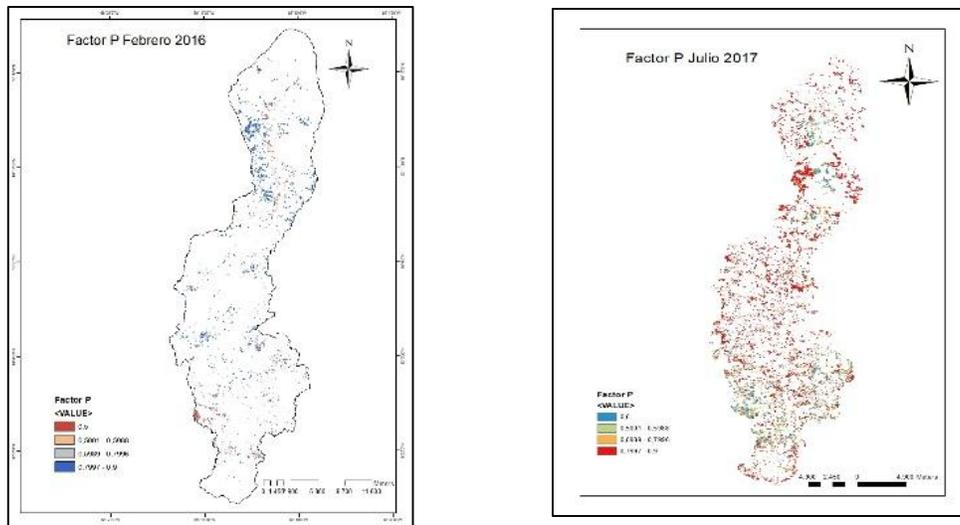


Figura 4.26 Pendiente de la Cuenca del Rio Chirgua Reclasificada, Factor P 2015- 2016-2017

En las zonas agrícolas de la Cuenca del Rio Chirgua los valores de la pendiente se encuentran en un rango de 0 a 12 por lo tanto el factor P que representa el efecto de las prácticas mecánicas usadas en las áreas agrícolas, en la Cuenca del Rio Chirgua oscila entre 0,5 y 0,6.

Una vez obtenidos todos los factores que integran la ecuación de la pérdida de Suelo, se estimó la erosión hídrica mensual y anual para el periodo de estudio (Tabla N° 4.17), y a partir de los mapas de erosión mensual se obtuvieron las estadísticas de los valores de la erosión hídrica para luego con la sumatoria obtener el valor anual. Es necesario destacar que la estimación de la erosión hídrica se realizó tomando solo la zona agrícola obtenida de la clasificación realizada de los Usos de la Tierra.

Tabla N° 4.18 Estadísticas Mensuales de la Erosión Hídrica Año 2015

	Enero	Febrero	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Agosto	Septiembre	Octubre	Diciembre
Puntos	1196	46	3014	6	459	193	7	1	766	1119	176
Minimo	0	0	0	0	0	0	0	0,64272	0	0	0
Maximo	33,3422	2,62148	11,76615	0,111782	88,429634	14,184331	6,437422	0,64272	23,5884764	28,748075	435,780487
Sum:	3539,177	13,63633	1853,61728	0,111782	1988,27492	483,595316	27,56192	0,64272	1842,1489	1475,34591	4036,84903
Mean:	2,9591	0,296442	0,615002	0,01863	4,331754	2,0505675	3,937417	0,64272	2,404894	1,31845	22,936642
Standard Deviation:	4,7046	0,5437	1,102165	0,041659	9,416798	2,362501	2,031405	0	4,209277	2,804735	66,539324

Tabla N° 4.19 Estadísticas Mensuales de la Erosión Hídrica Año 2016

	ENERO	FEBRERO	Marzo	Marzo	Mayo	Junio	Julio	Julio	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Cantidad de Puntos	1077,00	681,00	4009,00	499,00	219,00	428,00	6241,00	2406,00	748,00	2552,00	2856,00	1907,00
Mínimo	0,059504	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Máximo	0,72	0,86	0,34	0,19	16,14	3,79	82,56	95,85	11,50	82,80	217,66	8,21
Sum:	58,42	71,80	118,90	6,56	569,34	121,18	47488,30	20522,05	1254,95	24486,40	64009,30	1379,94
Media	0,05	0,11	0,03	0,01	2,60	0,28	7,61	8,53	1,68	9,59	22,41	0,72
Desviación Estandar	0,12	0,14	0,04	0,03	3,02	0,54	9,20	9,51	2,15	11,12	32,52	1,00

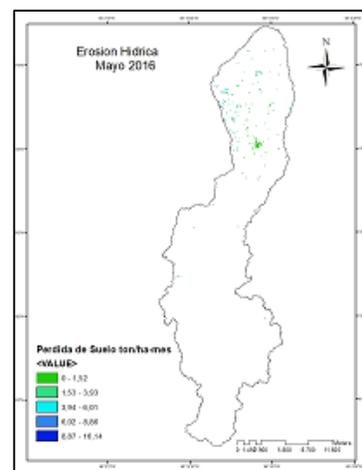
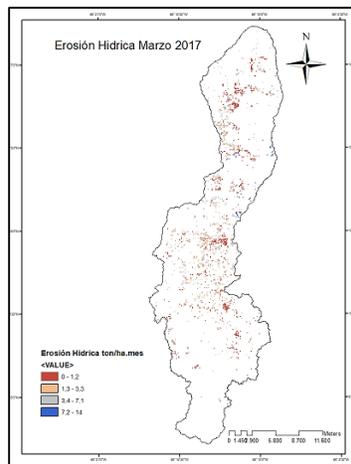
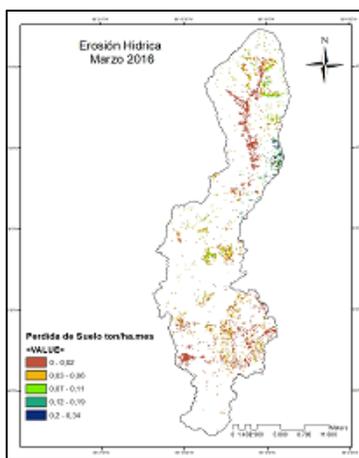
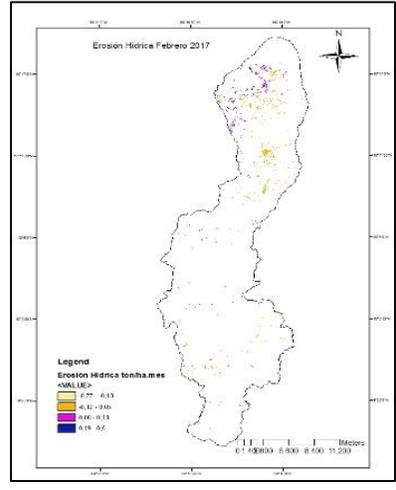
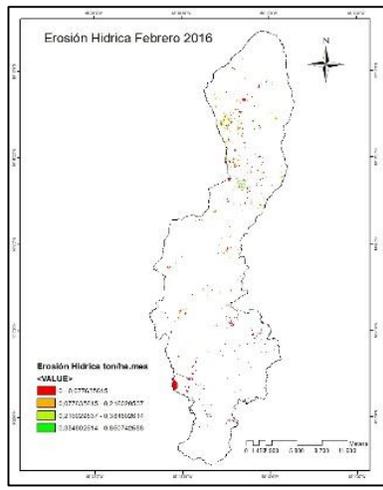
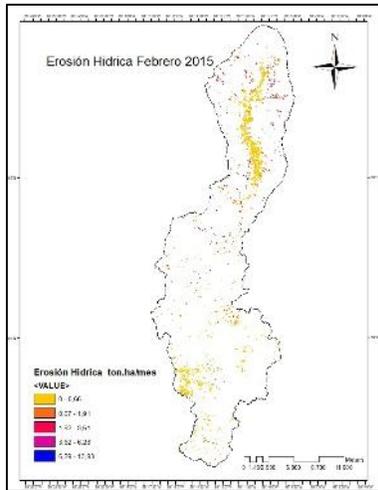
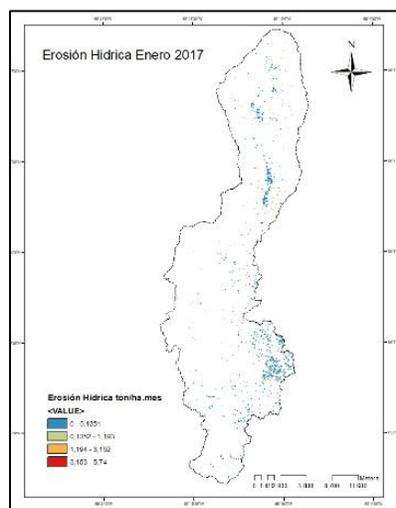
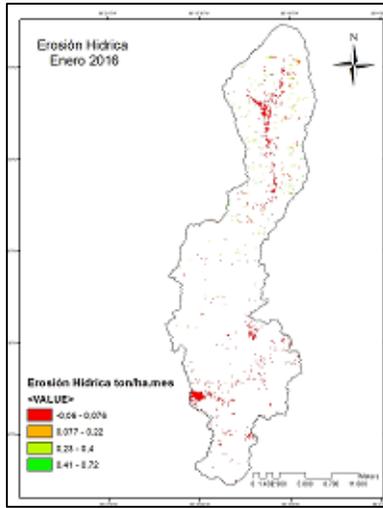
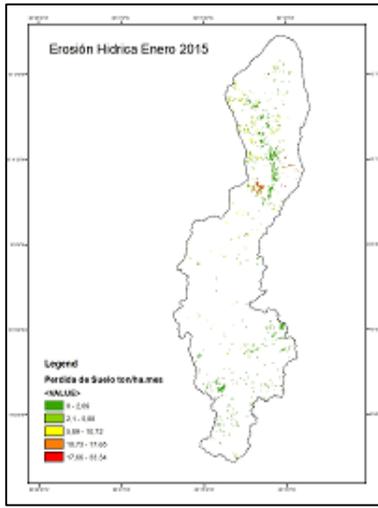
Tabla N° 4.20 Estadísticas mensuales de la Erosión Hídrica Año 2017

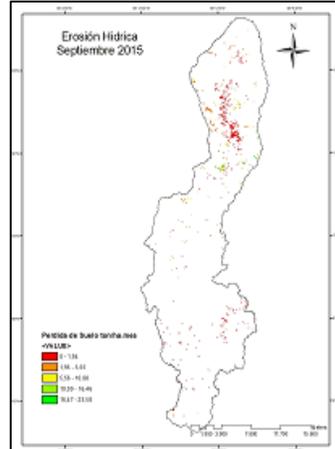
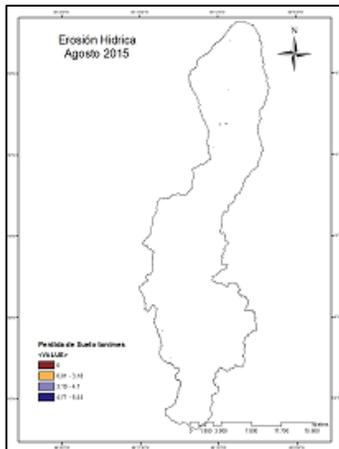
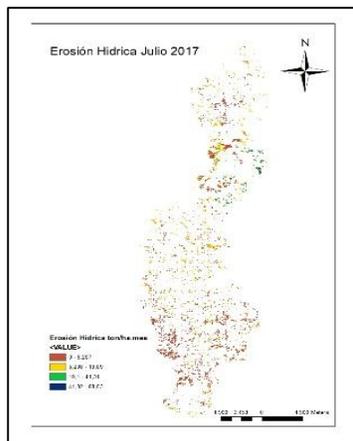
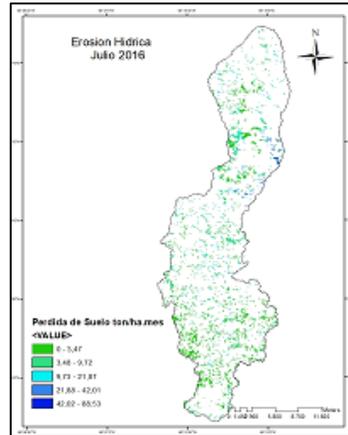
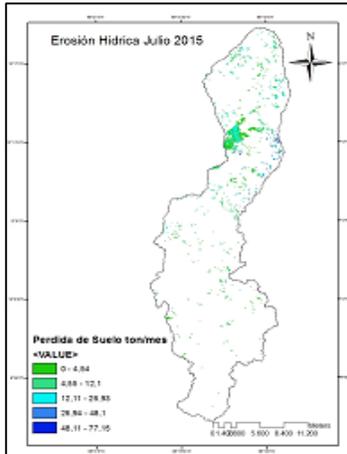
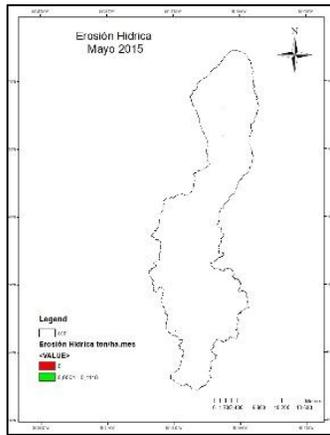
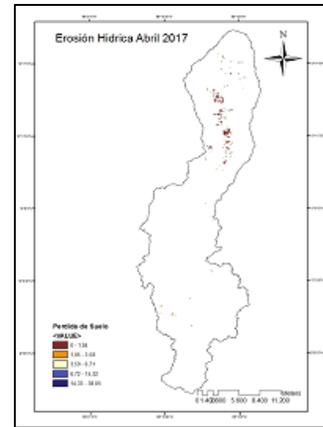
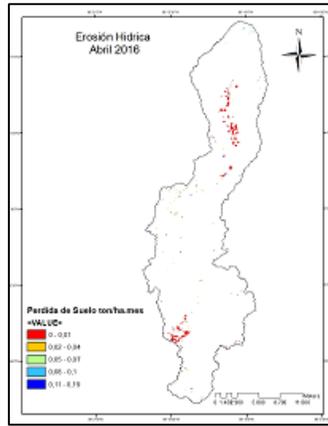
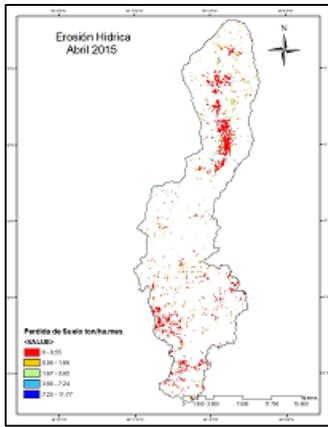
	ENERO	FEBRERO	MARZO	Abril	Mayo	junio	Julio	octubre	noviembre	noviembre	diciembre
Cantidad de Puntos	1104,00	701,00	1998,00	337,00	268,00	568,00	4052,00	898,00	5046,00	1351,00	9,00
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Máximo	5,74	0,50	14,49	38,05	24,61	76,92	88,53	9,36	7,84	3,49	0,13
Sum:	191,23	37,23	3553,78	589,17	580,26	5031,87	20508,90	1338,87	3201,40	730,81	0,33
Media	0,17	0,05	1,78	1,75	2,17	8,86	5,06	1,49	0,63	0,54	0,04
Desviación Estandar	0,57	0,07	2,01	3,99	4,56	12,23	7,55	1,92	0,81	0,76	0,05

Basado en las estadísticas obtenidas para la Erosión Hídrica estimada para los años 2015, 2016 y 2017, la erosión del año 2015 de acuerdo a lo estimado oscila entre 0,11 y 4036,84 ton/ha para una escala mensual, siendo la erosión nula, ligera y muy alta, para el año 2016 la erosión oscila 7 y 47488,30 ton/ha mensual siendo ligera, moderada y muy alta, y para el año 2017 los valores obtenidos fueron de 0,33 a 20508,90 ton/ha mes, siendo la erosión nula, moderada y muy alta. Y al realizar la estimación anual la erosión se clasifica como muy alta, tomando en cuenta la clasificación establecida por la USLE (Tabla N° 4.21) ya que los valores de la erosión son mayores a 200 ton/ha año.

Tabla N° 4.21 Erosión Hídrica Anual con la Ecuación de la Pérdida de Suelo

	2015	2016	2017
Erosión Hídrica (ton/ha. año)	1271,75	13340,59	3198,75
Transporte de Sedimentos (ton/h. año)	7605981,55	12987404,1	1728003,68





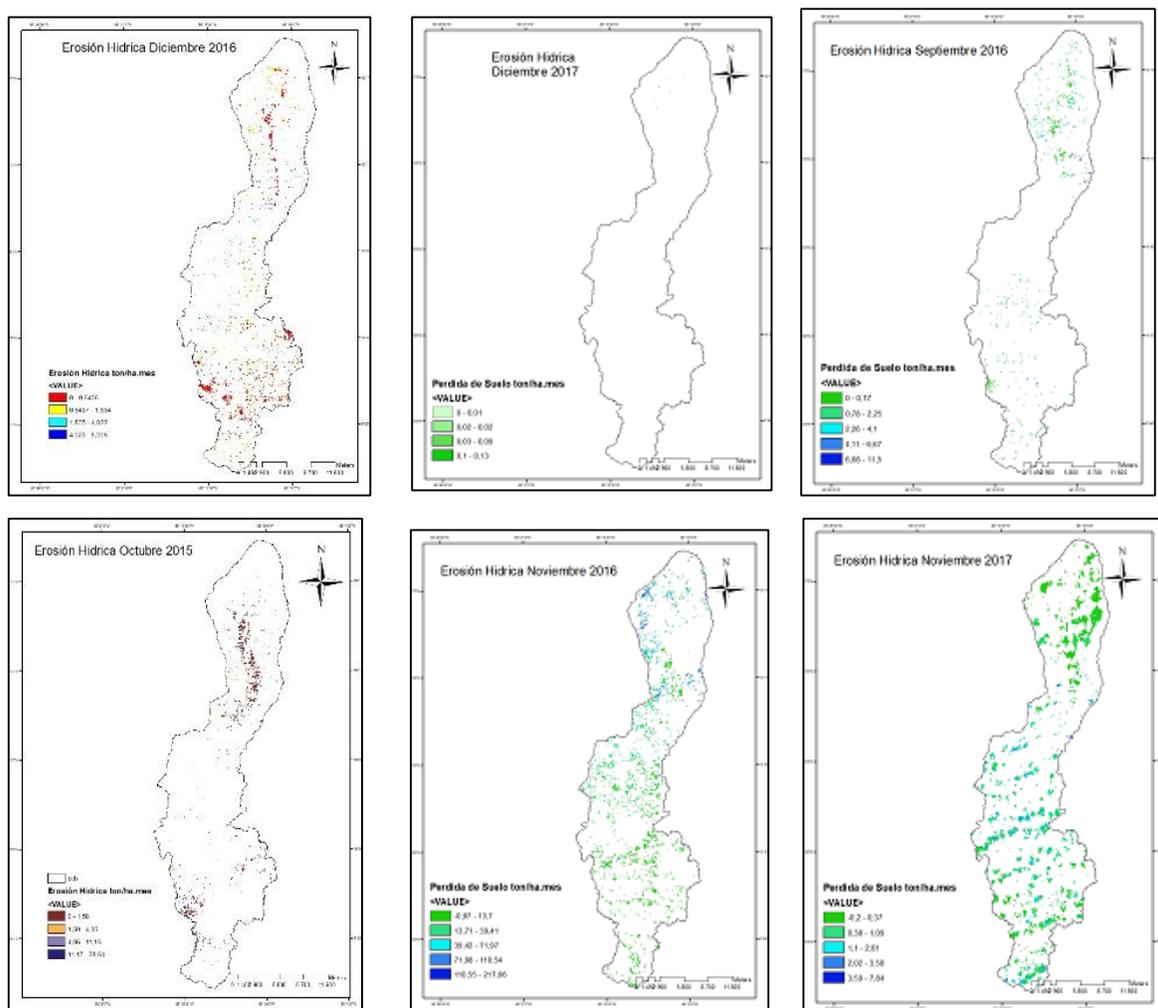


Figura 4.27 Erosión Hídrica año 2015-2016-2017

La pérdida de suelo durante los años 2015 al 2017 ha tenido un incremento en algunos meses del año, como se puede observar en el gráfico durante el año 2015 se aprecia valores en el mismo rango mientras que en el año 2016 existen incremento en la pérdida de suelo en los

meses Julio (47488ton/ha.mes), Noviembre (64009 ton/ha.mes), año 2017 en el mes de Julio (20508ton/ha.mes)

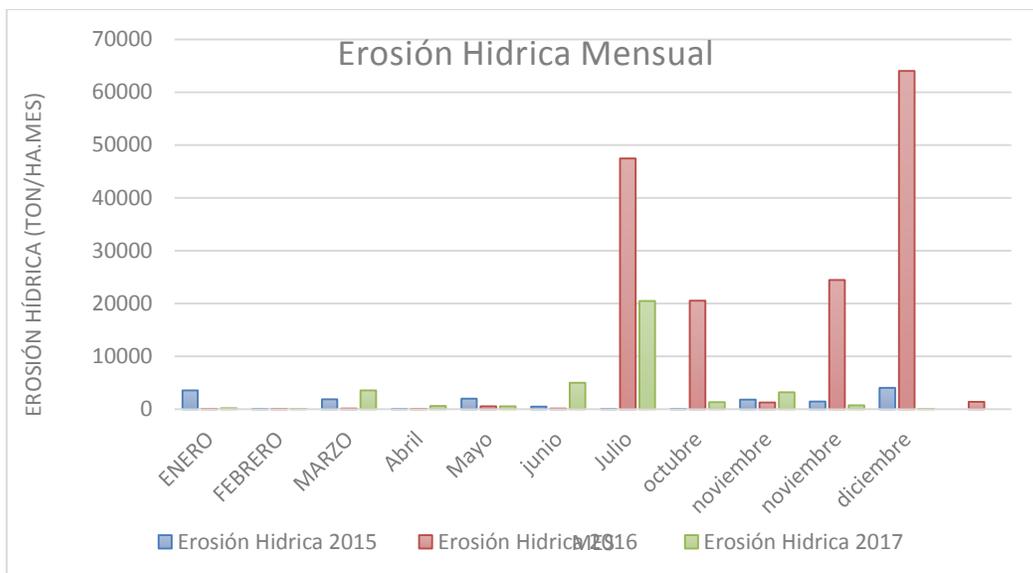


Figura N° 4.28 Erosión Hídrica Mensual

Tabla N° 4.22 Rangos de Erosión de acuerdo a la USLE (Wischmeier y Smith 1978)

Clase	Rango (ton/ha.año)
Nula	<2
Ligera	2 -1 0
Moderada	10 – 50
Alta	50 – 200
Muy Alta	> 200

Los parámetros de la ecuación obtenidos para obtener el transporte de sedimentos se encuentran en las tablas 4.23, 4,24 y 4.25

Tabla N° 4.23 Caudal y área de la zona agrícola año 2015

AÑO	MES	Área agrícola (m)	TAMAÑO CELDA(m)	AREA (m ²)	Caudal m ³ /s	Volumen m ³
2015	ENERO	24442	30	21997800	54,99	19,80
2015	FEBRERO	26127	30	23514300	58,79	21,16
2015	ABRIL	71649	30	64484100	161,21	58,04
2015	MAYO	9801	30	8820900	22,05	7,94
2015	JUNIO	32325	30	29092500	72,73	26,18
2015	JULIO	40374	30	36336600	90,84	32,70
2015	11-ago	79921	30	71928900	179,82	64,74
2015	26-ago	3962	30	3565800	8,91	3,21
2015	28-sep	26653	30	23987700	59,97	21,59
2015	OCTUBRE	27792	30	25012800	62,53	22,51
2015	DICIEMBRE	6897	30	6207300	15,52	5,59

Tabla N° 4.24 Caudal y área de la zona agrícola año 2016

AÑO	MES	Área agrícola (m)	TAMAÑO CELDA(m)	AREA (m ²)	Caudal m ³ /s	Volumen m ³
2016	ENERO	23598,00	30,00	21238200	53,10	19,11
2016	FEBRERO	24420,00	30,00	21978000	54,95	19,78
2016	Marzo	17898,00	30,00	16108200	40,27	14,50
2016	Abril	68889,00	30,00	62000100	155,00	55,80
2016	Mayo	12554,00	30,00	11298600	28,25	10,17
2016	JUNIO	26974,00	30,00	24276600	60,69	21,85
2016	Julio	130224,00	30,00	117201600	293,00	105,48
2016	Agosto	55454,00	30,00	49908600	124,77	161,70
2016	Septiembre	103640,00	30,00	93276000	233,19	83,95
2016	OCTUBRE	50913,00	30,00	45821700	114,55	41,24
2016	Noviembre	66127,00	30,00	59514300	148,79	53,56
2016	DICIEMBRE	52251,00	30,00	47025900	117,56	42,32

Tabla N° 4.25 Caudal y área de la zona agrícola año 2017

AÑO	MES	Área agrícola (m)	TAMAÑO CELDA(m)	AREA (m ²)	Caudal m ³ /s	Volumen m ³
2017	Enero	42016	30	37814400	94,5	34,03
2017	Febrero	30453	30	27407700	68,5	24,67
2017	Marzo	40109	30	36098100	90,2	32,49
2017	Abril	6557	30	5901300	14,8	5,31
2017	Mayo	10253	30	9227700	23,1	8,30
2017	Junio	25390	30	22851000	57,1	20,57
2017	Julio	81615	30	73453500	183,6	66,11
2017	Agosto	31677	30	28509300	71,3	25,66
2017	Septiembre	81484	30	73335600	183,3	66,00
2017	Octubre	119423	30	107480700	268,7	96,73
2017	Noviembre	872	30	784800	2,0	0,71
2017	Diciembre	11919	30	10727100	26,8	9,65

En la estimación del transporte de sedimentos en la Cuenca del Rio Chirgua, mensual se hizo la extracción de la estadística para poder apreciar el comportamiento del transporte de sedimentos, y a partir de la sumatoria para cada uno de los meses obtener el valor anual del periodo de estudio.

Tabla N° 4.26 Estadística del Transporte de Sedimentos (ton/mes) del año 2015

	Ene	Feb	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Dic
Puntos	3354	135	9455	3	1812	485	13	5000	4796	385
Mínimo (ton/mes)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máximo (ton/mes)	256	88	848	24	56209	187	321	591	277	22
Sumatoria (ton/mes)	76700	1017	590286	24	6622912	2881	1493	236955	73348	363
Media	23	8	62	4	3655	47	115	47	15	1
Desviación Estándar	34	18	95	9	7089	44	100	70	29	3

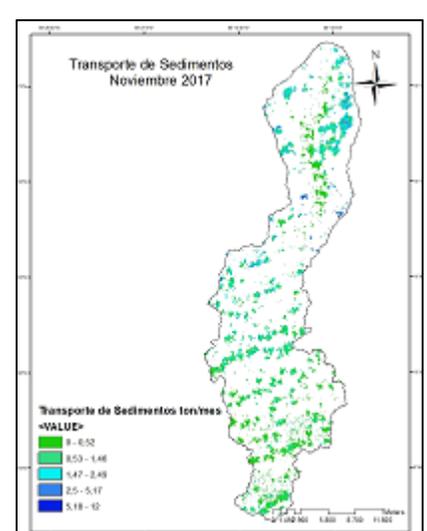
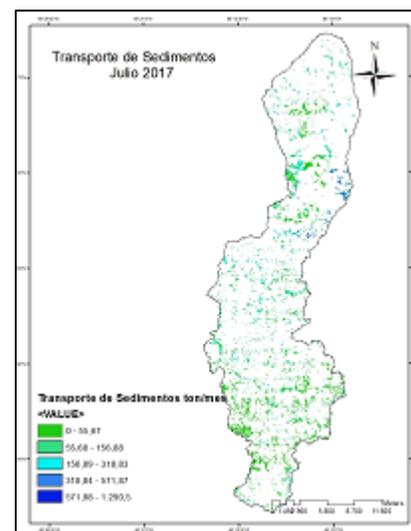
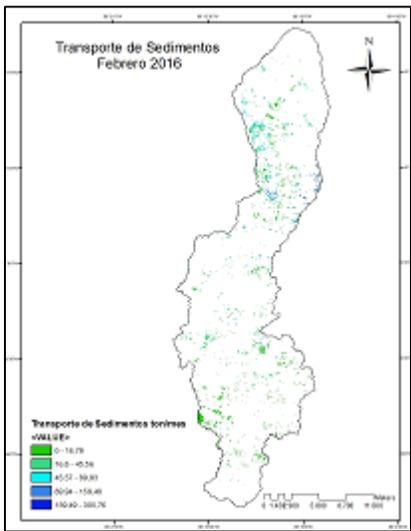
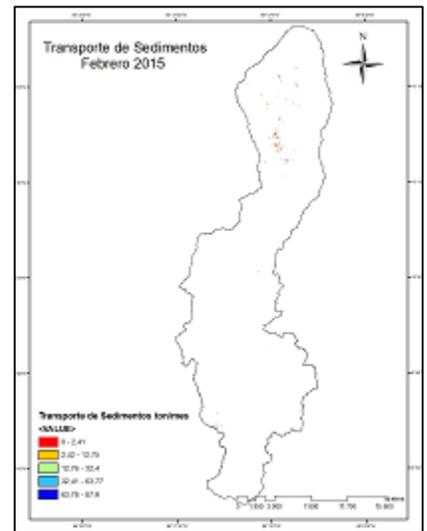
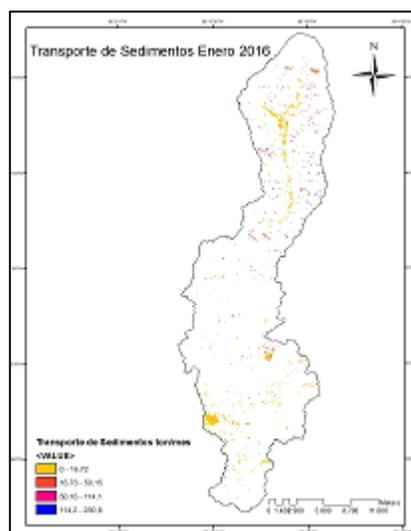
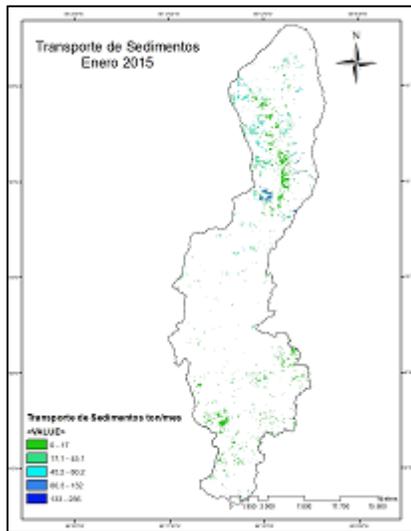
Tabla N° 4. 27 Estadística del Transporte de Sedimentos (ton/mes) del año 2016

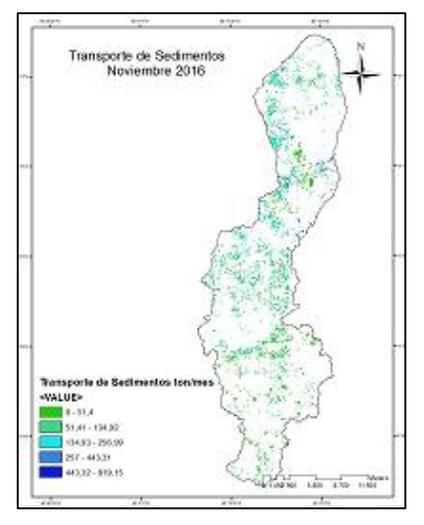
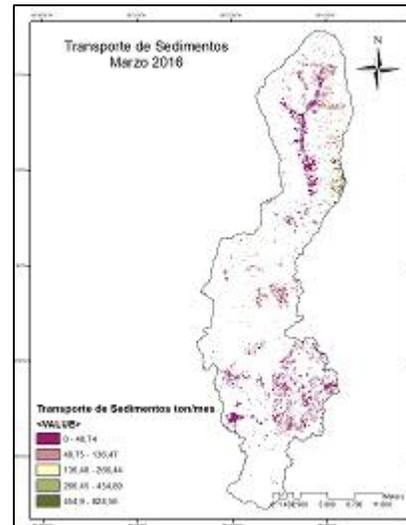
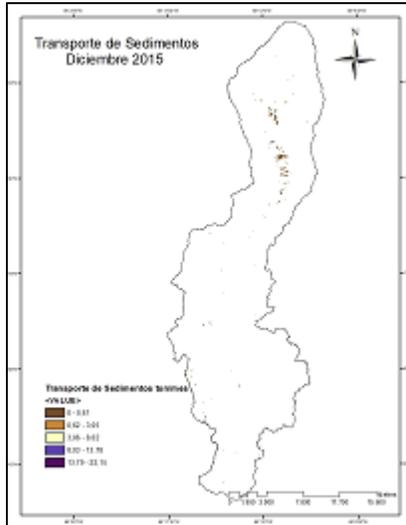
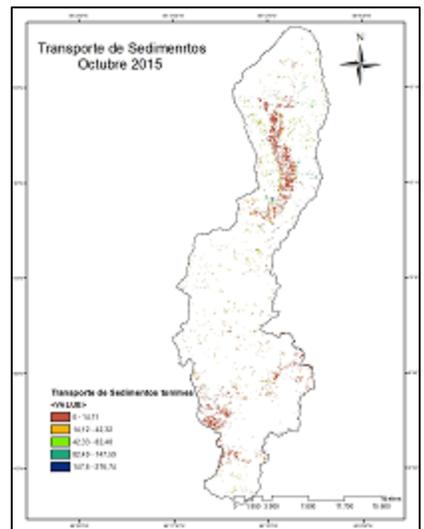
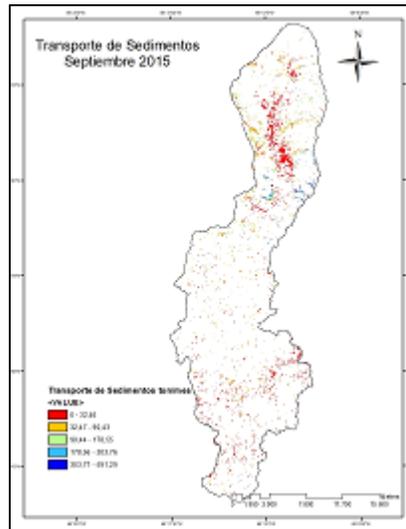
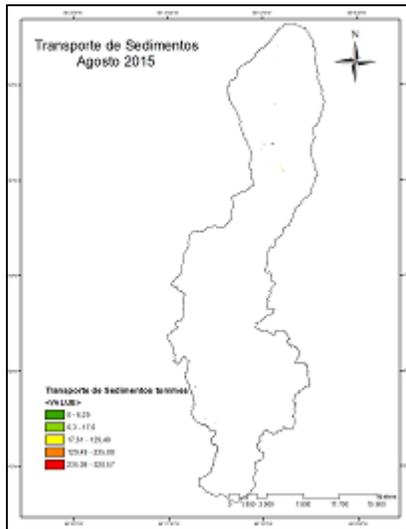
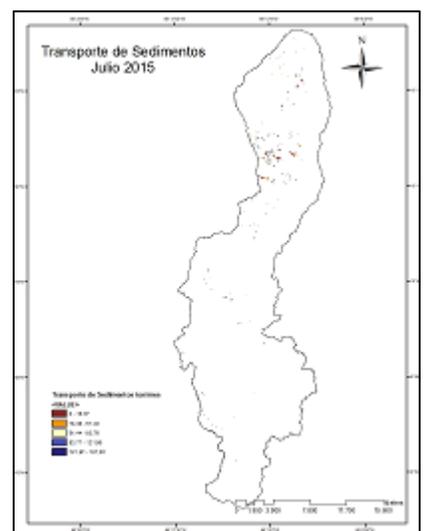
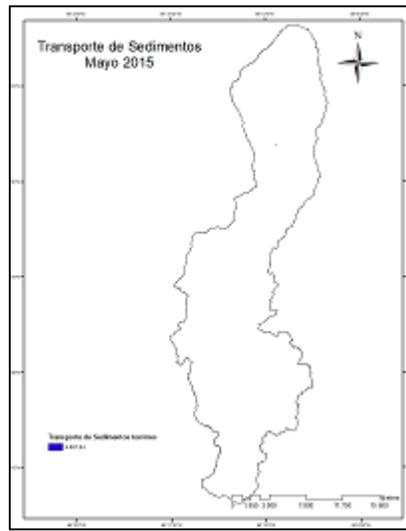
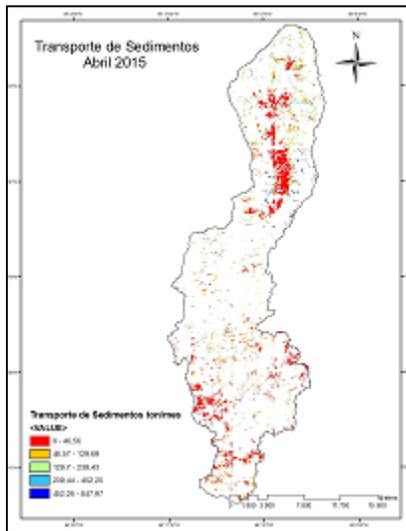
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Puntos	2560	3258	9417	3199	619	3074	24263	8450	2434	6538	9778	7993
Mínimo (ton/mes)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máximo (ton/mes)	251	306	829	171	121	263	1940	3072	1025	604	819	625
Sumatori a (ton/mes)	4096 7	87558	740067	4305 6	881	8123 4	36312 90	242468 7	29192 7	437766 8	87875 7	38931 2
Media	16	27	79	13	14	26	150	287	120	67	90	49
Desviación Estándar	31	39	113	20	17	32	186	332	150	78	97	67

Tabla N° 4.28 Estadística del Transporte de Sedimentos (ton/mes) del año 2017

	Enero	Feb	Marzo	Abr	May	Junio	Julio	Agos	Sep	Oct	Nov	Dic
Puntos	2006	2140	4912	874	657	1787	9337	2783	14230	14230	3485	17
Mínimo (ton/mes)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máximo (ton/mes)	1385	967	460	165	195	1207	1290	1487	12	12	1064	31
Sumatoria (ton/mes)	176522	152540	245702	8197	9245	267168	78066	405746	13249	13249	358151	169
Media	88	71	52	9	14	150	84	146	1	1	103	10
Desviación Estándar	164	119	54	20	24	206	118	235	1	1	127	12

En el año 2015 la estimación de sedimentos máximo obtenida durante un mes fue de 6622912,04 ton/mes en Junio, en el año 2016 fue de 4377667,5 ton/mes en Octubre y 358151,478 ton/mes en Noviembre del año 2017.





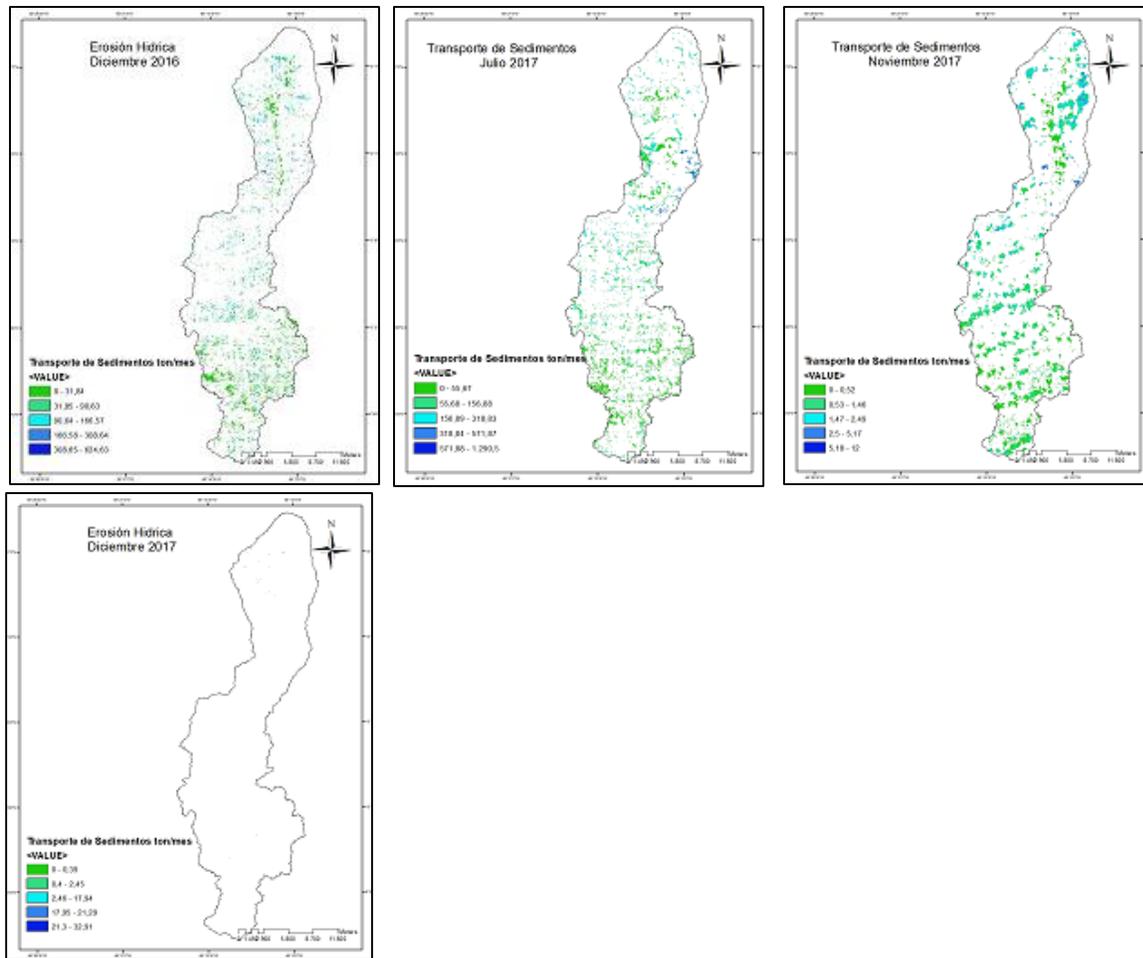


Figura 4.29 Transporte de Sedimentos 2015-2016-2017

El transporte de sedimentos obtenido presenta la mayor concentración es en la parte alta y baja de la Cuenca, y a su vez está relacionado con la erosión por la interacción de los diferentes factores topográficos, hidrológicos, climáticos.

Objetivo N° 3 Determinar la Carga de Sedimentos del Embalse Pao Cachinche

Tabla N° 4.29 Volumen de Sedimentos estimado. Fuente Elaboración Propia

Año	Peso específico relativo (Kg/m ³)	Transporte de Sedimentos (ton/año)	Volumen de Sedimentos (m ³)
2015	2650	7605981,55	2870181,717
2016	2650	12987404,1	4900907,219
2017	2650	1728003,68	652076,862

Objetivo N° 4 Analizar la relación entre la Erosión Hídrica, el transporte de Sedimentos y la acumulación de estos entre la Cuenca del Rio Chirgua y el Embalse Pao Cachinche

Tabla N° 4.30 Área estimada para cada año del periodo de estudio

Año	Volumen estimado sedimentos (Mm ³)	Nivel (m.s.n.m)	Volumen diseño de sedimentos (Mm ³)	Área estimada (ha)
2015	2,87	321	1	39
2016	4,90	325	1	193
2017	0,65	320	1	30

A partir de los estudios de Batimetría realizados en años anteriores y a partir del Volumen de sedimentos estimados se obtuvo el área aproximada que representa la acumulación de sedimentos en el embalse, de acuerdo a estudios similares para la estimación de la carga de sedimentos la estimación representa el acarreo de fondo formado por arenas finas, medianas y grava, esto de acuerdo a las características y composición del suelo del área de estudio, ya que la llamada carga de lavado en un embalse está representada por los coloides y esto es más difícil de atrapar y que esta sedimento. En base a los valores de diseño del embalse el volumen de sedimentos es de 1 Mm³, y en este estudio se obtuvo un volumen estimado de

2,87, 4,90 y 0,65 Mm³ para los años 2015, 2016 y 2017 estando por encima del valor establecido en el diseño del embalse, lo que nos indica que el tiempo de vida útil del embalse se está viendo afectado, haciendo la acotación que en este estudio solo se está considerando el aporte de la Cuenca del Rio Chirgua.

Tabla N° 4.31 Datos para obtención de Curva Capacidad Vs Área del Embalse Pao Cachinche 1974. Fuente: Tesis de Batimetría Año 2015

Nivel m.s.n. m	Capacidad(m ³)	Nivel m.s.n. m	Area (ha)
310	0	310	0
319	0,85	320	39
319,51	1,04	330	195,31
325	4,89	337,92	500
330	12,9	340	593,75
339,58	50	343,33	750
340	53,13	347,92	1000
345,83	100	350	1109,38
350	138,71	351,88	1210,94
351,25	150	352,5	1250
351,88	157,81	356,25	1500
355,42	200	359,17	1750
358,33	250	360	1806,45
360	284,38		

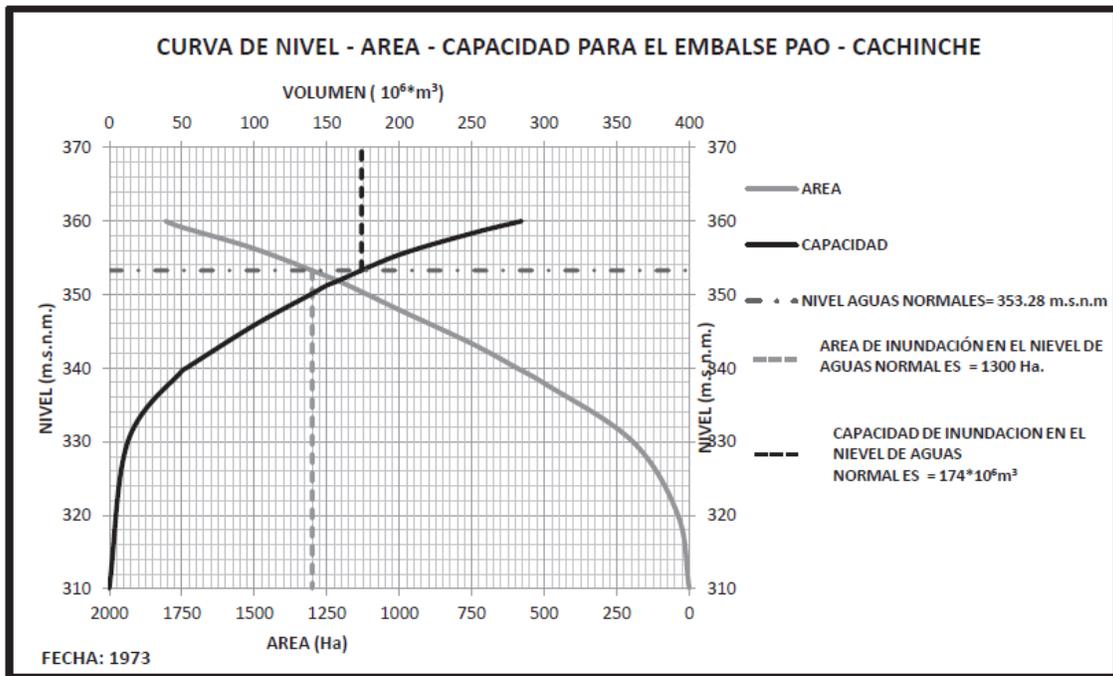


Figura 4.30 Curva Diseño Volumen vs Capacidad Embalse Pao Cachinche Año 1972

Basado en la estimación del volumen de sedimentos aportados por la cuenca del Río Chirgua hacia el embalse Pao Cachinche se puede apreciar que en el transcurso de los años incluidos en el estudio este volumen ha ido incrementando, ubicándose por encima del nivel de diseño del embalse, lo que representa 3,15 y 2 % del área total del embalse tomando solo en consideración el aporte de la Cuenca del Río Chirgua. Y comparando el valor de los sedimentos obtenidos por los estudios de Batimetría realizados en el año 2015 con los obtenidos en este estudio, se obtuvieron valores similares, batimetría del 2015 volumen muerto de diseño 2 Mm^3 y $2,9 \text{ Mm}^3$ en este estudio.

EMBALSE PAO - CACHINCHE BATIMETRIA 2015	
PUESTA EN FUNCIONAMIENTO	1973
CONSTRUCCION	1972
TIPO DE PRESA	TIERRA ZONIFICADA
NIVEL DE CRESTA (PRESA)	360,40 m.s.n.m.
NIVEL DE AGUAS NORMALES	353,28 m.s.n.m.
AREA INUNDADA DE DISEÑO	1300,00 Ha
NIVEL DE AGUAS MAXIMAS	357,50 m.s.n.m.
AREA INUNDADA ACTUAL	693,95 Ha
NIVEL DE FONDO DE DISEÑO	310,00 m.s.n.m.
NIVEL DE FONDO ACTUAL	319,90 m.s.n.m.
NIVEL DE SEDIMENTOS ACTUAL	319,90 m.s.n.m.
NIVEL DE SEDIMENTOS DE DISEÑO	319,51 m.s.n.m.
VOLUMEN UTIL DE DISEÑO	150 M m ³
VOLUMEN UTIL ACTUAL	149 M m ³
VOLUMEN MUERTO DE DISEÑO	1,00 M m ³
VOLUMEN MUERTO ACTUAL	2,00 M m ³
TIPO DE ALIVIADERO	EJE CURVO CON DOBLE CONTRACCION
NIVEL DE ALIVIO	353,28 m.s.n.m.
OBRA DE TOMA	TORRE TOMA DE 08 COMPUERTAS, SIN OPERACION DE LA N°8
MECANISMO DE EMERGENCIA	VÁLVULA HOWELL BUNGER, 36"
MECANISMO DE REGULACIÓN	Embalse, Torre-Toma y presa

Figura 4.31 Datos de Batimetría del año 2015 . Fuente: Análisis comparativo de la capacidad de almacenamiento del Embalse Pao Cachinche, Estado Carabobo. Sara, La Cruz (2015)

Tabla 4.32 Área estimada ocupada por los sedimentos estimados en esta investigación

Año	Volumen estimado sedimentos (Mm ³)	Nivel (m.s.n.m)	Volumen diseño de sedimentos	Área estimada (ha)	Nivel Diseño (m.s.n.m)	Volumen Diseño (Mm ³)	Area Diseño (ha)	% Area Estimada
2015	2,87	321	1	39	319,51	150	1300	3
2016	4,9	325	1	193	319,51	150	1300	15
2017	0,65	320	1	30	319,51	150	1300	2

CONCLUSIONES

Al terminar las etapas del proceso de investigación que consistió en el efecto del transporte de sedimentos de la Cuenca del Rio Chirgua en la capacidad de almacenamiento del Embalse Pao Cachinche, se puede concluir lo siguiente:

La estimación de la erosión hídrica a partir de la ecuación de la pérdida de suelo permite obtener una visión global de las zonas más susceptibles en la Cuenca del Rio Chirgua donde se puede generar un incremento de la pérdida de suelo.

Cada uno de los factores que conforman la ecuación de la pérdida de suelo es de gran influencia en la obtención de la erosión hídrica ya que su relación es proporcional con la tasa de pérdida de suelo, así como también es necesario destacar que para obtener la erosividad de la lluvia, el factor R de la ecuación es necesario contar con un registro de precipitaciones en el entorno del área de estudio para poder obtener la estimación correcta y ajustada a la zona de estudio.

El procedimiento de integración de la ecuación universal de pérdida de suelo (EUPS) con factores expresados en imágenes tipo raster y procesadas en un Sistema de Información Geográfica (SIG), permite el análisis, evaluación y representación cartográfica de la distribución espacial de la erosión hídrica, localizando geográficamente las áreas más afectadas. Por esto se puede decir que es factible la modelación de la pérdida de suelo cuando los factores de EUPS sean funciones matemáticas o que puedan expresarse con valores en una imagen raster.

En el estudio realizado de la estimación de la pérdida de suelo en la Cuenca del Rio Chirgua el incremento o disminución de la Erosión es proporcional al Transporte de Sedimentos, siendo el factor más influyente la Erosividad de la lluvia R expresado en MJ.mm/ha,h.

El transporte de sedimentos en la Cuenca del Rio Chirgua ha ido incrementándose con el tiempo, desde el año 2015 al 2017 ha tenido un incremento de 3 a 15 % con respecto al área total del Embalse en ha.

RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones con el uso de las imágenes satelitales y su procesamiento en ArcGIS 10.1 sería conveniente que el INAMEH contara con estaciones para el registro de las precipitaciones a todo lo largo del territorio Nacional y realizar el mantenimiento y verificación del funcionamiento de los mismos.

Por ser el Embalse Pao Cachinche el principal regulador y abastecedor de agua a gran parte de la Región Central del País se debe tomar en consideración realizar un plan de mantenimiento para minimizar la acumulación de sedimentos que afecta la capacidad del embalse, adicional a que por las características de diseño del embalse el mismo no cuenta con una descarga de fondo independiente, sino que existe un solo conducto que es el túnel que conduce el flujo captado en la torre - toma.

En futuras investigaciones se podría validar lo obtenido con el sistema de información geográfica con estudios en campos en los meses que corresponden al cultivo en la zona de la cuenca del Río Chirgua , el cual se inicia en octubre , y la cosecha es desde Enero a Abril siempre y cuando no se vea afectada por la lluvia.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Arias, F. (2006). *El proyecto de Investigación*. (4ta Ed.), Caracas: Editorial Episteme.

Orlando Laiz Averhoff y Ernesto Flores Valdés *Pérdida de capacidad de almacenaje en embalses Cubanos. Un efecto de la sedimentación Aqua-LAC - Vol. 2 - N° 2 - Sep. 2010. pp. 12 - 21.*

Genta, José Luis *MANUAL DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PEQUEÑAS PRESAS VOLUMEN 1: DISEÑO HIDROLÓGICO / HIDRÁULICO VERSIÓN 1.01* Segunda edición, abril de 2011

Carlos Pedro Saavedra & Chris Mannaerts (2003) Evaluación y monitoreo de modelos de erosión y sedimentación a escala regional usando sensores remotos y SIG. Caso de estudio en la región Andina, Cochabamba, Bolivia.

Ortiz V, Oswaldo (2008) TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DEL RIO JEQUETEPEQUE Y SU IMPACTO EN LA VIDA UTIL DE LA PRESA GALLITO CIEGO-CAJAMARCA, PERU

Piscitelli, M 1; Varni., M 2; Sfeir, A 1; Ares, G. Valores de erodabilidad (factor K-USLE) para suelos representativos de la cuenca alta del arroyo Azul (partido de Azul- Buenos Aires) 2,3 Cátedra de Conservación y Manejo de Suelos. Facultad de Agronomía. U.N.C.P.B.A. Av. Rep. de Italia 780. 7300. Azul, Buenos Aires, Argentina.

Wischmeier, W. H., and Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses—a guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537. ~~PREDICTING RAINFALL EROSION LOSSES—A GUIDE TO CONSERVATION PLANNING~~ ~~Supersedes Agriculture Handbook No. 282,~~ ~~Predicting Rainfall-Erosion Losses From Cropland East of the Rocky Mountains~~ “Science and Education Administration United States Department of Agriculture in cooperation with Purdue Agricultural Experiment Station.

I. Velasco (1), G. Cortés(2) Índices de Fournier modificado y de concentración de la precipitación, como estimadores del factor de riesgo de la erosión, en Sinaloa, México (1) Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Colonia Progreso. Jiutepec, Morelos, México. (2) El Colegio de San Luis, A.C. Parque de Macul No. 155, Fraccionamiento Colinas del Parque, San Luis Potosí, S.L.P. México. 78299. E 2007 Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT México), y el Fondo Mixto (FOMIX) del Gobierno del Estado de Sinaloa, bajo el Convenio SIN-2006-C01-32733.

Colín-García, Gerardo; Ibáñez-Castillo, Laura A., Reyes-Sánchez, José; Arteaga-Ramírez, Ramón. DIAGNÓSTICO DE LA EROSIÓN HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RÍO PICHUCALCO DIAGNOSIS OF WATER EROSION OF THE RIVER BASIN PICHUCALCO Egresado de la Universidad Autónoma Chapingo. km 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México, C.P. 56230. MEXICO. Profesor-Investigador del Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma

Córdova, José Rafael 17 October 2016. MODELO DE OPERACIÓN PARA EL CONTROL DE SEDIMENTOS EN EL EMBALSE DE SANTO DOMINGO

Fernanda Rodríguez de Paiva, Adriana Lelys Cortez Marín, María Carolina Núñez†, Francisco Ovalles Juan Carlos Rey Distribución espacial de las redes de estaciones meteorológicas en Venezuela. INIA. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Maracay, estado Aragua INIA Divulga 8 mayo - agosto 2006 p 23- 29

Andrés Iroumé, Patricio; Carey, Axel Bronstert, Anton; Huber, Hardin Palacios. GIS application of USLE and MUSLE to estimate erosion and suspended sediment load in experimental catchments, Valdivia, Chile Rev. Téc. Vol. 34, N° 2, 119 - 128, 2011

Márquez, Adriana (2012) Modelo de la Infiltración en un campo agrícola de la Cuenca del Rio Chirgua, estado Carabobo Venezuela.

González del Tanago, Marta. 1991, LA ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDAS DE SUELO. PASADO, PRESENTE Y FUTURO. Icona, Madrid Ecología, N.' 5, , pp. 13-50

Brea, José Daniel. Procesos de erosión- sedimentación en cauces y cuencas.(Unesco 2010) volumen I Programa Hidrológico Internacional, volumen N° 22. Cap. II, pág. 22.

F. G. Westin. ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION.OMA, 1963. Los Principales Suelos de Venezuela.

Belasri, A. and Lakhouli, A. (2016) Estimation of Soil Erosion Risk Using the Universal Soil Loss Equation (USLE) and Geo-Information Technology in Oued El Makhazine Watershed, Morocco. *Journal of Geographic Information System*, **8**, 98-107.

Wischmeier, W.H and Smith, P.P (1978) Predicting Rainfall Erosion Losses. A guide to conservation planning. The USDA agricultural Handbook N° 537, Maryland.

Arnoldus, H.M.J (1980) An approximation of the rainfall factor in the Universal soil loss equation. In: De Boodt, M. and Gabriels, D. Eds Assesment of Erosion, Jhon wiley and Sons, New York , 127 – 132.

Moore, I.D. and Burch, G.J. (1986) Modeling Erosion and Deposition. Topographic Effects. *Transactions of American Society of Agriculture Engineering*, **29**, 1624-1630.

Moore, I.D. and Burch, G.J. (1986) Physical Basis of the Length Slope Factor in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Science Society of America*, **50**, 1294-1298.

Barrios, R, Alex. G y Quiñones, Esneira. Evaluación de la Erosión utilizando el modelo R (USLE), con apoyo de SIG. Aplicación en una microcuenca de los Andes Venezolanos. *Rev. Forest. Venez.* 44(1). 2000, 65-71

Márquez-Romance, Adriana; Guevara-Pérez, Edilberto. Modelación de la erosión y el transporte de sedimentos en surcos en un campo agrícola bajo riego en Venezuela. *Tecnología y Ciencias del Agua*, antes *Ingeniería hidráulica en México*, vol. II, núm. 2, abril-junio de 2011, pp. 125-156.

Montoya, Rubén. Montoya, Luis y Anaya, Jesús. Evaluación de la producción de Sedimentos en la Cuenca del Rio la Miel. *Avances en Recursos Hidráulicos*. Número 12 - Septiembre 2005. Medellín.

Generación y Transporte de Sedimentos en la Cuenca Binacional del Río Bermejo. Caracterización y análisis de los procesos intervinientes. - 1a ed. - Buenos Aires. COBINABE, 2010. 230 p.

Vanesa, Rivero (2011) COMPARACIÓN DE PATRONES DE ESCORRENTÍA EN PARCELAS AGRÍCOLAS UBICADAS EN EL SECTOR CARIAPRIMA CUENCA DEL RÍO CHIRGUA, ESTADO CARABOBO

La Cruz, Sara (2015). ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DEL EMBALSE PAO CACHINCHE, ESTADO CARABOBO.