



# **UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

## **TESIS**

### **ESTIMACIÓN DE TASAS DE EROSIÓN HÍDRICA EN DOS A.N.P`s. DEL ESTADO DE CHIAPAS.**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
**MAESTRO EN CIENCIAS EN  
DESARROLLO SUSTENTABLE**

PRESENTA:  
**IVAN DE JESÚS VÁZQUEZ MONTOYA**

DIRECTOR:  
**DR. SERGIO LÓPEZ MENDOZA**

***A mis padres  
Edelmira Montoya Tamayo  
Mario Humberto Vázquez López***

***A mi hermano  
Cesar Humberto Vázquez Montoya***

***A mi Esposa  
Brisseyda Nathali Pérez Cunjama***

***A mi hijo, que todo lo que hago hasta ahora en gran medida es por ti.***

***Y a los integrantes de mi familia que de una u otra forma estuvieron  
involucrados.***

***Gracias por su incondicional apoyo y paciencia.***

## **Agradecimientos**

De una u otra forma innumerables personas contribuyeron de forma directa o indirecta en la realización de este manuscrito al aportar conocimiento, experiencia, información, apoyo e inspiración, a los cuales pretendo hacerles un pequeño homenaje en este apartado, con el riesgo de saber que no podre expresar lo tan agradecido que estoy por todo lo que he recibido de ustedes. Espero que al grabar su nombre sea para ustedes motivo de gratitud. De ante mano pido mil disculpas, si por alguna razón he omitido a alguien antes de imprimir este documento.

### **Agradecimiento a mi director:**

Dr. Sergio López, quien nunca dudo en aconsejar, proponer y apoyar incondicionalmente, resta decirle muchas gracias Dr. Sergio, que más que mi director ha pasado a ser mi gran amigo. Por otro lado no puedo dejar de nombrar y darle mi extensa gratitud al Dr. Rodolfo J. Palacios que me ayudo a comprender gran parte de la metodología aplicada en este documento.

### **A mis asesores:**

M en C. Gloria Espíritu, Dr. Raúl A. Vaca, Dr. José Zambrano y M Sc. Walter López. Que se han tomado el tiempo para revisar, sugerir y proponer cosas tan interesantes que han generado frutos tan valiosos y que están plasmadas en este manuscrito.

Mi extensa gratitud a mi universidad la **UNICACH**, que me ha dado la oportunidad de crecer a nivel académico y profesional, espero nunca defraudarlos, gracias Dr. Fco. Félix Domínguez, Dr. Mauro Corzo, Dr. Pascual López, Dr. José A. Velasco, Dr. Fermín Molina etc. Muchas gracias por el apoyo en clase y por sus valiosos comentarios a mis compañeros y amigos de generación.

Muchas gracias a **CENTROGEO** por el apoyo de la beca parcial del proyecto fordecyt (**CONACYT**), que sirvió para realizar el estudio en la cuenca Usumacinta – REDRUM, y específicamente para la REBIMA en este manuscrito.

Iván de Jesús Vázquez Montoya  
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas 2011



## ÍNDICE

<b>Resumen</b>	<b>IX</b>
<b>I.- Introducción.</b>	<b>Pág.1</b>
<b>II.- Antecedentes.</b>	<b>Pág. 4</b>
<b>III.- Marco Teórico.</b>	<b>Pág.8</b>
3.1.- Área de Estudio (REBITRI).	Pág.8
3.1.1.- Ubicación Geográfica.	Pág.8
3.1.2.- Edafología.	Pág.9
3.1.3.- Hidrografía.	Pág.9
3.1.4.- Climas.	Pág.10
3.1.5.- Vegetación.	Pág.10
3.1.6.- Población.	Pág.11
3.2.- Área de Estudio (REBIMA).	Pág.11
3.2.1.- Ubicación Geográfica.	Pág.11
3.2.2.- Edafología.	Pág.12
3.2.3.- Hidrografía.	Pág.12
3.2.4.- Climas.	Pág.13
3.2.5.- Vegetación.	Pág.14
3.2.6.- Población.	Pág.14
3.3.- Erosión Hídrica.	Pág.15
3.4.- Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (E.U.P.S.).	Pág.18
3.5.- Factores para el cálculo de la erosión hídrica potencial.	Pág.19
3.5.1.- Factor R (Erosividad).	Pág.19
3.5.2.- Factor K (Erodabilidad).	Pág.22
3.5.3.- Factor LS (Longitud y Pendiente).	Pág.25

3.6.- Factores para el cálculo de la erosión hídrica actual.	Pág.28
3.6.1.- Factor C (Cobertura Vegetal).	Pág.28
3.6.2.- Factor P (Prácticas de conservación).	Pág.29
3.7.- Sistemas de Información Geográfica (S.I.G).	Pág.29
<b>V.- Objetivos.</b>	<b>Pág.31</b>
5.1.- Objetivo General.	Pág.31
5.2.- Objetivos Específicos.	Pág.31
<b>IV.- Hipótesis.</b>	<b>Pág.32</b>
<b>VI.- Métodos.</b>	<b>Pág.33</b>
6.1.- Factor R (Erosividad de la lluvia).	Pág.33
6.2.- Factor K (Erodabilidad del suelo).	Pág.35
6.3.- Factor LS (Longitud y Pendiente de la ladera).	Pág.37
6.4.- Integración de los factores R, K y LS, (Erosión Hídrica Potencial).	Pág.40
6.5.- Factor C (Cobertura vegetal).	Pág.41
6.6.- Integración de los factores R, K, LS y C (Erosión Hídrica Actual).	Pág.46
<b>VII.- Resultados y análisis.</b>	<b>Pág.47</b>
7.1.- Análisis del Factor R.	Pág.47
7.2.- Análisis del Factor K.	Pág.50
7.3.- Análisis del Factor LS.	Pág.55
7.4.- Análisis del Factor C.	Pág.59
7.5.- Distribución de la Erosión Hídrica Potencial en las zonas núcleo y de amortiguamiento de la REBITRI.	Pág.64
7.6.- Análisis de la Erosión Hídrica Potencial entre la REBITRI y la REBIMA.	Pág.69

7.7.- Distribución de la Erosión Hídrica Actual en las zonas núcleo y zonas de amortiguamiento de la REBITRI.	Pág.73
7.8.- Análisis de la Erosión Hídrica Actual entre la REBITRI y la REBIMA.	Pág.78
<b>VIII.- Discusión.</b>	<b>Pág.82</b>
<b>IX.- Recomendaciones.</b>	<b>Pág.84</b>
<b>X.- Conclusiones.</b>	<b>Pág.85</b>
<b>X.- Referencias.</b>	<b>Pág.86</b>
<b>XI.- ANEXOS.</b>	<b>Pág.91</b>

### Índice de Mapas.

Mapa 1. Ubicación de la Zona de Estudio.	Pág. 8
Mapa 2. Mapas del Factor R (Erosividad de la lluvia) de la REBITRI y REBIMA.	Pág. 47
Mapa 3. Mapa del Factor K (Erodabilidad del Suelo) de la REBITRI y REBIMA.	Pág. 51
Mapa 4. Mapa del Factor LS (Longitud y Pendiente) de la REBITRI y REBIMA.	Pág. 56
Mapa 5. Mapa del Factor C (Cobertura Vegetal) de la REBITRI y REBIMA.	Pág. 60
Mapa 6. Distribución de la E.H.P Alta y Muy alta en las zonas núcleo de la REBITRI.	Pág. 67
Mapa 7. Distribución de la E.H.P Alta y Muy alta en las zonas de amortiguamiento de la REBITRI.	Pág. 68
Mapa 8. Distribución de la E.H.P Alta y Muy alta en la REBIMA.	Pág. 70
Mapa 9. Mapa de E.H.P de la REBITRI.	Pág. 71
Mapa 10. Mapa de E.H.P de la REBIMA.	Pág. 72
Mapa 11. Distribución de la E.H.A Alta y Muy alta en las zonas núcleo de la REBITRI.	Pág. 76
Mapa 12. Distribución de la E.H.A Alta y Muy alta en las zonas de amortiguamiento de la REBITRI.	Pág. 77
Mapa 13. Distribución de la E.H.A Alta y Muy alta en la REBIMA.	Pág. 79
Mapa 14. Mapa de E.H.A de la REBITRI.	Pág. 80
Mapa 15. Mapa de E.H.A de la REBIMA.	Pág. 81

### Índice de Figuras.

Figura 1. Proceso de erosión hídrica.	Pág. 16
Figura 2. Mapa de regresión con igual erosividad en la República Mexicana.	Pág. 22
Figura 3. Medición Experimental estándar en parcelas.	Pág. 23
Figura 4. Nomograma de permeabilidad	Pág. 24
Figura 5. Nomograma de Wischmeier et, al., para determinar el factor K.	Pág. 24
Figura 6. Triangulo de textura.	Pág. 36
Figura 7. Diagrama para determinar la erosión hídrica potencial en la REBITRI y la REBIMA.	Pág. 40
Figura 8. Curva de calibración de números digitales a valores de reflectancia.	Pág. 41
Figura 9. Diagrama de Flujo para determinar Erosión Hídrica Actual en la REBITRI y la REBIMA.	Pág. 46
Figura 10. Ubicación de las E.H.P en las zonas núcleo de la REBITRI.	Pág. 65
Figura 11. Ubicación de las E.H.A alta en las zonas núcleo de la REBITRI.	Pág. 74



### Índice de Tablas y Gráficos.

Tabla 1. Estimación de tasas de transformación anual para los tipos de vegetación en buen estado de conservación dentro de las A.N.P's consideradas en el estudio.	Pág. 2
Tabla 2. Tolerancia de erosión establecida por la FAO – PNUMA – UNESCO.	Pág. 17
Tabla 3. Ecuaciones para estimar la erosividad de la lluvia en la república mexicana.	Pág. 21
Tabla 4. Valores del factor C de la FAO (1980) vegetación natural.	Pág. 28
Tabla 5. Ventajas y desventajas de los S.I.G.	Pág. 30
Tabla 6. Datos de precipitación de la estación Abasolo, Ocosingo, Chiapas de los meses de Enero a Diciembre de 2007.	Pág. 33
Tabla 7. Datos edafológicos de la REBITRI, con parámetros físicos.	Pág. 35
Tabla 8. Rangos de radiancia espectral para el sensor ETM+ watts/ (meter squared * ster * $\mu\text{m}$ ).	Pág. 42
Tabla 9. Valores de irradiancia solar para el sensor ETM+.	Pág. 43
Tabla 10. Distancia del Sol a la Tierra en unidades astronómicas.	Pág. 43
Tabla 11. Conjunto de datos de cobertura vegetal.	Pág. 44
Tabla 12. Conjunto de datos del Factor de Cobertura Vegetal (Factor C) propuestos por Wischmeier et, al., (1978).	Pág. 45
Tabla 13. Intervalos de erosividad de la lluvia (Factor R).	Pág. 48
Tabla 14. Grados de Susceptibilidad a la erosión según rangos de K y textura.	Pág.52
Tabla 15. Intervalo de Erodabilidad del suelo (Factor K).	Pág. 53
Tabla 16. Intervalo de Longitud y Pendiente (Factor LS).	Pág. 57

Tabla 17. Intervalo de Cobertura Vegetal (Factor C).	Pág. 61
Tabla 18. Tabla de contingencia de los factores R, K, LS y C entre zonas núcleo y amortiguamiento.	Pág. 63
Tabla 19. Tabla de contingencia de los factores R, K, LS y C entre REBITRI y REBIMA.	Pág. 63
Grafica 1. Distribución del Factor R en las zonas núcleo y de amortiguamiento en la REBITRI.	Pág. 48
Grafica 2. Distribución del factor R en la REBITRI y la REBIMA.	Pág. 49
Grafica 3. Distribución edafológica de la REBITRI y la REBIMA.	Pág. 50
Grafica 4. Correlación del Factor K – M de la REBITRI Y REBIMA.	Pág. 50
Grafica 5. Grado de susceptibilidad a la erosión en la REBITRI y REBIMA.	Pág. 52
Grafica 6. Distribución del Factor K en zona núcleo y de amortiguamiento en la REBITRI.	Pág. 53
Grafica 7. Distribución del factor K en la REBITRI y la REBIMA.	Pág. 54
Grafica 8. Distribución de los valores de LS.	Pág. 55
Grafica 9. Distribución de la pendiente REBITRI y REBIMA.	Pág. 56
Grafica 10. Distribución del Factor LS en zona núcleo y de amortiguamiento en la REBITRI.	Pág. 57
Grafica 11. Distribución del factor LS en la REBITRI y la REBIMA.	Pág. 58
Grafica 12. Tipo de vegetación en la REBITRI y REBIMA.	Pág. 59
Grafica 13. Influencia del Factor C en la REBITRI y la REBIMA.	Pág. 60
Grafica 14. Distribución del Factor C en zona núcleo y	Pág. 61

de amortiguamiento en la REBITRI.	
Grafica 15. Distribución del factor C en la REBITRI y la REBIMA.	Pág. 62
Grafica 16. Distribución de grados de E.H.P por zonas núcleo.	Pág. 64
Grafica 17. Distribución de grados de E.H.P en las Zonas Núcleo.	Pág. 66
Grafica 18. Distribución de grados de E.H.P en las Zonas de Amortiguamiento.	Pág. 66
Grafica 19. Distribución de grados de E.H.P en la REBITRI.	Pág. 69
Grafica 20. Distribución de grados de E.H.P en la REBIMA.	Pág. 69
Grafica 21. Distribución de grados de E.H.A por Zonas Núcleo.	Pág. 73
Grafica 22. Distribución de grados de E.H.A en las Zonas de Núcleo.	Pág. 75
Grafica 23. Distribución de grados de E.H.A en las Zonas de Amortiguamiento.	Pág. 75
Grafica 24. Distribución de grados de E.H.A en la REBITRI.	Pág. 78
Grafica 25. Distribución de grados de E.H.A en la REBIMA.	Pág. 78

## Resumen

En este trabajo se cuantificó, analizó y comparó la erosión hídrica potencial (E.H.P) y la erosión hídrica actual (E.H.A) en la Reserva de la Biósfera el Triunfo (REBITRI) y la Reserva de la Biósfera Montes Azules (REBIMA) ya que es imprescindible tener datos de pérdida del recurso edafológico para una correcta gestión y manejo del mismo. Debido a que el suelo es uno de los recursos más importantes y más amenazados, la ubicación de zonas con riesgo de erosión hídrica y zonas con alta erosión actual es primordial para que las instancias correspondientes promuevan estrategias de conservación. La evaluación de la erosión hídrica se realizó con el modelo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (E.U.P.S) y herramientas de Sistemas de Información Geográfica (S.I.G); Como Erdas Imagine 9.2, Arcview 3.2 y ARCMAP 9.3 con el fin de analizarla y representarla. En la REBITRI se determinó que para la E.H.P y la E.H.A la zona núcleo más afectada es la denominada El Venado y las menos afectadas para la E.H.P es la denominada El Triunfo y para la E.H.A la zona Cuxtepec. Otro análisis indica que la REBITRI es la más afectada por E.H.P ya que los valores en su superficie se distribuye en cero% Baja, 77% Moderada, 20% Alta y tres% Muy alta mientras que en la REBIMA la distribución de la E.H.P en su superficie es para Baja 65%, Moderada 33%, Alta dos% y Muy alta cero%. Para la E.H.A arroja para la REBITRI valores que van de 93% Bajos, cinco% Moderados, dos% Altos y cero% Muy altos del total de su superficie, mientras que para la REBIMA la distribución de la E.H.A es de 99% Bajos, uno% Moderados, cero% Altos y cero% Muy altos, reivindicando a la REBIMA como la reserva con menos pérdida de recurso edafológico a causa de la Erosión Hídrica.

## I.- Introducción.

La Erosión, proviene del latín erodere, significa: desgaste o destrucción producida en la superficie de un cuerpo por la acción continua de las fuerzas de fricción del viento, corrientes superficiales de agua y glaciares en movimiento (Suárez, 2001). En hidrología, erosión se puede definir como: el desgaste de la superficie terrestre por agentes externos como el agua, el viento y el hielo glacial. La erosión hídrica se da en tres etapas (Mármol, 2006) separación, transporte y depósito de la capa superficial del suelo generado por la disgregación (acción dispersante de las gotas de lluvia) y el transporte de las partículas removidas del suelo a causa del escurrimiento (Núñez, 2006), este proceso tiene cuatro formas principales: la erosión que se da por las gotas de lluvia, la erosión laminar, la erosión en surcos, y la erosión en cárcavas (Suárez, 2001), este último proceso es el que más condiciona a las propiedades físicas del recurso edafológico.

Pero además este fenómeno está condicionado en principio por el escurrimiento, el tipo de suelo, la pendiente, la cobertura vegetal y la presencia o ausencia de medidas de conservación (Marín y Caraza, 2006); y al mismo tiempo por las actividades humanas, ya que en el afán de obtener recursos naturales renovables y no renovables (González, 2005) y con su actividad modificadora, ha ido moldeando la estructura de los paisajes modernos (Chiappy y Gama, 2004) produciendo fragmentación de hábitats y su consecuente pérdida de biodiversidad (Gaspari y Bruno, 2003), estas transformaciones han favorecido los procesos erosivos, vinculados a la circulación superficial del agua y los movimientos en masa que constituyen uno de los procesos más activos en la actual dinámica morfogenética de la Tierra (Edeso, et al. 1997).

Dentro de las poligonales de las A.N.P's estudiadas en este trabajo, los porcentajes ocupados por áreas transformadas y/o perturbadas (que incluyeron "selvas fragmentadas" y "bosques perturbados") se presentan en la siguiente **Tabla 1** (March M. Ignacio J. y Flamenco S. Alejandro, 1996). Este avance gradual

en el deterioro a la cobertura vegetal, incrementa la probabilidad de encontrar alta erosión hídrica.

**Tabla 1.** Estimación de tasas de transformación anual para los tipos de vegetación en buen estado de conservación dentro de las A.N.P's consideradas en el estudio.

Área natural protegida	Poligonal		Cambio anual promedio	
	Área transformada o perturbada (Ha)	% del total	Tasa estimada de transformación anual (Ha)	% del A.N.P
REBITRI	55,790	45.93	551	0.45
REBIMA	31,534	9.75	593	0.18

Como lo menciona López B. Walter y Magdaleno G. Reynol en el 2010, la REBITRI proporciona hábitat al 40% de las aves de México, incluyendo el Quetzal y más de 800 especies de plantas. Además en su territorio cae el 10% de la lluvia en todo México, y por su ubicación en la Sierra Madre de Chiapas es zona estratégica para la regulación del riesgo por inundación en 15 cuencas de 10 municipios del estado de Chiapas, pero estos beneficios que la reserva aporta paradójicamente están amenazados por: a) la deforestación, b) la contaminación del suelo y del agua por agroquímicos, c) el crecimiento poblacional.

Por otra parte en la REBIMA habitan el 30.2% de los mamíferos, 47.9% de aves, y el 19.6% de la flora que se encuentran en México entre otros. Además proporciona enormes fuentes de materias prima, ayuda al control del ciclo hidrológico y regula el equilibrio de gases atmosféricos. Pero esto se ve perturbado con la deforestación por el avance de la frontera agropecuaria, incendios y asentamientos irregulares (42 grupos). (Consejo Consultivo para el desarrollo sustentable de la región sur – sureste, 2003)

Es por eso que la conservación del recurso edafológico en la REBITRI y la REBIMA es un reto ya que en ciertas zonas evidentemente es inevitable permitir

ciertas prácticas antropogénicas, acentuando el problema de la deforestación y por ende una eminente alta erosión hídrica, para ello es importante obtener datos de intensidad de la lluvia, propiedades físicas del suelo, característica de las laderas, cantidad de vegetación y presencia o ausencia de prácticas de conservación, esto integrados en la E.U.P.S que hasta hoy es el modelo matemático más sensible y el más usado para la determinación de erosión hídrica desde 1959 (Ramírez-León 2009), esto con la intención de su posterior integración a un Sistema de Información Geográfica (Pérez, 2001), con la finalidad de realizar el desarrollo matemático de este modelo para obtener valores aproximados de la erosión hídrica potencial y actual que afectan a las A.N.P's, generando mapas de erosión hídrica potencial y actual y ubicar las zonas con mayor erosión en ambos escenarios.

## II.- Antecedentes.

La desertificación afecta a las tierras secas, que se extienden por un tercio de la superficie de la Tierra en más de 110 países, e influye en las vidas de unas 500,000 personas los denominados "refugiados ambientales", incluidas muchas de las poblaciones más pobres y marginalizadas del mundo (FIDA y FMAM, 2002).

A nivel mundial desde 1990 se pierden 467.4 millones de has a causa de la erosión provocada por la lluvia, solo en América del norte se pierden 38.4 millones de has al año. Cada año, el avance del desierto provoca una pérdida de 12 millones de has, lo que corresponde a un área en la que podrían cultivarse 20 millones de toneladas de cereales. A su vez, la degradación de la tierra es una amenaza para los medios de subsistencia de 1,000 millones de habitantes en el mundo. Se estima que la degradación causada por el cultivo excesivo, el sobre pastoreo, la deforestación y el riego inadecuado afecta a un 20% de las tierras secas del mundo, esto es, una superficie equivalente a la de China (FIDA y FMAM, 2002).

En México la erosión es probablemente uno de los principales promotores de la desertificación de la superficie nacional, por lo que es considerada como uno de los problemas ecológicos más severos de los recursos naturales renovables de México. De los casi 200 millones de hectáreas del territorio nacional, 154 millones están sujetos a diversos grados de erosión (Baja y, Moderada, entre 74 y 94 millones de has; severa y muy severa entre 60 y 80 millones de has), lo que representa 78.30% de la superficie del país. Las entidades más afectadas son: Oaxaca, Tamaulipas, Yucatán, Veracruz, **Chiapas**, Nuevo León, Estado de México, Coahuila, San Luis Potosí y Michoacán (INE, 2007).

Entre 1940 y 1956, se comenzaron a desarrollar procedimientos cuantitativos para la estimación de pérdida de suelo en la zona del maíz en los Estados Unidos; En 1946, un grupo de especialistas realizó un taller de la erosión en Ohio para volver



a evaluar el modelo previo a la E.U.P.S y añadir el factor de las lluvias. El Departamento de Agricultura y Servicio de Investigación Agrícola (ARS), estableció la segunda vuelta de Pérdida de Suelo Nacional y Centro de Datos de la Universidad de Purdue en 1954 para localizar, reunir y consolidar todos los datos disponibles en los Estados Unidos. Obteniendo datos de escorrentía y pérdida en más de 10,000 parcelas.

Basándose en los datos reunidos y estudios previos, Wischmeier, Smith y colaboradores desarrollaron la E.U.P.S publicada en 1979. Este modelo aplicados en los S.I.G se emplea para la determinación de la E.H.P y E.H.A en las A.N.P's, de esa misma forma en 1985 con el objetivo de predecir el efecto de las decisiones de manejo sobre la producción de agua y sedimentos en cuencas sin registros se formuló el modelo S.W.R.R.B (Simulator of Water Resources in Rural Basins) por Williams. En este modelo en particular no se requiere calibración ya que las entradas del modelo están basadas en procesos físicos (Arnold y Williams, 1994). Los tres mayores componentes del S.W.R.R.B son clima, hidrología y sedimentación. Los procesos considerados para este modelo incluyen escorrentía, flujo de retorno, percolación, evapotranspiración, pérdidas de transmisión, almacenamiento en lagunas y represas, sedimentación y crecimiento del cultivo.

En 1996 Castillo y colaboradores realizaron el estudio de vulnerabilidad y factores condicionantes de la erosión en la cuenca del Río Guadalfeo vertiente al embalse de Rules (Granada) localizada en el mar Caribe, siendo un país insular que incluye las Granadinas del sur. Este trabajo insiste, a partir de la metodología de la E.U.P.S, los factores erosivos más influyentes y en las posibilidades y prioridades de actuación, identificando las áreas de mayor riesgo erosivo.

En el 2006 Boris Díaz realizó la modelización de la erosión hídrica potencial en cuencas de montaña, realizada en la del Río de las Vueltas, Argentina; en la que presenta un mosaico de situaciones de riesgo actual de erosión y además identifica áreas en donde es fundamental aplicar estrategias de conservación. La

tesis Doctoral “Erosión y redistribución del suelo en agroecosistemas mediterráneos: Modelización predictiva mediante S.I.G y validación con Cs” en la Cuenca de Estaña, Pirineo Central por Manuel López en 2007 en donde caracteriza y realiza el análisis comparativo entre el modelo E.U.P.S.R (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, Revisada) y el R.M.M.F (Modelo de Morgan y Finney, Revisada).

Por otra parte el trabajo “Riesgo de Erosión Hídrica en la Cuenca Hidrográfica La Güira, Río Cuyaguaje, Cuba”, publicado en 2007 por Alonso Gustavo. Es uno de los más relevantes para este trabajo ya que únicamente se utilizaron para determinar la E.H.P los factores erosividad de las lluvias, erodabilidad del suelo y topografía, y determina que un 70% del área estudiada deben implementarse medidas antierosivas o de lo contrario no será posible su laboreo con fines agrícolas.

También en Abril 27 de 2008 Rivera Díaz en la revista Chapingo serie Ciencias forestales y del ambiente, publicó el trabajo “Determinación de índices de erosión de suelos aplicando análisis de S.I.G para la localidad de San Andrés en la provincia de Pinar del Río, Cuba la Habana”. Determinando el índice de riesgo de erosión actual e índice de riesgo de erosión potencial sobre datos publicados en 1989 por el departamento de suelos del ministerio de la agricultura y obtenidos en el campo en 2005, creando mapas de suelos con base en estos índices utilizando herramientas S.I.G. Los resultados permitieron comprobar una tendencia a favor de la morfogénesis e hicieron predecible un comportamiento similar en los próximos años con las actuales prácticas de uso del suelo.

En junio de 2008 Quiñonez y Dal Pozzo en su trabajo distribución espacial del riesgo de degradación de los suelos por erosión hídrica en el estado Lara, Venezuela, aporta un diagnóstico cuantitativo sobre el riesgo de degradación de suelos por la erosión hídrica, tomando en consideración un modelo distribuido y

utilizando la herramienta de los S.I.G para la aplicación de la metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos.

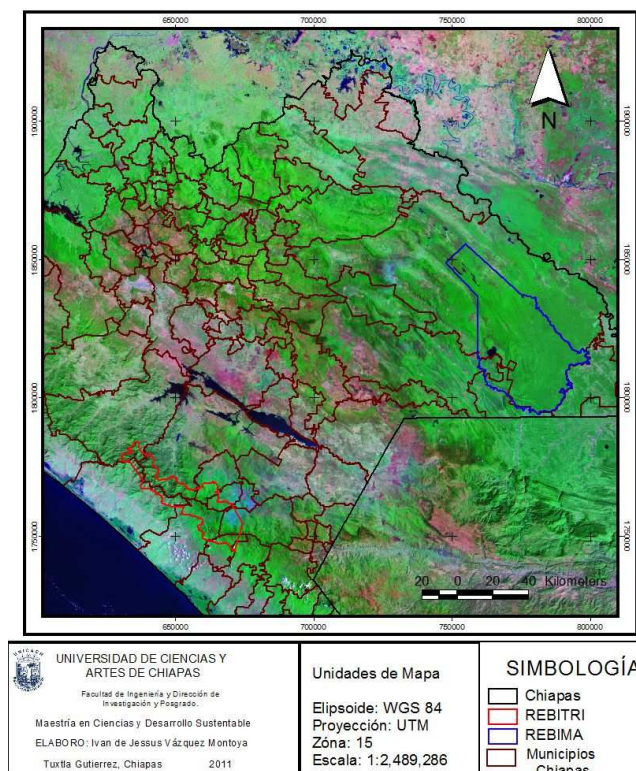
En el trabajo “Determinación de la Erosión Hídrica Potencial de los Suelos de la Alta Cuenca del Río Bermejo (Salta) Implementado en Formato S.I.G.”, elaborada por, Tejerina Díaz en 2010, se determina la erosión potencial y actual de los suelos dominantes de la alta cuenca del río Bermejo, mediante la E.U.P.S, a fin de contar con una herramienta para el desarrollo sustentable del recurso edafológico.

En Chiapas más de 80% de su superficie (seis millones de has) corren riesgo potencial de sufrir erosión hídrica, con pérdidas estimadas de 200 toneladas por ha al año, por este hecho la erosión de los suelos es la principal amenaza para garantizar una agricultura sustentable, indica López B. Walter en el 2011 en su trabajo “Potencial de la AC en Chiapas”.

En el trabajo titulado “Estimación de la erosión hídrica y su relación con el uso de suelo en la cuenca del río Cahoacán, Chiapas, México” (Santacruz L. Germán, 2011) se estimó la erosión hídrica, además de analizar los efectos de las modificaciones en el uso de suelo, empleando la E.U.P.S, estableciendo tres escenarios distintos para la cobertura vegetal, concluyendo que de seguir las alteraciones de los bosques, los valores actuales de pérdida de suelo pueden incrementarse hasta en un 900%.

### III.- Marco Teórico.

#### 3.1.- Área de Estudio (REBITRI).



**Mapa 1.** Ubicación de la Zona de Estudio.

#### La Reserva de la Biósfera el Triunfo.

##### 3.1.1.- Ubicación geográfica.

Se localiza en la porción central de la Sierra Madre de Chiapas, en las coordenadas geográficas extremas, 15° 09'10" y 15° 57'02", latitud norte y 92° 34'04" y 93° 12'42", longitud oeste. Cuenta con una superficie de 119,177-29-00ha y abarca parte de los municipios de Pijijiapan, Mapastepec, Acacoyagua, Escuintla, Ángel Albino Corzo, La Concordia, Villa Corzo, Montecristo de Guerrero y Siltepec, comprendidos en las regiones económicas Frailesca, Sierra, Istmo, Costa y Soconusco. La zonificación establecida por la declaratoria del A.N.P contempla que 93,458-4ha conforman la Zona de Amortiguamiento y 25,763ha la

Zona Núcleo (ZN) dividida en cinco polígonos: ZN I El Triunfo (11,594-75-00ha), ZN II Ovando (2,143-25-00ha), ZN III Cuxtepec (1,192-75- 00ha), ZN IV El Venado (4,056-87-00ha) y ZN V La Angostura (6,776-25-00ha). (DOF, 13 de marzo de 1990) **(Mapa 1)**.

### **3.1.2.- Edafología.**

Son cinco los tipos de suelo presentes en la Reserva el Acrisol, Cambisol, Feozem, Fluvisol y Litosol (INEGI, 2002), estos suelos **son propensos a erosionarse ya sea de forma Moderada o Alta**, y se distribuyen de acuerdo a su inclinación topográfica (Arreola-Muñoz, 2004). La mayor parte de la superficie dentro de la REBITRI es el tipo de suelo Cambisol Eútrico, contiene una capa de color claro y generalmente pobre en materia orgánica, debido al intemperismo y al tectonismo se ha provocado la formación metamórfica de rocas, estos suelos están alterados y empobrecidos, a pesar de tener una textura arcillo-limosa tienden a ser muy permeables. No pueden ser aprovechados para actividades forestales.

### **3.1.3.- Hidrología.**

La reserva se ubica en el parteaguas de la Sierra Madre de Chiapas, límite de las dos grandes regiones hidrológicas del estado: Grijalva-Usumacinta en la vertiente de la Depresión Central y la Costa en la vertiente del Pacífico (IHN, 1993). La región hidrográfica del Grijalva tiene influencia en el complejo hidrológico de la Sierra Madre, de ahí descienden 17 ríos para desembocar en la vertiente del Pacífico, que conforman la región hidrográfica de la zona Costa. El río Grijalva tiene una longitud de 700 km y a lo largo de su cauce se han construido cuatro hidroeléctricas (Belisario Domínguez, Manuel Moreno Torres, Netzahualcóyotl y Ángel Albino Corzo), entre ellas generan el 14.5% de la energía eléctrica nacional y aportan 35.8% de la energía generada por este medio (Arreola et al., 2004). Las cuencas importantes del Grijalva-Usumacinta en El Triunfo son La Angostura, El Dorado, Cuxtepec, Santa Catarina y Cafetal. La vertiente del Pacífico cuenta con ríos pequeños y seriados, con caídas considerables a los valles (Helbig, 1976). En

esta vertiente hay siete cuencas: Pijijiapan, Coapa, Margaritas, Novilleros, San Nicolás, Cacaluta y Cintalapa (Gómez-Velasco et al., 2004).

#### **3.1.4.- Climas.**

La zona del Triunfo es considerada una de las zonas más húmedas del país, principalmente en la vertiente del Pacífico. Este clima es así por el aire marítimo proveniente del Pacífico, los ciclones y tormentas tropicales durante el verano, dan por resultado lluvias geográficas y que gradualmente se precipitan conforme la humedad asciende por la tierra. La altitud es determinante para el régimen técnico que es propenso a ser isotermal (Arreola et al., 2004). Debido a sus características físicas, la Reserva cuenta con varios tipos de clima, como son los templados-húmedos, cálidos-húmedos, cálidos-subhúmedos y los semicálidos-húmedos, registrándose precipitaciones anuales entre 2,500 y 4,000 mm. El porcentaje de precipitación invernal respecto del total anual es menor de cinco mm, con temperatura media anual mayor a 22°C, y temperatura del mes más frío mayor a 18°C.

#### **3.1.5.- Vegetación.**

En la Reserva hay 10 tipos de vegetación, uno de los mayores remanentes es el bosque de niebla en México, diversas especies arbóreas de Norte y Centro América (Vázquez-García, 1993) como lo muestra el siguiente listado.

1. Matorral Perennifolio de Neblina
2. Bosque Lluvioso de Montaña
3. Bosque Perennifolio de Neblina
4. Bosque Lluvioso de Montaña Baja
5. Bosque Estacional Perennifolio
6. Bosque de Pino-Encino-Liquidámbar
7. Bosque de Pino-Encino
8. Bosque de Galería o Ripario
9. Selva Baja Caducifolia
10. Comunidades Secundarias Arbóreas y Arbustivas

### **3.1.6.- Población.**

La población humana dentro de la zona protegida consta de 26 ejidos, 195 asentamientos y 15,000 habitantes aproximadamente. Al sureste de la reserva se localizan asentamientos del grupo mame; adicionalmente, existen muchas comunidades emigrantes de Los Altos de Chiapas (tzotziles y tzeltales). Los servicios de energía eléctrica y tiendas rurales sólo se encuentran en los poblados más importantes; el transporte rural es escaso.

De la población reconocida para la reserva 50% se dedica a la agricultura, 15% al corte de la palma, 12% al comercio, cuatro % a las faenas domésticas y 19% a otras actividades. Se efectúan otros tipos de uso de suelo como la explotación forestal y el turismo.

### **3.2.- Área de Estudio (REBIMA).**

#### **La Reserva de la Biósfera Montes Azules.**

##### **3.2.1.- Ubicación geográfica.**

Se localiza al Oriente del Estado de Chiapas, en la región conocida como Selva Lacandona, comprende los municipios de Ocosingo, Las Margaritas y Maravilla Tenejapa. La superficie total es de 331,200ha, su gradiente altitudinal va de los 200 msnm en el Río Lacantún a una altitud máxima de 1,500 msnm en la región norte de la Reserva (Centro Nacional de Investigaciones Agrarias, 1982) **(Mapa 1)**.

La Reserva se ubica en la cuenca del Río Lacantún que a su vez, junto con los Ríos Jataté y Lacanjá son sus límites naturales. Existen cuerpos de agua de diferentes extensiones, originados por las condiciones particulares de solubilidad de la roca caliza al formar oquedades que son alimentadas por corrientes de agua subterránea, conformando lagos de origen cárstico y dolinas. En la zona norte del

área se localiza el complejo lagunar formado por la laguna Ojos Azules, laguna Yanqui, laguna Ocotal y laguna El Suspiro (García-Gil y Lugo 1992). Las lagunas Miramar (7.906ha) y Lacanjá (1.030ha) de mayores dimensiones, se encuentran en la porción centro-oeste y noroeste de la Reserva (INE 2000).

### **3.2.2.- Edafología.**

En la reserva son siete los tipos de suelo presentes el Acrisol, Cambisol, Gleysol, Litosol, Luvisol, Rendzina y Vertisol (INEGI, 2002), Las formaciones que predominan son rocas calizas, con suelos delgados en fase crómica, y porciones orgánicas de texturas finas y medias, de tonalidades negras, café rojizo o rojo y amarillento que se identifican genéricamente como rendzinas. **Estos suelos presentan fuerte susceptibilidad a la erosión y lavado en los terrenos de mayor pendiente que se encuentran asociados con suelos litosoles.**

En las áreas cuyos principales substratos geológicos son las calizas y greniscas, sus suelos son someros, alcanzando unos tres cm de grosor, donde predominan los litosoles, relativamente ácidos, con poca materia orgánica y de baja fertilidad que conforma el mantillo, de coloración rojiza que indica su característica arcillo - limosa. Se considera que la composición de las rocas calizas de acuerdo con la cantidad de carbonatos que contiene será el resultado del tipo de suelo que se presente.

### **3.2.3.- Hidrología.**

La totalidad de la Reserva se ubica en la cuenca del Río Lacantún, la cual es importante no sólo porque es uno de los principales factores del equilibrio ecológico de los ecosistemas, sino porque los Ríos Lacantún, Jataté y Lacanjá son los límites de la REBIMA, lo que ha permitido frenar las incursiones de asentamientos humanos al convertirse en frontera natural de la misma.

Adicionalmente a las corrientes superficiales, se localizan cuerpos de agua de diferentes extensiones, que por las condiciones particulares de solubilidad de la



roca caliza han formado oquedades, que debido a que están alimentadas por las aguas subterráneas, permiten la conformación de lagos de origen cárstico y dolinas. El principal grupo representativo de estas características, es el complejo lagunar ubicado en la porción norte de la REBIMA (**Mapa 3**). Las fallas y fracturas que corren en dirección noroeste, sureste, determinan su configuración alargada y semiparalela entre sí en la Reserva.

Las Lagunas Miramar (7,906ha) y Lacanjá (1,030ha) de mayores dimensiones, se localizan en la porción centro- oeste y noroeste de la REBIMA respectivamente. La superficie ocupada por estos cuerpos de agua es de 8,936ha, lo que corresponde al 2.7% del total de la REBIMA.

### **3.2.4.- Climas**

Las condiciones climáticas de la Región Lacandona están fuertemente determinadas por los vientos alisios, que dominan el área de Junio a Noviembre, y por los contralisios y las masas de aire polar que ejercen su dominio durante los meses de Diciembre a Mayo. Los vientos alisios provocan ondas tropicales del este, depresiones, tormentas tropicales y huracanes que llegan desde el sur y el sureste a través del Mar Caribe, Golfo de México y muy excepcionalmente del Océano Pacífico, aportando el 80% del agua que se precipita en el área. El efecto de los vientos contralisios y sus anticiclones es variable, puede ser cálido y excesivamente seco, frío, seco o moderadamente húmedo (norte). Estos fenómenos suelen alternarse entre los meses de diciembre y abril. Los nortes aportan 10 ó 15% de la lluvia del área.

La temperatura a nivel regional presenta dos máximas en el año, la primera durante el mes de Mayo y la segunda en Agosto, en plena época de lluvias. La disminución de la temperatura al aumentar la altitud varía desde 0.3 °C por cada 100 m de altitud, en el extremo noroeste de las montañas del norte de Chiapas en su vertiente hacia el Golfo de México, hasta 0.9 °C por cada 100 m de aumento en altitud en la parte central de las laderas de las mismas montañas, explicable por la

exposición del sistema montañoso a los vientos. En general, la distribución mensual de la temperatura es regular.

La temperatura media anual varía de 24 a 26 °C en sentido sureste - noroeste. Asimismo, existe cierto paralelismo entre estas isotermas y las temperaturas mínimas promedio anual y máxima promedio anual, las cuales son: 14 a 16 °C, y 32 a 36 °C, respectivamente. La oscilación anual de las temperaturas medias mensuales es baja; en algunos lugares es isotermal (menor de cinco °C), y en otras es de baja oscilación (cinco a siete °C) (Centro Nacional de Investigaciones Agrarias, 1982).

### **3.2.5.- Vegetación.**

La mayor parte de la vegetación original de la REBIMA corresponde a las selvas altas y mediana perennifolia. Sin embargo, también se encuentran otros tipos de vegetación (Rzedowsky, 1978 y Miranda, 1963) de acuerdo con características físicas (suelos, climas, fisiografía e hidrología) siendo éstos los siguientes:

1. Selva Alta Perennifolia
2. Selva Mediana Perennifolia de Canacoite
3. Bosque de Pino-Encino
4. Bosque Mesófilo de Montaña
5. Bosque Ripario
6. Jimbales
7. Sabanas

### **3.2.6.- Población.**

Tan sólo en la reserva hay 9,822 habitantes según el censo de población de 1990; es decir, hay alrededor de 3.7 habitantes por cada kilómetro cuadrado, aun considerando la constante inmigración a la que está sujeta esta zona (INE, 2007). Alrededor del 20% de la superficie de la reserva se ha abierto a actividades agropecuarias, incluyendo los acahuales, y el resto conserva la cubierta vegetal primaria.

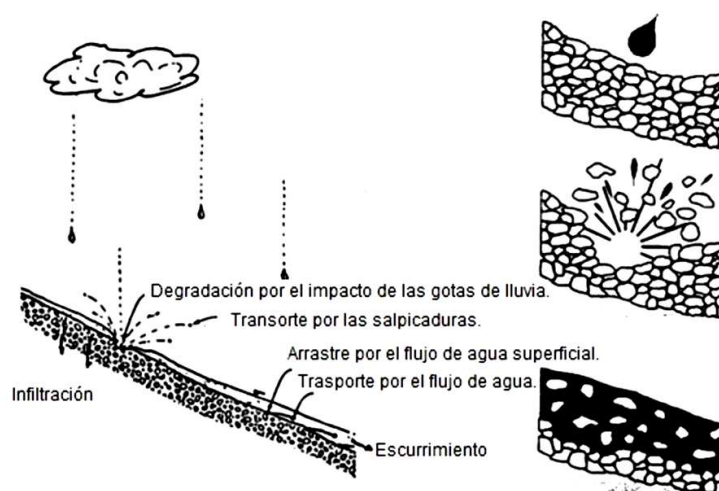
### 3.3.- Erosión Hídrica.

“Es el fenómeno generado por la disgregación - acción dispersante de las gotas de lluvia – y el transporte de las partículas removidas del suelo por parte del agua de escurrimiento”. Como indica la definición, la erosión hídrica depende inicialmente de dos fases: del impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo; y, del transporte de las partículas removidas. (Núñez, 2006).

Es un proceso normal y lento cuando actúan agentes geológicos (el agua, el viento, la energía solar, la gravedad y los glaciares), pero es acelerada cuando interviene las actividades humanas. En la primera existe un equilibrio entre la erosión y la nueva formación de suelo en condiciones naturales y no siempre implica un efecto adverso sobre el suelo o el ambiente. Por éste mecanismo es modelado el paisaje donde se observa la suavización del relieve montañoso y el desarrollo de llanuras, valles, deltas y otras geoformas. La erosión acelerada se encuentra lejos del equilibrio entre la pérdida y la formación de suelos y se acentúa por la acción del hombre, ya sea por el pastoreo excesivo, eliminación de la vegetación natural, cultivos en laderas pronunciadas o en sentido de las pendientes, el monocultivo y otras prácticas irracionales (Núñez, 2006).

La **Energía Cinética de las Gotas de Lluvia** es un factor importante en el proceso de erosión hídrica (Ellison, 1944 Citado por Villanueva et al, 2004) ya que la cantidad relativa de suelo desprendido de la superficie está en función de la intensidad de la lluvia (cantidad y duración), del tamaño (que normalmente se incrementa proporcionalmente con la intensidad de la lluvia) y la velocidad de las gotas (se incrementa proporcionalmente con el tamaño de las gotas). Luego continúa con la **Erosión por Salpicadura** producido por el Impacto de las Gotas y Desprendimiento de Suelo. Dada su energía cinética, las gotas logran disgregar los agregados del suelo y reducirlos finalmente en dimensiones más propicias para el transporte posterior por las aguas de escorrentía.

Finalmente culmina en la **Fase de Transporte** donde las partículas de suelo desprendidas por el impacto de las gotas de lluvia son arrastradas por el agua. La lluvia que no penetra en el suelo escurre pendiente abajo, incrementando su velocidad al concentrarse adquiriendo mayor capacidad erosiva por el aumento de la energía potencial. Sin embargo, la cantidad y tipo de material realmente transportado dependerá de las características físicas y químicas del terreno, tales como el tamaño de las partículas, el grado de cohesión, la pendiente, contenido de materia orgánica, etc (**Figura 1**).



**Figura 1.** Procesos de Erosión Hídrica.

Fuente: Guy Parent et al, 2001.

Dependiendo generalmente de las características del relieve, la erosión hídrica puede ser **Laminar**, en **Surcos** y en **Cárcavas**.

La erosión laminar es la remoción, más o menos uniforme, de una lámina desde la superficie en terrenos inclinados. Se trata de una erosión imperceptible, aunque cuantitativamente es importante por la gran cantidad y superficie de tierra afectada. El fenómeno se manifiesta por la aparición de sectores de suelos con colores claros debido a que el escurrimiento arrastra la capa superior rica en

materia orgánica, las fracciones limosas y arcillosas apareciendo el subsuelo donde se observan las partículas arenosas.

La erosión en surcos se inicia por la acumulación de agua en las pequeñas depresiones del suelo y cuando la rebasan fluye portando sedimentos en suspensión y formando surcos. En este tipo de erosión el desprendimiento no se produce por el impacto de gotas de lluvia, como en la laminar, sino por la energía del flujo de agua. La erosión en surcos transporta menos material que la laminar, y por lo tanto los daños son menores, pero son más visibles; no obstante, sus efectos pueden ser borrados rápidamente con el laboreo.

El tercer tipo de deterioro edáfico por acción del agua es la erosión en cárcavas, que es similar a la anterior (y se manifiesta generalmente después de la erosión en surcos) pero mucho más intensa y que no es posible borrar con los instrumentos normales de labranza. Las cárcavas pueden alcanzar varios metros de profundidad atacando no sólo el suelo, sino el subsuelo y obras de infraestructura.

La F.A.O. clasifica la erosión de la E.U.P.S como lo muestran las siguientes clases (**Tabla 2**):

**Tabla 2.** Tolerancias de erosión establecidas por FAO-PNUMA-UNESCO

<b>Clases de Erosión</b>	<b>Pérdida de Suelos (Mg/ha/año)</b>
Nula a Ligera	menor a 10
Moderada	10 – 50
Alta	50 – 200
Muy Alta	mayor a 200

Fuente: FAO, 1980 en Mármol, L. A. 2006

**Nula a Ligera:** Tierras sin degradación o que presentan erosión laminar. Los suelos mantienen aún sus características biológicas (materia orgánica) y físicas

(estabilidad estructural), lo que permite realizar actividades agrícolas comunes de la zona con prácticas conservacionistas racionales (mínimo laboreo, rotaciones de cultivos con pasturas sembradas).

**Moderada:** Tierras que presentan surcos y cárcavas aisladas además de erosión laminar. Se observa un descenso importante de la materia orgánica en los suelos así como pérdida de estructura de los mismos. Estos niveles de degradación han obligado en muchas zonas a cambiar el uso de la tierra a sistemas más conservacionistas (más años de pasturas, forestación), además de tener que implementar prácticas conservacionistas más costosas o específicas (laboreos en contorno siguiendo curvas a nivel, fajas empastadas, terrazas, etc.).

**Alta y Muy Alta:** Tierras que presentan cárcavas y surcos en forma significativa. En estos suelos además de haber perdido sus características biológicas y físicas originales se dificulta el pasaje de la maquinaria debido a la presencia de cárcavas.

### **3.4.- Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (E.U.P.S).**

La E.U.P.S, “Diseñada por Wischmeier y Smith, ha sido la ecuación más ampliamente aceptada y utilizada en Conservación. El modelo es fenomenológico (predice los efectos) y proporciona una buena idea del mecanismo real involucrado” (Casanova, 2006).

Teniendo en cuenta el concepto de erosión hídrica “Desprendimiento y arrastre acelerado de las partículas del suelo provocado por el agua” (Mármol, 2006); el modelo de la E.U.P.S sólo predice la erosión hídrica ya que determina el potencial de suelo a ser desprendido y transportado y no como en otros modelos, el de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (E.U.P.S.R) por ejemplo, que introduce en la E.U.P.S el volumen de escorrentía y caudal pico para el cálculo de transporte de sedimentos.

El modelo de la E.U.P.S es el siguiente:

$$A = R K L S C P$$

**En donde:**  
**A** = Pérdida de suelo.  
**R** = Factor erosividad de las lluvias.  
**K** = Factor erodabilidad del suelo.  
**L .S** = Factor topográfico.  
**C** = Factor cobertura y manejo.  
**P** = Factor prácticas conservacionistas.

El principal factor es el de erosividad; que mide la potencialidad de las lluvias para provocar erosión. Su acción es incrementada en función de las características del relieve (longitud y grado de la pendiente, factores L y S) y regulada por las propiedades del suelo, erodabilidad del suelo (factor K), tipo de cobertura (factor C) y prácticas conservacionistas (factor P). El valor de los cuatro primeros factores dependen netamente de las condiciones naturales del lugar, en cambio, el valor de los factores C y P pueden ser manipulados por el hombre. Los cuatro primeros factores (R, L, S y K) nos proporcionan la **Erosión Hídrica Potencial**, a los que aumentando los factores C y P obtenemos la **Erosión Hídrica Actual o Real**.

### 3.5.- Factores para el cálculo de la erosión hídrica potencial.

Para la determinación de los factores de la E.U.P.S, se siguen los siguientes procedimientos:

#### 3.5.1.- Factor R (Erosividad).

Es el factor que representa la variable lluvia. Es la capacidad erosiva de la lluvia, se expresa en (**MJ\*mm / ha\* hr\* año**) y es el producto de la **energía cinética (E<sup>o</sup>)** de la misma por su máxima **intensidad en 30 minutos (I<sub>30</sub>)**.

$$\text{Erosividad de la lluvia} = E^o \times I_{30}$$

El valor de  $E^0 \times I_{30}$ , de cada tormenta en particular, se obtiene partiendo de registros pluviográficos y con el apoyo de tablas de Energía. El factor R resulta de promediar totales anuales de  $E^0 \times I_{30}$  para periodos de por lo menos 20 años. Sin embargo, existen aproximaciones que posibilitan el cálculo para localidades sin estos registros. Algunos métodos, empleados por Herrera y Villanueva (1994), para estimar el factor R de la E.U.P.S en la provincia de Salta fue el de Wischmeier y Smith y la ecuación de Arnoldus (1978) fundamentado en el índice de Fournier. Sus resultados fueron comparados por los obtenidos por Rojas, A. (1993), que calculó los valores de R para localidades de Orán, El Aybal, Tartagal y Rivadavia utilizando también el método de Wischmeier y Smith.

El método de Wischmeier y Smith se basa en el análisis de fajas pluviográficas para una serie de por lo menos veinte años. Consiste primeramente en demarcar cada quiebre de pendiente, que se observa en el gráfico, para la determinación de las diferentes intensidades de lluvia. Es decir, se realiza la lectura de la cantidad de milímetros de lluvia caídos en determinado lapso de tiempo. Estos datos son volcados en planillas confeccionadas para efectuar el Cómputo de la Energía Cinética de la Precipitación.

Existen también otros modelos para el cálculo de erosividad de la lluvia en base a regresiones lineales:

$$R = 2.4619Pa + 0.006067Pa^2 \dots\dots\dots (\text{Cortés, T.H. 1991})$$

$$R = 2.4619Pa + 0.006067Pa^{(2.055-0.000061Pa)} \dots\dots\dots (\text{Figueroa et al. 1991})$$

$$R = 15.326 (\text{Lluvia anual}) - 1030 \dots\dots\dots (\text{Baumann et. al. 2002})$$

Para el modelo de cortes que se utiliza en este análisis se parte del hecho de no contar con datos de intensidad de la lluvia, por esta razón se busco correlacionar los datos de precipitación anual con los valores de R estimados en el país utilizando la información de intensidad de la lluvia disponible (Cortés y Figueroa

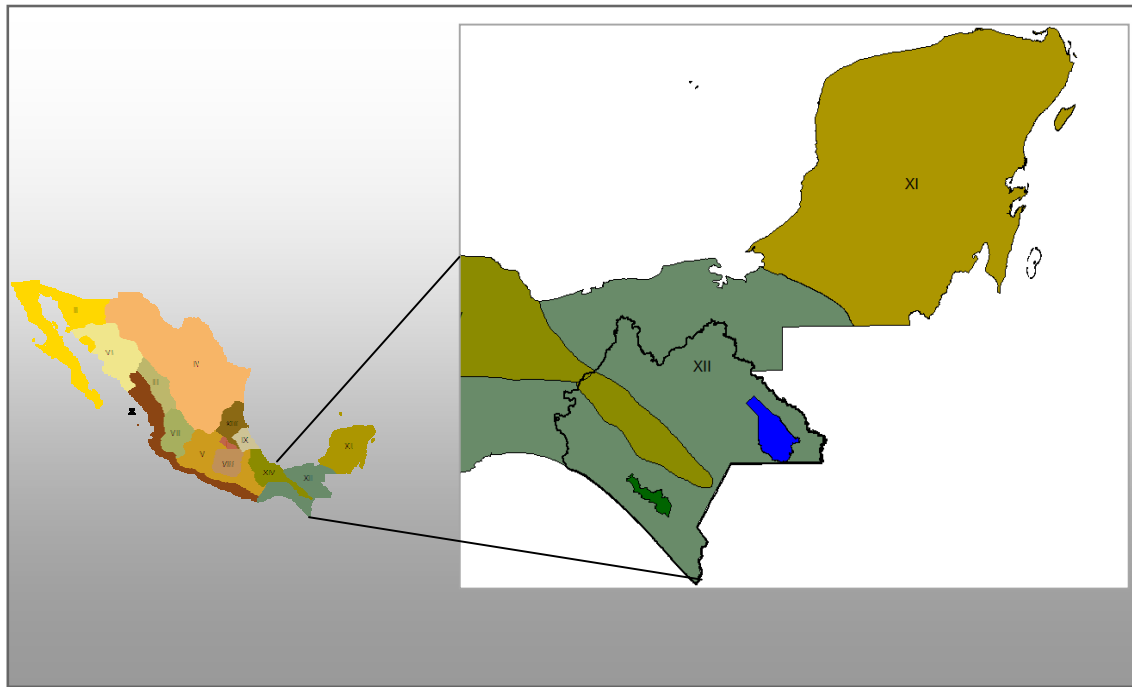


1991). De acuerdo con este procedimiento se elaboraron modelos de regresión donde a partir de datos de precipitación anual (P) se puede estimar el valor de R de la E.U.P.S (**Tabla 3**) Estos modelos de regresión son aplicados para 14 diferentes regiones del país como se muestra en la **Figura 2**.

**Tabla 3.** Ecuaciones para estimar la Erosividad de la lluvia en la República Mexicana.

Región	Ecuación	R2
I	$R = 1,2078P + 0,002276P^2$	0,92
II	$R = 3,4555P + 0,006470P^2$	0,93
II	$R = 3,6752P - 0,001720P^2$	0,94
IV	$R = 2,8559P + 0,002983P^2$	0,92
V	$R = 3,4880P - 0,00088P^2$	0,94
VI	$R = 6,6847P + 0,001680P^2$	0,9
VII	$R = -0,0334P + 0,006661P^2$	0,98
VIII	$R = 1,9967P + 0,003270P^2$	0,98
IX	$R = 7,0458P - 0,002096P^2$	0,97
X	$R = 6,8938P + 0,000442P^2$	0,95
XI	$R = 3,7745P + 0,004540P^2$	0,98
XII	$R = 2,4619P + 0,006067P^2$	0,96
XIII	$R = 10,7427P - 0,00108P^2$	0,97
XIV	$R = 1,5005P + 0,002640P^2$	0,95

La ecuación es producto de la regresión lineal entre lluvia anual y el factor R, establecido en base a los valores calculados por las otras dos ecuaciones empíricas usados en los estudios de CNA-IMTA-CP (1997) y Gómez et al. (1997), citados por Baumann e.t. al. (2002), **comparados con las mediciones directas del factor R hechas en la cuenca del río Huehuetán, Chiapas.**



**Figura 2.** Mapa de regiones con igual Erosividad en la República Mexicana.

### 3.5.2.- Factor K (Erodabilidad).

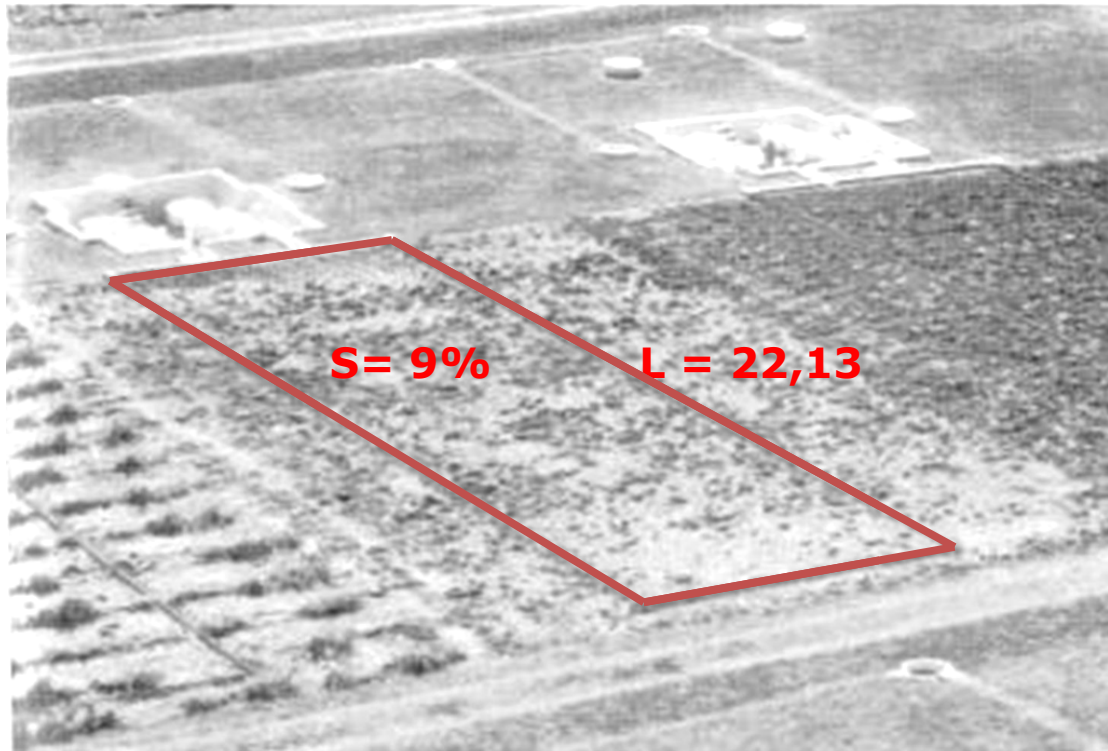
Es un factor cuantitativo de la aptitud o resistencia que poseen los suelos a la erosión cuando los demás factores se mantienen constantes (condiciones estándar). Es decir, representa la pérdida de suelo (**A**) por unidad del factor **R** (erosividad de las lluvias) y se expresa en (**Mg/Mj\* mm**).

Entonces, experimentalmente se determinó el valor del factor K en una parcela de 22.13 m de longitud y 9% de pendiente que son mantenidas manualmente en barbecho y labranza continua, (**Figura 3**) resolviendo la siguiente ecuación:

$$K = A / R$$

\* Superficie: 1,83 x 22,13 \* Pendiente: 9%

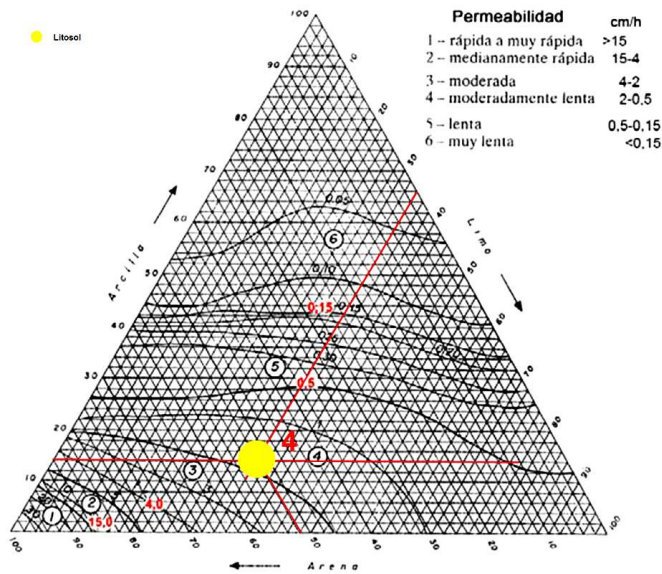
\* Labrada a favor de la pendiente \* Barbecho continuo



**Figura 3.** Medición experimental estándar en parcela.

Fuente: Casanova, 2006.

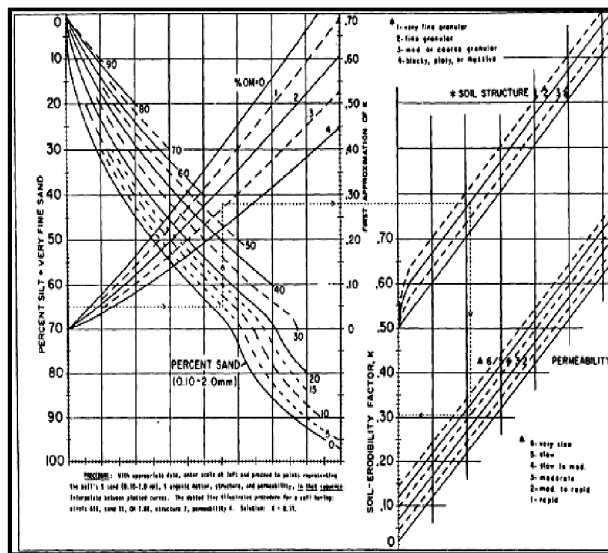
Según investigaciones básicas, la erodabilidad del suelo se encuentra condicionada por propiedades intrínsecas del suelo como permeabilidad del perfil, estructura, textura y materia orgánica del horizonte expuesto. Estos datos son obtenidos en calicatas y a través de análisis de laboratorio. La clase de permeabilidad puede obtenerse a través del triángulo textural (**Figura 4**), que separa la permeabilidad según el tipo de textura (TRAGSA, 1998 citado por García Rodríguez, J. L., 2007). En caso de no contar con el valor de Materia Orgánica se utiliza el de Carbono Orgánico.



**Figura 4.** Nomograma de Permeabilidad.

Fuente: TRAGSA, 1998

Es posible obtener el factor K mediante el nomograma de Wischmeier y Smith (Figura 5):



**Figura 5.** Nomograma de Wischmeier para determinar el Factor K.

También se puede obtener el Factor K con la solución de la siguiente ecuación que expresa la relación de las propiedades ya citadas:

$$100K=1.292(2.1*M^{1.14}*10^{-4}(12-MO)+3.25(E-3)+2.5(P-3))$$

En Donde:

**Amf** = Arena muy fina

**L** = Limo

**a** = arcilla

**M** = (%Amf + %L) (100 - %a)

**MO** = Materia Orgánica

**P** = Clase de Permeabilidad

Rápida = 1 (>36 cm h-1)

Moderada a Rápida = 2

Moderada = 3

Moderada a Lenta = 4

Lenta = 5

Muy Lenta = 6 (<0,0036 cm h-1)

**E** = Código de Estructura

Granular muy fina = 1

Granular fina = 2

Granular media a gruesa = 3

Bloques, laminar y masiva = 4

### 3.5.3.- Factores L y S (Longitud y Pendiente).

El relieve influye considerablemente en las tasas de erosión hídrica que se producen en una determinada zona. La E.U.P.S intenta cuantificar la influencia del relieve de una parcela a través del factor topográfico Longitud y pendiente (LS). Es evidente que un aguacero que incida sobre dos parcelas de igual suelo pero distinta pendiente, genera mayores pérdidas de suelo en aquella de mayor pendiente. En efecto, al aumentar la pendiente, la tensión de arrastre del agua también aumenta. Por otra parte, una mayor longitud de ladera supone mayor altura de la lámina de agua (calado) por lo que la tensión de arrastre también aumenta adicionalmente.

El factor L o factor de longitud de ladera, representa la relación entre el valor medio de las pérdidas de suelo obtenidas en una parcela de longitud de ladera  $\lambda$  y

la tasa de erosión de esa misma parcela bajo idénticas condiciones de clima (R), suelo (K), pendiente (S) y vegetación (C), pero de longitud de ladera  $\lambda = 22.13$  m.

Wischmeier y Smith (1978) definen la longitud de ladera como la distancia que recorre una gota de agua desde que se forma, en la zona limítrofe, hasta que encuentra el cauce o una zona de sedimentación. La influencia de la longitud de ladera sobre las pérdidas de suelo es estimada por la E.U.P.S a través del factor L, cuya expresión es la siguiente:

$$L = (\lambda/22.13)^m$$

En Donde:

**L**= Factor Longitud de pendiente

**$\lambda$** = Longitud de la pendiente (m)

**22.13**= Longitud de una parcela experimental

**m**= Exponente de la longitud de la pendiente

Wischmeier y Smith (1978) propone los siguientes valores para el exponente "m" en función de la pendiente de la ladera "S" (%).

<b>S (%)</b>	<b>M</b>
<b>&gt;5</b>	<b>0.5</b>
<b>3 – 5</b>	<b>0.4</b>
<b>1 – 3</b>	<b>0.3</b>
<b>&lt;1</b>	<b>0.2</b>

El factor S o factor de pendiente se define como la relación entre las pérdidas de suelo medias en una parcela con una pendiente "s" y las que se producen en esa misma parcela, con idénticas condiciones de clima (R), suelo (K), longitud de ladera (L) y vegetación (C) pero con una pendiente del 9%.

La influencia de la pendiente es estimada por la E.U.P.S a través del factor S mediante la siguiente ecuación:

$$\mathbf{S = 0.006541 s^2 + 0.045 s + 0.065}$$

En Donde:

**S** = Factor de inclinación de pendiente

**s** = Inclinación de pendiente [%]

Los dos factores suelen calcularse conjuntamente mediante el factor topográfico con el siguiente modelo general de factor L.S:

$$\mathbf{L.S = \left(\frac{\lambda}{22.13}\right)^m * (0.006541 s^2 + 0.045 s + 0.065)}$$

En la ecuación se observa una mayor influencia de la pendiente que de la longitud de ladera en las pérdidas de suelo. Por esta razón, el error cometido en la estimación de "s" tiene mayor incidencia en el resultado del factor L.S que el cometido al estimar la longitud de ladera  $\lambda$  (Wischmeier y Smith, 1978).

En la bibliografía pueden encontrarse diferentes formulaciones del factor L.S, como las siguientes:

Para  $\lambda < 350$  m y  $s \leq 20\%$

Para  $\lambda < 350$  m y  $s > 20$

$$\mathbf{L.S = \lambda^{0.5} * (0.0138 + 0.00965 s + 0.00138 s^2)} \quad \mathbf{L.S = \left(\frac{\lambda}{22.13}\right)^{0.6} * \left(\frac{s}{9}\right)^{1.4}}$$

Para  $\lambda > 350$  m y  $s \leq 9\%$

Para  $\lambda > 350$  m y  $s > 9\%$

$$\mathbf{L.S = \left(\frac{\lambda}{22.13}\right)^{0.3} * \left(\frac{0.43+0.3s+0.043s^2}{6.613}\right)} \quad \mathbf{L.S = \left(\frac{\lambda}{22.13}\right)^{0.3} * \left(\frac{s}{9}\right)^{1.3}}$$

### 3.6.- Factores para el cálculo de la erosión hídrica actual.

#### 3.6.1.- Factor C (Cobertura Vegetal).

Es el factor de cubierta y manejo (fertilización, abonos verdes, labranzas, rotaciones), representa la proporción de pérdida de suelo en una superficie con cubierta y manejo específico con respecto a una superficie idéntica en barbecho y labranza continua (Figura 3). Al dejar constantes los factores R, K, L y S, las pérdidas de suelo corresponden a los efectos de la cobertura del cultivo y a las prácticas de manejo.

Una manera de encontrar los valores de C es experimentalmente, por ejemplo, Marelli y Col, (citado por Villanueva G., Osinaga R., y Chávez A., 2004) encontraron, para ciertas condiciones del medio, los valores de C para el cultivo de maíz continuo en dos sistemas de labranzas: 0,36 para maíz en sistema convencional, y 0,19 en maíz en sistema bajo cubierta.

Otra forma, es mediante la utilización de tablas determinadas experimentalmente como la elaborada por la FAO para vegetación natural (1980) en la que proporciona un valor del factor C para distintos porcentajes de cobertura según el tipo de vegetación (**Tabla 4**).

**Tabla 4.** Valores del factor C de la FAO (1980) Vegetación Natural.

Vegetación	% de Cobertura					
	0 - 1	1 - 20	20 -40	40 - 60	60 - 80	80 -100
Praderas y Pastisales	0,45	0,32	0,2	0,12	0,07	0,02
Bosques con buen sotobosque	0,45	0,32	0,16	0,08	0,01	0,006
Bosques con sotobosque escaso	0,45	0,32	0,2	0,1	0,06	0,01

Actualmente se dispone de datos de cobertura provistos por operaciones algebraicas entre bandas del rojo e infrarrojo de satélites terrestres, como el Índice



de Vegetación de Diferencias Normalizadas (NDVI), o a partir de los Campos Continuos de Vegetación, producto del sensor Modis (Satélite TERRA).

### **3.6.2.- Factor P (Prácticas de Conservación)**

Es el factor de prácticas de conservación, representa la proporción de pérdida de suelo en una superficie con prácticas como implantación de vegetación, cultivo en contorno, cultivos en fajas, barreras vivas, o cultivo en terraza, en relación con una labranza en sentido de la pendiente. (Figura 4).

Existen tablas con valores del factor P determinados experimentalmente. Cuando no se realizan prácticas P es igual a 1, disminuyendo su valor en función de la intensidad de las prácticas de conservación.

### **3.7.- Sistemas de Información Geográfica (S.I.G)**

Un S.I.G, es un sistema informatizado de almacenamiento, análisis y recuperación de datos, en el que los datos se hallan identificados por sus coordenadas geográficas. Además, para los datos primarios como son las características climáticas y del suelo, es posible utilizar un S.I.G. para calcular el peligro de erosión hídrica, la clase del producto forestal o aptitud de la tierra para determinados tipos de aprovechamiento. Los datos se extraen normalmente de los mapas, mientras que los valores derivados pueden presentarse en forma de mapas (Morales y Saavedra, 1998).

El S.I.G. es un sistema computarizado que permite la entrada, acumulación, representación y salida eficiente de datos espaciales (mapas) y atributos (descriptivos) de acuerdo a especificaciones y requerimientos concretos; además de considerarse como una combinación de software y hardware capaz de manipular entidades que contengan propiedades de localización y atributos.

Los S.I.G ofrecen una serie de ventajas y desventajas como se muestran a continuación (**Tabla 5**):

**Tabla 5.** Ventajas y desventajas de los S.I.G.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Datos físicamente almacenados en forma completa.</li><li>• El mantenimiento y recuperación de datos pueden ser realizados a costos más bajos.</li><li>• Posibilita una gran variedad de modelos cartográficos con una mínima inversión de tiempo y dinero.</li><li>• Datos espaciales y no espaciales pueden ser analizados simultáneamente en una forma racional.</li><li>• Los modelos conceptuales pueden ser probados rápida y repetidamente, facilitando su evaluación.</li><li>• Los análisis de cambios temporales pueden ser efectuados eficientemente.</li><li>• La adquisición de datos, análisis espacial y procesos de toma de decisiones son integrados en un contexto común de flujo de información.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Costos y problemas técnicos para convertir datos analógicos en formato digital.</li><li>• Necesita de especialistas para mantener datos en forma digital en computadoras.</li><li>• Falso sentimiento de una mayor confiabilidad y precisión.</li><li>• Alto costo de adquisición de equipos y programas necesarios.</li></ul>

## **IV.- OBJETIVOS**

### **5.1.- OBJETIVO GENERAL:**

Coadyuvar a la conservación de las A.N.P's a través de la generación de mapas de erosión hídrica potencial y actual en las cuales se ubicaran zonas susceptibles y con alto grado a la erosión hídrica.

### **5.2.- OBJETIVOS ESPECIFICOS.**

- Generar mapas de Erosión Hídrica Potencial para ubicar áreas con susceptibilidad a la erosión hídrica.
- Generar mapas de Erosión Hídrica Actual para situar regiones con altos grados de erosión hídrica.

## **V.- Hipótesis.**

Debido a la topografía con escarpadas pendientes, la susceptibilidad de los suelos a erosionarse y altas precipitaciones en el paisaje existente de la REBITRI se espera encontrar mayores tasas de erosión hídrica actual y potencial, respecto a la REBIMA.

## VI.- Métodos.

“La E.U.P.S es un método para predecir la pérdida de suelo anual en cualquier combinación de clima, topografía, suelo, cobertura y prácticas de manejo. El método se fundamenta en la capacidad que poseen las lluvias para provocar erosión” (Wischmeier y Smith, 1978 citado por Vich, 1987). A demás es un método que se puede aplicar en cualquier región, de allí el término universal, ya que considera los principales factores que intervienen en el proceso de erosión hídrica (precipitaciones, suelo, relieve, coberturas y prácticas de conservación), y permite predecir la erosión actual y realizar simulaciones con diferentes escenarios.

### 6.1.- Factor R (Erosividad de la lluvia).

Para la determinación del factor R (erosividad) se utilizaron datos de precipitación de estaciones meteorológicas ubicadas en casi todo el territorio del estado de Chiapas, estos datos se encuentran en la base de registros de la CONAGUA, recopilados durante el año 2007 en formato DBF, contando con la siguiente información ESTACION, MES, PRECIPITACIÓN, PRECIPITACIÓN MEDIA MAX, EVAPORACION, DIAS DE LLUVIA, NEBLINA, GRANIZADA, TORMENTA, COORDENADAS X, Y. Estos datos parciales se encuentran registrados en la siguiente tabla (**Tabla 6**).

**Tabla 6.** Datos de precipitación de la estación Abasolo, Ocosingo Chiapas de los meses de Enero a Diciembre de 2007.

ESTACION	MES	PREC	P. M	EVAP	DIAS	NEBLINA	GRANIZADA	TORM	X	Y
ABASOLO, OCOSINGO CHIAPAS	enero	47,80	113,10	79,00	10,00	0,60	0,00	0,30	-92,21	16,83
ABASOLO,	febrero	43,90	94,50	93,00	7,50	0,30	0,00	0,70	-92,21	16,83
ABASOLO,	marzo	54,70	177,50	137,90	6,60	0,10	0,10	2,80	-92,21	16,83
ABASOLO,	abril	79,20	305,70	142,90	8,60	0,10	0,10	6,30	-92,21	16,83
ABASOLO,	mayo	145,10	357,50	143,60	12,40	0,00	0,10	9,40	-92,21	16,83
ABASOLO,	junio	293,30	520,70	121,20	21,10	0,50	0,00	10,20	-92,21	16,83

ABASOLO,	julio	246,10	434,50	129,80	20,50	0,20	0,00	6,80	-92,21	16,83
ABASOLO,	agosto	280,40	626,10	127,70	22,60	0,30	0,00	9,50	-92,21	16,83
ABASOLO,	septiembre	348,30	514,10	107,00	23,40	1,00	0,00	7,10	-92,21	16,83
ABASOLO,	octubre	198,60	465,10	89,30	18,60	0,80	0,00	3,10	-92,21	16,83
ABASOLO,	noviembre	100,50	253,80	75,60	12,90	0,50	0,00	1,40	-92,21	16,83
ABASOLO,	diciembre	77,00	171,10	70,60	11,40	0,40	0,00	0,30	-92,21	16,83

Los datos de precipitación se trabajaron y analizaron en el Software ArcView 3.2. En principio se realizó la división mensual del año de muestreo para generar archivos en formato shape de cada mes con esa cantidad de datos, y posteriormente se utilizaron herramientas de interpolación (**INTERPOLATE GRID**) para generar mapas en formato Grid. Ya que esta herramienta es un método que permite predecir valores de las celdas en los lugares que carecen de puntos de muestreo basándose en el principio de auto correlación espacial o dependencia espacial que mide el grado de relación / dependencia entre los objetos cercanos y lejanos (Childs y Colin, 2004). La autocorrelación espacial determina si los valores están relacionados entre sí. Si están relacionados, se determina si existe un patrón espacial.

Esta herramienta permite usar diversos métodos de interpolación, por ese motivo se optó por utilizar la función de **IDW** ya que se recurre a este método cuando el conjunto de puntos es lo bastante amplia para captar la magnitud de los valores de precipitación mensuales de la superficie necesaria para el análisis, en este caso se cuenta con un total de 44 estaciones que circundan a la REBITRI y alrededor de 30 estaciones que circundan a la REBIMA. Con los Grids de precipitación media de cada mes se realizó la adición de los mismos para obtener un Grid de precipitación media anual, y ya que la erosividad de la lluvia ha sido calculada para México por Cortés (1991) y plasmada en un mapa de isoerosividad, regionalizando a la república en 14 regiones con condiciones similares de lluvia, obteniendo las ecuaciones de R para cada región mediante análisis de regresión. El modelo de regresión de la región XII que corresponde a las A.N.P's se muestra en la expresión siguiente:

$$R = 2.4619Pa + 0.006067Pa^2$$

En Donde:

**R**= Erosividad de la lluvia.

**Pa**= Precipitación anual.

El modelo antes mencionado se resolvió en el software ArcView 3.2 con la opción **ANALYSIS – MAP CALCULATOR** aplicándolo al Grid de precipitación media anual, con esto se genero el mapa de Erosividad de la Lluvia en la REBITRI con una resolución de 100m por pixel. En la **(Anexo 1)** se presenta el diagrama de Grids generados para la obtención del mapa de este factor R.

## 6.2.- Factor K (Erodabilidad del suelo).

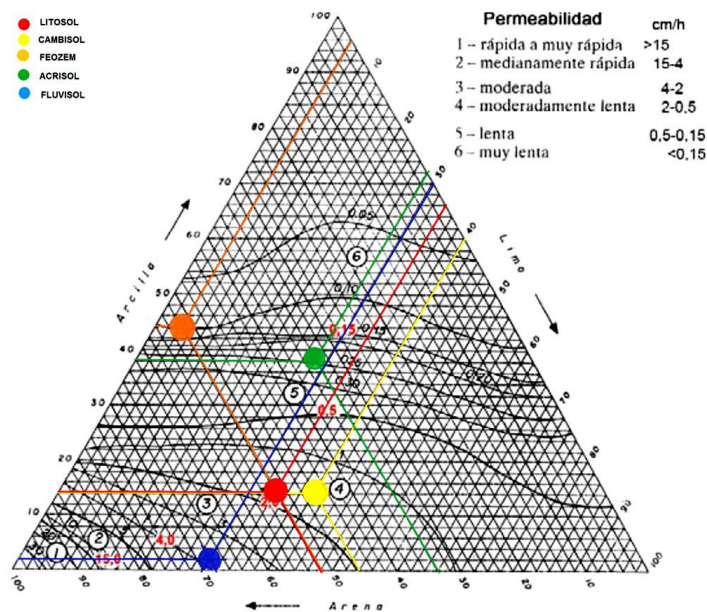
Se utilizo el conjunto de datos edafológicos vectoriales en capas de polígonos y puntos, que publico el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) en 2001 – 2002 con una escala de 1:250,000, resolución a 1m, proyección Cónica Conforme de Lambert, Sistema Geodésico de Referencia UTM y Zona 15; Estos datos sirvieron en principio para determinar los tipos de suelo que existen en la REBITRI y la REBIMA los cuales se citan en la **Tabla 7**.

**Tabla 7.** Datos edafológicos de la REBITRI, con parámetros físicos.

SUELOS	CLA_TEX	ARCILLA	L	Amf	M.O	TEXTURA	M	PERMEABILIDAD
<b>REBITRI</b>								
LITOSOL	Media	14	34	52	2,4	3	7396	4
ACRISOL	Fina	38	28	34	0,1	2	3844	5
FLUVISOL	Media	2	30	68	0,1	3	9604	2
CAMBISOL	Media	14	40	46	4,2	2	7396	4
FEOZEM	Media	44	4	52	1,2	3	3136	6
<b>REBIMA</b>								
ACRISOL	FINA	32	10	58	0,4	2	4624	6
CAMBISOL	FINA	14	40	46	4,2	2	7396	4

GLEYSOL	FINA	42	14	44	4,1	2	3364	5
LITOSOL	MEDIA	53	16	31	2,4	3	2209	6
LUVISOL	FINA	64	10	26	0,4	2	1296	6
RENDZINA	FINA	42	28	30	2,4	2	3364	5
VERTISOL	FINA	30	16	54	0,3	2	4900	5

Fue necesario después de determinar los tipos de suelo, obtener el dato de permeabilidad, ya que es el único parámetro físico que no se incluye en el conjunto de datos edafológicos, La clase de permeabilidad fue obtenida a través del triángulo textural, que separa la permeabilidad según el tipo de textura (TRAGSA, 1998 citado por García Rodríguez, J. L., 2007), en la siguiente figura (**Figura 7**) se muestra como se determina la permeabilidad en función al porcentaje de arenas, limos y arcillas que contiene cada tipo de suelo de la REBITRI, este mismo proceso fue realizado para la REBIMA.



**Figura 6.** Triángulo de textura.

Fuente: TRAGSA, 1998.



Con los datos de permeabilidad obtenidos se soluciono el modelo que propone Wischmeier y Smith, 1978; con ayuda del software ArcView 3.2 para determinar el Factor K en ambas A.N.P's.

$$100K=1.292(2.1*M^{1.14*10^{-4}(12-MO)+3.25 (E-3)+2.5 (P-3)})$$

En Donde:

**Amf** = Arena muy fina

**L** = Limo

**a** = arcilla

**M** = (%Amf + %L) (100 - %a)

**MO** = Materia Orgánica

**P** = Clase de Permeabilidad

**E** = Código de Estructura

Una vez ingresado el modelo el software determinó el factor K de cada tipo de suelo, en el diagrama (**Anexo 2**) se presenta la serie de imágenes y procesos que se realizaron para determinar el mapa del factor k con una resolución de 100m por pixel.

### **6.3.- Factor LS (Longitud y Pendiente de la ladera).**

Para obtener este producto se manipulo el Modelo Digital de Elevación (MDE) del estado de Chiapas con una resolución de 100m por pixel, trabajando en el Software ArcView 3.2 aplicando en primer lugar la utilería **Hydro – Flow Direction** ya que esta operación tiene como principio tomar los valores de elevación del pixel central y de los pixeles vecinos tomando en cuenta las siguientes reglas:

Si la dirección de mayor caída fue a la izquierda del pixel de transformación en curso, su dirección de flujo se codifica como 16.

32	64	128
16		1
8	4	2

Si un pixel es más bajo que sus ocho vecinos, ese pixel se le da el valor de su vecino más cercano, y el flujo se define a este pixel. Si los vecinos múltiples cuentan con el valor más bajo, el pixel todavía se le da este valor, pero el flujo se define con uno de los dos métodos explicados a continuación. Esto se utiliza para filtrar los hundimientos de un pixel, que se consideran ruido.

Si un pixel tiene el mismo cambio en el valor de z en múltiples direcciones y el pixel forma parte de un hundimiento, la dirección del flujo se conoce como indefinida. En tales casos, el valor de ese pixel en el Raster de salida “dirección del flujo” será la suma de esas direcciones. Por ejemplo, si el cambio en el valor de z es el mismo tanto a la derecha (dirección del flujo = 1) y hacia abajo (la dirección del flujo = 4), la dirección del flujo de ese pixel es  $1 + 4 = 5$ .

Si un pixel tiene el mismo cambio en el valor de z en múltiples direcciones y no forma parte de un hundimiento, la dirección del flujo se le asigna una tabla de búsqueda para definir la dirección más probable, (Greenlee, 1987).

Para llegar a la obtención del factor LS también fue necesario aplicar la opción de **Flow Accumulation** que es un mapa de flujo acumulado a cada celda, según lo determinado por la acumulación de la carga por todas las celdas que fluyen en cada pixel cuesta abajo. Los pixeles de la dirección del flujo indefinido no sólo recibirán el flujo, sino que no contribuirá a cualquier flujo de aguas abajo. Un pixel se considera que tiene una dirección de flujo indefinido si su valor en el flow direction es nada distinto de 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 ó 128.

Los pixeles de salida con una acumulación de flujo de cero son locales máximos topográficos y se puede utilizar para identificar las cordilleras.

Por otra parte en la Utilería “**Surface**” se encuentra la opción “**Derive slope**” esto se realiza a partir del MDE (Modelo Digital de Elevación) y no es más que la tasa de cambio máximo en el valor de z de cada pixel. El rango de valores de las pendientes en grados es de 0 a 90. En porcentaje, el rango es de 0 al infinito cercano. Una superficie plana es de 0%, una superficie de 45 grados es de 100%, y que la superficie se vuelve más vertical, el por ciento de aumento se hace cada vez más grande.

Con la opción “**Derive Slope**” se genero la pendiente de la zona de estudio que calcula la pendiente de la tasa máxima de cambio entre cada celda y sus vecinos. Cada pixel en el Raster de salida tiene un valor de la pendiente, Cuanto menor sea el valor de la pendiente, el terreno es plano, cuando mayor sea el valor de la pendiente, más empinado será el terreno.

Estos datos se utilizaron para determinar el mapa del Factor LS, adicionando a los modelos que propone Diéz Juan en 2007, los datos de Acumulación de Flujo y Pendiente. Este proceso y sus mapas se describen en el **Anexo 3**. Las expresiones son las siguientes según el grado de pendiente que existen en cada A.N.P. se aplica la formula correspondiente, es decir: en las zonas en donde existen pendientes menores al 20% se aplica la formula No.1, a las zonas en donde las pendientes están por encima del 20% la fórmula aplicada fue la No 2.

Para  $\lambda < 350$  m y  $s \leq 20\%$

$$L. S = \text{flow Accumulation}^{0,5} \cdot \left( \frac{0,0138 + 00,00965 \text{ Slope} +}{0,00138 \text{ Slope}^2} \right) \text{----- (1)}$$

Para  $\lambda < 350$  m y  $s > 20$

$$L. S = \left( \frac{\text{flow Accumulation}}{22,13} \right)^{0,6} \cdot \left( \frac{\text{Slope}}{9} \right)^{1,4} \text{----- (2)}$$

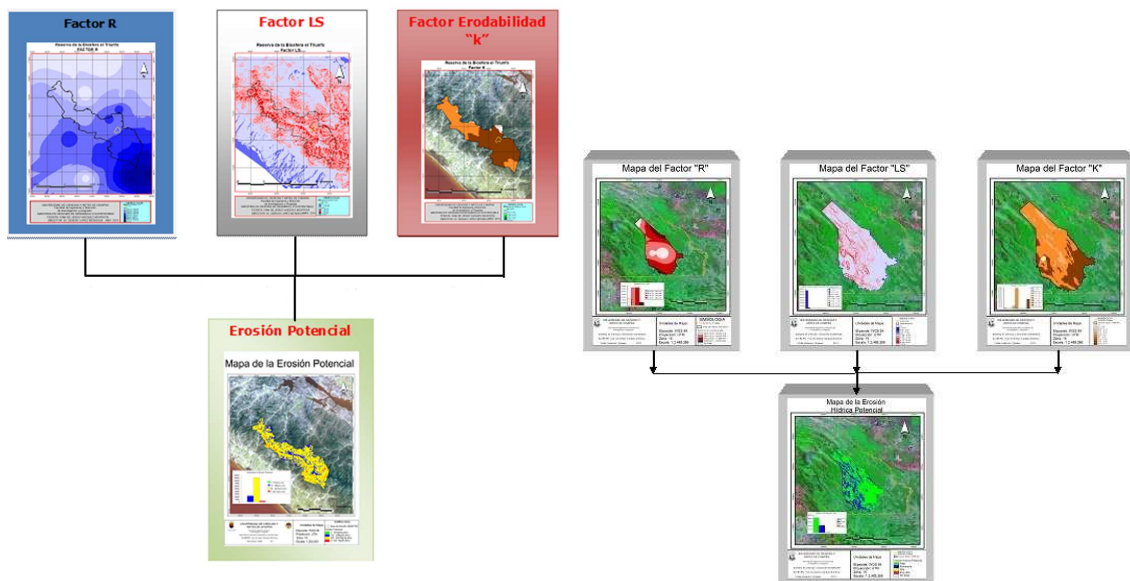
En Donde:

**Flow Accumulation:** Es la longitud de la pendiente en metros.

**Slope:** Es la pendiente del terreno en %.

#### 6.4.- Integración de los Factor R, K, L y S (Erosión Hídrica Potencial).

La metodología para la obtención de la E.H.P se basa en resolver la primera parte de la E.U.P.S, que consiste en integrar los Factores R (Erosividad), K (Erodabilidad), LS (Longitud y Pendiente), para predecir la erosión hídrica suponiendo que no existe cobertura vegetal y por ende ni practicas de conservación. Es decir, que únicamente incluimos Factores que no son modificados directamente por la acción humana, este proceso se realizó para ambas A.N.P's. Se describe en la **Figura 7**.

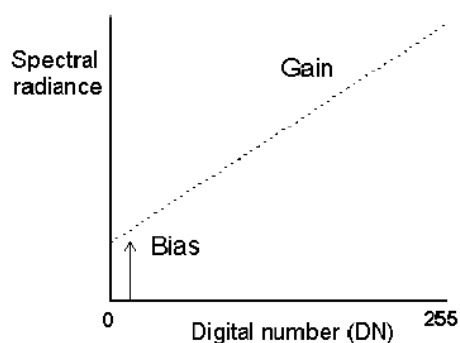


**Figura 7.** Diagrama para determinar la erosión hídrica potencial en la REBITRI y la REBIMA.

## 6.5.- Factor C (Cobertura vegetal).

Para la determinación de este factor se evaluó la cobertura vegetal para ambas A.N.P's durante el período 2007 a través del análisis de imágenes Landsat ETM+. Para ello se obtuvo un mosaico de 2 imágenes Landsat ETM+ del período 2007 para la REBITRI y 3 del mismo periodo para la REBIMA.

Además se realizaron un par de calibraciones; la primera parte de la calibración consistió en la conversión de números digitales a radiancia espectral. Esta transformación se basa en una curva de calibración de números digitales a radiancia, calculada por los sistemas de operación del satélite (**Figura 8**).



**Figura 8.** Curva de calibración de números digitales a valores de reflectancia.

La calibración está dada por la siguiente ecuación:

$$L_{\lambda} = (Gain * DN) + Bias$$

Los valores de Gain y Bias para cada banda en la imagen Landsat, son calculados a partir de los valores  $L_{\min \lambda}$  y  $L_{\max \lambda}$ , localizados en el metadato de la imagen, con las siguientes ecuaciones:

$$Gain = \frac{L_{\max \lambda}}{254} - \frac{L_{\min \lambda}}{255}$$

$$Bias = L_{\min \lambda}$$

**Tabla 8.** Rangos de radiancia espectral para el sensor ETM+ watts/ (meter squared \* ster \*  $\mu\text{m}$ ).

Número de banda	Antes de julio 1 de 2000				Después de julio 1 de 2000			
	Low Gain		High Gain		Low Gain		High Gain	
	LMIN	LMAX	LMIN	LMAX	LMIN	LMAX	LMIN	LMAX
1	-6.2	297.5	-6.2	194.3	-6.2	293.7	-6.2	191.6
2	-6.0	303.4	-6.0	202.4	-6.4	300.9	-6.4	196.5
3	-4.5	235.5	-4.5	158.6	-5.0	234.4	-5.0	152.9
4	-4.5	235.0	-4.5	157.5	-5.1	241.1	-5.1	157.4
5	-1.0	47.70	-1.0	31.76	-1.0	47.57	-1.0	31.06
6	0.0	17.04	3.2	12.65	0.0	17.04	3.2	12.65
7	-0.35	16.60	-0.35	10.932	-0.35	16.54	-0.35	10.80
8	-5.0	244.00	-5.0	158.40	-4.7	243.1	-4.7	158.

$L_{\min \lambda}$  y  $L_{\max \lambda}$  son los valores de radiancia para cada una de las bandas para números digitales entre 0 y 255. Dichos valores son predeterminados antes del lanzamiento del sensor. Estos valores cambian lentamente de acuerdo con el tipo de sensor. En el caso del sensor Landsat ETM+, existen dos sistemas de  $L_{\min \lambda}$  y  $L_{\max \lambda}$  que deben utilizarse para la transformación de números digitales a valores de radiancia mostrándose en la **tabla 8**.

La segunda parte de la calibración se baso en la transformación de valores de radiancia a valores de reflectancia planetaria. La reflectancia planetaria o aparente  $\rho_{\lambda}$  relaciona la radiancia medida por el sensor  $L_{\lambda}$  y la irradiancia solar incidente en la atmósfera (Chander y Markham, 2003). El modelo empelado para el cálculo de

reflectancia aparente TOA (Top of Atmospher) genera un valor adimensional que suele expresarse como una fracción decimal entre 0 y 1 ó como porcentaje.

$$\rho_{\lambda} = \left( \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos \theta_s} \right)$$

En donde

$\rho_{\lambda}$  = Reflectancia planetaria

$L_{\lambda}$  = Radiancia espectral medida por el sensor

$d$  = Distancia del Sol a la Tierra en unidades astronómicas, interpolada a partir del día juliano de la toma de fechas de la escena (**Tabla 10**)

$ESUN_{\lambda}$  = Promedio de irradiancia solar exoatmosférica para el sensor (**Tabla 9**)

$\theta_s$  = Angulo zenital solar.

**Tabla 9.** Valores de irradiancia solar para el sensor ETM+

Band	watts/(m <sup>2</sup> * μm)
1	1969.000
2	1840.000
3	1551.000
4	1044.000
5	225.700
7	82.07
8	1368.000

**Tabla 10.** Distancia del Sol a la Tierra en unidades astronómicas

Día Juliano	Distancia	Día Juliano	Distancia	Día Juliano	Distancia	Día Juliano	Distancia	Día Juliano	Distancia
1	.9832	74	.9945	152	1.0140	227	1.0128	305	.9925
15	.9836	91	.9993	166	1.0158	242	1.0092	319	.9892
32	.9853	106	1.0033	182	1.0167	258	1.0057	335	.9860
46	.9878	121	1.0076	196	1.0165	274	1.0011	349	.9843
60	.9909	135	1.0109	213	1.0149	288	.9972	365	.9833

Una vez con las imágenes calibradas se procedió a el cálculo de vegetación utilizando como método el segundo criterio del proyecto “diversificación y restauración de paisajes transformados en comunidades de la reserva de la biósfera el triunfo, Chiapas, México denominada Áreas sin vegetación aparente” (BIOCORES, 2009).

La clasificación se basó en dos modelos: el primero es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), el cual se utiliza para discriminar entre diferentes tipos de vegetación, y el otro modelo es el índice de perturbación (**Mapa 2**), que discrimina los sitios abiertos y con vegetación secundaria de otros tipos de vegetación. La combinación de ambos índices generó una cobertura con información de áreas abiertas, de vegetación forestal abierta (bosques secundarios), cerrada (bosques maduros) y densa (bosques maduros con alta diversidad de especies vegetales).

Basándose en las características de vegetación que arrojan los mapas de índice de perturbación y la clasificación de vegetación de la REBITRI y la REBIMA se utilizaron las siguientes tablas (**Tabla 11 y 12**) para determinar el valor del Factor C para cada tipo de cobertura.

**Tabla 11.** Conjunto de datos de Cobertura Vegetal

Cobertura	FACTOR C Mora 1987	FAO 1989	ICE 1999	Saborío 2002 Gómez 2002 CATIE 2003	March amalo 2004,2007	Lianes 2009
Bosques						
Bosque primario	0,0001					
Bosque natural		0,003	0,001-0,003			
Selva virgen		0,001				
Bosque denso				0,003 - 0,010		



Bosque claro, substrato herbáceo denso				0,003 - 0,011		
Bosque claro, substrato herbáceo degradado				0,003 - 0,012		
Bosque					0,003	
Bosque secundario		0,007				
Bosque degradado						0,037

Fuente: (Elena ,2009)

**Tabla 12.** Conjunto de datos del Factor de Cobertura Vegetal (Factor C)

Clave	Nombre	Valor "C"
AU	Área Urbana	0.000
PH	Pradera Herbácea	0.018
MN	Manglar	0.000
PM	Palmera	0.200
CA	Cuerpo de Agua	0.000
HU	Huertas	0.200
AR	Agricultura de Riego	0.375
PL	Palmera - Limón	0.200
AT	Agricultura de Temporal	0.150
CN	Caña	0.270
PA	Pastizal	0.100
BO	Bosque	0.001
SD	Suelo desnudo.	1.000

Fuente: Propuestos por Wischmeier et, al.,(1978) citado por Velasco, 2002.

En base al criterio anterior únicamente se incluyó una columna denominada Factor "C" a la tabla de atributos del Grid que incluía la característica de las coberturas de dosel y la clasificación de vegetación de la REBITRI y la REBIMA, para generar un Grid del factor C, este proceso y sus mapas se describen en la **(Anexo 4)**.

Para el **factor P** se decidió tomar el valor de uno como constante, ya que aun no existe un inventario general de puntos en donde se apliquen prácticas de conservación para el recurso edafológico.

### 6.6.- Integración de los Factores R, K, LS y C (Erosión Hídrica Actual).

En este caso además de incluir los índices o factores de erosividad de la precipitación (R), erodabilidad del suelo (K), longitud-grado de la pendiente (LS); también se incluyen los índices de cobertura vegetal (C), obteniendo así los valores de Erosión Hídrica Actual. El proceso se describe en la **Figura 9**.



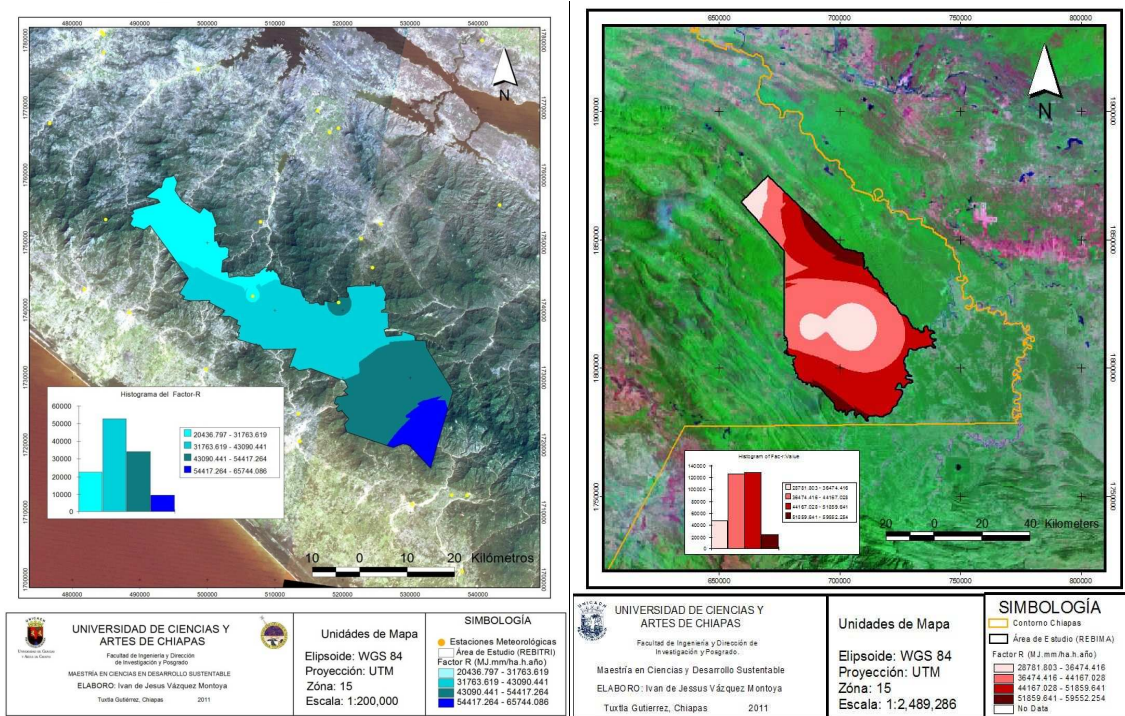
**Figura 9.** Diagrama de Flujo para determinar Erosión Hídrica Actual en la REBITRI y la REBIMA.

Para categorizar los mapas de E.H.P y E.H.A de las A.N.P's se utilizó como referencia la Clasificación de la FAO.

## VII.- Resultado y Análisis.

### 7.1.- Análisis del Factor R.

Analizando los valores de erosividad respecto a la precipitación media anual (**Anexo 5**) se determinó que entre mayor intensidad tenga la precipitación media anual mayor será la erosividad de la lluvia ó Factor R.



**Mapa 2.** Mapas del Factor R (Erosividad de la lluvia) de la REBITRI y REBIMA

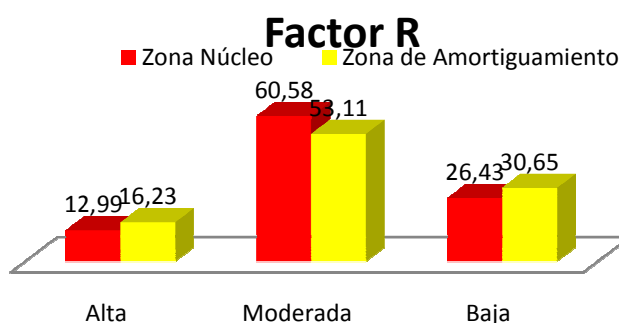
La erosividad en el caso de la REBITRI se distribuye de mayor intensidad en la parte Sureste a menor en la Noroeste con valores de 65,744.086 y 20,436.80 (MJ\*mm / Ha\*Hrs\*Año) respectivamente y mientras que la REBIMA exhibe dos zonas de mayor intensidad en las áreas ubicadas en la parte noreste y suroeste con valores máximos de 59,552.254 (MJ\*mm / Ha\*Hrs\*Año), concentrando una menor intensidad en el centro de la reserva con valores cercanos a 28,781.803 (MJ\*mm / Ha\*Hrs\*Año).

Con la finalidad de analizar la distribución del Factor R en las zonas núcleo y amortiguamiento de la REBITRI se realizó una categorización del valor obtenido para el factor R en Alto, Moderado y Bajo (**Tabla 13**).

**Tabla 13.** Intervalos de erosividad de la lluvia (Factor R)

Factor R	MJ*mm / Ha*Hrs*Año	
Baja	20436,797	35539,227
Moderada	35539,227	50641,656
Alta	50641,656	65744,086

Se determinó que la erosividad Moderada es la que predominan en la REBITRI tanto en las zonas núcleo con un 60.58%, como en las zonas de amortiguamiento con un 53.11% de su superficie, se concluye que la zona de amortiguamiento es en donde existe mayor influencia de erosividad Alta con valores de (50,641.656 – 65,744.086 MJ\*mm / Ha\*Hrs\*Año) (**Grafica 1**).



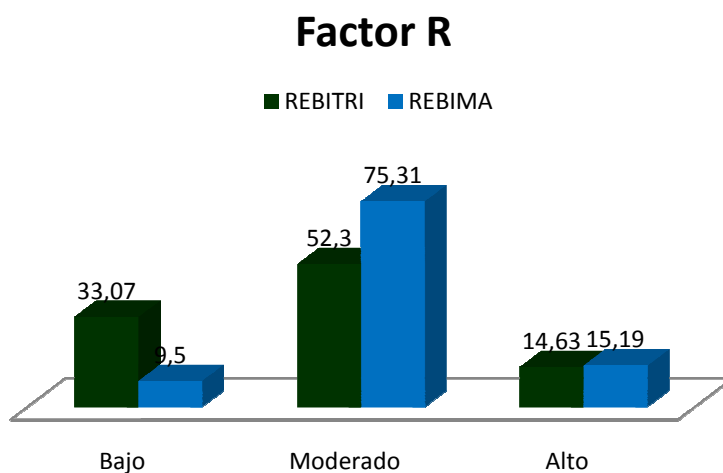
**Grafica 1.-** Distribución del Factor R en las zonas núcleo y de amortiguamiento en la REBITRI.

**NOTA:** Este análisis no se realizó para ningún factor en la REBIMA ya que no existe una clasificación entre zonas núcleo y zonas de amortiguamiento.

Para determinar el comportamiento del factor R en ambas zonas de estudio (REBITRI y REBIMA), se decidió determinar la distribución existente en las A.N.P's. Para esto se analizaron tres categorías.

Factor R	MJ*mm / Ha*Hrs*Año	REBITRI	REBIMA
Baja	20000 - 35000	39439	31112
Moderada	35000 - 50000	62381	246718
Alta	50000 - 70000	17452	49759

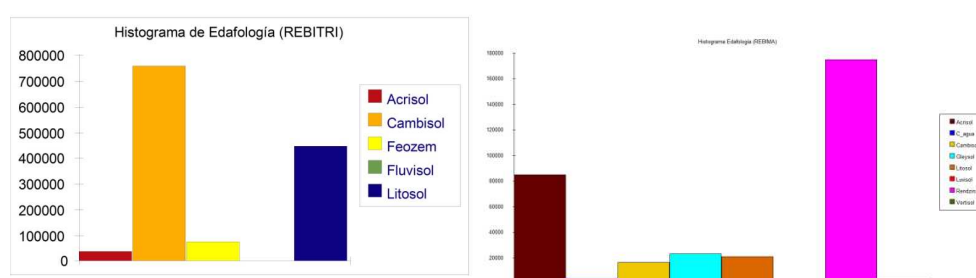
Se determinó que la erosividad es más intensa en la REBIMA ya que los valores Altos y Moderados son mayores que en la REBITRI con 15.19% y 75.31% de la superficie respectivamente, mientras que los valores de erosividad Altos y Moderados para la REBITRI son de 14.63% y 52.3% de la superficie respectivamente (**Grafica 2**).



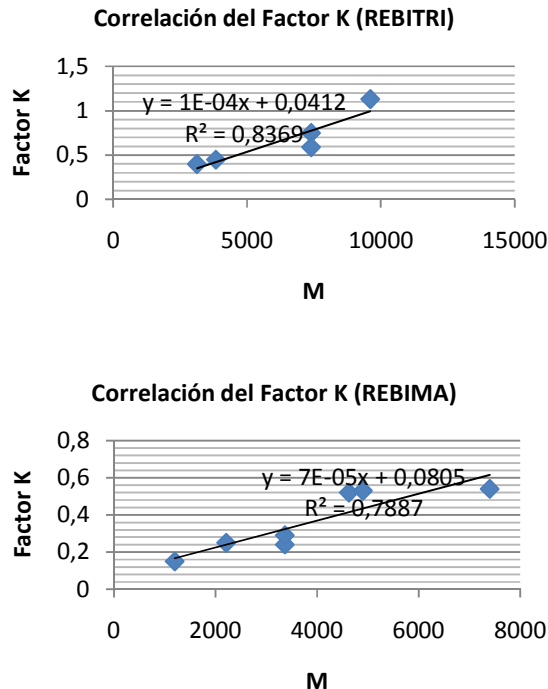
**Grafica 2.** Distribución del factor R en la REBITRI y la REBIMA.

## 7.2.- Análisis del Factor K

Se presenta en la **Grafica 3**, la distribución edafológica en la superficie tanto de la REBITRI así como para la REBIMA en donde para la primera zona de estudio existen dos tipos de suelos dominantes el Cambisol y el Litosol, y para la segunda de igual forma existen dos tipos de suelos que conforman una mayor parte del territorio el Acrisol y la Rendzina.

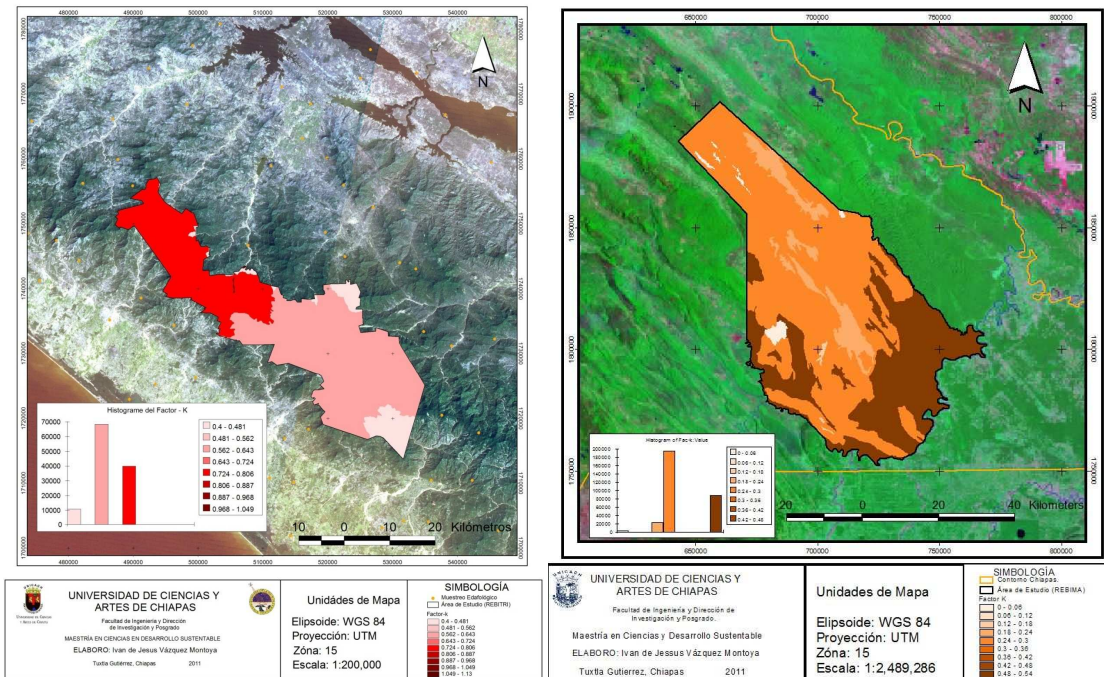


**Grafica 3.** Distribución Edafológica de la REBITRI y REBIMA.



**Grafica 4.** Correlación del Factor K – M de la REBITRI Y REBIMA.

El resultado y análisis más interesante para la erodabilidad (factor K) en ambas áreas de estudio fue determinar que cuanto mayor sea el valor de M (obtenido por las propiedades físicas del suelo), existe una mayor valor en el Factor k **Grafica 4.**



**Mapa 3.** Mapa del Factor K (Erodabilidad del Suelo) de la REBITRI y REBIMA.

La erodabilidad en el caso de la REBITRI va de mayor intensidad de la parte Noroeste a menor intensidad en la parte Sureste con valores de 0.94 a 0.4 (Mg/Mj\* mm) respectivamente, encontrándose el valor más alto en la parte donde el suelo es Fluvisol y mientras que en la REBIMA se presenta la zonas de mayor intensidad en la parte sureste con un valor máximo de 0.54 (Mg/Mj\* mm), ubicando zona de menor intensidad en la laguna Miramar con un valor de cero (Mg/Mj.mm).

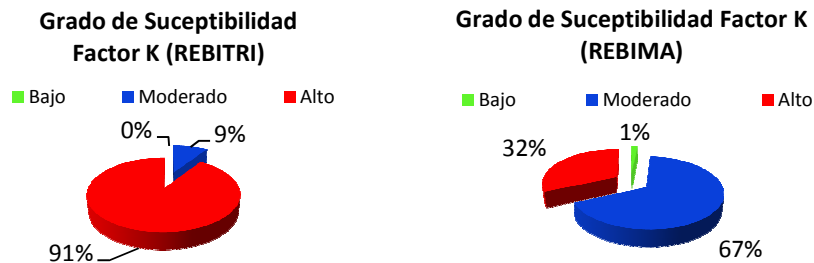
Además con el objetivo de mostrar la variabilidad dentro de las áreas de estudio se generaron mapas con el grado de erodabilidad de los suelos según los valores obtenidos del factor K. Para ello se utilizó la tabla propuesta por la Soil and Water

Conservation Society que relaciona el grado de susceptibilidad de los suelos según el factor K y la textura de los mismos (**Tabla 14**).

**Tabla 14.** Grados de Susceptibilidad a la erosión según rangos de K y textura.

Textura	K	Grado	Motivo
Finas (alto cont. de arcilla)	0,05-0,15	Bajo	Resistencia al desprendimiento.
Gruesas (arenosos)	0,15-0,20	Bajo	Escaso escurrimiento.
Medias (francos)	0,20-0,45	Moderado	Moderada susceptibilidad al escurrimiento.
Limosas (alto cont. de limo)	0,45- 1,00	Alto	Susceptibilidad a la erosión (encostramiento y alto escurrimiento).

Se observa que un 91% y un 32% de los suelos presentan un grado Alto (valor de K mayor a 0,45), para la REBITRI y REBIMA respectivamente, lo que nos indica la gran susceptibilidad a la erosión hídrica que tienen los suelos de la REBITRI. Por otra parte el 9% en la REBITRI y el 67% en la REBIMA de los suelos presentan grado Moderado (valores de K entre 0,20 y 0,45) lo que nos indica que son suelos francos, por lo tanto la erosión hídrica es moderada debido a que el escurrimiento también es moderado. Para el grado de erosión Baja tenemos que para REBITRI no hay valores, y Para la REBIMA presentan un valor aproximado del uno por ciento (valores de K entre 0,05 y 0,20) debido a la presencia de texturas finas o gruesas, por ende una baja susceptibilidad a la erosión hídrica (**Grafica 5**).



**Grafica 5.** Grado de susceptibilidad a la erosión en la REBITRI y REBIMA.

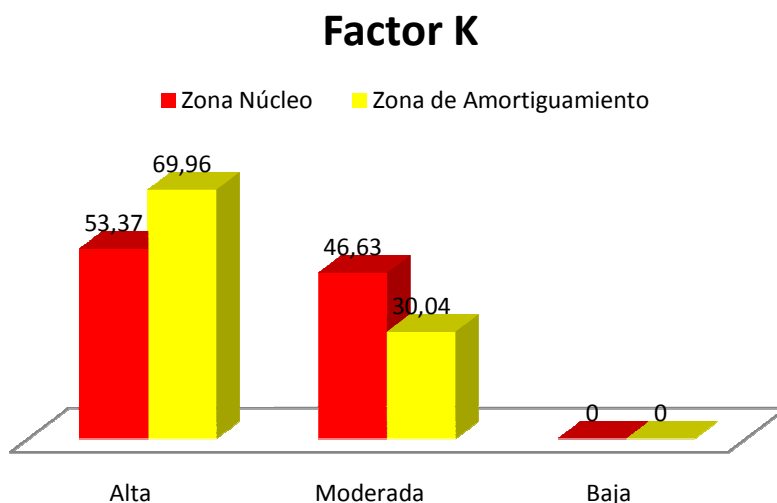


Para determinar el comportamiento existente del factor erodabilidad se establecieron tres categorías que se expresan en la siguiente tabla (**Tabla 15**)

**Tabla 15.** Intervalos de erodabilidad del suelo (Factor K)

Factor K	Mg/Mj.mm	
Baja	0,4	0,643
Moderada	0,643	0,887
Alta	0,887	1,13

Se determinó que el recurso edafológico tiene una susceptibilidad bastante Alta tanto en las zonas núcleo como en las zonas de amortiguamiento con 53.37% y 69.96% respectivamente y una erodabilidad media de 46.63% en zonas núcleo y 30.04% en zonas de amortiguamiento indicando mayor susceptibilidad a la erosión hídrica las zonas de amortiguamiento.

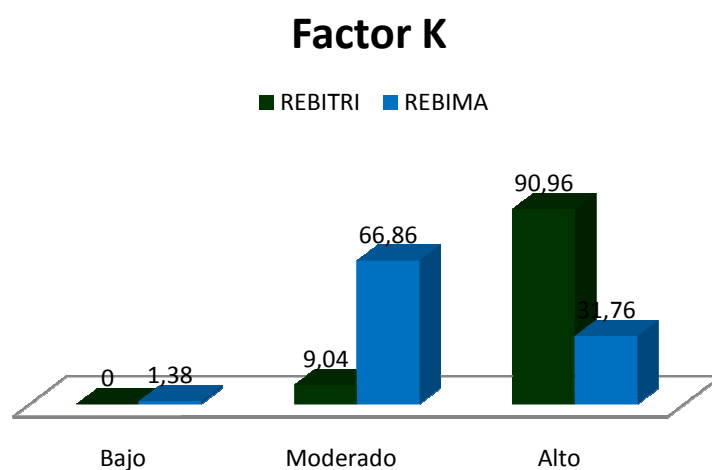


**Grafica 6.-** Distribución del Factor K en zona núcleo y de amortiguamiento en la REBITRI.

Además la distribución de este factor en las A.N.P's indican que la susceptibilidad de erosión es mayor en la REBITRI con un 90.96% del total de la superficie que

tiene valores del factor K Altos y un 9.04% de la superficie de valores del factor K Moderados, mientras que en la REBIMA el valor de erosividad con mas representación es el Moderado con un 66.86% de su superficie, seguido por el valor Alto con un 31.76% y el Bajo con un 1.38% (**Grafica 7**).

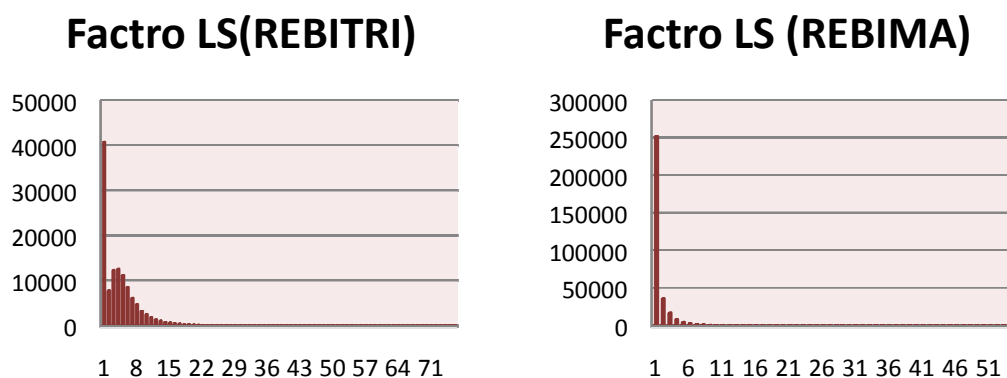
Factor K	Mg/Mj.mm	REBITRI	REBIMA
Bajo	0 - 0.2	0	4510
Moderado	0.2 - 0.45	10785	218973
Alto	0.45 - 1	108489	104033



**Grafica 7.** Distribución del factor K en la REBITRI y la REBIMA.

### 7.3.- Análisis del Factor LS.

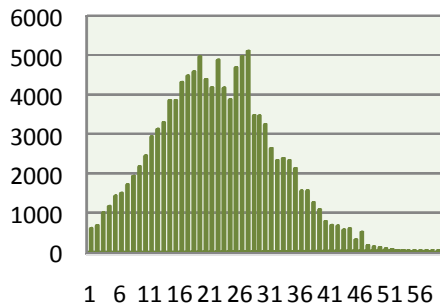
Este factor varía de cero en lugares planos a 128 en lugares de mayor pendiente, para la REBITRI, mientras que en la REBIMA se presentan valores de cero en lugares con poca pendiente a 99 en zonas de pendiente fuerte, en la siguiente grafica se aprecia la distribución de los valores de LS en toda la REBITRI predominando la mayor cantidad de valores de LS del cero al 17 y en la REBIMA se concentran la mayor cantidad de valores del cero al siete, como lo muestran las siguientes graficas **Grafica 8.**



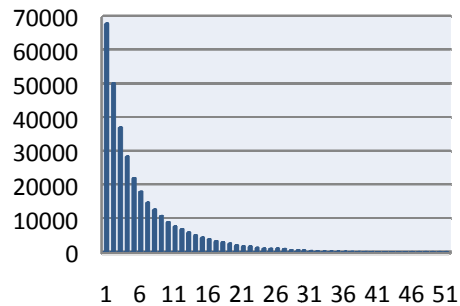
**Grafica 8.** Distribución de los valores de LS

La distribución espacial de la pendiente en las dos A.N.P's son muy peculiares, en la REBITRI se observan pendientes que van desde los cero a los 58 grados, y tiene una distribución con un punto máximo en la parte central, indicando que en los valores medios de la grafica son los que más se hacen presente en la zonas de estudio, mientras que la REBIMA tiene pendientes que van desde los 0 a los 50 grados, y la distribución tiende a los valores más bajos indicando que existe mayor presencia de valores que van desde los 0 a los 26 grados de pendiente en la zona de estudio **Grafica 9.**

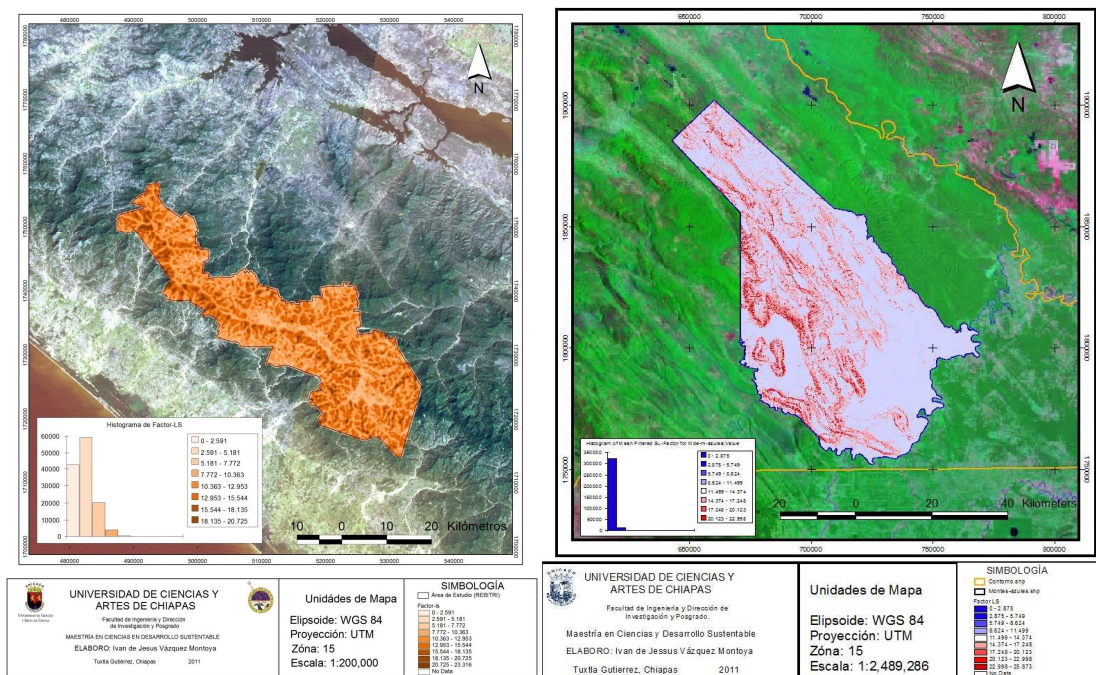
## Distribucion de la Pendiente REBITRI



## Distribucion de la Pendiente REBIMA



**Gráfica 9.** Distribución de la pendiente REBITRI y REBIMA.



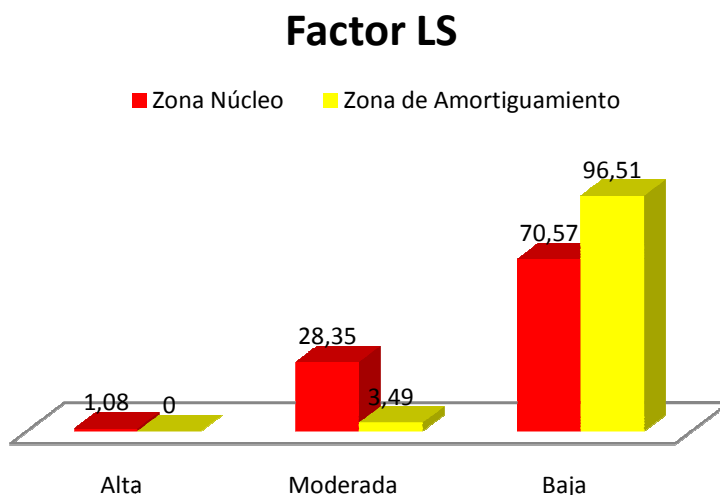
**Mapa 4.** Mapa del Factor LS (Longitud y Pendiente) de la REBITRI y REBIMA.

Para realizar un análisis comparativo entre las zonas núcleo y de amortiguamiento de la REBITRI para el factor LS se distribuyo en tres rangos como se muestra en la siguiente tabla (**Tabla 16.**)

**Tabla 16.** Intervalos de Longitud y Pendiente (Factor LS)

Factor LS	Adimensional	
Baja	0	4,903
Moderada	4,903	9,807
Alta	9,807	14,71

Se determinó que la zona de amortiguamiento es la menos perturbada por el factor LS, ya que el 96.51% de su superficie corresponde al factor LS Bajo y un cero por ciento de su superficie con factor LS Alto, mientras que en las zonas núcleo el 70.57% del territorio corresponde a factor LS Bajo, el 28.35 % del territorio factor LS Moderado y el 1.08% del territorio factor LS Alto. Esto indica que por la distribución del factor LS las zonas núcleo son las más afectadas por este factor, y esto se debe a que las zonas núcleo se encuentran en lugares con fuertes pendientes.

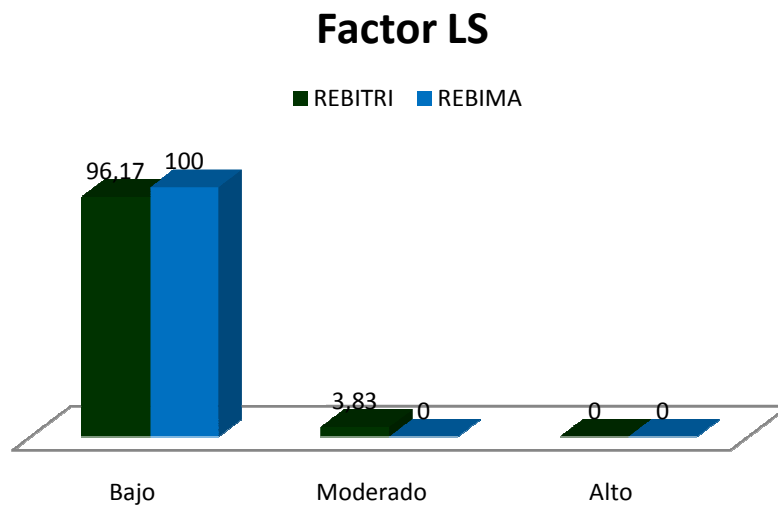


**Grafica 10.-** Distribución del Factor LS en zona núcleo y de amortiguamiento en la REBITRI.

El análisis de la distribución de este factor entre la REBITRI y la REBIMA indican que los valores del factor de longitud y pendiente con más agresividad se

encuentran en la REBITRI con valores moderados que afectan al 3.83% de su superficie, y valores bajos afectando al 96.17% de su superficie, por otra parte la REBIMA en esta clasificación solo tiene valores Bajos en todo su territorio **(Grafica 11)**.

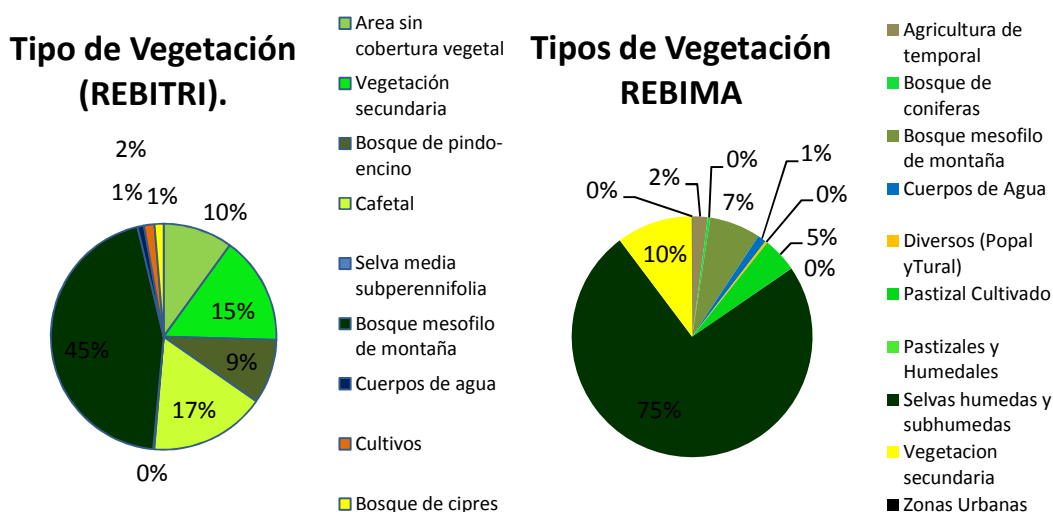
Factor LS		REBITRI	REBIMA
Bajo	0 - 30	121877	337180
Moderado	30 - 60	4853	0
Alto	60 - 90	0	0



**Grafica 11.** Distribución del factor LS en la REBITRI y la REBIMA.

## 7.4.- Análisis del Factor C.

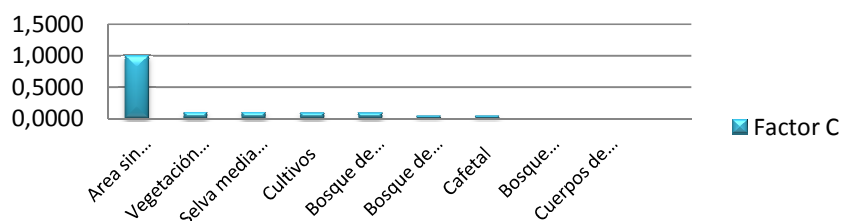
El análisis realizado a la distribución de la vegetación predominante indican que es el Bosque Mesofilo de montaña con un 45% de territorio de la REBITRI, seguido por los Cafetales con un 17% (**Grafica 12**), mientras que en la REBIMA tiene mayor predominancia las selvas húmedas y subhúmedas con un 75% de toda la superficie seguida con un 10% la vegetación secundaria. Esto indica que para ambas A.N.P's habrán valores del factor C muy cercanos al cero.



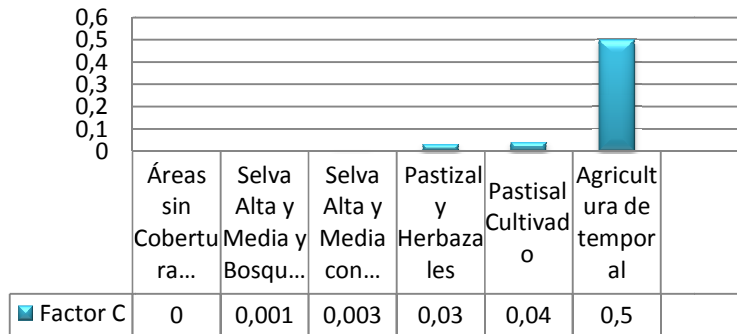
**Grafica 12.** Tipo de vegetación en la REBITRI y REBIMA.

Los valores Cobertura Vegetal que van de cero a uno quedan reflejados en las siguientes graficas, para cada A.N.P (**Grafica 13**).

### Factor C REBITRI

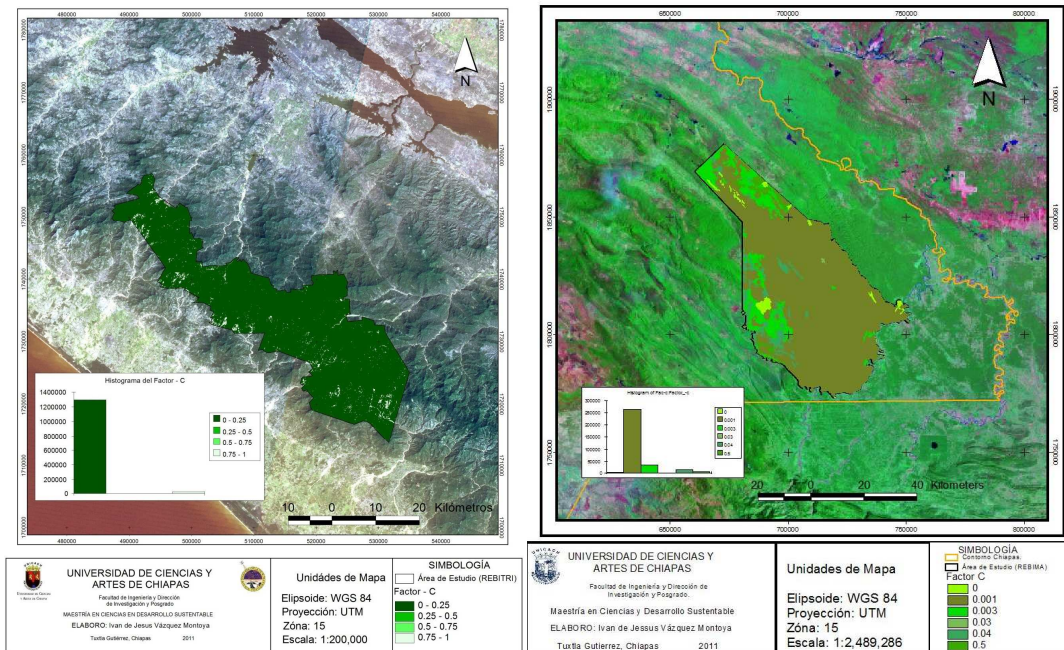


## Factor C REBIMA



**Grafica 13.** Influencia del Factor C en la REBITRI y la REBIMA.

Es importante mencionar que los valores del Factor C más alto para la REBITRI es la categoría que lleva por nombre áreas sin cobertura, que son zonas abiertas y márgenes de río, mientras que las zonas con valor de factor más bajo son las que forman parte del bosque mesófilo de montaña. Por otro lado en la REBIMA el valor más alto corresponde a las zonas en donde existe agricultura de temporal y los cuerpos de agua, zonas urbanas, etc).



**Mapa 5.** Mapa del Factor C (Cobertura Vegetal) de la REBITRI y REBIMA.

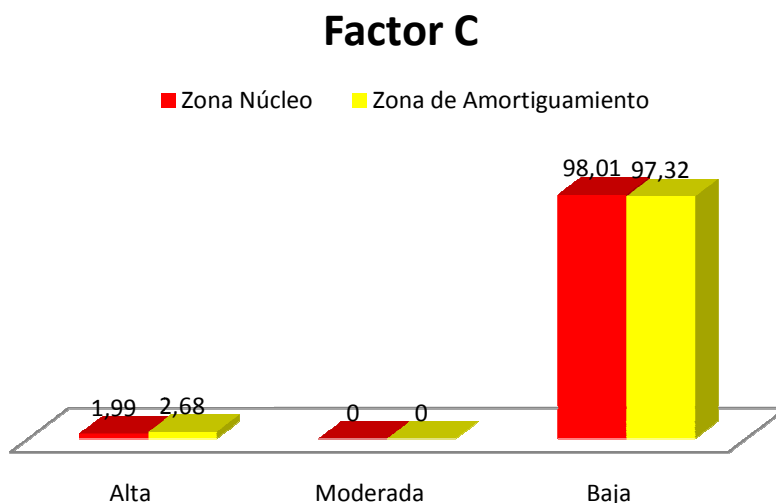


Para el análisis del factor cobertura vegetal y su distribución en las zonas núcleo y amortiguamiento se dividió como los factores anteriores en tres intervalos como se muestra en la siguiente tabla (**tabla 17**):

**Tabla 17.** Intervalos de cobertura vegetal (Factor C)

Factor C	Adimensional	
Baja	0	0,333
Moderada	0,333	0,667
Alta	0,667	1

Se determinó que tanto en la zona núcleo y de amortiguamiento influye de manera significativa el factor C con un 98.01% y 97.32% de su superficie respectivamente y el resto es de factor C Alto, que corresponde a suelos desnudos (deslaves, ríos etc.).

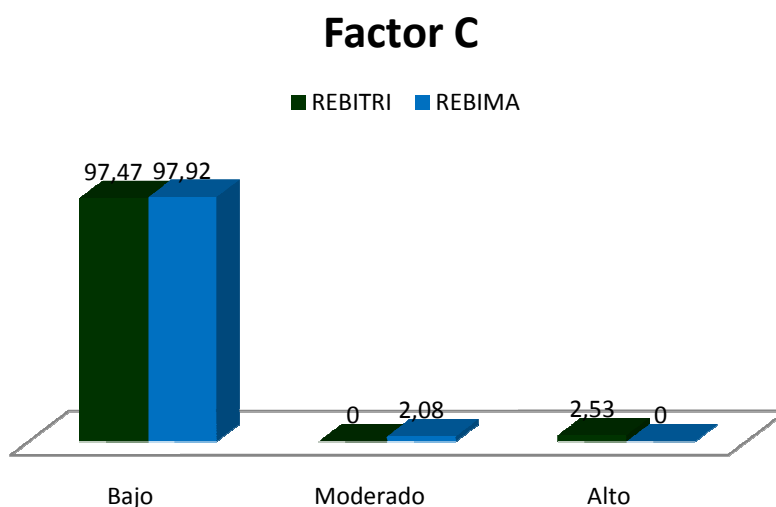


**Grafica 14.-** Distribución del Factor C en zona núcleo y de amortiguamiento en la REBITRI.

Además con el propósito de saber el comportamiento del factor C en ambas zonas de estudio (REBITRI y REBIMA), se categorizo en tres clases los valores del factor C (Bajo, Moderado y Alto).

Se determina que la cobertura vegetal tiene valores bajos tanto en la REBITRI como en la REBIMA con un 97.47% y 97.92% respectivamente, esto indica que aproximadamente el 0.45% de la superficie de la REBIMA está más conservado lo que equivale a 1,490.4 Ha, los valores restantes se encuentran para la REBITRI en Altos con un 2,53% y para la REBIMA en Moderados con un 2,08% (**Grafica 15**).

Factor C		REBITRI	REBIMA
Bajo	0 - 30	1292986	320856
Moderado	30 - 60	0	6816
Alto	60 - 90	33570	0



**Grafica 15.** Distribución del factor C en la REBITRI y la REBIMA.

**Tabla 18.** Tabla de contingencia de los factores R, K, LS y C entre zonas núcleo y amortiguamiento.

	Factor R			Factor K			Factor LS			Factor C		
	Alta	Moderada	Baja	Alta	Moderada	Baja	Alta	Moderada	Baja	Alta	Moderada	Baja
Zona Núcleo	13,01	60,57	26,43	53,35	46,63	0	1,07	28,37	70,56	2	0	98
Zona de Amortiguamiento	16,24	53,11	30,7	69,85	30	0	0	3,49	96,51	2,68	0	97,32

Este análisis no se realizó para la REBIMA ya que según el plan de manejo del Instituto Nacional de Ecología en 2000 no existe una clasificación entre zonas núcleo y de amortiguamiento.

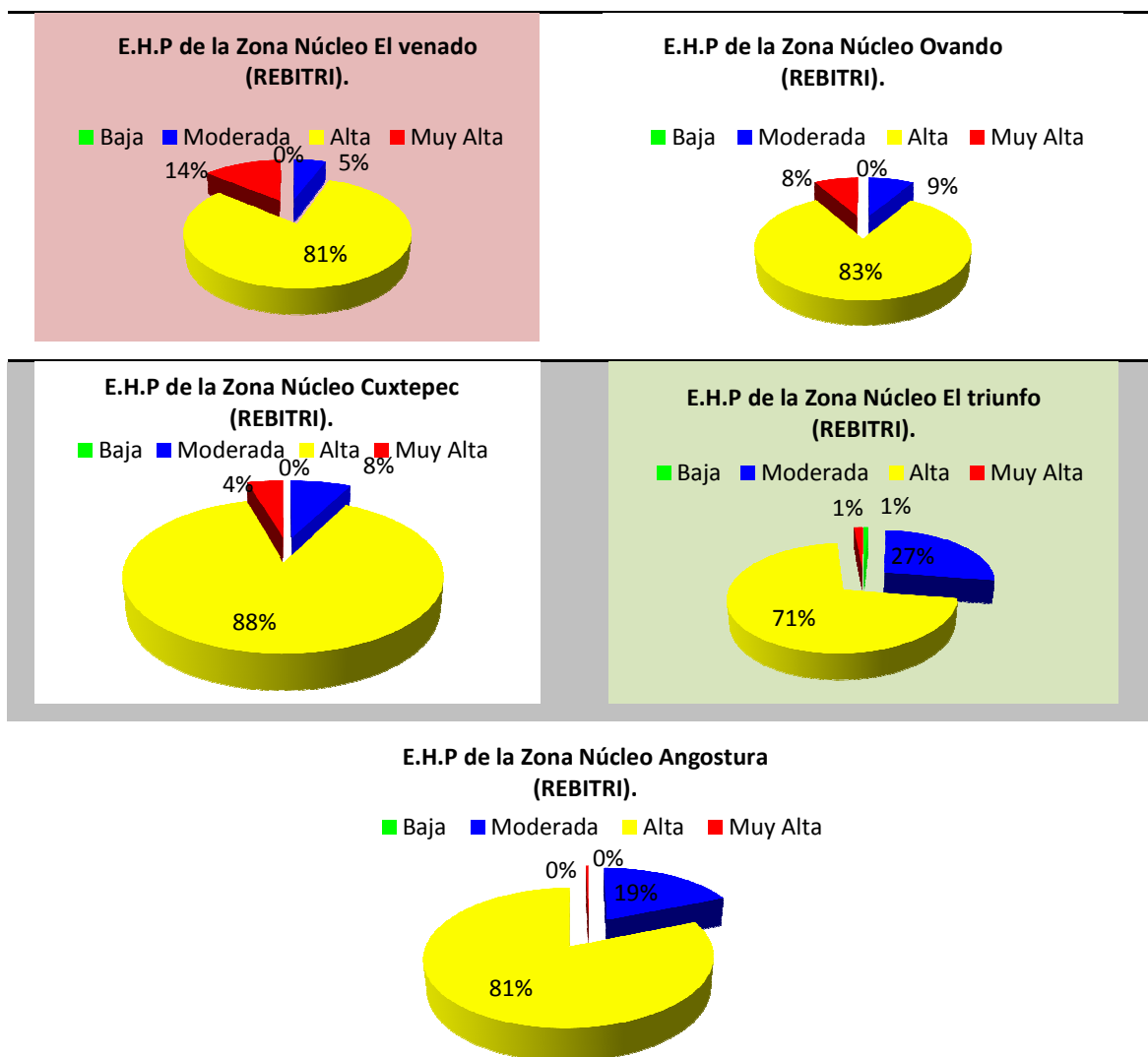
**Tabla 19.** Tabla de contingencia de los factores R, K, LS y C entre REBITRI y REBIMA.

Factor	Categorías	REBITRI	REBIMA
R	Bajo (%)	33,07	9,5
	Moderado (%)	52,3	75,31
	Alto (%)	14,63	15,19
K	Bajo (%)	0	1,38
	Moderado (%)	9,04	66,86
	Alto (%)	90,96	31,76
LS	Bajo (%)	96,17	100
	Moderado (%)	3,83	0
	Alto (%)	0	0
C	Bajo (%)	97,47	97,92
	Moderado (%)	0	2,08
	Alto (%)	2,53	0

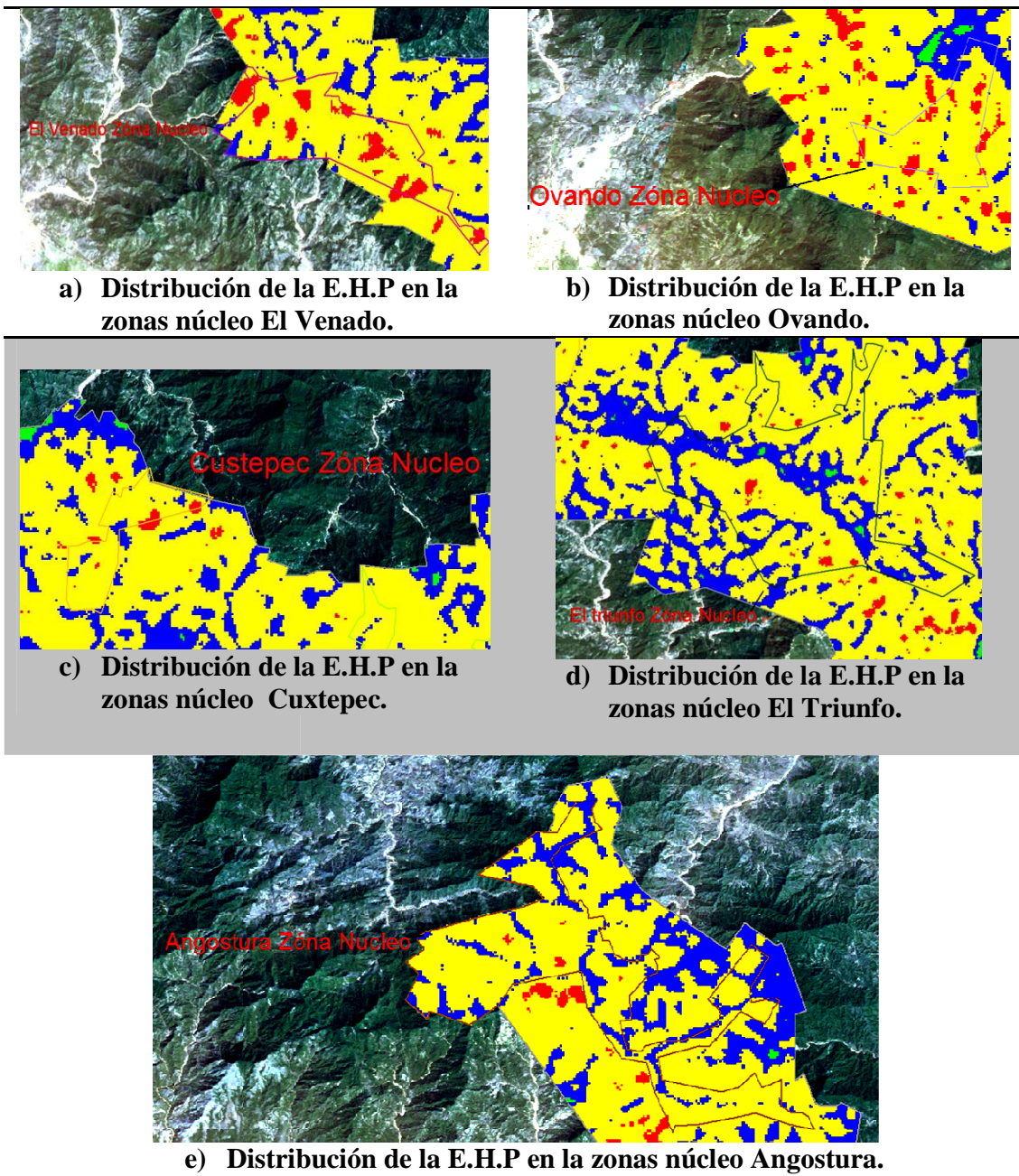
### 7.5.- Distribución de la Erosión Hídrica Potencial en las zonas núcleo y zonas de amortiguamiento de la REBITRI.

Como se mencionó, al integrar los factores R (Erosividad), K (Erodabilidad) y LS (Longitud y Pendiente) se obtuvo un mapa de E.H.P. Esto determina una visión general del área de estudio.

Del mapa Raster de E.H.P se realizó un análisis por zona, para mostrar un panorama general de la información obtenida por cada zona núcleo, los datos de E.H.P por zona se encuentran en el siguiente conjunto de graficas y mapas (Grafica 16), (Figura 10).



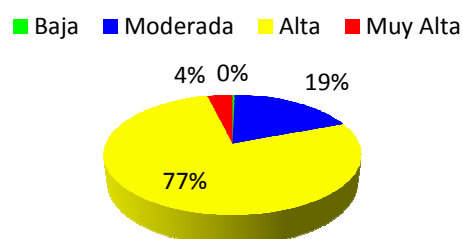
**Grafica 16.** Distribución de grados de E.H.P por zonas núcleo.



**Figura 10.-** Ubicación de las E.H.P en las zonas núcleo de la REBITRI.

La REBITRI se divide en cinco zonas núcleo, denominadas El venado, Ovando, Cuxtepec, El Triunfo y Angostura, se determinó que la zona núcleo más afectada es la denominada El venado con un 14% de su superficie con Erosión Muy alta y la Zona núcleo menos afectada es la denominada El triunfo con un 1% de Erosión Muy alta. Por otra parte las zonas núcleo en general presentan una erosión Alta en el 77% de su territorio como lo demuestra la siguiente **Grafica 17**.

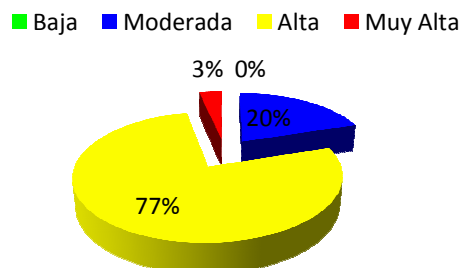
### E.H.P Zonas Núcleo (REBITRI)



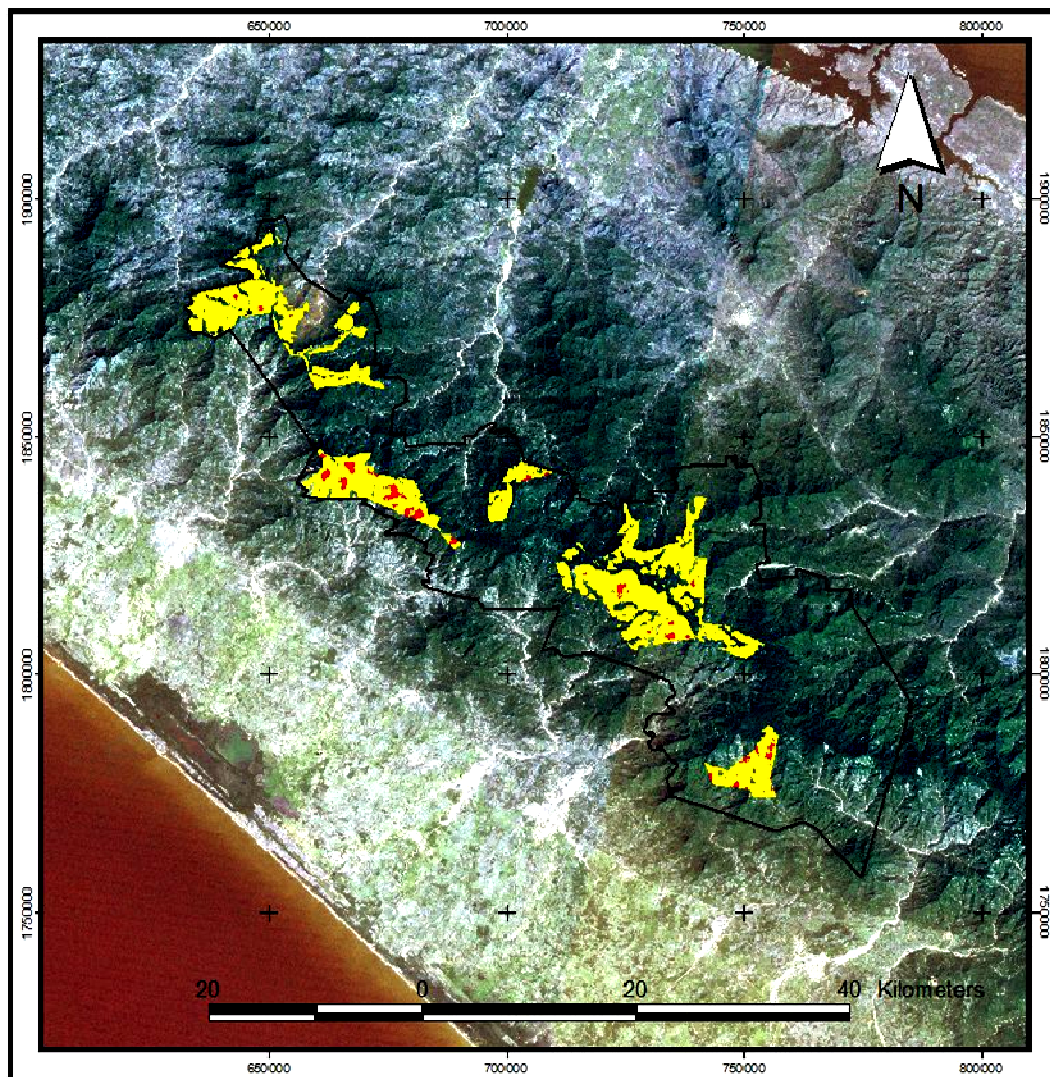
**Grafica 17.** Distribución de grados de E.H.P en las Zonas Núcleo.


La E.H.P en las zonas de amortiguamiento no es demasiado distinta a la E.H.P encontrada en las zonas núcleo como lo muestra la **Grafica 18**.

### E.H.P Zonas de Amortiguamiento (REBITRI)

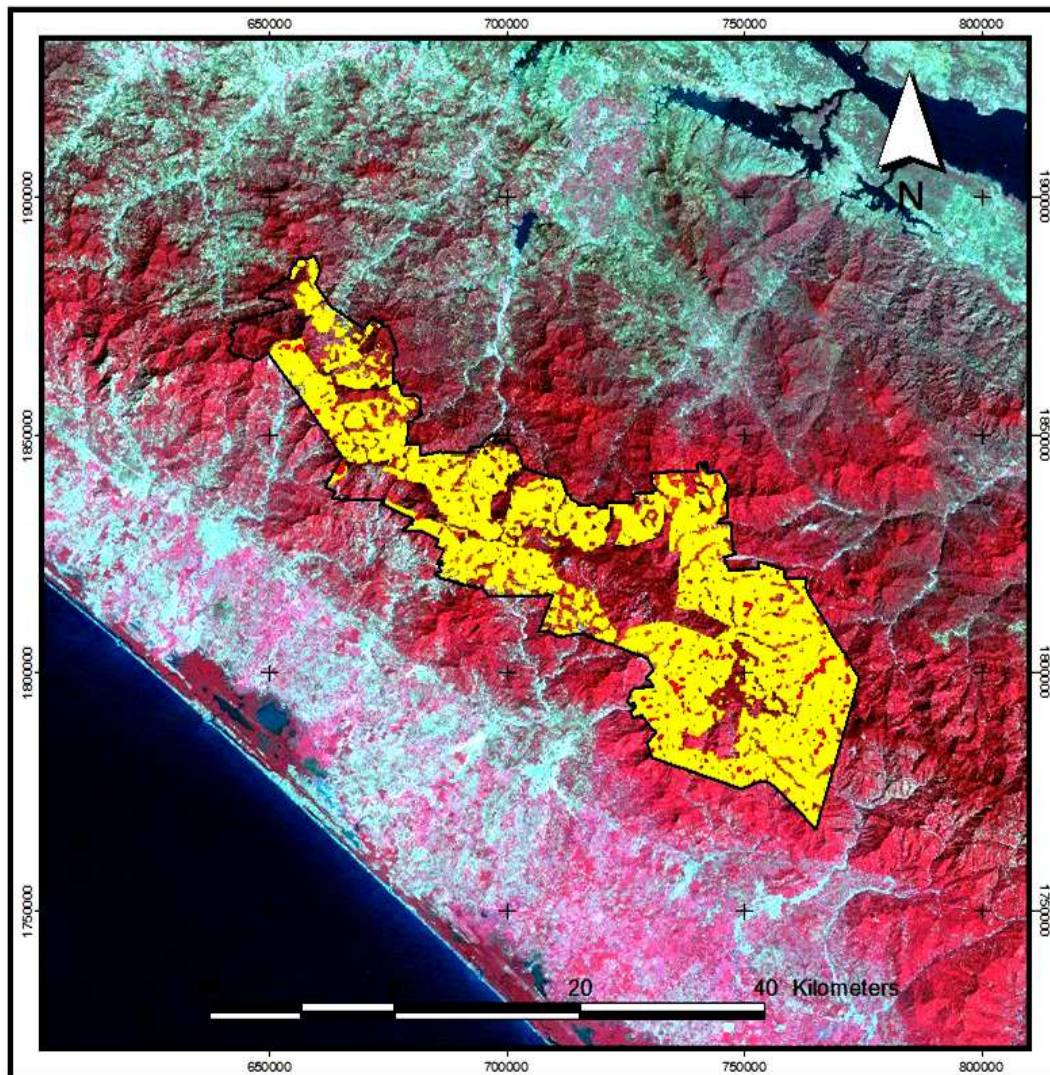



**Grafica 18.** Distribución de grados de E.H.P en las Zonas de Amortiguamiento.



 <p><b>UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS</b> Facultad de Ingeniería y Dirección de Investigación y Posgrado. Maestría en Ciencias y Desarrollo Sustentable ELABORO: Ivan de Jesus Vázquez Montoya Tuxtla Gutiérrez, Chiapas      2011</p>	<p><b>Unidades de Mapa</b> Elipsoide: WGS 84 Proyección: UTM Zóna: 15 Escala: 1:2,489,286</p>	<p><b>SIMBOLOGÍA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Zona de estudio (REBITRI)</li> <li><span style="background-color: yellow; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> EHP - Alta (50 - 200 Mg/ha.año)</li> <li><span style="background-color: red; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> EHP Muy alta (&gt; 200 Mg/ha.año)</li> </ul>
---	---	---

**Mapa 6.-** Distribución de la E.H.P Alta y Muy alta en las zonas núcleo de la REBITRI.



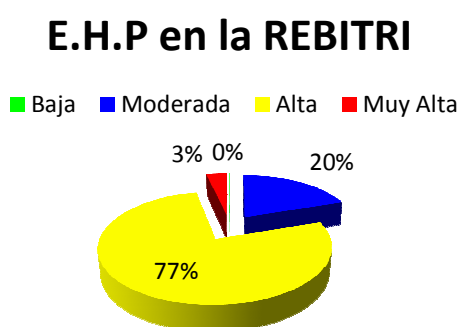
 <p><b>UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS</b>          Facultad de Ingeniería y Dirección de Investigación y Posgrado.          Maestría en Ciencias y Desarrollo Sustentable          ELABORO: Ivan de Jesus Vázquez Montoya          Tuxtla Gutierrez, Chiapas      2011</p>	<p><b>Unidades de Mapa</b>          Elipsoide: WGS 84          Proyección: UTM          Zóna: 15          Escala: 1:2,489,286</p>	<p><b>SIMBOLOGÍA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Zona de estudio (REBITRI)</li> <li><span style="background-color: yellow; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> EHP - Alta (50 - 200 Mg/ha.año)</li> <li><span style="background-color: red; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> EHP Muy alta (&gt; 200 Mg/ha.año)</li> </ul>
---	---	---

**Mapa 7.-** Distribución de la E.H.P Alta y Muy alta en las zonas de amortiguamiento de la REBITRI.



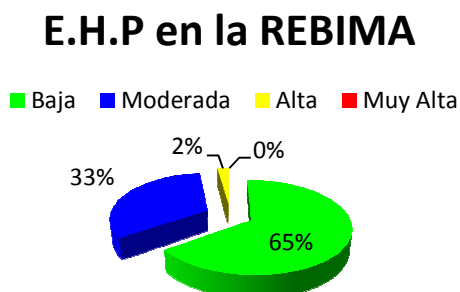
## 7.6.- Análisis de la Erosión Hídrica Potencial entre la REBITRI y la REBIMA.

El análisis de la distribución que tiene la E.H.P en zonas núcleo y de amortiguamiento de la REBITRI realizado en el apartado anterior se generaliza en la **Grafica 19**, indicando que la mayor cantidad de la superficie tiene E.H.P Alta con un 77% de las superficie, y los más grave es de que existen valores de E.H.P Muy alta con un 3% de la superficie, aproximadamente a 3600ha.

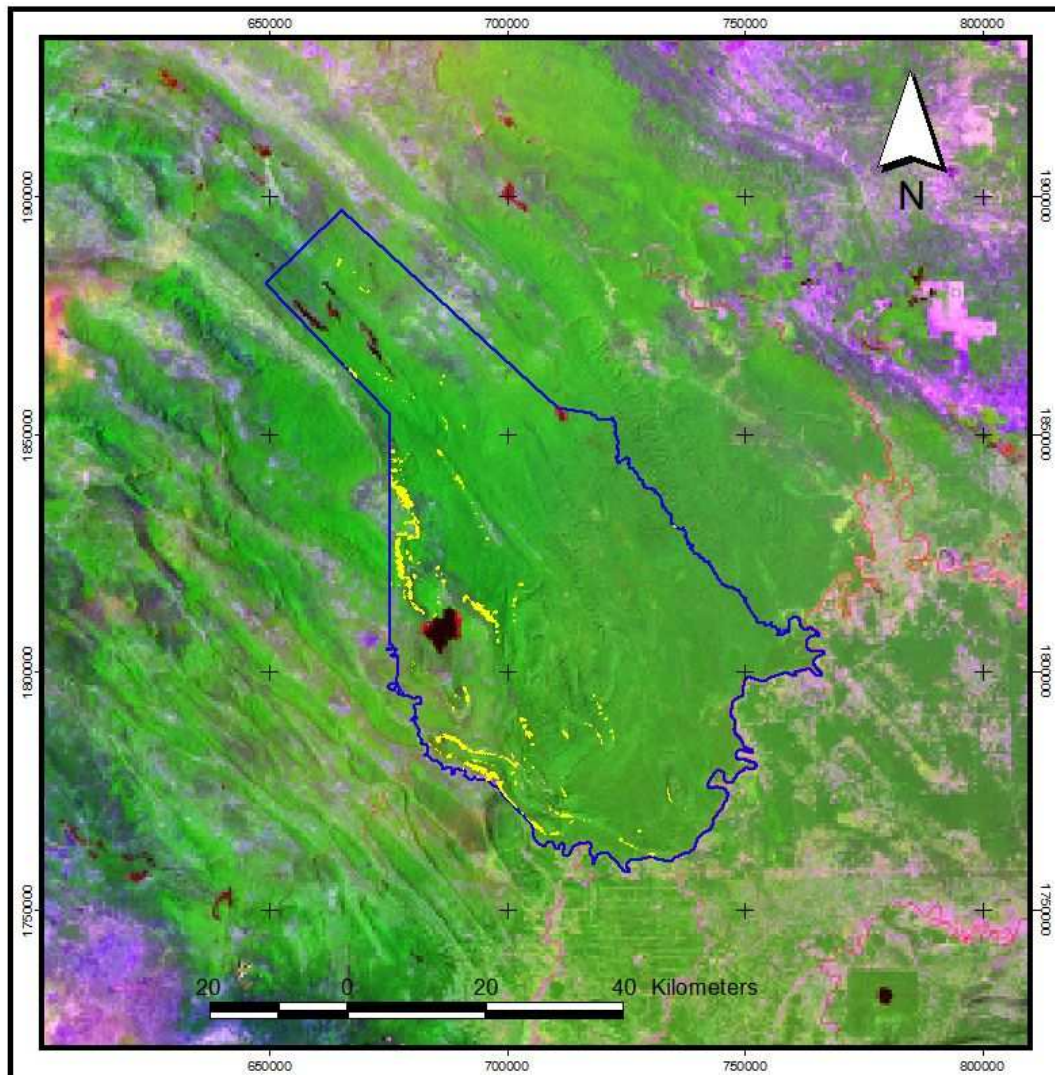



**Grafica 19.** Distribución de grados de E.H.P en la REBITRI.

En la REBIMA existe una distribución bastante peculiar ya que las condiciones topográficas, de suelo y de lluvia así lo permiten la **Grafica 20** demuestra que existe E.H.P Baja en la mayor parte de la reserva con un 65% de su territorio, mientras que un 33% de E.H.P Moderada y el 2% (6400ha aproximadas) presentan E.H.P Alta.

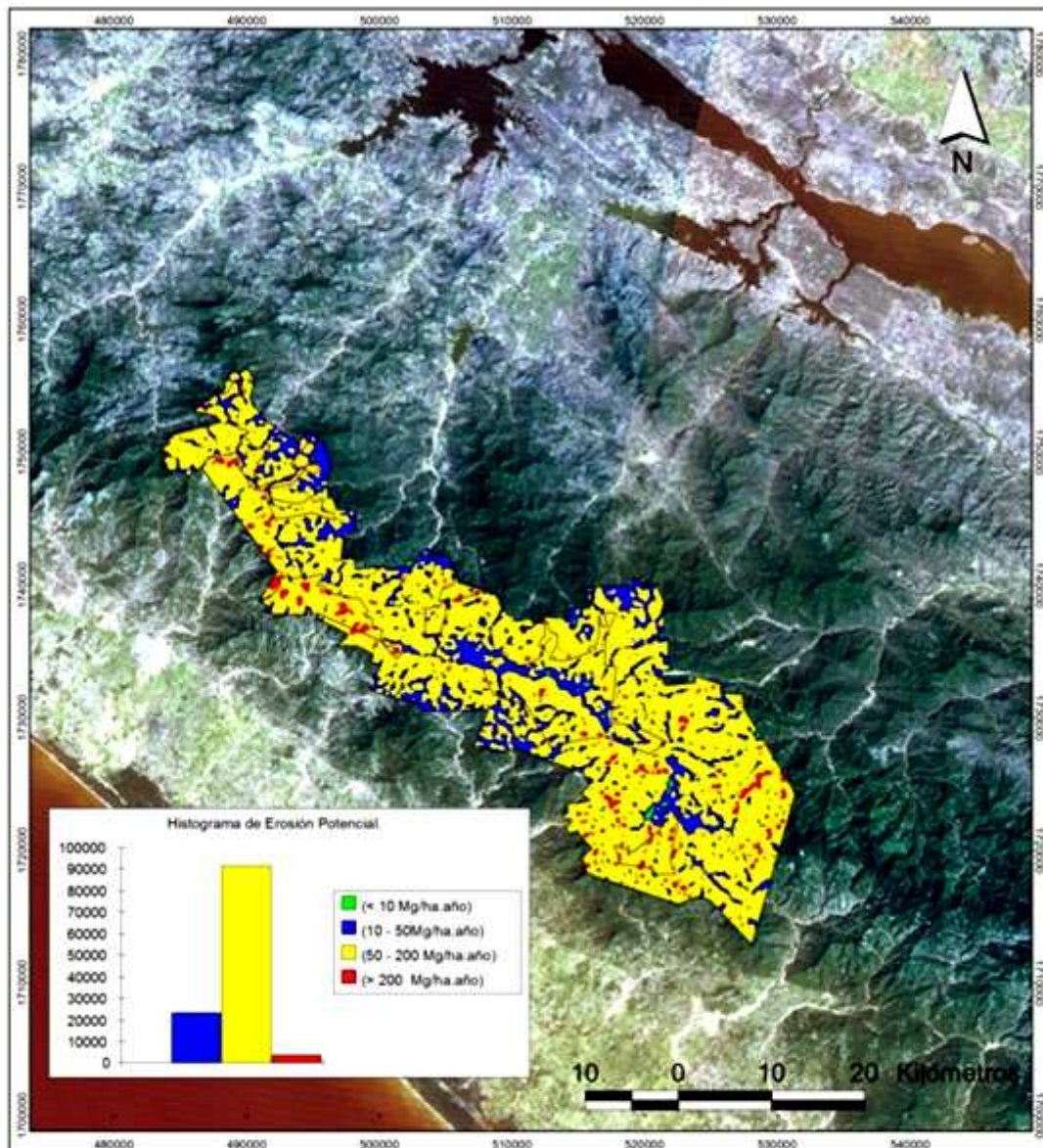


**Grafica 20.** Distribución de grados de E.H.P en la REBIMA.



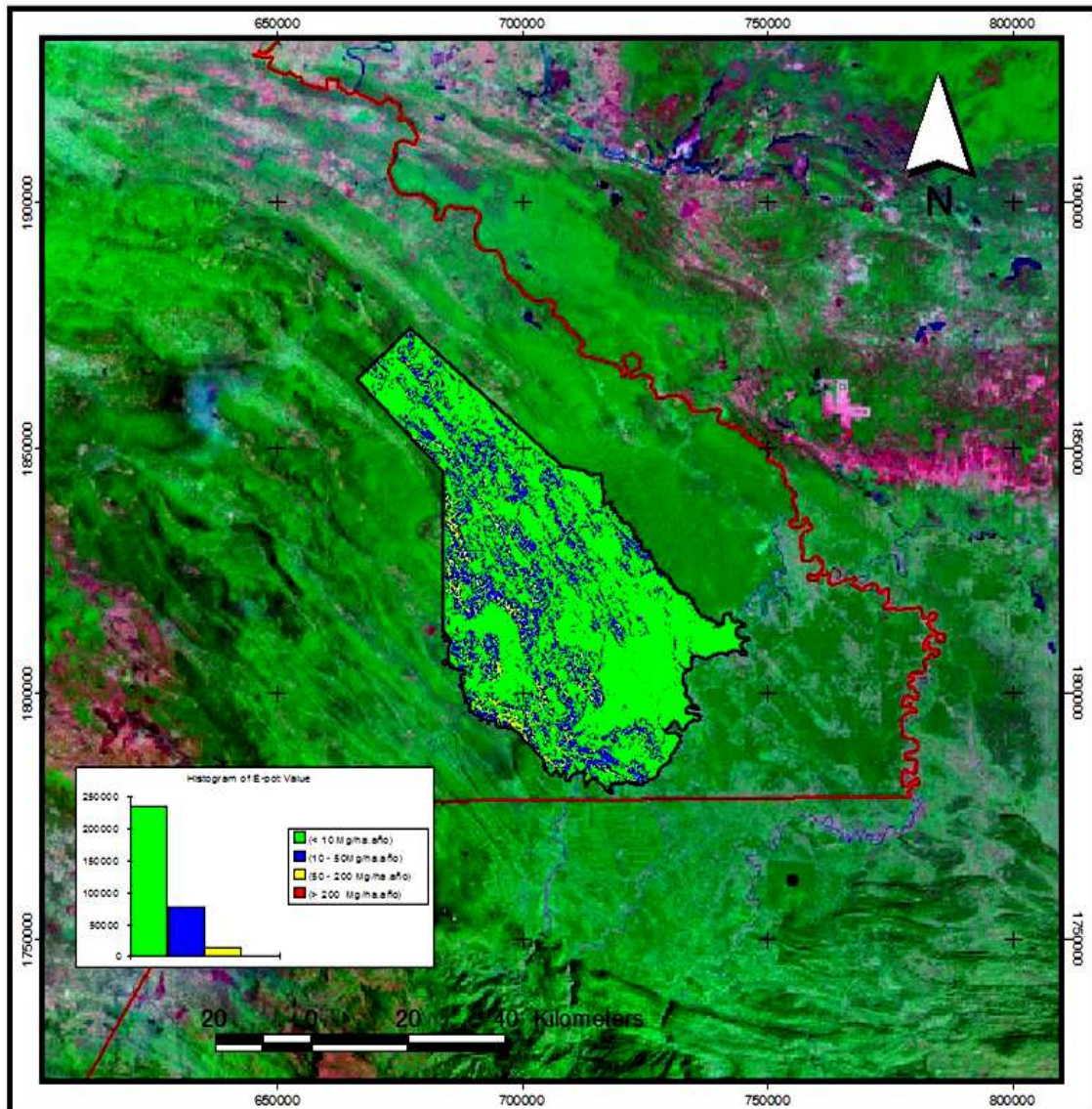
 <p><b>UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS</b>          Facultad de Ingeniería y Dirección de Investigación y Posgrado.          Maestría en Ciencias y Desarrollo Sustentable          ELABORO: Ivan de Jesus Vázquez Montoya          Tuxtla Gutierrez, Chiapas      2011</p>	<p><b>Unidades de Mapa</b>          Elipsoide: WGS 84          Proyección: UTM          Zona: 15          Escala: 1:2,489,286</p>	<p><b>SIMBOLOGÍA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Zona de estudio (REBIMA)</li> <li><span style="background-color: yellow; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> EHP - Alta (50 - 200 Mg/ha.año)</li> <li><span style="background-color: red; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> EHP Muy alta (&gt; 200 Mg/ha.año)</li> </ul>
---	---	--


**Mapa 8.-** Distribución de la E.H.P Alta y Muy alta en la REBIMA.



	<p align="center"><b>UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS</b></p> <p align="center">Facultad de Ingeniería y Dirección de Investigación y Posgrado</p> <p align="center">MAESTRIA EN CIENCIAS EN DESARROLLO SUSTENTABLE</p> <p align="center">ELABORO: Ivan de Jesus Vázquez Montoya</p> <p align="center">Tuxtla Gutiérrez, Chiapas 2011</p>	<p align="center"><b>Unidades de Mapa</b></p> <p>Elipsoide: WGS 84 Proyección: UTM Zóna: 15 Escala: 1:200,000</p>	<p align="center"><b>SIMBOLOGÍA</b></p> <p>□ Área de Estudio (REBITRI)</p> <p>□ Zonas Núcleo</p> <p><b>Erosión Actual</b></p> <p>■ (&lt; 10 Mg/ha.año)</p> <p>■ (10 - 50Mg/ha.año)</p> <p>■ (50 - 200 Mg/ha.año)</p> <p>■ (&gt; 200 Mg/ha.año)</p>
--	---	---	--

**Mapa 9.** – Mapa de E.H.P de la REBITRI.

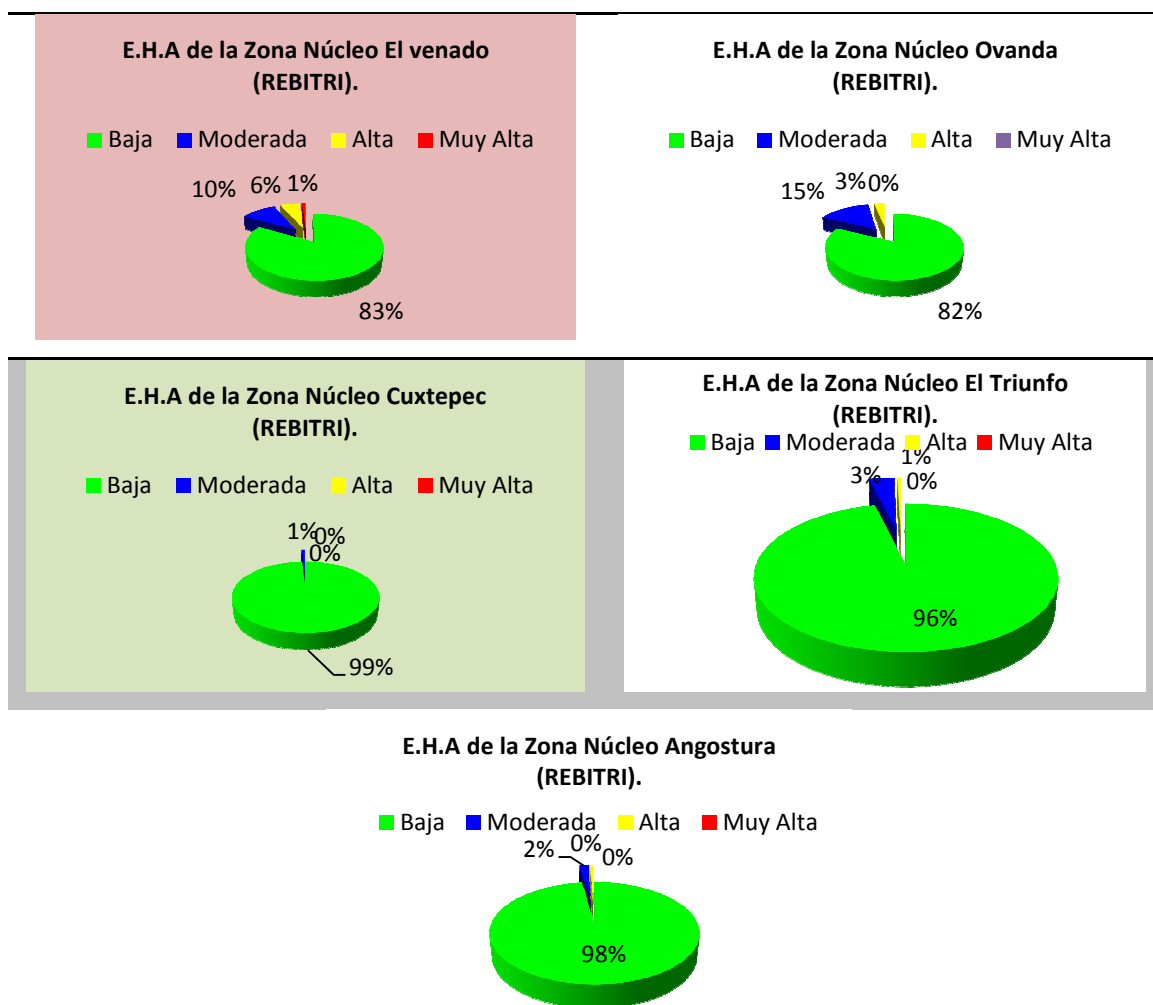


 <p><b>UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS</b></p> <p>Facultad de Ingeniería y Dirección de Investigación y Posgrado.</p> <p>Maestría en Ciencias y Desarrollo Sustentable</p> <p>ELABORO: Ivan de Jessu Vázquez Montoya</p> <p>Tuxtla Gutierrez, Chiapas      2011</p>	<p><b>Unidades de Mapa</b></p> <p>Elipsoide: WGS 84</p> <p>Proyección: UTM</p> <p>Zóna: 15</p> <p>Escala: 1:2,489,286</p>	<p><b>SIMBOLOGÍA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px solid red; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Contorno Chiapas</li> <li><span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Área de Estudio (REBIMA)</li> </ul> <p>Erosión Hídrica Potencial</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: green; margin-right: 5px;"></span> (&lt; 10 Mg/ha.año)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: blue; margin-right: 5px;"></span> (10 - 50Mg/ha.año)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: yellow; margin-right: 5px;"></span> (50 - 200 Mg/ha.año)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: red; margin-right: 5px;"></span> (&gt; 200 Mg/ha.año)</li> </ul>
---	---	--

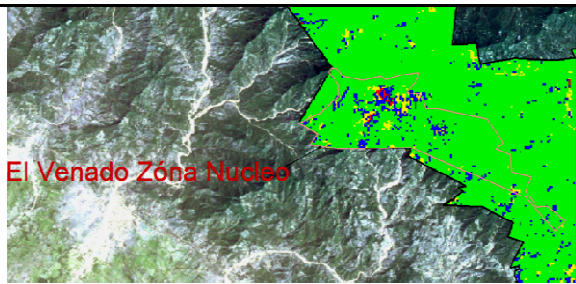
**Mapa 10.** – Mapa de E.H.P de la REBIMA.

### 7.7.- Distribución de la Erosión Hídrica Actual en las zonas núcleo y zonas de amortiguamiento de la REBITRI.

Con el mapa de E.H.P y la integración del factor C (Cobertura Vegetal) se genero un mapa de E.H.A con la finalidad de obtener una visión actual de la Erosión Hídrica en la REBITRI. Con el análisis realizado a las zonas núcleo para determinar el grado de erosión se estimo que la zona núcleo menos erosionada es la Cuxtepec con 99% de su territorio con erosión Baja y la más afectada la zona núcleo el venado con 6% de su territorio con erosión Alta (Grafica 21) y (Figura 11).



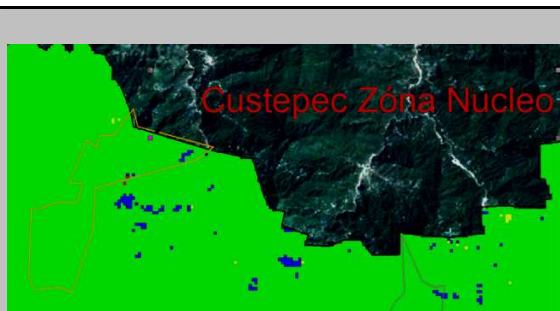
**Grafica 21.** Distribución de grados de E.H.A por zonas núcleo.



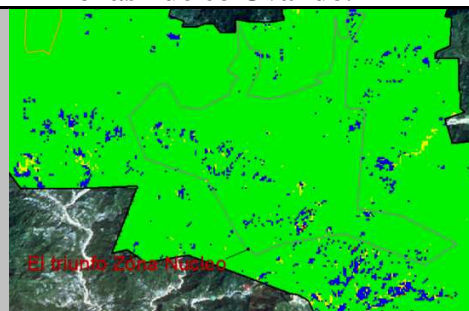
a) Distribución de la E.H.A en la zonas núcleo El Venado.



b) Distribución de la E.H.A en la zonas núcleo Ovando.



c) Distribución de la E.H.A en la zonas núcleo Cuxtepec.



d) Distribución de la E.H.A en la zonas núcleo El Triunfo.

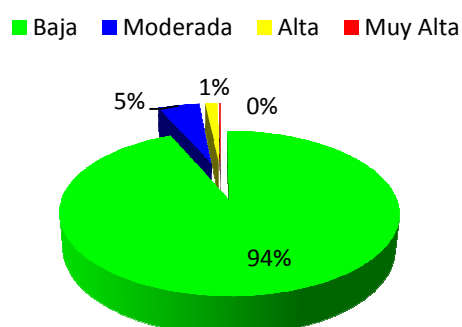


e) Distribución de la E.H.A en la zonas núcleo Angostura.

**Figura 11.-** Ubicación de las E.H.A alta en las zonas núcleo de la REBITRI.

En un panorama general con los valores de E.H.A de las zonas núcleo de la REBITRI se determinó que es una reserva con erosión Baja en las zonas núcleo, ya que cuenta con un 94% de su territorio con ese grado de erosión, y tan solo con un 6% de erosión entre Moderada y Alta (**Grafica 22**).

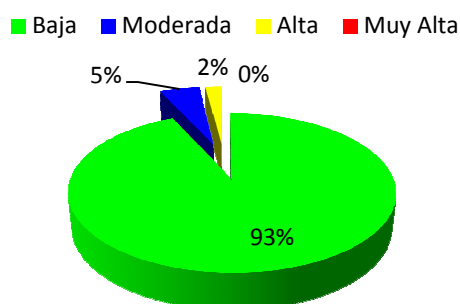
### E.H.A Zonas Núcleo (REBITRI)



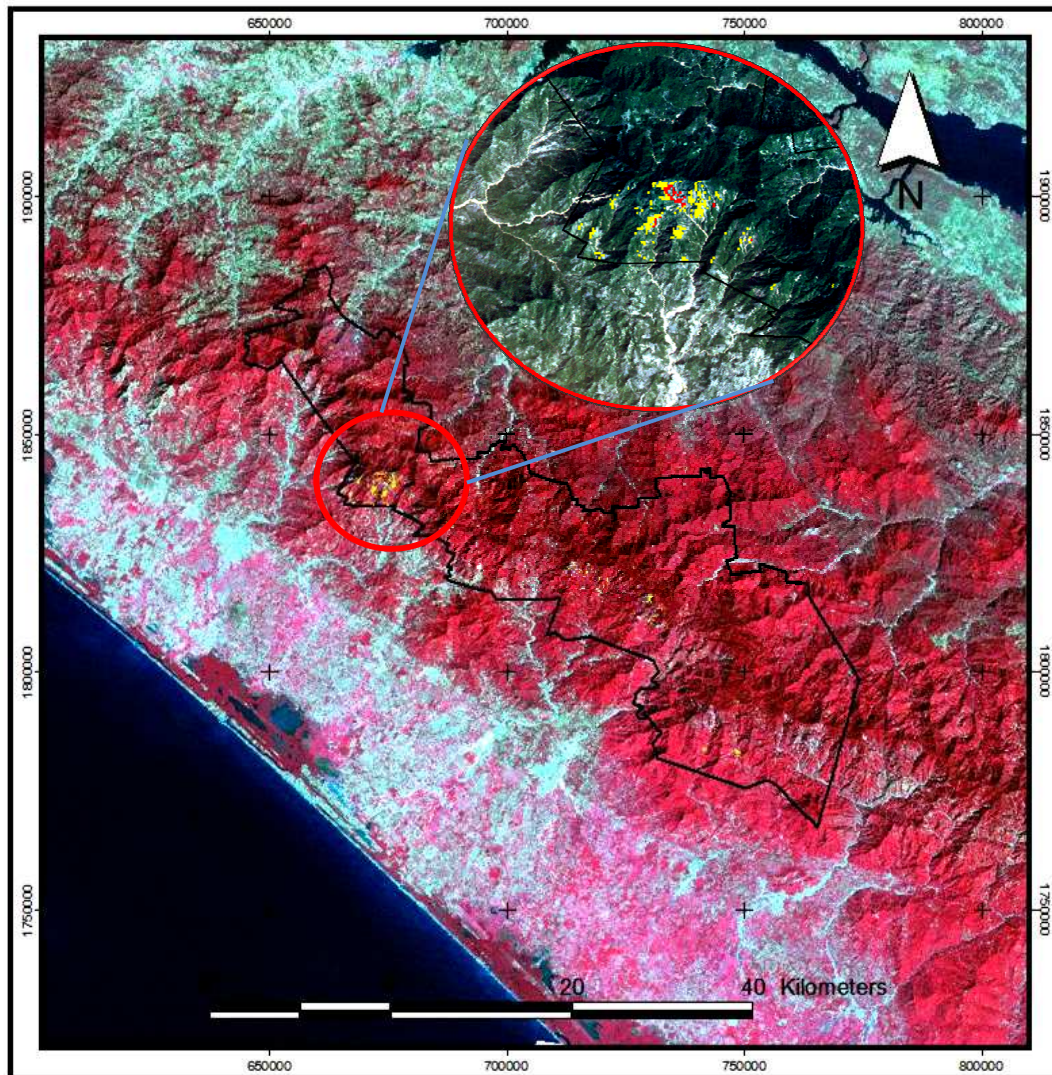
**Grafica 22.** Distribución de grados de E.H.A en las Zonas Núcleo.


El análisis estadístico también indica que la E.H.A en las zonas de amortiguamiento (**Grafica 23**) son lo bastante similares a los indicados en las zonas núcleo, únicamente con un uno por ciento más de erosión Alta en las zonas de amortiguamiento.

### E.H.A Zonas de Amortiguamiento (REBITRI)



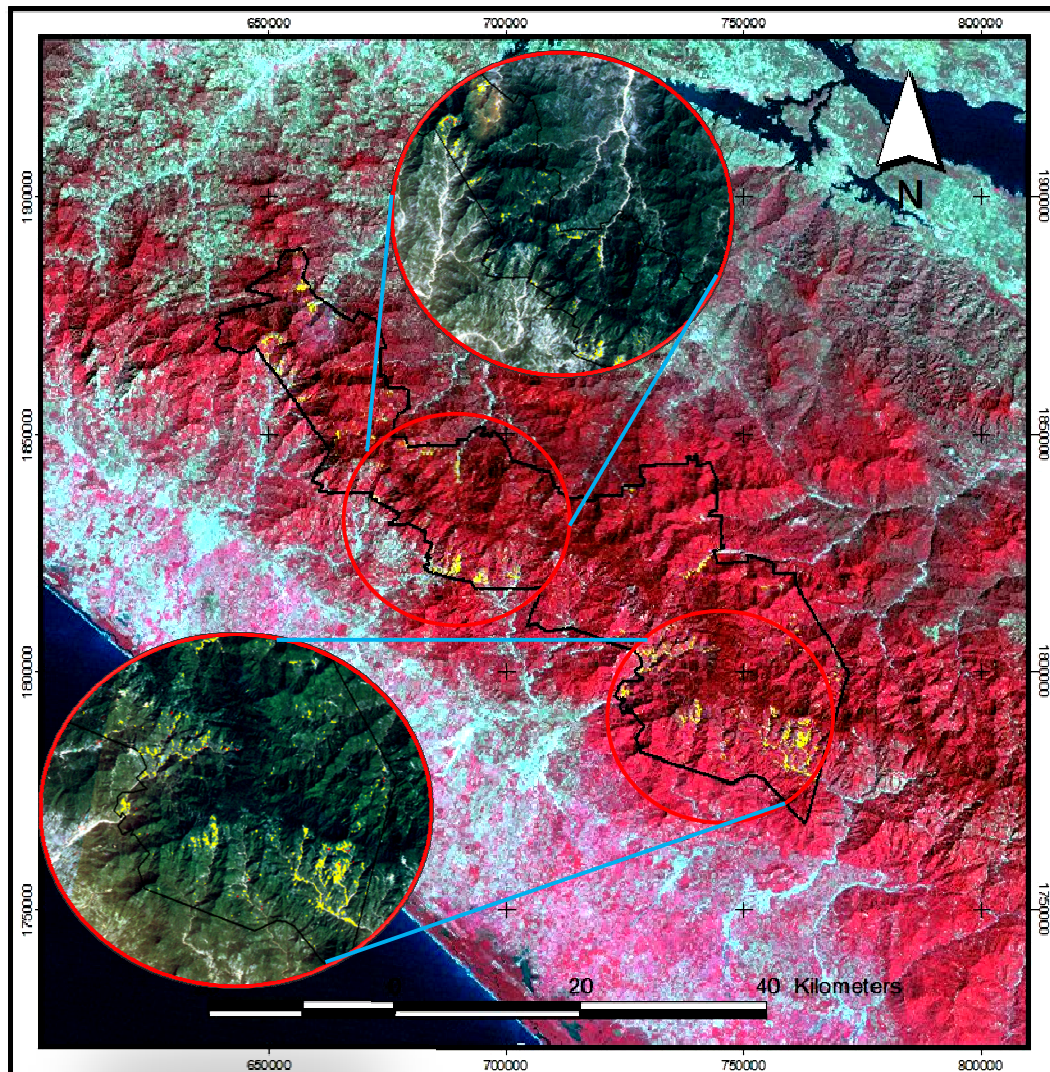
**Grafica 23.** Distribución de grados de E.H.A en las Zonas de Amortiguamiento.




 <p><b>UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS</b>          Facultad de Ingeniería y Dirección de Investigación y Posgrado.          Maestría en Ciencias y Desarrollo Sustentable          ELABORO: Ivan de Jessus Vázquez Montoya          Tuxtla Gutierrez, Chiapas      2011</p>	<p><b>Unidades de Mapa</b>          Elipsoide: WGS 84          Proyección: UTM          Zona: 15          Escala: 1:2,489,286</p>	<p><b>SIMBOLOGÍA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Zona de estudio (REBITRI)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: yellow; margin-right: 5px;"></span> EHP - Alta (50 - 200 Mg/ha.año)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: red; margin-right: 5px;"></span> EHP Muy alta (&gt; 200 Mg/ha.año)</li> </ul>
--	---	---

**Mapa 11.-** Distribución de la E.H.A Alta y Muy alta en las zonas núcleo de la REBITRI.



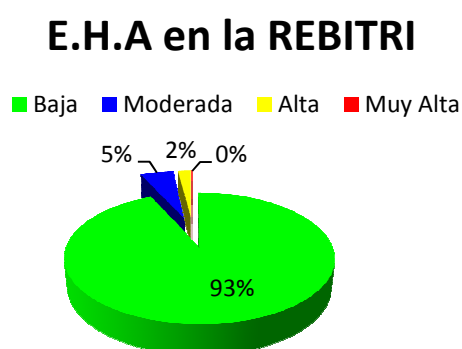


 <p><b>UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS</b> Facultad de Ingeniería y Dirección de Investigación y Posgrado. Maestría en Ciencias y Desarrollo Sustentable ELABORO: Ivan de Jesus Vázquez Montoya Tuxtla Gutiérrez, Chiapas      2011</p>	<p><b>Unidades de Mapa</b> Elipsoide: WGS 84 Proyección: UTM Zóna: 15 Escala: 1:2,489,286</p>	<p><b>SIMBOLOGÍA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Zona de estudio (REBITRI)</li> <li><span style="background-color: yellow; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> EHP - Alta (50 - 200 Mg/ha.año)</li> <li><span style="background-color: red; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> EHP Muy alta (&gt; 200 Mg/ha.año)</li> </ul>
---	---	---

**Mapa 12.-** Distribución de la E.H.A Alta y Muy alta en las zonas de amortiguamiento de la REBITRI.

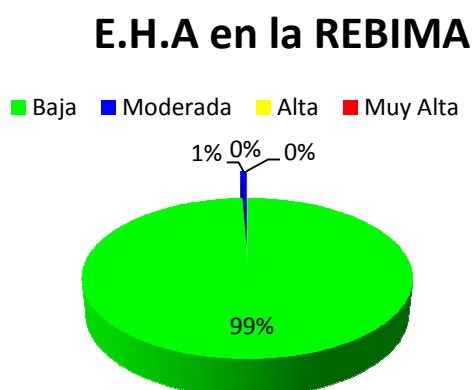
## 7.8.- Análisis de la Erosión Hídrica Actual entre la REBITRI y la REBIMA

El análisis de la distribución que tiene la E.H.A en zonas núcleo y de amortiguamiento de la REBITRI realizado en el apartado anterior se generaliza en la **Grafica 24**, indicando que la mayor cantidad de la superficie tiene E.H.A Baja con un 93% de las superficie, pero lo preocupante es que ya existe Alta E.H.A en el 2% de su territorio, aproximadamente 2,383.00Ha.

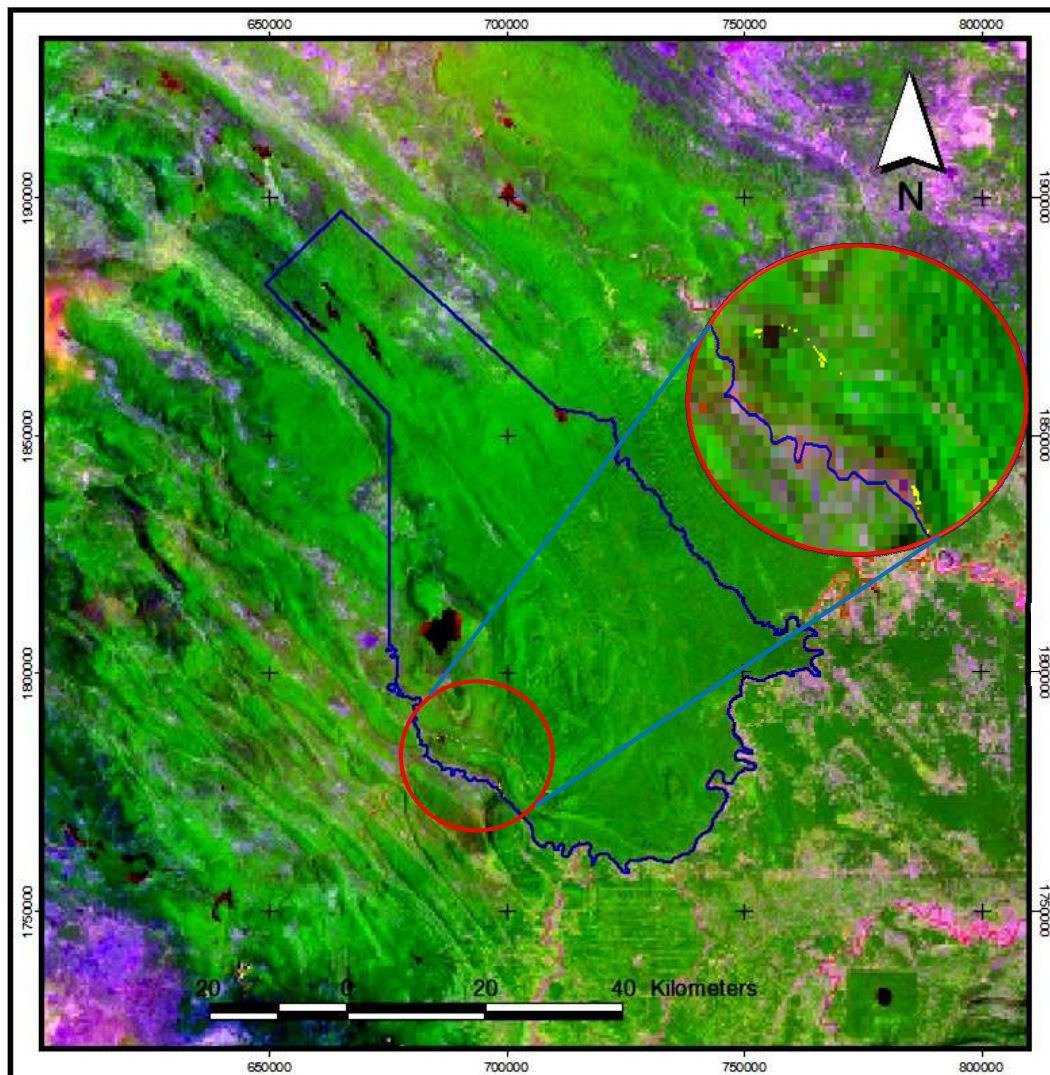



**Grafica 24.** Distribución de grados de E.H.A en la REBITRI.

Por otra parte en la REBIMA existe una distribución bastante interesante (**Grafica 25**), demostrando que existe E.H.A Baja en casi toda la reserva con un 99% de la superficie.

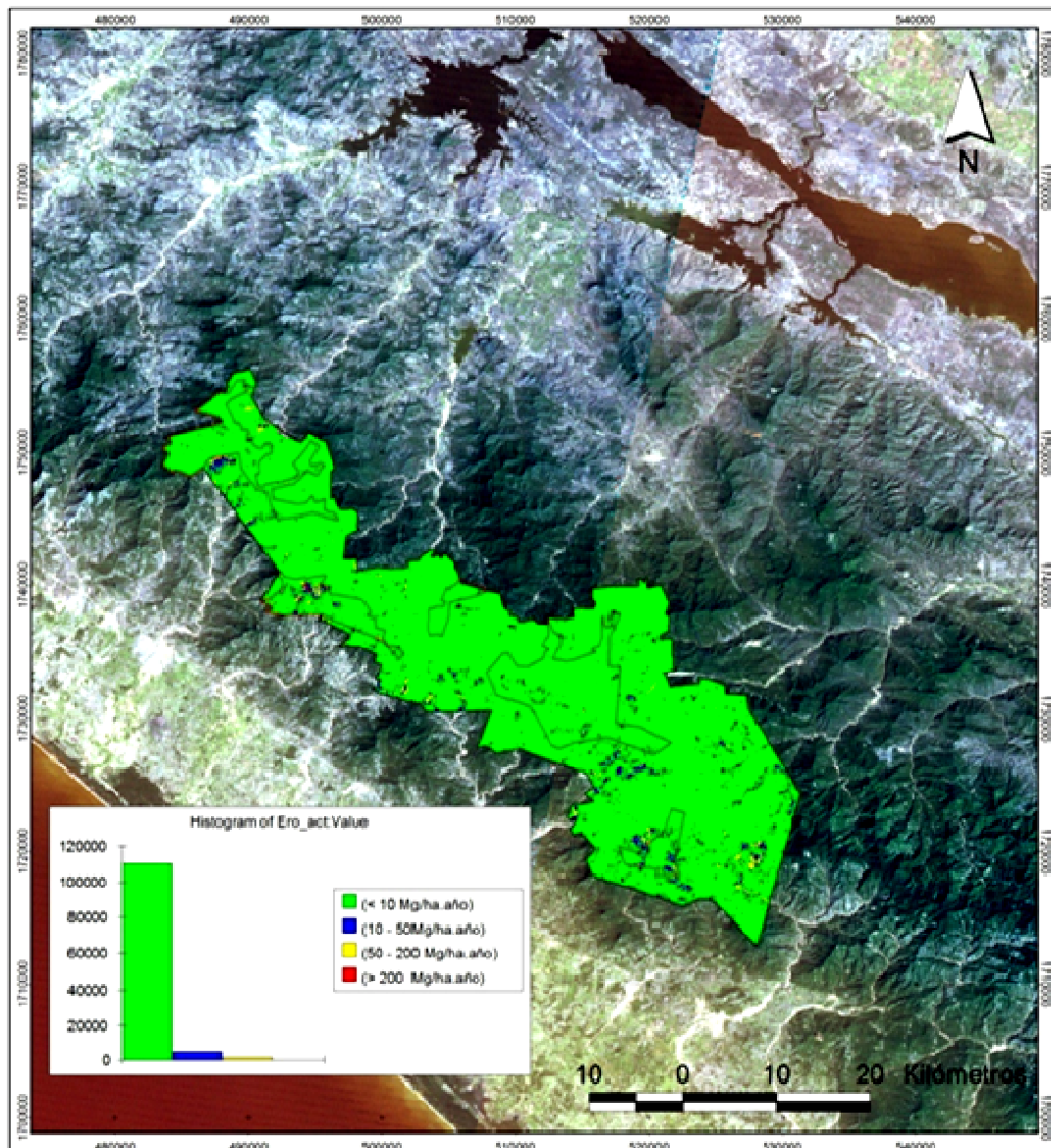









**Grafica 25.** Distribución de grados de E.H.A en la REBIMA.



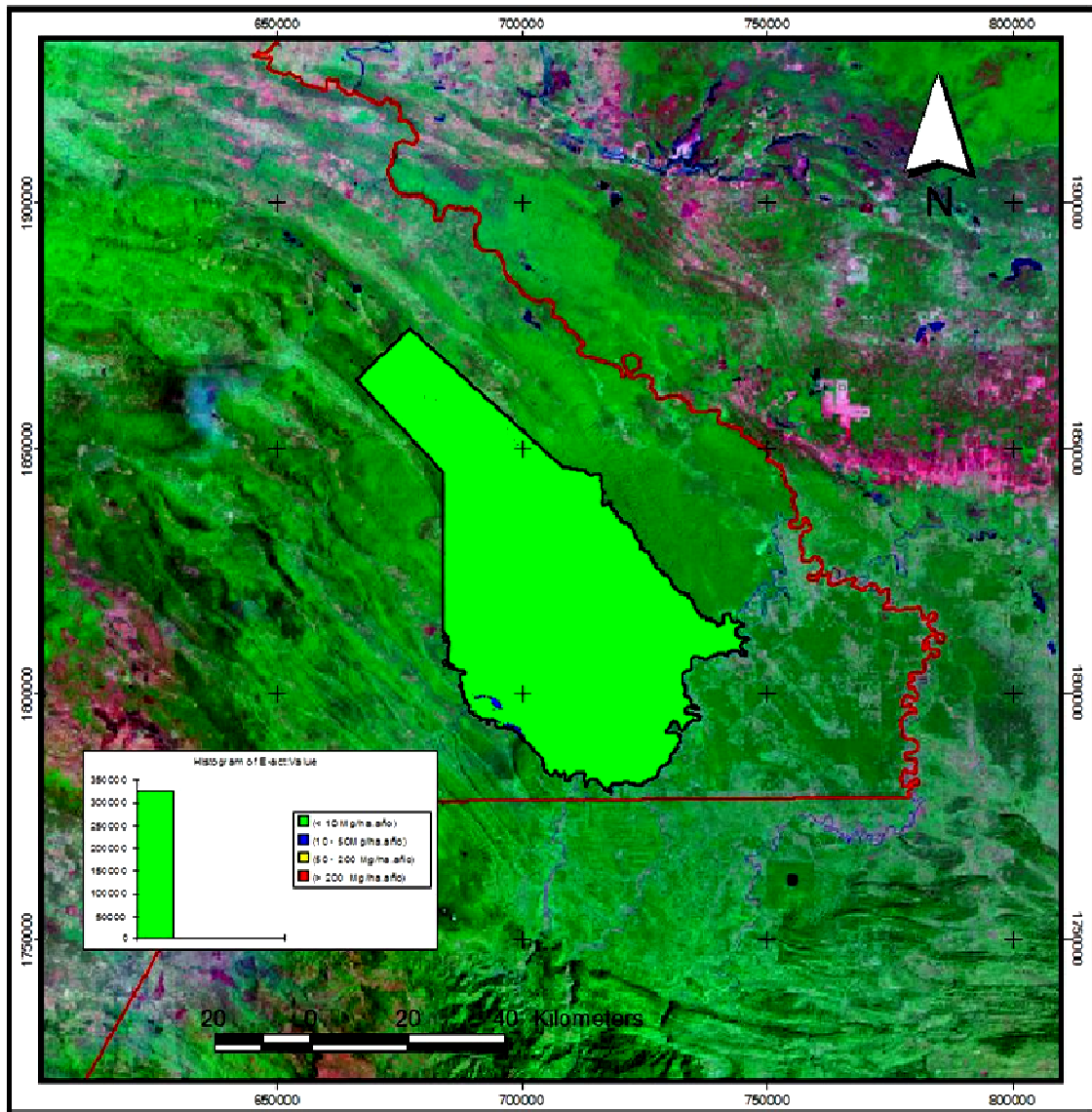
 <p><b>UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS</b> Facultad de Ingeniería y Dirección de Investigación y Posgrado. Maestría en Ciencias y Desarrollo Sustentable ELABORO: Ivan de Jesús Vázquez Montoya Tuxtla Gutiérrez, Chiapas 2011</p>	<p><b>Unidades de Mapa</b> Elipsoide: WGS 84 Proyección: UTM Zóna: 15 Escala: 1:2,489,286</p>	<p><b>SIMBOLOGÍA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; vertical-align: middle;"></span> Zona de estudio (REBITRI)</li> <li><span style="background-color: yellow; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; vertical-align: middle;"></span> EHP - Alta (50 - 200 Mg/ha.año)</li> <li><span style="background-color: red; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; vertical-align: middle;"></span> EHP Muy alta (&gt; 200 Mg/ha.año)</li> </ul>
--	---	--


**Mapa 13.-** Distribución de la E.H.A Alta y Muy alta en la REBIMA.



 <p><b>UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS</b> Facultad de Ingeniería y Dirección de Investigación y Posgrado MAESTRIA EN CIENCIAS EN DESARROLLO SUSTENTABLE ELABORO: Ivan de Jesus Vázquez Montoya Tuxtla Gutiérrez, Chiapas 2011</p>	<p><b>Unidades de Mapa</b> Elipsoide: WGS 84 Proyección: UTM Zóna: 15 Escala: 1:200,000</p>	<p><b>SIMBOLOGÍA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Área de Estudio (REBITRI)</li> <li> Zonas Núcleo</li> <li><b>Erosión Actual</b></li> <li> (&lt; 10 Mg/ha.año)</li> <li> (10 - 50Mg/ha.año)</li> <li> (50 - 200 Mg/ha.año)</li> <li> (&gt; 200 Mg/ha.año)</li> </ul>
--	---	--

**Mapa 14.** – Mapa de E.H.A de la REBITRI



 <p><b>UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS</b> Facultad de Ingeniería y Dirección de Investigación y Posgrado. Maestría en Ciencias y Desarrollo Sustentable ELABORÓ: Ivan de Jesus Vázquez Montoya Tuxtla Gutierrez, Chiapas 2011</p>	<p><b>Unidades de Mapa</b> Elipsoide: WGS 84 Proyección: UTM Zóna: 15 Escala: 1:2,489,286</p>	<p><b>SIMBOLOGÍA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px solid red; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Contorno Chiapas</li> <li><span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Área de Estudio (REBIMA)</li> <li><b>Erosión Hídrica Potencial</b></li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: green; margin-right: 5px;"></span> (&lt; 10 Mg/ha.año)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: blue; margin-right: 5px;"></span> (10 - 50 Mg/ha.año)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: yellow; margin-right: 5px;"></span> (50 - 200 Mg/ha.año)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: red; margin-right: 5px;"></span> (&gt; 200 Mg/ha.año)</li> </ul>
--	---	---

**Mapa 15. – Mapa de E.H.A. de la REBIMA**

## VIII.- Discusión.

Según el análisis de distribución de los factores R, K, LS y C en ambas zonas de estudio; demuestran que para la REBIMA la agresividad de la lluvia (Factor R) sobre el suelo está entre Moderada y Alta, mientras que en la REBITRI indica predominantemente valores de Moderados a Bajos (**Grafica 2**). Para la susceptibilidad del suelo (Factor K) indica para la REBIMA valores Moderados con el 66.86% de su territorio mientras que para la REBITRI el valor predominante es el Alto con el 90.96% de su superficie (**Grafica 7**). Para los valores de longitud y pendiente tenemos para la REBIMA valores Bajos con el 100% de su territorio y en la REBITRI tenemos valores Bajos y Moderados (Factor LS) con el 96.17% y 3.83% respectivamente (**Grafica 11**). La distribución de este factor es el que marca diferencia significativa entre la E.H.P de la REBITRI y REBIMA. Finalmente para los valores de cobertura vegetal (Factor C) tenemos para ambas zonas predominantemente valores Bajos (**Grafica 15**).

Se analizó a las A.N.P's en dos fases del modelo matemático, las que utilizan parámetros no modificables por el hombre que integran los factores R, K y LS la E.H.P, y E.H.A que además de los factores antes mencionados se incluye el factor C, que en principio si puede ser modificado directamente por la acción humana.

Para la primera fase realizando un análisis a la REBITRI se encuentra que la zona núcleo más afectada por la E.H.P es la denominada el Venado y la mas conservada es la zona núcleo el Triunfo. Por otra parte en la zona de Amortiguamiento observamos valores predominantes de E.H.P Altos con un 77% de su territorio, y finalmente en toda la reserva los valores de E.H.P son altos con un 77% de su territorio y para la REBIMA encontramos el 65% de su territorio con valores Bajos.

Incorporando el factor cobertura vegetal para el análisis de la E.H.A encontramos que la zona núcleo que más ha sido afectada nuevamente es la denominada el venado con el 7% de la superficie con E.H.A Alta y Muy alta, y la menos afectada es la Zona Núcleo Cuxtepec con el 99% de su superficie de E.H.A Baja. En la zona de amortiguamiento encontramos que el 2% de la superficie tiene E.H.A Alta. Finalmente la REBITRI en conjunto presenta en el 2% de superficie valores de E.H.A Altos, mientras que en la REBIMA el 99% de su superficie son valores de E.H.A Bajos.

En el trabajo de Ramírez Leda, 2010 en donde estima la pérdida de suelo por erosión hídrica utilizando el modelo de la E.U.P.S en la cuenca del Río Juramento – Salta, Noroeste de Argentina determina que para la E.H.P el 47% de la superficie no presenta problemas graves de erosión, mientras que para la REBITRI y REBIMA el cero % y 65% no presentan problemas graves de erosión hídrica respectivamente. Por otra parte para la E.H.A la cuenca del Río Juramento no presenta graves problemas de erosión en el 67% del territorio, mientras que en la REBITRI y la REBIMA el 93% y el 97% no presentan problemas graves de erosión hídrica respectivamente.

## **X.- Recomendaciones.**

- Actualizar los datos de suelo ya que son valores generados en 1986, y evidentemente los suelos no han mantenido sus propiedades físicas 25 años después.
- Recolectar datos de pérdida de suelo por erosión hídrica. En el **anexo 5**, se presenta la metodología para obtener datos de erosión hídrica en campo, este apartado quedó inconcluso por falta de datos, por este hecho es importante hacer estas capturas de datos para evaluar la sensibilidad del modelo de la E.U.P.S en las A.N.P's.
- Para futuras investigaciones en donde sea necesario utilizar valores de cobertura vegetal, se recomienda emplear los métodos de percepción remota (**Anexo 7**).
- Es necesario planear estrategias de prevención y restauración del recurso edafológico en la REBITRI específicamente en la zona núcleo el Venado, ya que presentan valores Altos y Muy altos de E.H.P y E.H.A (**mapa 6 y 11**), al igual que en las zonas de amortiguamiento marcadas en el **mapa 7 y 12**.
- De igual forma en la REBIMA necesita atención inmediata para prevenir la E.H.P y detener la E.H.A Alta que se ubica en la parte suroeste de la reserva (**Mapa 8 y 13**).

Los siguientes son planes de restauración recomendados para aplicar en ambos escenarios.

- Como por ejemplo la Agricultura de Conservación (zonas con actividad agrícola). (López B. Walter, 2011)
- Reforestación a los bosques siguiendo como guía el trabajo que lleva por nombre "Reforestación comunitaria en la cuenca del Río Cuxtepeques, La Concordia, Chiapas, México".



## **IX.- Conclusión**

Resolver el modelo matemático de la E.U.P.S, propuesto por WISCHMEIER, y SMITH (1978), permite obtener una visión a escala regional de los sectores más susceptibles a la erosión hídrica en la REBITRI y la REBIMA; con la finalidad de orienta la toma de decisiones políticas para la conservación y desarrollo sustentable del recurso edafológico.

## XI. - Referencias

- Arnold, J.G. y Williams, J.R. - (1994) - "S.W.R.R.B - A Watershed Scale Model for Soil and Water Resources Management. ", U.S Department of Agriculture, Agricultural Research Service Grassland, Soil and Water Research Laboratory. - Temple, USA
- Arreola-Muñoz A. 2004. Marginación y Cambio de uso del suelo en La Reserva de La Biósfera El Triunfo, Chiapas en Pérez-Farrera M. A., Martínez-Meléndez N., Hernández-Yáñez A. y Arreola-Muñoz (eds) La Reserva de la Biósfera El Triunfo, tras una Década de Conservación. 1 Ed. Edit. UNICACH.
- Baumann, J., J.L. Arellano Monterrosas, S. González. 2002. Evolución del programa de monitoreo de erosión en la cuenca del río Huehuetán, Chiapas. México, D.F.
- BIOCORES, 2009. "DIVERSIFICACIÓN Y RESTAURACIÓN DE PAISAJES TRANSFORMADOS EN COMUNIDADES DE LA RESERVA DE LA BIÓSFERA EL TRIUNFO, CHIAPAS, MÉXICO" PROGRAMA DE RESTAURACIÓN, CLAVE DEL PROYECTO: FONCET -2008 – 01. Chiapas, México.
- CASANOVA PM. 2006. "Conservación de Suelos: Predicción de la Erosión Hídrica Vía Modelo U.S.L.E.". Chile. En [http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias\\_agronomicas/c20036413224\\_con\\_usle\\_2003.pdf](http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias_agronomicas/c20036413224_con_usle_2003.pdf)
- Castillo, A., M. Rosales-W, et al. (1996) "VULNERABILIDAD Y FACTORES CONDICIONANTES DE LA EROSIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO GUADALFEO VERTIENTE AL EMBALSE DE RULES (GRANADA)." **Volume**, 4 DOI:
- CNA-IMTA-CP,(1997).DIAGNOSTICO DE EROSIÓN POTENCIAL, ACTUAL Y PREMISIBLES ENTRE EL RIO NOVILLERO Y EL VADO ANCHO, COSTA DE CHIAPAS,MÉXICO.
- Centro Nacional de Investigaciones Agrarias. 1982. DETERMINACIÓN DE ESTRATEGIAS DE DESARROLLO INCORPORANDO CRITERIOS ECOLÓGICOS EN EL NORESTE DE CHIAPAS. Memoria de la investigación. México. Tomo 1-5.

- CHANDER, G., MARKHAM, B. (2003). Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 41(11), 2674-2677.
- Chiappy, C. and L. Gama (2004) "MODIFICACIONES Y FRAGMENTACIONES DE LOS GEOCOMPLEJOS TROPICALES DE LA PENINSULA DE YUCATAN." **Volume**, 11 DOI: 17-25
- Childs and Colin, 2004. Interpolating Surfaces in Arc GIS Spatial Analyst. Arc User ESRI, Redlands, CA
- Cortés T., H. G., 1991, CARACTERIZACIÓN DE LA EROSIDAD DE LA LLUVIA EN MÉXICO UTILIZANDO MÉTODOS MULTIVARIADOS, tesis de maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México, 168 p.
- Díaz – R, J. R. (2008). "DETERMINACIÓN DE ÍNDICES DE EROSIÓN DE SUELOS APLICANDO ANÁLISIS DE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (S.I.G) PARA LA LOCALIDAD DE SAN ANDRÉS EN LA PROVINCIA DE PINAR DEL RÍO, CUBA LA HABANA". **Volume**, 14.
- Díaz, B. G. (2006). MODELIZACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA POTENCIAL EN CUENCAS DE MONTAÑA. VI JORNADAS NACIONALES DE GEOGRAFÍA FÍSICA Rio Gallegos, Unidad Académica Rio Gallegos\_(UNPA): 11.
- DOF (1994). Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-1994. Tomo CDLXXXVIII, núm. 10, p. 2, Sección 1. México, D.F., lunes 16 de mayo de 1994.
- Edeso, J. M., P. Marauri, et al. (1997) "DETERMINACIÓN DE LA TASA DE EROSIÓN HÍDRICA EN FUNCIÓN DEL MANEJO FORESTAL: LA CUENCA DEL RÍO SANTA LUCÍA (GIPUZKOA)." **Volume**, 28 DOI:
- FIDA y FMAM., 2002 HACER FRENTE A LA DEGRADACIÓN DE LA TIERRA Y A LA DESERTIFICACIÓN, Roma Italia, FIDA.
- Figuroa, S.; Amante, O.; Cortés, T.; Pimentel, L.; Osuna, C.; Rodríguez, O. y Morales, F., 1991, MANUAL DE PREDICCIÓN DE PÉRDIDAS DE SUELOS POR EROSIÓN, COLEGIO DE POSTGRADUADOS, MONTECILLO, ESTADO DE MÉXICO, SARH.

- GARCÍA RODRÍGUEZ, JL. 2007. "TEMA 17: Modelos paramétricos Modelo U.S.L.E. y modelo R.U.S.L.E.". Unidad Docente de Hidráulica e Hidrológica Departamento de Ingeniería Forestal. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. <http://ocw.upm.es/ingenieriaagroforestal/hidrologiade-superficies-y-conservacion-de-suelos/ocw-jose-luis-pdf/Tema17.pdf/view>
- GARCÍA A, MA. 2005. "LAS ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS EN LOS TERRITORIOS INDÍGENAS Y CAMPESINOS DE MÉXICO: ¿CONSERVACIÓN ECOLÓGICA CON LOS PUEBLOS Y PARA LOS PUEBLOS Ó PARA VIL GANANCIA DE LAS EMPRESAS MULTINACIONALES?, RED DE COMUNICADORES BOCA DE POLEN)
- GASPARI, FJ & JE BRUNO. 2003. Diagnóstico de degradación ambiental por erosión hídrica en la cuenca del arroyo Napostá Grande. Ecol. Austral, **13**:109-120.
- Gómez-Velasco et al., 2004. Estructura y composición florística del Bosque Mesófilo de Montaña del Polígono I, Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, México en Pérez-Farrera M. A., Martínez- Meléndez N., Hernández-Yáñez A. y Arreola-Muñoz (eds) La Reserva de la Biósfera El Triunfo, tras una Década de Conservación. 1 Ed. Edit. UNICACH.
- González, G. (2005). LA EROSIÓN DE LA TIERRA: UN PROBLEMA DEL CAPITALISMO. Revista Venezolana de Sociología y Antropología. VENEZUELA, FERMENTUM. **15**: 13.
- Gustavo-R, A., M. E. Ruiz, et al. (2007) "Riesgo de Erosión Hídrica en la Cuenca Hidrográfica La Güira, Río Cuyaguaje, Cuba." **Volume**, 14 DOI:
- Greenlee, D. D.1987. Raster and Vector Processing for Scanned Line work: Photogramme-tric Engineering and Remote Sensing. Vol. 53, No. 10, October 1987, pp. 1383–1387.
- Hagen, L.J. 1995. WEPS technical documentation: erosion submodel. SWCS WEPP/WEPS Symposium. Ankeny, IA.
- Helbig, C. (1964). El Soconusco y su zona cafetalera en Chiapas. ICACH, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

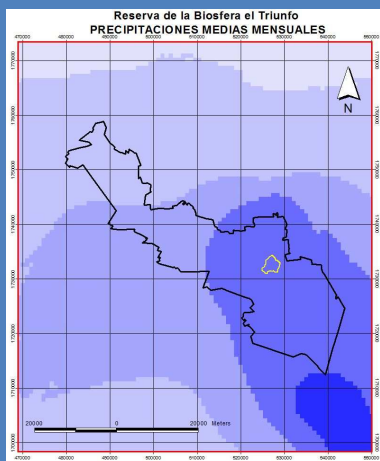
- INE (2000). Plan Estratégico y Financiero de la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas. Documento interno, Instituto Nacional de Ecología, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 22 pp.
- J-Gaspari, F. y J. E-Bruno (2003) "Diagnóstico de degradación ambiental por erosión hídrica en la cuenca del arroyo Napostá Grande." **Volume**, DOI:
- IHN (1993). Plan Operativo 1993 para la Reserva de la Biósfera El Triunfo. Documento interno, Gobierno del Estado de Chiapas, Instituto de Historia Natural, Departamento de Áreas Naturales. 92 pp.
- López B. Walter (2011), "Potencial de la AC en Chiapas", Revista EnIACe, año II, No 5, Edit. CIMMYT.
- López B. Walter y Magdaleno G. Reynol, (2010) "Salvemos a la Reserva de la Biósfera El triunfo", desplegable informativo No 1, INIFAP.
- López, V., M. (2007) "EROSIÓN Y REDISTRIBUCIÓN DEL SUELO EN AGROECOSISTEMAS MEDITERRÁNEOS: MODELIZACIÓN PREDICTIVA MEDIANTE S.I.G Y VÁLIZACIÓN CON Cs (CUENCA DE ESTAÑA, PIRINEO CENTRAL)" Tesis Doctoral, Departamento de Ciencias de la Tierra (Áreas de Geodinámica Extrema) Facultad de Ciencias – Universidad de Zaragoza.
- Marin-Caraza, E. O. (2006) "PREDICCIÓN DE LAS PERDIDAS DE SUELO POR EROSION HIDRICA EN LA MICROCUENCA CONCORDIA, MUNICIPIO DE ARMADILLO DE LOS INFANTE." **Volume**, 6 DOI:
- MÁRMOL, LA. 2006. "Introducción al manejo de Cuencas Hidrográficas y Corrección de Torrentes". Cátedra de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta. Salta, Argentina.
- Morales N., and C.P. Saavedra; (1998): APORTES DEL S.I.G PARA LA DETERMINACIÓN DEL DÉFICIT DE AGUA DENTRO DEL COMPONENTE DE RIEGO DEL PROYECTO MÚLTIPLE MISICUNI. Tesis M.P. CLAS-ITC-UMSS, Cochabamba, Bol. 98 p.
- Müllerried, F.K.G. (1982). La geología de Chiapas. 2a. ed. Publicaciones del Gobierno del Estado de Chiapas, México. 175 pp. (Colección Libros de Chiapas).

- NÚÑEZ, V. 2006. "Clase oral y pública. II erosión hídrica y degradación. 6. Erosión hídrica I". IRNED, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta. Salta, Argentina. Inédito
- Pérez-Gallardo, S. J. (2001). MODELO PARA EVALUAR LA EROSION HIDRICA EN COLOMBIA UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA. ESPECIALIZACION EN INGENIERIA AMBIENTAL. BOGOTA, UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. **ESPECIALISTA: 77.**
- Quiñónez, E. y F. Dal Pozzo (2008) "DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL RIESGO DE DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS POR EROSIÓN HÍDRICA EN EL ESTADO LARA, VENEZUELA." **Volume**, 12 DOI:
- Ramírez-León, J. M. (2009). PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN CUENCAS: REVISIÓN DE CRITERIOS Y APLICABILIDAD A LA CUENCA DEL RÍO APULCO. FACULTAD DE INGENIERÍA - DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO CAMPUS MORELOS. JIUTEPEC, MORELOS, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. **POSGRADO: 205.**
- Santacruz L. Germán. (2011). "Estimación de la erosión hídrica y su relación con el uso de suelo en la cuenca del Rio Cahoacán, Chiapas, México", Aqua-LAC, Vol.3, No.1.
- Suárez-Díaz, J. (2001). CONTROL DE EROSIÓN EN ZONA S TROPICALES. Bucaramanga - Colombia, Universidad Industrial de Santander: 556.
- Tejerina – D, F, G. (2010) "DETERMINACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA POTENCIAL DE LOS SUELOS DE LA ALTA CUENCA DEL RÍO BERMEJO (SALTA) IMPLEMENTADO EN FORMATO S.I.G." Tesis, Universidad Nacional de Salta, Argentina.
- Velazco-Herrera, J. A. (2008). EROSIÓN HÍDRICA DEL ESTADO DE COLIMA, MÉXICO. LACANDONIA. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, UNICACH. **2: 141.**
- VILLANUEVA, G y R OSINAGA. 2004. "Uso Sustentable de los Suelos". Cátedra de Uso Sustentable de los Suelos. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta. Salta, Argentina.
- Wischmeier,W.H. and D.D. Smith (1978).PREDICTING RAINFALL EROSION LOSSES.228. Washington D.D., Agriculture Handbook 69.

## **XI.- ANEXOS**

**Estaciones Meteorológicas  
(datos de precipitación),  
Interpolate Grid vía  
kriging**

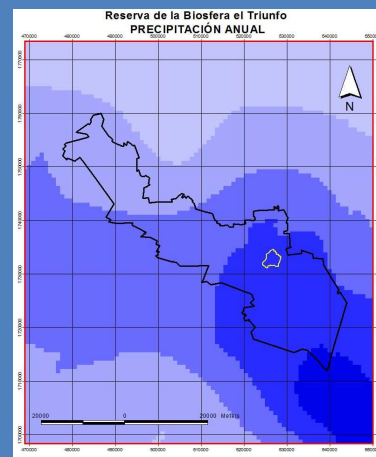
**Map calculator (suma de  
los Grid de cada mes)**



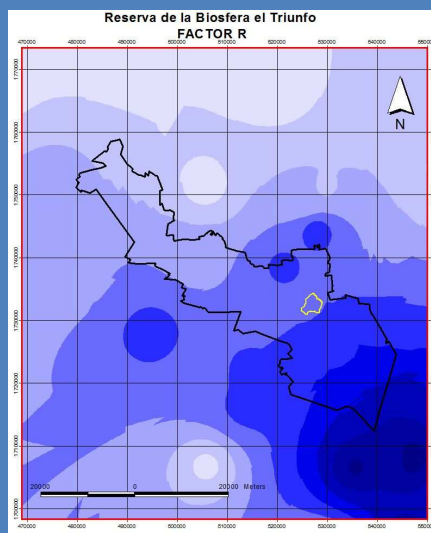
**Map Calculator, se aplica la  
formula (cortes, 1991).**

$$R = 2.4619Pa + 0.006067Pa^2$$

**Map calculator (suma de  
los Grid de cada mes)**



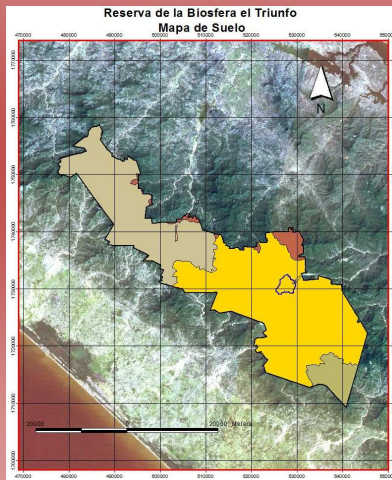
**Factor R**



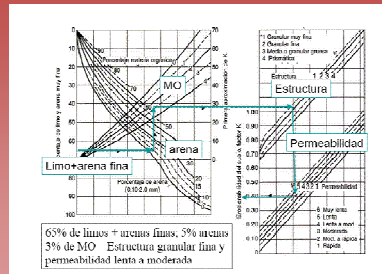
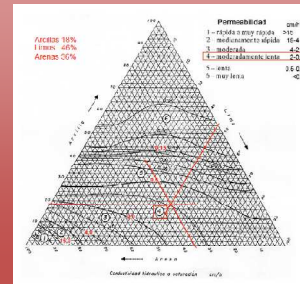
**Anexo 1. Diagrama de Flujo para el cálculo del factor R.**



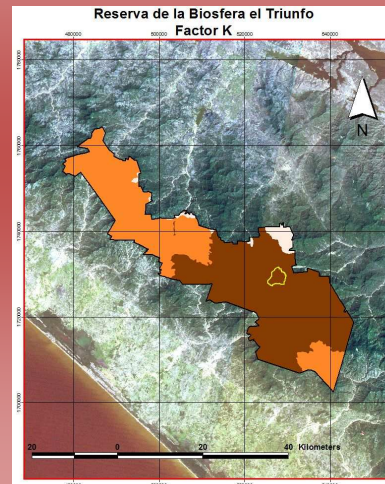
## Mapa Temático-Edafológico



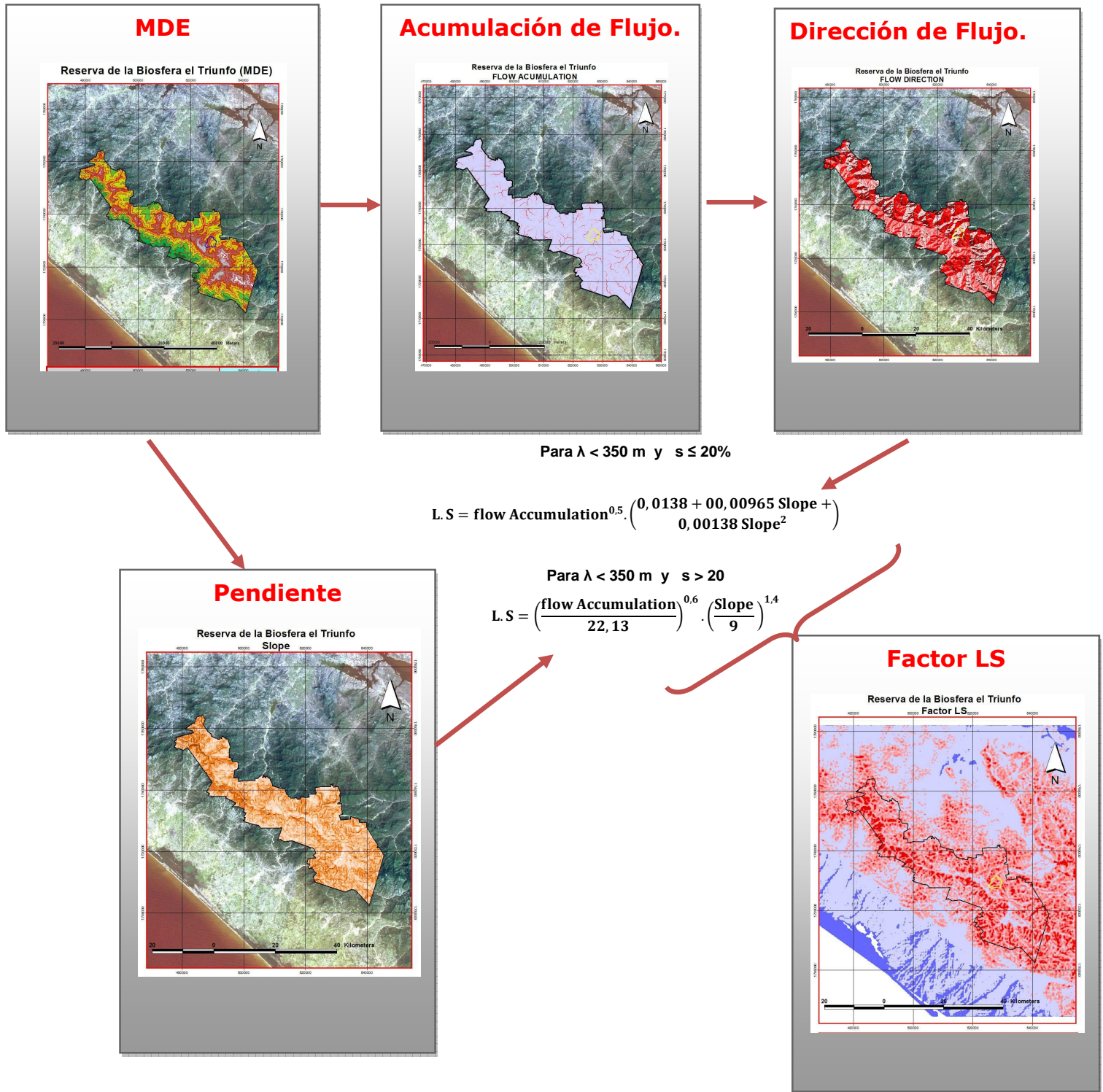
## Monogramas



## Factor Erodabilidad "k"

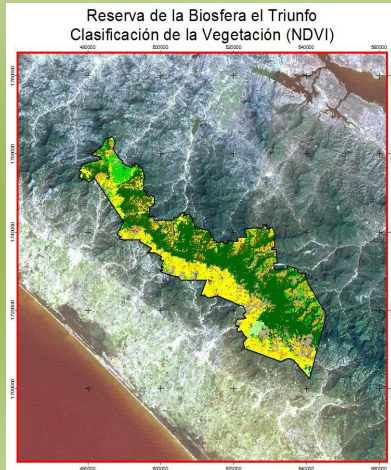


Anexo 2. Diagrama de Flujo para el cálculo del factor K



Anexo 3. Diagrama de Flujo para el cálculo del factor LS

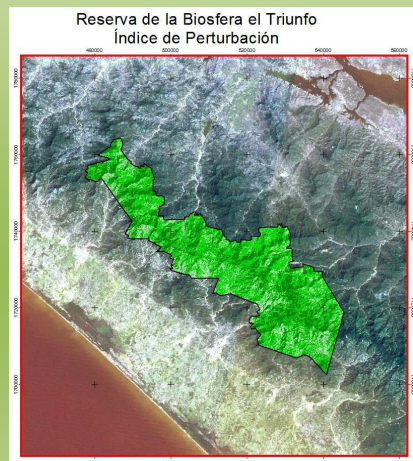
## Clasificación de la Vegetación



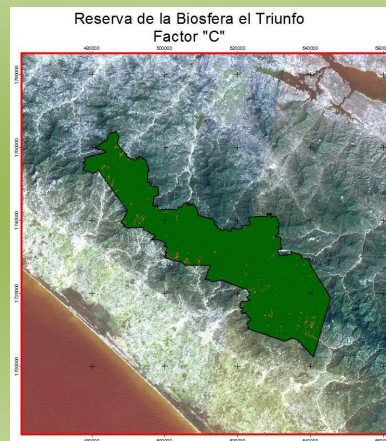
## Tabla de WISCHMEIER

Clave	Nombre	Valor "C"
AU	Área Urbana	0.000
PH	Pradera Herbácea	0.018
MN	Manglar	0.000
PM	Palmera	0.200
CA	Cuerpo de Agua	0.000
HU	Huertas	0.200
AR	Agricultura de Riego	0.375
PL	Palmera - Limón	0.200
AT	Agricultura de Temporal	0.150
CN	Caña	0.270
PA	Pastizal	0.100
BO	Bosque	0.001
SD	Suelo desnudo.	1.000

## Índice de Perturbación

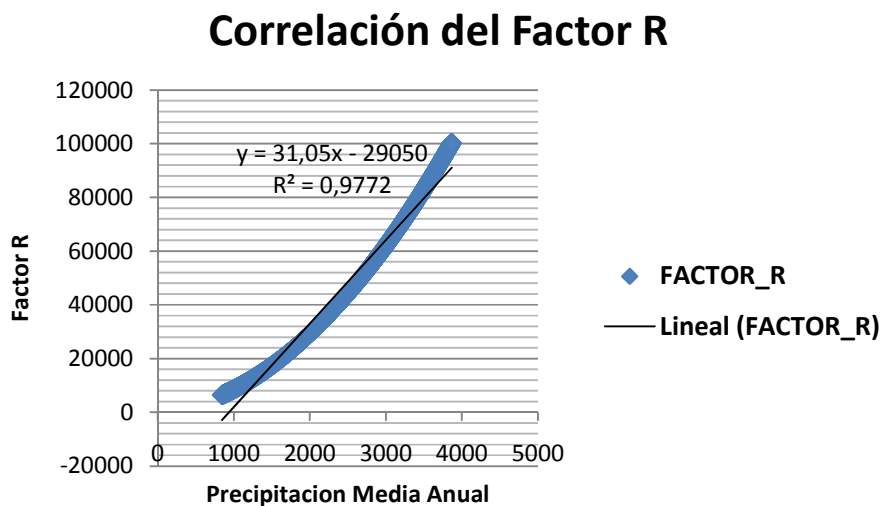


## Factor Cobertura Vegetal "C"



Anexo 4. Diagrama de Flujo para el cálculo del factor C.

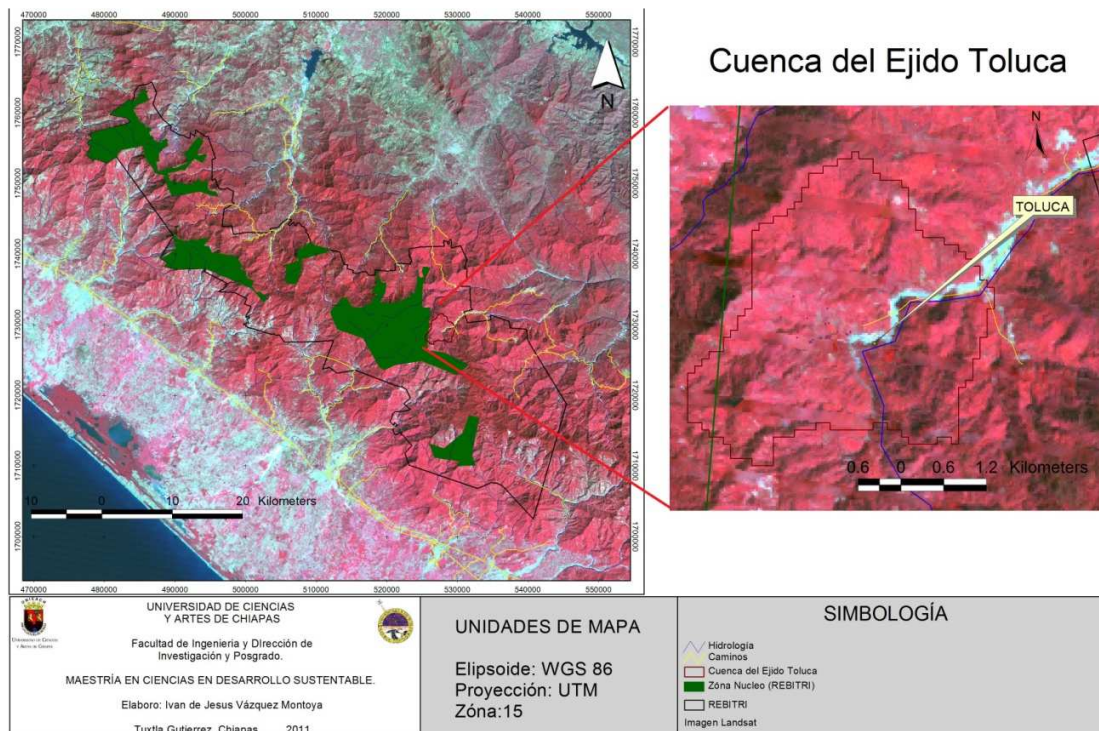
## Anexo 5.- Correlación de Erosividad respecto a precipitación media anual.



## Anexo 6.- Muestreo en campo

Con la finalidad de tener un compendio de datos de erosión en una zona de la REBITRI se determinó un área de estudio con las siguientes características: variedad de vegetación y variedad topográfica; esto con el fin de obtener datos de erosión lo bastante diversos.

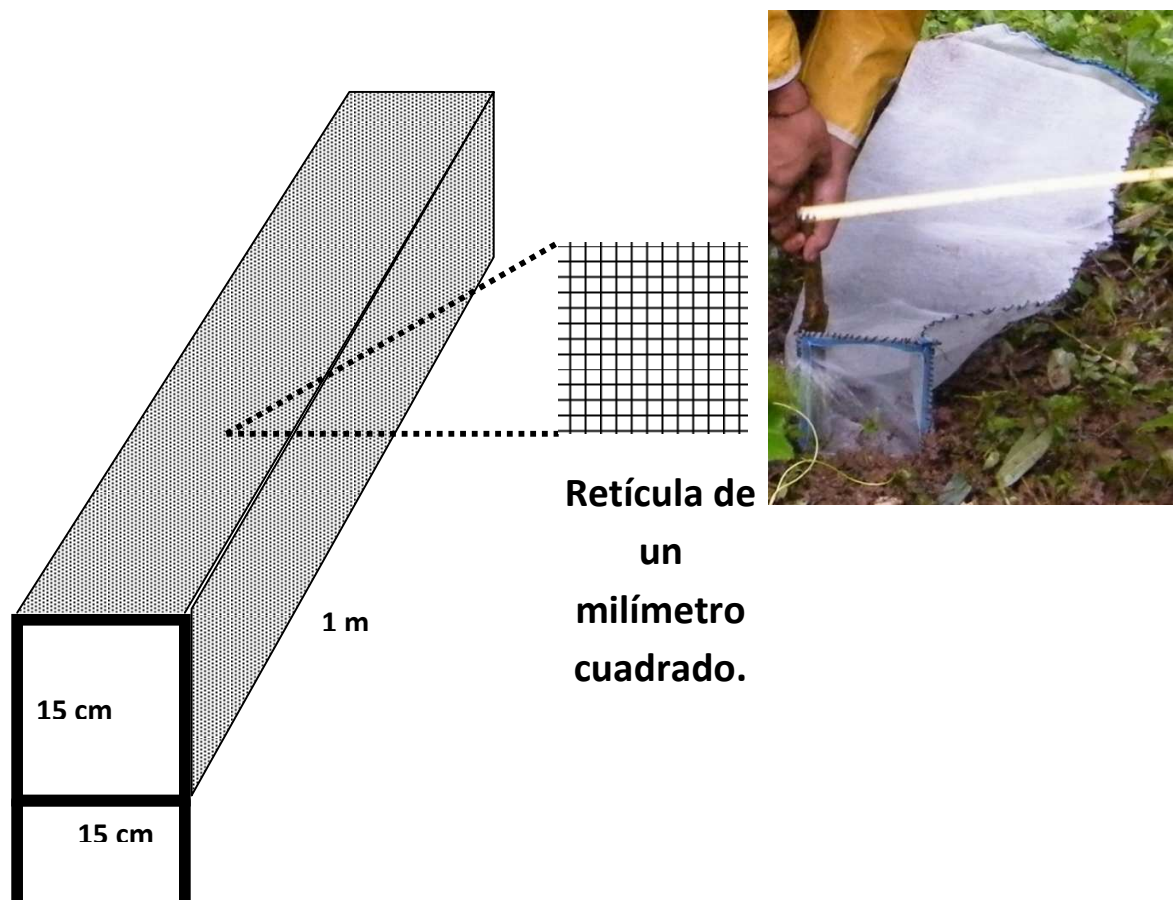
Se generó en el Software ArcView 3.2 con la opción **HYDRO – HYDROLOGIC MODELING** una serie de cuencas probables para toda la REBITRI, después de obtener las cuencas probables se determinó en base a las características antes mencionadas, la cuenca que abarca gran parte del territorio del ejido Toluca, Municipio de Montecristo de Guerrero.



Cuenca del ejido Toluca, de Montecristo de Guerrero.

Esta cuenca tiene un área aproximada 11,157.00 Ha, con coordenada central de 92° 44' 17" Norte de Latitud y 15° 38' 22" Oeste de Longitud.

La obtención de datos físicos se realizó con ayuda de trampas que se crearon para este fin; las características de las trampas se realizaron en función de los materiales disponibles. Fueron trampas que aproximadamente un metro de longitud y con una base y altura de 15 cm. Con la finalidad de captar un aproximado de 0.0225 m<sup>3</sup> de recurso edafológico, la retícula tiene una dimensión de un mm<sup>2</sup> por cada abertura, en la siguiente se muestran las características de la trampa.



Los puntos de muestreo se eligieron en campo y fueron determinados por las cárcavas que se encontraban en las veredas que utiliza la población para trasladarse a sus zonas de trabajo (Cafetales, cultivos y zonas de recolección). El día 7 de julio de 2010 en la cuenca del ejido Toluca fueron colocadas un total de 40 trampas (Mapa 4), pero únicamente se contabilizan 37 ya que tres fueron desechas por la corriente, el datos recolectado fue cantidad de recurso edafológico donde se encontraba la cárcava.

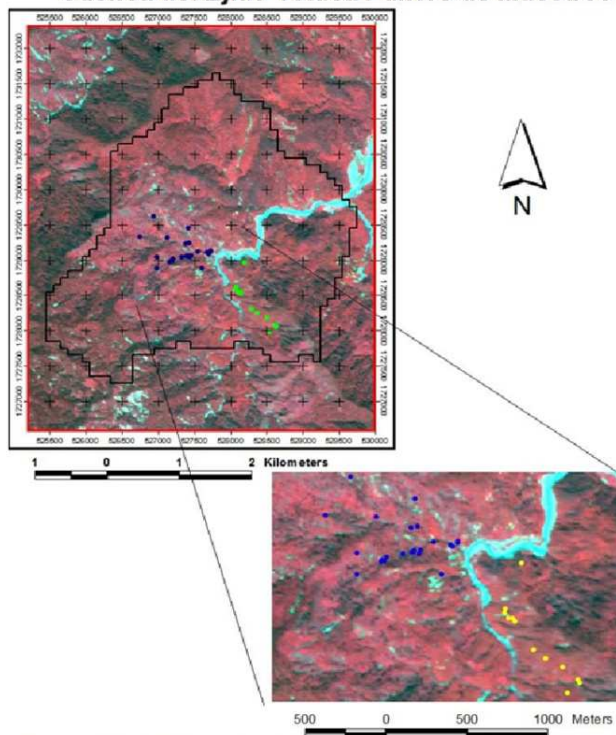
ID	X	Y	PESO_DE_Muestra
1	528934	1729624	26
2	528751	1729330	10

3	528981	1728881	26
4	527411	1729451	24
5	527432	1729245	4
6	527127	1729316	6
7	527385	1729230	15
8	527388	1729048	12
9	527206	1729014	12
10	527189	1728981	0
11	527169	1728989	10
12	526984	1729044	6
13	527163	1728973	2
14	527324	1729038	33
15	527401	1729054	1
16	527407	1729057	0
17	527400	1729048	0
18	527442	1729036	2
19	527552	1729122	5
20	527608	1728880	1
21	527453	1729064	0
22	527677	1729101	0
23	527695	1729086	1
24	527733	1729119	0
25	527733	1729129	0
26	528201	1728962	0
27	528077	1728589	0
28	528105	1728544	1
29	528157	1728522	15
30	528294	1728304	0
31	528380	1728242	0

32	528506	1728177	0
33	528620	1728079	0
34	528636	1728056	0
35	528541	1727978	0
36	528137	1728543	5
37	528083	1728614	21

Datos recabados en campo.

**Cuenca del Ejido Toluca Puntos de Muestreo**

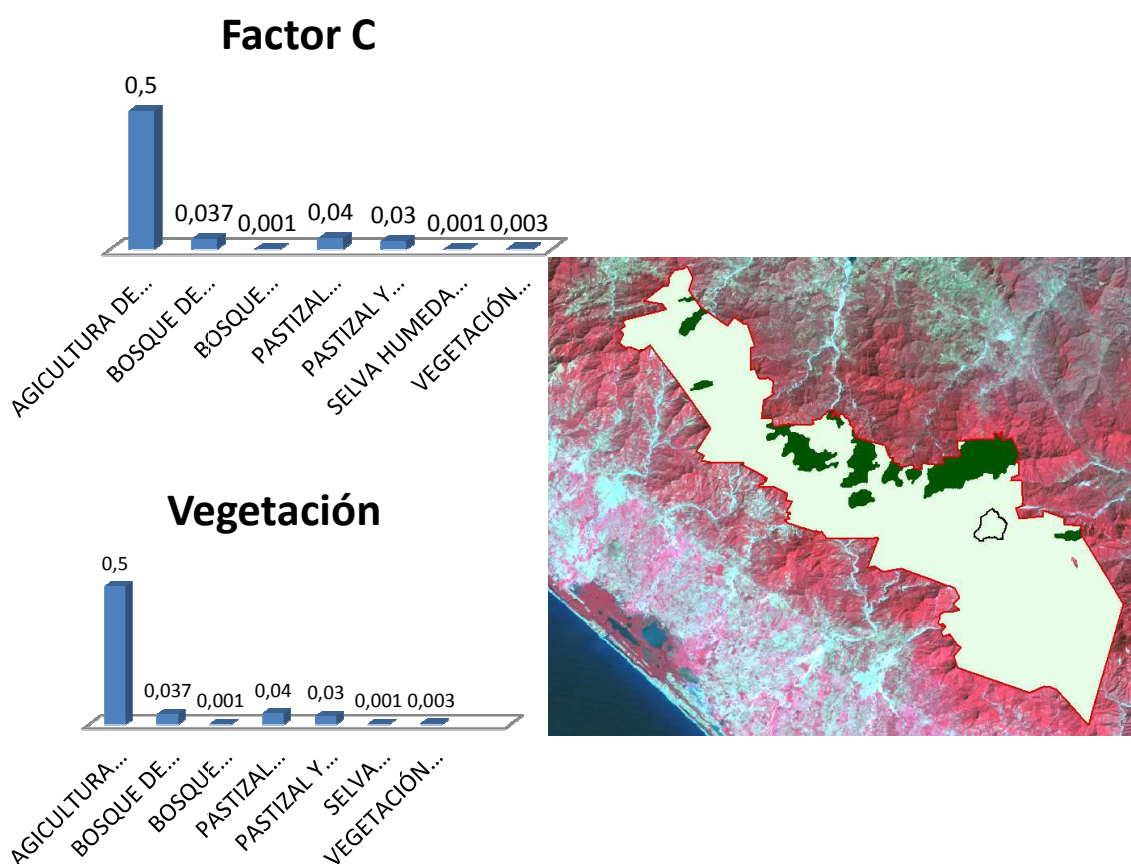


Puntos de Muestreo en la cuenca del Ejido Toluca.



### Anexo 7.- Estimación del Factor C.

Para determinar el factor C (Uso y cobertura Vegetal) se utilizaron Imágenes de satélite y todo el proceso descrito con anterioridad, pero además se determinaron los valores de este factor utilizando la información publicada por INEGI, 2002 en el proyecto estatal de ordenamiento territorial, con la finalidad de determinar la fiabilidad de este método.

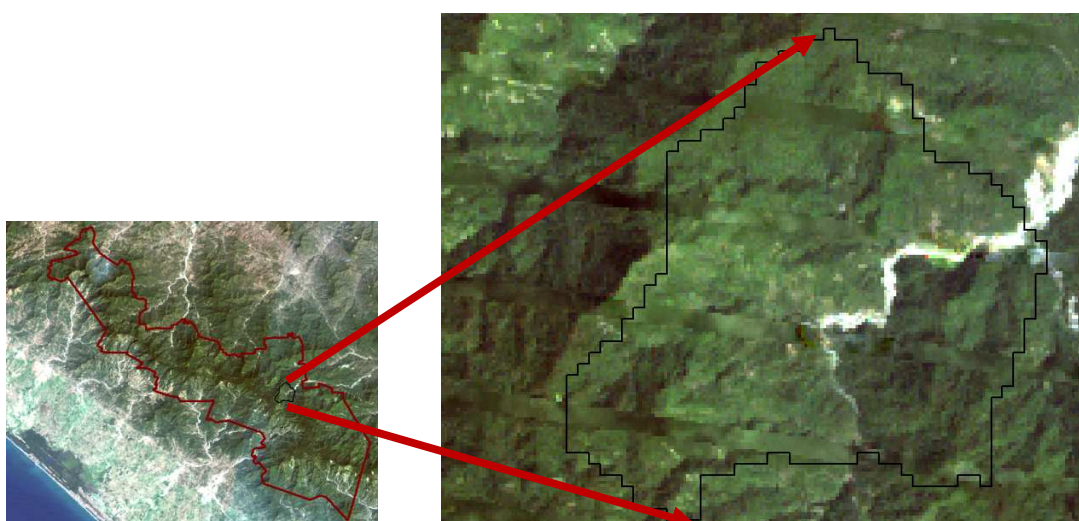


- a) Valores de Factor C y superficie ocupada en la REBITRI, con datos publicados por INEGI

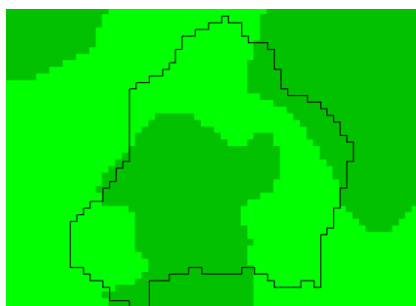
La distribución de los valores del factor C con el otro método se encuentra en el sub capítulo número 4.7.

Para determinar la fiabilidad de los valores se hará un análisis visual comparando ambos valores respecto a una imagen landsat ETM + del 2007 en una cuenca con el nombre Toluca (**Anexo 5**).

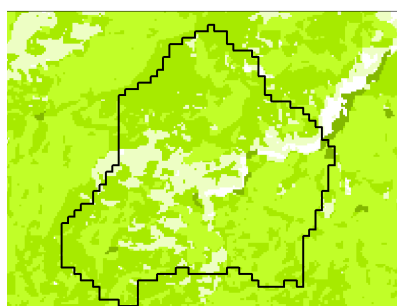
En principio con el análisis de las respectivas graficas observamos que con los datos obtenidos con imágenes de satélite existen valores de uno, indicando, acumulación de sedimentos y deslaves entre otros; y además valores de cero indicando cuerpos de agua, observamos que desde allí discrimina estas características de la zona de estudio. Y esto queda demostrado con el análisis hecho en la cuenca en donde detectamos una gran acumulación de sedimentos a lo largo del rio negro, rodeada por abundante vegetación y zonas descubiertas dispersas en toda la cuenca, como lo muestra la siguiente imagen (a).



a) Imagen de satélite Landsat ETM + del 2007.



b) Grid del factor C (datos INEGI)



c) Grid del factor C (Tratamiento de Imágenes)

En la Imagen (b) que fue obtenida con datos de INEGI únicamente podemos encontrar dos categorías con valores de 0.001 y 0.100 que representan a bosques mesofilos de montaña y vegetación secundaria respectivamente. Mientras que en la imagen (c) que fue obtenida con el tratamiento de imágenes de satélite descritos en el subcapítulo 6.5, se presentan cinco clasificaciones para la cuenca, que va desde valores de 0.0, 0.1, 0.001, 0.003 y 1.0 que pertenecen a cuerpos de agua, selva media subperennifolia y vegetación secundaria, bosque mesofilo de montaña, cafetales y áreas sin cobertura vegetal, respectivamente.

Es interesante la similitud con las condiciones que encontramos en campo alcanzadas con el tratamiento de imágenes para determinar el factor C, por este hecho se propone este método para futuras investigaciones.

## Contacto:

Iván de Jesús Vázquez Montoya

Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas

Facultad de Ingenierías

Libramiento Norte Poniente S/N Col. Lajas Maciel

[ivajesvm@gmail.com](mailto:ivajesvm@gmail.com)

<https://sites.google.com/site/sigunicachm>