



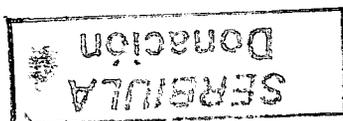
Facultad de Ingeniería
Universidad de los Andes
Mérida, Venezuela

www.bdigital.ula.ve
**Modelo para Estimar la Erosión en la Zona
Protectora del Embalse Boconó Tucupido**

Autor: Ing. Lennys Camargo

Tutores: PhD. Magdiel Ablan

Ing. MSc. Manuel Álvarez



PROYECTO DE GRADO ENTREGADO A LA ILUSTRE UNIVERSIDAD DE LOS
ANDES PARA OPTAR AL TÍTULO DE MAGISTER SCIENTIAE EN MODELADO Y
SIMULACIÓN DE SISTEMAS

2.010

Dedicatoria

*A mis padres y esposo, por su gran apoyo y tolerancia
en esta etapa de mi vida.....*

Resumen

En este trabajo se evaluó el grado de erosión y acarreo de sedimentos mediante el uso combinado de dos modelos predictivos en la zona protectora del Sistema de Embalses Boconó Tucupido en un área de 35.213 ha entre los estados Barinas y Portuguesa. El análisis se efectuó con dos alcances distintos del sistema hidrológico a) zona protectora, para lo cual se empleó el modelo USLE (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo), y b) siete subcuencas del área, mediante el empleo del modelo MUSLE (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Modificada), para ello se utilizó, un sistema de información geográfica ArcView GIS 3.2, hojas de cálculo, software estadístico, modelo de simulación continuo (EPIC), información cartográfica, satelital y datos históricos (estación Sipororo). Se obtuvo un grado de erosión bajo en 38,50% del área estudiada, la erosión moderada ocupa 41,89%, la media 6,35%, la erosión alta 5,67% y la muy alta y crítica 4,16% y 3,42% respectivamente. Los índices más altos de erosión se presentan en la zona alta, margen derecha y sur del sistema de embalses. La producción de sedimentos aportadas por las subcuencas en estudio para la lluvia máxima de 154,80 mm presenta los resultados siguientes: la subcuenca más inestable Qda. Riquera (1.652 ha) con 8,39 Mg/ha/año, Qda. Barnizales (4.065 ha) con 2,47 Mg/ha/año, Qda. Higuerones (864 ha) aportó 2,31 Mg/ha/año, Sin Nombre 2 (1.722 ha) con 0,82 Mg/ha/año, la subcuenca del Río Tucupido (7.043 ha.) aportó 1,77 y por último, Sin Nombre 1 (3.822 ha.) y Boconó (3.664 ha.) aportaron 0,83 y 2,89 Mg/ha/año, respectivamente. El factor más influyente en el proceso erosivo y posterior acarreo de sedimentos en la zona protectora del sistema de embalses, es la pendiente.

Palabras Claves: USLE, MUSLE, SIG, Erosión, Sedimentación, Embalse Boconó Tucupido.

Agradecimientos

Prof. Manuel Álvarez (SIG) UNELLEZ - Guanare. Edo. Portuguesa

Prof. Oscar Silva (modelos de erosión) UCV. Maracay Edo. Aragua.

Prof.(a) Mari Vargas (modelos de erosión). FUNDACITE - UNELLEZ .

Lic. Ramiro Salcedo, Centro de Procesamiento de Imágenes. CPDI Caracas.

T.S.U. José Gregorio (Centro Cartográfico) UNELLEZ – Guanare

Ing. Prof. Miguel Niño (Centro Cartográfico) UNELLEZ – Guanare

Prof. Pablo Marvé (Suelos). UNELLEZ – Guanare. Edo. Portuguesa

Prof. Mariana León (Suelos). UNELLEZ – Guanare, Edo. Portuguesa

Prof. Luis Chacón (Hidrología). UNELLEZ – Guanare, Edo. Portuguesa

Prof. Rafael Martínez (Hidrología). UNELLEZ – Guanare, Edo. Portuguesa

Prof. Alex Barrios. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. ULA- Mérida.

T.S.U. Luis Arroyo (Dirección de Hidrología). DESURCA. Peña Larga.

Ing. Juan Valero (Dirección de Hidrología). DESURCA. Peña Larga.

Ing. Rafael Laurens. Ministerio del Ambiente. Guanare. Edo. Portuguesa

T.S.U. José Mendoza. Ministerio del Ambiente. Guanare. Edo. Portuguesa

Ing. Doris Jiménez. Ministerio del Ambiente. Guanare. Edo. Portuguesa

Ing. Luis Montilla. Director de Ambiente y Ordenación de Territorio del
Estado Portuguesa.

A todos estas personas mi eterna gratitud, su valiosa colaboración hizo posible la realización de este trabajo.

Índice de Tablas

Tabla 1. Cubierta del Suelo y Números de Curva.	29
Tabla 2. Factor de Cultivos C	41
Tabla 3. Factor P.....	42
Tabla 4. Características del Sistema de Embalses Aguas Arriba.	45
Tabla 5. Características del Sistema de Embalses Aguas Abajo.	46
Tabla 6. Valores Promedios mensuales de precipitación (mm) en las estaciones Guanare, Mesa de Cavacas, Sipororo y Desembocadero.	49
Tabla 7. Valores promedios mensuales de precipitación (mm) en las estaciones Peña Larga y Caño Largo.	51
Tabla 8. Valores promedios de temperatura (°C) en las estaciones Guanare y Mesa de Cavacas.....	53
Tabla 9. Valores promedios mensuales de temperatura mínima (°C).	54
Tabla 10. Valores promedios mensuales de temperatura máximas (°C)	55
Tabla 11. Valores promedios mensuales de Evaporación (mm).	56
Tabla 12. Valores Promedios Mensuales de la Humedad Relativa.	57
Tabla 13. Valores promedios mensuales de la velocidad del viento (km/h).....	58
Tabla 14. Valores promedios mensuales de la velocidad del viento	59
Tabla 15. Cuencas en Estudio Sistema de Embalses Boconó – Tucupido.....	61
Tabla 16. Unidades Cartográficas y Permeabilidad de los Suelos.....	62
Tabla 17. División Político Territorial, Superficie y Población de los municipios del área de influencia	69
Tabla 18. Principales sectores y número de familias en el área de influencia del sistema de embalses Boconó Tucupido.....	70
Tabla 19. Factor LS del modelo MUSLE.....	83
Tabla 20. Precipitaciones máximas, Período 24 años	84
Tabla 21. Clasificación de los Suelos según su grupo Hidrológico.	86
Tabla 22. Usos del suelo. Cuenca Boconó.....	89
Tabla 23. Usos del suelo. Cuenca Qda. Barnizales.....	89
Tabla 24. Usos del suelo. Cuenca Río Tucupido.....	90
Tabla 25. Usos del suelo. Cuenca Sin Nombre 2.....	90
Tabla 26. Usos del suelo. Cuenca Qda. Riquera.....	91
Tabla 27. Usos del suelo. Cuenca Sin Nombre 1.....	91
Tabla 28. Usos del suelo. Cuenca Qda. Higuerones.....	92
Tabla 29. Densidad de Cobertura	92
Tabla 30. Caducifolia.....	92
Tabla 31. Grado de Intervención.....	93
Tabla 32. Piso Altitudinal.....	93

Tabla 33. Paisaje.....	93
Tabla 34. Provincia de Humedad.....	94
Tabla 35. Número de Curva. Cuenca Río Boconó.....	95
Tabla 36. Número de Curva. Cuenca Qda. Barnizales	95
Tabla 37. Número de Curva. Cuenca Río Tucupido.....	96
Tabla 38. Número de Curva. Cuenca Sin Nombre 1.....	96
Tabla 39. Número de Curva. Cuenca Qda. Riquera.....	97
Tabla 40. Número de Curva. Cuenca Sin Nombre 2.....	97
Tabla 41. Número de Curva. Cuenca Qda Higuerones.....	98
Tabla 42. Retención Potencial de Agua para cada una de las cuencas bajo estudio.	98
Tabla 43. Escorrentía (Q) y Precipitación (P) para un período de 24 años. Estación Sipororo.....	99
Cont. Tabla 43. Escorrentía (Q) y Precipitación (P) para un periodo de 24 años. Estación Sipororo	100
Tabla 44. Longitud, Desnivel y Pendiente de los cauces.....	101
Tabla 45. Tiempo de Concentración para cada cuenca.....	102
Tabla 46. Caudal Pico (Qp; mm h-1), para un período de 24 años. Estación Sipororo.	102
Cont. de la Tabla 46. Caudal Pico (Qp; mm h-1), para un período de 24 años. Estación Sipororo.	103
Tabla 47. Tipo y Tamaño de la estructura del suelo.....	105
Tabla 48. Estructura del Suelo	105
Tabla 49. Factor K ponderado de la Subcuenca Boconó.....	108
Tabla 50. Factor K ponderado de la Subcuenca Qda. Barnizales.	108
Tabla 51. Factor K ponderado de la Subcuenca Río Tucupido.	109
Tabla 52. Factor K ponderado de la Subcuenca Sin Nombre 1.	109
Tabla 53. Factor K ponderado de la Subcuenca Qda. Riquera.	110
Tabla 54. Factor K ponderado de la Subcuenca Sin Nombre 2.	110
Tabla 55. Factor K ponderado de la Subcuenca Qda. Los Higuerones.	111
Tabla 56. Factor C ponderado de la Subcuenca Boconó.	114
Tabla 57. Factor C ponderado de la Subcuenca Qda. Barnizales.	114
Tabla 58. Factor C ponderado de la cuenca Río Tucupido	115
Tabla 59. Factor C ponderado de la Subcuenca Sin Nombre 2	115
Tabla 60. Factor C ponderado de la Subcuenca Qda. Riquera	116
Tabla 61. Factor C ponderado de la Subcuenca Sin Nombre 1.....	116
Tabla 62. Factor C ponderado de la subcuenca Qda. Higuerones.....	117
Tabla 63. Factor R. Generado por EPIC	119
Cont. de la Tabla 63. Factor R, generado por EPIC	120

Tabla 64. Pérdida de Suelo. Área de Influencia del Sistema de Embalses Boconó Tucupido.....	122
Tabla 65. Rendimiento de Sedimentos para lluvias máximas. Período de 24 años. Modelo MUSLE.	124
Tabla 66. Matriz de Correlación. Para 24 años de registros.....	127
Tabla 67. Variabilidad de los factores de erosión entre las subcuencas.....	128
Tabla 68. Análisis de Sensibilidad	129
Tabla 69. Comparación de pérdida de suelo en la cobertura Bosque.	133
Tabla 70. Sensibilidad a la Erosión por Cobertura. Sector Las Panelas.	134
Tabla 71. Erosión Sector Las Panelas.	135
Tabla 72. Matriz de Correlación. Para 24 años de registros.	153
Tabla 73. Cálculo superficie erosionada (ha), Zona Protectora Sistema de Embalses Boconó Tucupido.	156
Tabla 74. Cálculo superficie erosionada (ha), Sector las Panelas. Margen Derecha del Sistema de Embalses Boconó Tucupido.....	156

www.bdigital.ula.ve

Índice del usuario

Figura 1. División de una Cuenca en Subcuencas	23
Figura 2. Hidrograma Triangular.....	25
Figura 3. Curvas de Nivel.....	30
Figura 4. Ubicación Geográfica del Sistema de Embalses Boconó Tucupido	44
Figura 5. Sistema de Embalses Boconó Tucupido.....	46
Figura 6. Pluviógrafo Estación Peña Larga	47
Figura 7. Pluviógrafo Estación Caño Largo.....	48
Figura 8. Gráfico valores promedios de precipitación.....	49
Figura 9. Estaciones Pluviográficas Peña Larga, Caño Largo Y Sipororo	50
Figura 10. Gráfico de valores promedios mensuales de precipitación (mm).....	52
Figura 11. Comparación de la velocidad del viento en la estación la Quinta.	60
Figura 12. Mapa de Suelos Presentes en la Zona Protectora del Sistema de Embalse Boconó Tucupido	63
Figura 13. Población Área de Influencia del Sistema de Embalse	70
Figura 14. Modelos USLE y MUSLE.....	76
Figura 15. Subcuencas bajo Estudio por el Modelo MUSLE.....	79
Figura 16. Área de Estudio del Modelo USLE.....	80
Figura 17. Factor LS.....	83
Figura 18. Mapa de Vegetación Zona Protectora del Sistema de Embalse Boconó Tucupido.	88
Figura 19. Factor K (sin ponderar). Zona Protectora del Sistema de Embalse Boconó Tucupido.....	107
Figura 20. Factor C (sin ponderar). Zona Protectora del Sistema de Embalse Boconó Tucupido.....	113
Figura 21. Mapa de Erosión. Zona Protectora del Sistema de Embalses.....	121
Figura 22. Rendimiento de Sedimentos.....	125
Figura 23. Distribución de Frecuencia Acumulada. Estación Sipororo.....	126
Figura 24. Mapa de Erosión . Sector Las Panelas.....	136
Figura 25. Mapa de Erosión . Sector Las Panelas.....	153
Figura 26. Mapa de Flujo de Agua . Zona Protectora del Sistema de Embalse Boconó Tucupido.....	154
Figura 27. Mapa de Elevación .Zona Protectora del Sistema de Embalse Boconó Tucupido.....	155

Tabla de Contenido

Dedicatoria.....	II
Resumen.....	III
Agradecimientos	IV
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	12
1.2. Objetivos.....	21
1.2.1 General:.....	21
1.2.2. Específicos:.....	21
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	22
2.1. Erosión.....	22
2.2. Cuenca:.....	22
2.3. Procesos Erosivos en las Cuencas:.....	23
2.3.1. Remoción en Masa:	23
2.3.2. Erosión Hídrica:.....	24
2.4. Caudal.....	24
2.5. Embalse:.....	25
2.7.Hidrograma.....	25
2.7.1 Tiempo al Pico.....	26
2.7.2 Tiempo Base.....	26
2.7.3 Tiempo de Recesión	26
2.7.4 Tiempo de Concentración.....	26
2.7.5. Gasto o Caudal Pico.....	26
2.8. Lluvia Efectiva.....	27
2.9. Permeabilidad.....	27
2.10. Flujo Base.....	27
2.11. Período de Retorno.....	27
2.12. Escorrentía Superficial.....	28
2.13. Retención Potencial.....	28
2.14. Número de Curva.....	28
2.15. Curvas de Nivel.....	30
2.16. Sedimentos.....	30
2.17.EPIC.....	31
2.18. Modelos para Calcular la Erosión y Producción de Sedimentos.....	31
2.18.1 USLE :.....	31
2.18.2. MUSLE.....	33
Factores que Componen la MUSLE:.....	33
2.18.2.1 Factor Q : Escorrentía.....	34
2.18.2.2. Factor Qp : Caudal Punta producido por la escorrentía	34

2.18.2.3. Factor K : Índice de Erosionabilidad del Suelo	36
2.18.2.4. Factor Topográfico (LS)	38
2.18.2.5. Factor C :Cultivos.....	41
2.18.2.6. Factor P : Prácticas de Cultivo o Conservación.....	42
4. Descripción del Área de Estudio.....	43
4.1. Ubicación Política	43
4.2. Límites Naturales	43
4.3 Marco Legal.....	43
4.4 Sistema de Embalses.....	45
4.4.1. Beneficios del Complejo Boconó Tucupido.....	45
4.4.2. Características del Sistema de embalses Boconó Tucupido	45
4.4.3. Estaciones Pluviográficas :	47
4.5. Caracterización Físico Natural.....	48
4.5.1. Clima.....	48
4.5.2. Precipitación.....	48
4.5.3. Temperatura.....	52
4.5.4. Evaporación	55
4.5.5. Humedad Relativa.....	56
4.5.7. Hidrología.....	60
4.6. Unidades Cartográficas y Permeabilidad de los Suelos Presentes en el Área de Estudio :	61
4.6.2. Unidad M008.....	64
4.6.3.Unidad P003.....	65
4.6.4 Unidad P004.....	66
4.6.5. Unidad V001.....	67
4.6.6. Unidad V003.....	68
4.7. Aspectos Socio Económicos.....	69
5. Materiales y Métodos.....	73
5.1. Fuentes de Información.....	73
5.2.1. Factor LS (topográfico).....	80
5.2.2. Factor Q (escorrentía).....	83
5.2.2.1 Determinación del Grupo Hidrológico	85
(Criterio de Selección para el valor de Permeabilidad).....	85
5.2.2.2. Determinación del Uso del Suelo de la Zona Protectora del Embalse Boconó Tucupido.....	86
5.2.3. Factor Qp (Caudal Pico).....	100
5.2.4. Factor K (índice de erosionabilidad del suelo).....	103
5.2.4.1 Estructura del Suelo.....	105

5.2.4.2. Factor K. Para la USLE.....	106
5.2.4.3. Factor K. Para la MUSLE.....	107
5.2.5. Factor C (Cultivos).....	111
5.2.5.1. Valores del Factor de Cultivos, con el correspondiente Uso del Suelo para cada uno de las cuencas en Estudio y Zona Protectora del Sistema de embalses Boconó Tucupido.....	113
5.2.6. Factor P (Prácticas de Cultivo).....	117
5.2.7. Factor R (erosividad de la lluvia).....	117
5.2.8. Área de las Subcuencas (A).....	120
6. Discusión de Resultados.....	121
6.1. Pérdidas de Suelo	121
6.2. Producción de Sedimentos.....	123
6.3. Variabilidad de los Factores de Erosión y Escorrentía entre las subcuencas .	128
6.4. Análisis de Sensibilidad.....	128
6.5. Evaluación de los Resultados.	130
6.5.1. Modelo MUSLE.....	130
6.5.2. Modelo USLE.....	133
7. CONCLUSIONES.....	137
7.1 . Sobre los Modelos Hidrológicos.....	137
7.1.1. Ventajas y Desventajas de los Modelos Hidrológicos.....	137
7.2. Sobre las Áreas Prioritarias de Actuación.....	138
7.3. Utilización de Herramientas Tecnológicas.....	139
7.4. Sobre los Resultados	139
7.4.1. Pérdida de Suelo.....	139
7.4.2. Producción de Sedimentos.....	140
7.5. Importancia del Proyecto en un Postgrado de Modelado y Simulación.....	140
8. RECOMENDACIONES.....	142
9. Referencias Bibliográficas.....	143
10. ANEXOS.....	153

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La erosión en su sentido más amplio, es un proceso vinculado a la evolución fisiográfica de la corteza terrestre. En su expresión natural (geológica) contribuye a la formación del relieve, a la meteorización de las rocas y a la formación de los suelos. Igualmente, la configuración y definición de cauces y valles así como la continuidad del declive son manifestaciones de este tipo de erosión. No obstante, este proceso puede ser acelerado mediante la intervención antrópica, es decir, la intervención irresponsable que el hombre ejerce sobre los recursos naturales, con el uso de prácticas agrícolas no adecuadas, el pastoreo y la deforestación indiscriminada, entre otras causales. Todo ello, trae como consecuencia un desequilibrio entre la vegetación, los suelos, la fauna, el agua y el viento, que origina formaciones terrestres erosivas de diversas formas y grados de expresión, cuyos efectos se manifiestan en la pérdida de suelos productivos, derrumbes, socavación de la vialidad, cauces de ríos obstruidos, lagos y reservorios colmatados.

En referencia a lo anterior, la colmatación de embalses es un problema ambiental de primer orden. Los embalses son infraestructuras que suponen una clara discontinuidad en el gradiente longitudinal de procesos propios de los ríos. Junto con el agua, los embalses 'regulan' también los aportes de materiales en suspensión y los arrastres de sólidos transportados por los ríos. El balance de esta regulación tiene como resultado una retención neta de todos estos materiales en forma de sedimentos, dando lugar a la colmatación. Ciertamente las consecuencias ambientales de la colmatación de embalses van más allá de la regresión de deltas o las pérdidas de volumen embalsable y por tanto de la vida útil, ya que afectan o pueden afectar no solo al funcionamiento general de los embalses como ecosistemas acuáticos, sino también a los nichos territoriales en torno al cual se desarrolla toda una comunidad o bien aquellas que dependen para su existencia de los servicios de agua para consumo,

generación de electricidad, riego, recreación y turismo.

En las regiones tropicales este proceso es favorecido por la intensidad y cantidad de las precipitaciones, así como por la fragilidad de los suelos, aunado a la expansión progresiva de la deforestación y cambios de uso en las cuencas y subcuencas que conforman las zonas protectoras de los ríos represados. El sistema de embalses Boconó Tucupido no escapa a ésta realidad, es así, como surge la necesidad de realizar un estudio en la zona protectora, área donde se encuentra ubicado geográficamente el sistema de embalses para predecir el grado de erosión y producción de sedimentos que pudiera estar afectando a este importante reservorio.

En virtud de la importancia estratégica de este sistema de embalse, concebido en principio como una infraestructura para control de inundaciones, generación de energía eléctrica y riego; posteriormente se adicionó un nuevo uso el de suministro de agua potable (Embalse Tucupido) a la población de Guanare y zonas circunvecinas, existe una gran preocupación debido a la degradación progresiva observada en la zona protectora, por lo que de alguna manera se ha abordado en parte la problemática mediante algunos estudios realizados de manera aislada y parcial, pero ninguno ha dado un enfoque integral hacia la estimación de pérdidas potenciales y reales de suelo y generación de sedimentos en todo el sistema.

A continuación se presentan algunos estudios realizados por instituciones gubernamentales y educativas en pro de la preservación de los embalses que constituyen este sistema, los cuales servirán de referencia para el trabajo actual:

Gásperi (1.999) efectuó un estudio batimétrico en el embalse Boconó y señaló que los sedimentos acumulados en este embalse desde su puesta en marcha hasta abril de 1.997 fueron de $2,9874 \cdot 10^8 \text{ m}^3$, en un área de 4.988,9 ha al nivel máximo de llenado (269 m.s.n.m), los cuales reducen en un 20,25% el volumen total del embalse, restándole 21 años y dos meses de vida útil, lo que sumado a los 14 años

transcurridos hasta 1997, totalizan 35 años y dos meses, mucho menos de la mitad con que se proyectó.

En el mismo orden de ideas, Desurca (2001) realizó también una evaluación batimétrica en el sistema de embalses, en el de Boconó, el volumen total de sedimentos acumulado desde septiembre de 1.998 y hasta febrero de 2.001, fue de 56,60 Hm³, al nivel máximo de llenado (267,75 m.s.n.m.), lo cual representa una reducción de la capacidad del embalse en un 4,32% en estos dos años.

De los sedimentos depositados durante esos dos años 48,60 Hm³ se encuentran por encima de los 230 m.s.n.m, cota mínima de operación, lo que indica el avance progresivo del delta, situación que se observa en la superficie que no cubre el agua sobre la cota máxima (267,75 m.s.n.m), los restantes 8 Hm³ pasaron a formar parte del volumen muerto del vaso de almacenamiento (por debajo de la cota 230 m.s.n.m), que para el momento del estudio tiene una capacidad de 188,45 Hm³. La tasa de aporte anual de sedimentos estimada se aproximó a los 4 Hm³ que se depositan en el volumen muerto; según con estos datos, si el patrón de sedimentación se mantuvo en el tiempo, la vida útil estuvo por el orden de los 47 años, a partir del año 2.001, si se suma con los 18 años de operación del sistema, se obtiene un total de 65 años, es decir, 35 años menos de lo estimado en el diseño.

En el referido estudio, se evidenció que el embalse Boconó presenta graves problemas de sedimentación del vaso de almacenamiento, mientras que el embalse Tucupido conserva en gran parte sus condiciones originales de capacidad de almacenamiento, esta situación se determina como producto de que el área de aporte hídrico al Boconó es mucho mayor y presenta condiciones desfavorables tales como: presencia de focos erosivos de considerable magnitud, conflictos de uso del suelo, alta producción de sedimentos y una fuerte intervención de los recursos naturales por parte del hombre. Ambos estudios batimétricos (Gásperi 1999 y Desurca 2001)

coinciden en la pérdida de vida útil del embalse Boconó y en la tasa de aporte de sedimentos, lo cual sugiere la presencia de factores determinantes que conllevan a la producción de sedimentos en esta cuenca.

Gómez (1.993) afirma que existen criterios que permiten predecir la ocurrencia de sedimentación en el sistema de embalses tales como: la fragilidad de las formaciones geológicas en las cuencas altas de los principales afluentes del sistema y las actividades agropecuarias sin control que se efectúan en la cuenca alta del río Boconó. Igualmente algunas observaciones hechas en la zona de descarga del río y al embalse en períodos de sequía, permitieron observar grandes cantidades de sedimentos que cubren una superficie considerable en esta área.

Marzola (1.993) utilizó una matriz de evaluación de impactos ambientales, conjugando dos métodos, el de Leopold y el de Little. Con la utilización de esta matriz se detectaron 142 impactos ambientales en el área, de las cuales 80,55% son negativos, sobresaliendo entre los impactos negativos el producido por la modificación del hábitat, la generación de energía eléctrica y las migraciones de los peces. Se recomienda estudios multidisciplinarios para la evaluación del impacto ambiental y manejo del embalse, así como también, técnicas para minimizar los procesos de sedimentación.

Similarmente, Briceño (2.001) identificó un conjunto de problemas críticos que explican el inadecuado manejo ambiental en la zona del embalse Boconó Tucupido, entre los que se encuentran: incremento de invasiones, deforestación indiscriminada, acelerado proceso de erosión de los suelos, acelerado proceso de sedimentación del embalse, caza y pesca indiscriminada, quema no controlada, gestión ambiental inexistente y escasa educación ambiental, entre otros.

En función a lo anterior el citado autor, formuló algunos lineamientos estratégicos entre ellos: mejorar la cobertura y la calidad de la enseñanza incluyendo en la programación básica conocimientos sobre los sistemas de producción agrícola; crear

centros de formación para los docentes y comunidades rurales sobre agricultura y desarrollo sostenible; desarrollar un programa de granjas integrales debido a la alta presencia de cerdos y aves de corral. Además, los sistemas agrícolas deberán seleccionarse con los pobladores siempre y cuando se cumplan los requisitos de sostenibilidad y se deberían formular políticas agroalimentarias, agroindustriales y de comercio agrícola viable. Finalmente concluye que entre los problemas ambientales, la sedimentación acelerada del embalse es una variable difícilmente manejable, pues la solución está en los cursos de agua de las cuencas (alta y media), fuera del vaso del embalse, y de esto están conscientes las comunidades.

Roa (1.987) formuló un programa de conservación de suelos y agua en la microcuenca “Quebrada los Baños”, perteneciente a la subcuenca del río Tucupido, la cual abarca una superficie de 5.530 ha. Dicho programa tiene como objetivo prevenir y/o disminuir el arrastre de sedimentos al embalse Tucupido, entre sus resultados se pudo determinar que 98% del área presenta conflictos de uso, por lo que se requiere un plan de mejoramiento inmediato debido a que el 96% del área tiene capacidad para tierras cultivables pero está condicionada por el embalse que se encuentra aguas abajo.

En el estudio de Rengel *et al.* (1.983), el área piedemontina adyacente a Guanare (114 km²) fue considerada como superficie muestral sobre la cual se investigó las condiciones de la acción erosiva. Se pudo concluir que los principales causantes de la inestabilidad ambiental local son la ampliación superficial de la cobertura de sabana, iniciada en el siglo XVI, y el actual crecimiento suburbano. Se recomendó la implementación de programas tendientes a permitir la regeneración natural, y en el caso de ser necesaria, la repoblación con especies locales.

Soto (1.984), evaluó y diagnosticó las condiciones físicos-naturales con el objetivo de crear un parque recreacional en áreas adyacentes al sistema de embalses

Boconó Tucupido; los resultados obtenidos señalaron que la zona adyacente al río Tucupido presenta las mejores condiciones para llevar a cabo una infraestructura turística.

Rondón (2.000), determinó que aproximadamente unas 7.256 ha se encuentran sin ninguna cobertura vegetal bajo el sistema de ganadería extensiva; del mismo modo existen unas 9.855 ha sujetas a intervención bajo el sistema de agricultura de subsistencia que establece un patrón sucesional entre los conucos y posteriores potreros para la ganadería extensiva. En sectores cercanos a las costas, unas 2.400 ha amenazadas por la explotación de especies forestales para la venta ilegal de la madera y/o utilización como áreas de siembra de cultivos de subsistencia. En los sectores por encima de los 500 m.s.n.m se localizan importantes reservas de bosques naturales con moderada o ninguna intervención que se estiman en 17.965 ha. Esto es un indicativo de la importancia ambiental del área de influencia del sistema de embalse Boconó Tucupido.

Méndez (2.005) formuló lineamientos que pueden considerarse para solventar la problemática de acumulación de sedimentos y proteger la infraestructura, vidas humanas y garantizar una mejor calidad de vida, entre los que se pueden mencionar: a) planificar, dirigir y ejecutar programas ambientales; b) realizar un levantamiento topográfico completo para identificar los sitios adecuados para la construcción de obras de retención de sedimentos; c) realizar un seguimiento, evaluación y control de las obras propuestas; d) vigilar y controlar por medio del MARN los permisos otorgados para las diferentes actividades ejecutadas en la microcuenca Quebrada Las Cruces; e) realizar actividades de extracción de material granular en las secciones donde exista acumulación de sedimentos, que obstaculizan el cauce de la quebrada y de esta manera facilitar el transporte del caudal generado por las precipitaciones ocurridas y; f) considerar la rectificación del cauce en la parte baja de la quebrada para evitar el impacto directo con el poblado y disminuir el riesgo de inundación.

González (2.004), determinó la erosionabilidad de los suelos en el sector “Las Panelas” con el propósito de inferir la generación de sedimentos que pueden alcanzar el vaso de agua correspondiente al embalse la Coromoto. Se comprobó que la erosionabilidad de los suelos es de moderada a baja y la erosión presente es consecuencia de la actividad pecuaria extensiva en el sector, donde el sobre pastoreo es causa fundamental de la degradación de la cobertura vegetal.

Deza (1.984), realizó una evaluación preliminar del fenómeno erosivo de la cuenca alta y media del río Guanare, para obtener una visión general de las zonas críticas y las causas que motivan estas condiciones. Formuló además, recomendaciones para el manejo más adecuado.

MOP (1.976), realizó una descripción general de las características del proyecto para el embalse Boconó Tucupido, tomando en cuenta principalmente la ingeniería de la obra (vialidad, infraestructura). Además se describieron las metas a cumplir indicando los usos para este sistema, entre los cuales se encuentran: generación de energía eléctrica, riego y control de inundaciones, con miras casi exclusivas al desarrollo agropecuario.

Staver (1.981), determinó las principales zonas críticas por generación de sedimentos y propuso medidas correctivas para disminuir los procesos erosivos, basadas en el análisis de las diferentes formaciones geológicas predominantes, así como las variables: pendiente, uso del suelo, clima y cobertura vegetal. Como resultado importante se determinó que los mayores aportes de sedimentos provienen del río Boconó y Guanare, siendo el río Boconó el que aporta mayor caudal al sistema de embalses y por consiguiente el mayor aporte de sedimentos.

Jiménez (1.983), realizó un diagnóstico físico-conservacionista de la subcuenca del río Tucupido, con el objeto de jerarquizar las prioridades a nivel de microcuenca, basado en el método descriptivo del MARNR. Entre las de mayor prioridad se

encuentra la “Quebrada Los Baños”, microcuenca que pertenece a la subcuenca Tucupido.

Rojas (1.987), realizó un diagnóstico físico-conservacionista fase I, en la que se evaluaron variables como: clima, relieve, vegetación y geología. Luego, mediante una fórmula descriptiva, se estableció el grado de conservación o deterioro en que se encontraba la quebrada “Los Baños”, la cual serviría como base para la implementación de programas de conservación que incluyan medidas preventivas y correctivas para las áreas que lo ameritaran.

Niño (2.002), presentó un diagnóstico de la situación ambiental del sistema de embalses Boconó Tucupido y su área de influencia, así como un análisis situacional de los principales problemas que lo afectan. Se diseñó un modelo digital para obtener un mapa de ordenamiento y luego, mediante talleres con grupos de trabajo realizados entre 1.988 y 2.001, se redactó una propuesta de ordenamiento ambiental y su reglamento de uso.

Velázquez (1.994), citado por Gásperi (1.999), realizó mediciones de caudales y sedimentos en sectores de la cuenca del Río Boconó sujetas a tratamientos conservacionistas y estableció que los planes de manejo y conservación de cuencas deben ser evaluados principalmente sobre la base de sus indicadores de productividad así como en términos de su producción de sedimentos y su régimen hídrico.

La preservación del sistema de embalses Boconó Tucupido, es vital para la zona protectora, comunidades del área de influencia y para los estados Portuguesa y Barinas. Es por ello que la aplicación de modelos hidrológicos con la utilización de Sistema de Información Geográfica (SIG), es una valiosa herramienta que permitirá evaluar los procesos de erosivos, transporte y deposición de los sedimentos en las cuencas, tomando en cuenta la distribución temporal de las lluvias, información de suelo, vegetación, pendiente, escorrentía y caudal pico con influencia en el embalse.

Este trabajo de investigación ayudaría a sentar bases técnicas a considerar a la hora de tomar medidas preventivas y correctivas en la zona protectora del área de influencia del sistema de embalse.

www.bdigital.ula.ve

1.2. Objetivos

1.2.1 General:

Estimar la erosión y producción de sedimentos en la zona protectora del sistema de embalses Boconó Tucupido, mediante un sistema de información geográfica, utilizando información cartográfica, satelital y datos históricos.

1.2.2. Específicos:

1. Seleccionar la zona de interés de la investigación, a través de la elección de subcuencas y área de influencia del sistema de embalses.
2. Diseñar un modelo de estimación de la erosión, para un promedio de lluvia anual, a través de la relación matemática de variables hidrológicas y edáficas que contribuyen a la generación de procesos erosivos.
3. Diseñar un modelo de estimación de producción de sedimentos para la lluvia máxima anual en cada una de las subcuencas en estudio, a través de la relación matemática de variables hidrológicas y edáficas que contribuyen a la producción de sedimentos.
4. Contribuir a mejorar la eficiencia y efectividad en la focalización, predicción y solución de los problemas erosivos y de sedimentación mediante herramientas tecnológicas.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

Este capítulo hace referencia, a los diferentes términos utilizados en el trabajo de investigación, el cual permitirá una mayor comprensión del contenido del mismo.

2.1. Erosión

Constituye aquel proceso físico mediante el cual los materiales del suelo son separados por la acción de los agentes atmosféricos y arrastrados por el agua o transportados por el viento. Se admiten dos categorías de erosión. La primera, llamada erosión geológica, es un proceso natural que se produce con independencia de las actividades del hombre. Esta clase de erosión actúa continuamente y modifica las características de la superficie de la tierra. La segunda clase, conocida como erosión acelerada, se produce cuando el hombre interviene en la superficie de la tierra o acelera por cualquier causa el proceso de erosión (López, 2000).

2.2. Cuenca:

La cuenca hidrográfica se define como una unidad territorial en la cual el agua que cae por precipitación se reúne y escurre a un punto común o que fluye toda al mismo río, lago, o mar. En una concepción más amplia, es el área de aguas superficiales o subterráneas que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o bien directamente en el mar.

Existen dos tipos de cuenca: Cuencas Homogéneas y Cuencas no Homogéneas, las primeras hacen referencia a las mismas características físicas y de almacenamiento en toda su área, estas tienen limitaciones de tamaño y es difícil encontrar cuencas montañosas homogéneas mayores a 25 km², y cuencas de llanura

homogéneas mayores de 100 km². Por ésta razón es conveniente definir en Hidrología una cuenca pequeña como aquella que tiene las características de una cuenca homogénea. Cuando una cuenca es no homogénea, se considera como una cuenca grande, el procedimiento en éste caso, consiste en dividir la cuenca grande o principal en varias subcuencas homogéneas. La cuenca de la Figura 1, se dividió en siete subcuencas, cada subcuenca se trata como una subcuenca homogénea (Silva, 2.004).

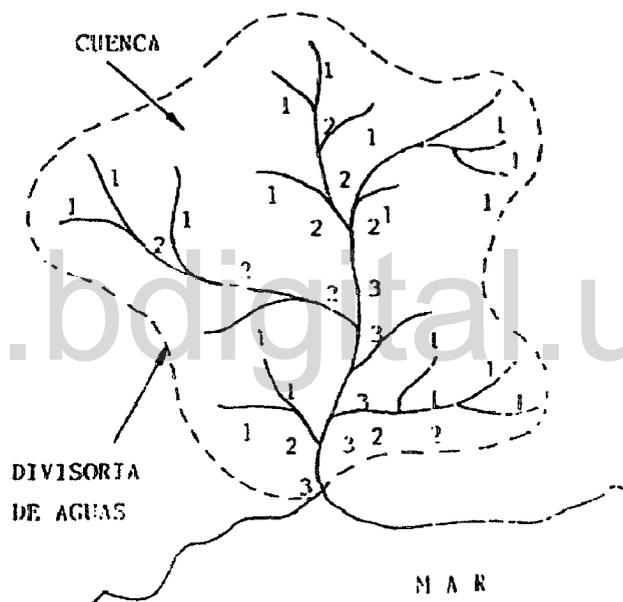


Figura 1. División de una Cuenca en Subcuencas

2.3. Procesos Erosivos en las Cuencas:

Los procesos erosivos en las cuencas se producen de las dos maneras siguientes:

2.3.1. Remoción en Masa:

Este fenómeno está asociado con deslizamientos de grandes masas de material sólido que se han producido en sitios inestables. La inestabilidad es causada por

factores geotécnicos que tienen que ver con las pendientes, el manejo inadecuado del suelo, la tala de árboles y el almacenamiento de agua de lluvia en los suelos. La masa de material permanece por algún tiempo en un equilibrio precario en los sitios inestables, pero basta la presencia de un factor detonante para que se produzca el deslizamiento. Este factor detonante puede ser un sismo o un período prolongado de lluvias intensas. Cuando el deslizamiento se produce directamente sobre una de las márgenes de una corriente natural, el material deslizado se deposita sobre el lecho obstruyendo el paso libre del agua, pero a medida que pasa el tiempo, el mismo flujo de agua se encarga de transportar el material hacia aguas abajo, parte como carga de fondo y parte en suspensión. Si los deslizamientos se producen lejos de las corrientes de agua, entonces solamente una parte del material puede llegar a las corrientes por erosión hídrica (Silva, 2.002; citado por Cuello, 2.003).

2.3.2. Erosión Hídrica:

Es el proceso continuo de disgregación de partículas y agregados de la masa del suelo, su transporte y sedimentación, por la acción del agua en forma directa por el impacto de la gota de lluvia o por el escurrimiento (López, 2000). Existen varias formas de expresión de la erosión hídrica: laminar, surcos o cárcavas, no obstante clasificaciones más recientes (Sharma, 1996; Laflen y Roose, 1996; citados por López, 2000) proponen dos categorías: erosión entre surcos y erosión en canales .

2.4. Caudal

Es el flujo de agua por unidad de tiempo, generalmente expresado en litros o m^3 por segundo. Se define caudal ecológico, como el agua reservada para preservar valores ecológicos; los hábitats naturales que cobijan una riqueza de flora y fauna, las funciones ambientales como purificación de aguas, amortiguación de los extremos climatológicos e hidrológicos, los parques naturales y la diversidad de paisajes (Verweij, s/f).

2.5. Embalse:

Es una acumulación artificial de agua, generalmente usado en campos como el riego, el aprovechamiento y generación de energía, el control de inundaciones, la navegación, la pesca, control de sedimentos y la recreación (Castillo, 2.006).

2.6. Sistema de Información Geográfica

SIG o GIS (acrónimo en inglés), es una tecnología de manejo de información geográfica, formada por equipos electrónicos programados adecuadamente (software) que permiten manejar una serie de datos espaciales (información geográfica) y realizar análisis complejos con éstos, siguiendo los criterios impuestos por el equipo científico (personal) (CCIDEP, s/f).

2.7. Hidrograma

Una manera de analizar las crecidas de un río, es mediante el hidrograma, el cual representa el gasto de agua a lo largo del tiempo. Muchas veces, por falta de registros, se debe recurrir a la construcción de hidrogramas sintéticos, un ejemplo de ello es el hidrograma triangular, el cual se basa en la representación simplificada de los “puntos” claves de la crecida (Silva, 2.008)

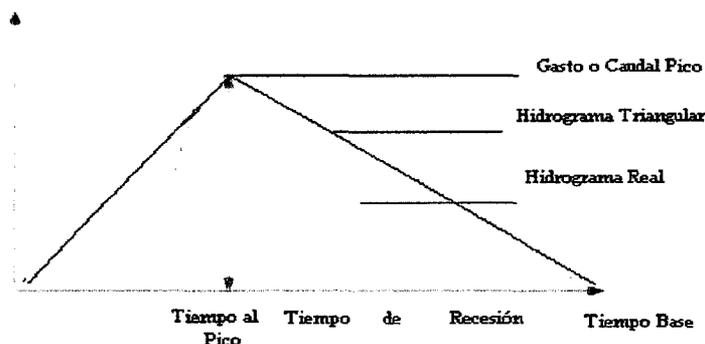


Figura 2. Hidrograma Triangular .Fuente:Silva, 2.008

Los tiempos cardinales del hidrograma triangular, vienen dado por: tiempo al pico, tiempo de recesión y tiempo base.

2.7.1 Tiempo al Pico

Llamado también tiempo de pico (T_p), es el tiempo que transcurre desde el punto de levantamiento hasta el pico del hidrograma (De la Lanza *et al.*, s/f).

2.7.2 Tiempo Base

El tiempo base (T_b), es el tiempo que transcurre desde el punto de levantamiento hasta el final del escurrimiento directo, siendo por ello, el tiempo que dura el escurrimiento directo (De la Lanza *et al.*, s/f).

2.7.3 Tiempo de Recesión

El tiempo de recesión (T_r), representado por la rama descendente del hidrograma (curva de recesión), el cual refleja, la disminución de la escorrentía superficial y subterránea (Ortíz, s/f)., con ello se puede afirmar que, T_r es el tiempo que tarda en disminuir la escorrentía.

2.7.4 Tiempo de Concentración

El tiempo de concentración (T_c), es el tiempo que tarda una gota de lluvia caída en el punto más alejado de la cuenca, a la salida de la misma (Hydrolic, s/f). Este tiempo está relacionado directamente, con la velocidad que llegan los escurrimientos (producidos por las gotas de lluvia) aguas abajo.

2.7.5. Gasto o Caudal Pico

También llamado Q_p , caudal de diseño o pico, es el punto máximo de caudal de escorrentía (Muñoz y Ritter, s/f).

2.8. Lluvia Efectiva

La lluvia efectiva, es la cantidad de agua de lluvia que es absorbida por el sistema de una planta o cultivo, para ser luego utilizada en todos sus procesos fisiológicos (Ideam, 2.001).

2.9. Permeabilidad

Es la propiedad que tiene el suelo de transmitir el agua y el aire, mientras más permeable sea el suelo, mayor será la filtración. Algunos suelos son tan permeables y la filtración tan intensa, que para construir en ellos cualquier tipo de estanque, es preciso aplicar técnicas de construcción especiales (FAO, s/f). Según codificación del *USDA-Soil Survey Manual* (citado por Gómez, s/f) la permeabilidad se clasifica en:

- 1- rápida a muy rápida
- 2- medianamente rápida
- 3- moderada
- 4- moderadamente lenta
- 5- lenta
- 6- muy lenta

2.10. Flujo Base

Es la parte del caudal que corresponde al escurrimiento subterráneo, el cual depende de la estructura y geología del suelo, así como también de la intensidad de la lluvia (Arroyave y Gonzaga, 1.997).

2.11. Período de Retorno

Es una medida de la probabilidad de que un evento de una determinada magnitud sea igualado o excedido por lo menos una vez en un año cualquiera. Así, la creciente

de 100 años es la creciente que tiene probabilidad del uno por ciento, de presentarse o ser superada por lo menos una vez en un año cualquiera (Silva, 2.004).

2.12. Escorrentía Superficial

La escorrentía superficial (Q , mm), es el agua procedente de la lluvia que circula por la superficie y se concentra en los cauces. La escorrentía superficial es función de las características topográficas, geológicas, climáticas y de vegetación de la cuenca y está íntimamente ligada a la relación entre aguas superficiales y subterráneas de la cuenca (Inciarco, s/f).

2.13. Retención Potencial

La retención potencial (S , mm), también llamada capacidad de infiltración o infiltrabilidad, es el flujo de agua que el perfil del suelo puede absorber a través de su superficie (Ruiz *et al.*, 2.004).

2.14. Número de Curva

El número de curvas (ver tabla 1) es un parámetro hidrológico desarrollado por el *United States Department of Agriculture-Soil Conservation Service* (USDA-SCS, 1.972) de los EEUU. Es un coeficiente de escurrimiento, el cual depende del uso y manejo de la tierra, de la cobertura superficial, humedad antecedente y potencial de escurrimiento del suelo (U.C.V, s/f).

Tabla 1. Cubierta del Suelo y Números de Curva.

Fuente: Silva, 2.008

COBERTURA			GRUPO DE SUELOS			
Uso de la Tierra	Tratamiento o práctica	Condición Hidrológica	A	B	C	D
			Número de Curva			
Rastrojo	Hileras rectas		77	88	91	94
Barbecho	Suelo desnudo	Mala	76	85	90	93
	con residuos de cosecha	Buena	74	83	88	90
Cultivos en hileras	Hileras rectas	Mala	71	81	86	91
	Hileras rectas	Buena	67	78	83	89
	c/curvas de nivel	Mala	70	79	84	88
	c/curvas de nivel	Buena	65	75	82	86
	c/curvas de nivel y residuos de cosechas	Mala	69	78	83	87
	c/curvas de nivel y residuos de cosechas	Buena	64	74	81	85
	c/curvas de nivel y terrazas	Mala	66	74	80	82
	c/curvas de nivel y terrazas	Buena	62	71	78	81
	c/curvas de nivel, terrazas y residuos	Mala	60	71	76	81
	c/curvas de nivel, terrazas y residuos	Buena	58	69	77	80
Cultivo en hileras estrechas	Hileras rectas	Mala	65	76	84	88
	Hileras rectas	Buena	63	75	83	87
	Curvas de nivel	Mala	63	74	82	85
	Curvas de nivel	Buena	61	73	81	84
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	61	72	79	82
Leguminosas en 1/ hileras estrechas o forraje en rotación	Curvas de nivel y terrazas	Buena	59	70	78	81
	Hileras rectas	Mala	66	77	85	89
	Hileras rectas	Buena	58	72	81	85
	Curvas de nivel	Mala	64	75	83	85
	Curvas de nivel	Buena	55	69	78	83
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	63	73	80	83
Pastos de pastoreo	Curvas de nivel y terrazas	Buena	51	67	76	83
		Mala	66	79	86	89
		Regular	49	69	79	84
		Buena	39	61	74	80
	Curvas de nivel	Mala	47	67	81	88
Pasto de corte	Curvas de nivel	Regular	25	59	75	89
	Curvas de nivel	Buena	6	35	70	79
		Buena	30	58	71	76
		Mala	48	67	77	83
Matorral, maíza y hierba mezcladas		Regular	35	58	70	77
		Buena	30	48	65	73
		Mala	57	73	82	88
Bosques, Pastos en combinación (huertos o granjas de frutos)		Regular	43	65	78	82
		Buena	32	58	72	79
		Mala	45	65	77	83
Bosque		Regular	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	77
		Mala	59	74	82	86
Pastos						
Caminos tierra 2/			72	81	87	89
Pavimentos 2/			74	84	90	92

1/ Siembra tupida o al voleo

2/ Incluyendo derecho de vía

Fuente: Rojas (1986) y Abarca, 1993

2.15. Curvas de Nivel

Es la línea imaginaria que une los puntos del mapa que tienen la misma altura. La diferencia de altura entre cada curva de nivel se denomina equidistancia y varía en función de la escala del mapa. Estas alturas siempre están referidas al nivel cero, que es el nivel del mar (Gisits, s/f).



Figura 3. Curvas de Nivel. Fuente: Gisits, s/f

2.16. Sedimentos

Las rocas sedimentarias son el resultado del proceso de sedimentación ocurrido en la superficie terrestre. Fuerzas externas como las lluvias, transportan las materias dejadas a la intemperie por los procesos de erosión. La sedimentación ocurre en el lugar en donde las fuerzas transportadoras son insuficientes (Borsdorf *et al.*, s/f), es decir, donde estos son depositados, ya sean ríos, embalses, mares, etc.

2.17. EPIC

El modelo EPIC, calcula las pérdidas de rendimiento de los cultivos debido a erosión de suelos y otros factores. Epic es un modelo de simulación continuo, y emplea un conjunto de funciones modificadas de USLE (Ecuación universal de pérdida del suelo) para predecir erosión. (Williams *et al.*, 1.984, citado por Casanova, s/f).

2.18. Modelos para Calcular la Erosión y Producción de Sedimentos.

Para determinar la erosión y producción de sedimentos existen tanto modelos paramétricos como modelos de simulación, a continuación, se mencionarán los modelos paramétricos que serán utilizados para efecto de éste estudio.

2.18.1 USLE :

Silva, (s/f) define la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (*Universal Soil Loss Equation*), como un modelo que utiliza seis factores : erosividad de la lluvia (R), susceptibilidad de la erosión del suelo (K), largo de la pendiente (L), magnitud de la pendiente (S), cubierta y manejo de cultivos y residuos (C), y prácticas de conservación (P), para estimar la pérdida de suelos o erosión (A) por el período de tiempo representado por R , generalmente un año. La ecuación de este modelo es :

$$A = R * K * L * S * C * P \quad (1)$$

donde:

A = pérdida de suelos calculada por unidad de superficie, expresada en las unidades seleccionadas para K y el período seleccionado para R , generalmente toneladas $ha^{-1} año^{-1}$.

R = factor lluvia y escurrimiento, es el número de unidades de índice de erosión pluvial (**EI**), más un factor para escurrimiento por derretimiento de nieve o aplicación de agua. El (**EI**) para una tormenta, es el producto de la energía total de la tormenta (**E**) y su máxima intensidad en 30 minutos (**I**). ($\text{Mj mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ año}^{-1}$)

K = factor susceptibilidad de erosión del suelo, es la tasa de pérdida de suelos por unidad **EI** (índice de erosión) para un suelo específico, medido en una porción de terreno estándar (22.13 m de largo, 9% pendiente, en barbecho y labranza continua). ($[\text{Mg/ha}]/[(\text{MJ mm})/(\text{ha h})]$)

L = El factor de longitud de la pendiente, es la proporción de pérdida de suelos en el largo de la pendiente específica con respecto a un largo de pendiente estándar (22,13 m).

S = factor de magnitud de la pendiente, es la proporción de pérdida de suelos de una superficie con una pendiente específica con respecto a la pendiente estándar de 9% con todos los otros factores idénticos.

C = factor cubierta y manejo, es la proporción de pérdida de suelo en una superficie con cubierta y manejo específico con respecto a una superficie idéntica en barbecho, con labranza continua.

P = factor de prácticas de conservación, es la proporción de pérdida de suelo con una práctica de apoyo como cultivo en contorno, barreras vivas, o cultivo en terrazas, con respecto a aquella labranza en el sentido de la pendiente.

El modo de calcular cada uno de estos factores, puede consultarse en la sección 2.18.2 de éste capítulo, excepto el factor R o erosividad de la lluvia, el cual se calculó

con el modelo EPIC, un software que permitió generar las estadísticas de precipitación (consultar la sección 5.2.7. del capítulo V).

Wischmeier y Smith (1.978) (citado por Silva, (s/f)) describen cada uno de estos factores y proporcionan métodos para evaluarlos.

2.18.2. MUSLE

La ecuación Universal de Pérdida de Suelo Modificada (MUSLE) surge en la década de los setenta como una extensión del modelo USLE para pequeñas cuencas hidrográficas, con el fin de predecir los sedimentos aportados por las mismas, para un aguacero concreto (Mapping, 1.993).

Este modelo a diferencia del USLE, toma en cuenta factores como la escorrentía y el caudal pico, así como también el área de la cuenca a evaluar. Según Silva (2.008), la expresión de MUSLE, se representa de la siguiente manera:

$$Y = 15.86 * (Q * Qp)^{0.56} * A^{0.12} * K * L * S * C * P \quad (2)$$

Factores que Componen la MUSLE:

Y = Sedimentos aportados a una sección del cauce por un aguacero determinado (Mg/ha).

Q = Escorrentía correspondiente a ese aguacero (mm)

Qp = Caudal punta del hidrograma o caudal pico (mm/h)

A = Superficie de la cuenca (ha).

K = Índice de Erosionabilidad del suelo ([Mg/ha]/[(MJ mm)/(ha h)]).

L = Longitud de la pendiente (factor topográfico en m)

S = Grado de la pendiente (factor topográfico en %)

C = Cobertura vegetal (factor de cultivos)

P = Prácticas de cultivo. A continuación se describe la forma de calcular

cada uno de los factores

2.18.2.1 Factor Q : Escorrentía

El volumen de escorrentía puede estimarse por el modelo de Williams y La Seur (1.976), basado en el número de curva y humedad del suelo inicial (*USDA-SDS*, 1.972, citado por Silva, 2.008).

$$Q = (P - 0,2 * S)^2 / (P + 0,8 * S) \quad (3)$$

donde :

Q = escorrentía directa (mm) correspondiente al aguacero.

P = precipitación del aguacero (mm)

S = retención potencial de agua en el complejo suelo cobertura (mm)
(infiltración potencial).

La retención potencial viene dada, por la siguiente expresión:

$$S = 25400 / CN - 254 \quad (4)$$

donde:

S = Retención potencial (mm)

CN = Número de curva.

2.18.2.2. Factor Q_p : Caudal Punta producido por la escorrentía

Una manera de representar el gasto o caudal pico a nivel de diseño, es a través del hidrograma triangular (ver figura 2), el cual representa de una manera clara y precisa, los puntos claves de las crecidas. Otra forma de determinar este factor es a través, de la siguiente expresión (Silva, 2.008)

$$Q_p = (1,9 * Q * A) / (1000 * T_c) \quad (5)$$

donde :

Q_p = Caudal pico o gasto máximo (m^3/s)

Q = Escorrentía (mm)

A = Área de la cuenca (ha)

T_c = Tiempo de concentración (horas)

El tiempo de concentración , viene dado por :

$$T_c = 1,67 * (L^{0,8} * ((S/25,4) + 1)^{0,7}) / 735 * P^{0,5} \quad (6)$$

donde :

T_c = Tiempo de concentración (horas)

L = Longitud del cauce (mts)

S = Retención potencial de agua (mm)

P = Pendiente media de cauce (%)

siendo P :

$$P = 100 * (D/L) \quad (7)$$

donde :

P = pendiente media del cauce (%)

D = Diferencia del nivel de la cuenca (desnivel; mts).

L = Longitud del cauce (mts).

Es de hacer notar, que para utilizar la expresión 5 en la fórmula general de la MUSLE (fórmula 2) aplicada en este estudio, se debe transformar el factor Q_p (m^3/s) a unidades Q_p (mm/h). De la siguiente manera:

$$Q_{p(mm/h)} = Q_{p(m^3/s)} * 3600 / (10 * A) \quad (8)$$

donde :

$Qp_{(mm/h)}$ = caudal pico (mm/h)

$Qp_{(m^3/s)}$ = caudal pico (m³/s)

A = área de cada sector (ha)

2.18.2.3. Factor K : Índice de Erosionabilidad del Suelo

Este factor representa la susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica. Para ello se debe tomar en cuenta un conjunto de variables, como: textura del suelo (porcentaje de limo y arena muy fina), materia orgánica, estructura del suelo y permeabilidad. Todas ellas en su conjunto, son evaluadas a partir de la expresión siguiente:

$$100 * K = 10^{-4} * 2,71 * M^{1,14} * (12 - a) + 4,20 * (b - 20) + 3,23 * (c - 3) \quad (9)$$

donde :

M = Factor representativo de la textura. Se calcula como el producto del porcentaje de partículas de suelo menores a 0,002 mm, de diámetro, expresado en %, por el porcentaje de partículas de suelo comprendidas entre 0,002 – 2 mm. de diámetro, expresado también en %, o lo que es igual, a 100 menos el % de arcilla de la muestra por el % de limo más arena muy fina.

Es decir :

$$M = [100 - Porcarcilla] * [Porc * (limo + arena muy fina)] \quad (10)$$

donde:

Porcarcilla = Porcentaje de arcilla

Porc = Porcentaje de limo y arena muy fina.

a = Porcentaje de materia orgánica (%)

$$a = PorcC * 1,724 \quad (11)$$

donde :

$PorcC$ = porcentaje de carbono orgánico .

$1,724$ = factor utilizado por el Ministerio del Ambiente (Guanare), para el cálculo de materia orgánica.

b = número correspondiente a la estructura del suelo según la siguiente codificación (Edeso *et al.*, 1.995) :

1- gránulo muy fino y grumo muy fino (<1 mm)

2- gránulo fino y grumo fino (1-2 mm)

3- gránulo y grumo medio (2-5 mm) y gránulo grueso (5-10 mm)

4- gránulo liso, prismático, columnar y muy grueso (>10 mm).

c = clase de permeabilidad del perfil, según la siguiente codificación del *USDA-Soil Survey Manual* :

1- rápida a muy rápida

2- medianamente rápida

3- moderada

4- moderadamente lenta

5- lenta

6- muy lenta

2.18.2.4. Factor Topográfico (LS)

Los factores de longitud de pendiente (L) y grado (gradiente) de pendiente (S) se combinan en un sólo índice (factor topográfico) que expresa la relación entre la pérdida de suelo en una ladera de pendiente y longitud dada. (Morgan *et al.*, s/f). Existen diversas formas de calcular los factores “ L ” y “ S ”, a continuación se presentan los métodos utilizados en ésta investigación:

Para el cálculo del factor LS en el modelo MUSLE, se determinó la longitud de pendiente y el grado de pendiente a través de las siguientes formulas, según Casanova (s/f).

La longitud de pendiente (L) viene dado por :

$$L = (1122,13)^{(0,6 * (1 - 2,87)^{-25,825 * p})} \quad (12)$$

donde :

L = longitud de la pendiente (m)

l = longitud constante (m)

p = pendiente (%)

La longitud constante (l), se tomó de 50 mts para todas las pendientes de las cuencas en estudio (Boconó, Qda. Barnizales, Río Tucupido, Sin Nombre 1, Qda. Riquera, Sin Nombre 2 y Qda. Los Higuerones) y la pendiente (%) se determinó con el mapa de pendientes de la zona protectora del sistema de embalses Boconó Tucupido, mediante la utilización del sistema de información geográfica.

La longitud de la pendiente es un dato que no figura en los estudios generales de suelo, hay que calcularlo en campo. Si no se cuenta con esta información, se puede asumir un valor de 100 metros, probablemente un poco más para los terrenos llanos y algo menos para los de fuertes pendientes (Ramos, 2.001). En el caso del Sistema

de Embalses Boconó Tucupido, específicamente para las pendientes de las cuencas en estudio, se tomó el valor medio de 50 mts (Oscar Silva, comunicación personal, 2.009), para la longitud constante (l), en la fórmula 12.

Para el cálculo del factor S (grado de pendiente), se utilizó la expresión de McCool, cuando las pendientes son mayores que 9% , y cuando son inferiores, se utiliza la ecuación de Wischmeier y Smith (Oscar Silva, comunicación personal, 2.009), ya que en ésta última, el efecto del gradiente de la pendiente (S), es sobrestimado en laderas pronunciadas (Hart, 1.984, citado por Casanova, s/f).

El factor “ S ”, utilizando las ecuaciones de McCool, vienen dadas a través de las siguientes expresiones:

$$S = 16,8 * \sin(ATan(p/100)) - 0,5 ; \text{ para } p > 9 \% \quad (13)$$

$$S = 10,8 * \sin(ATan(p/100)) + 0,03 ; \text{ para } p < 9 \% \quad (14)$$

donde :

S = grado de pendiente

p = pendiente (%)

$ATan$ = Arco Tangente

El factor S , calculado a través de las ecuación de Wischmeier y Smith, viene dada por la siguiente expresión:

$$S = 0,065 + 0,045 * s + 0,0065 * s^2 ; \text{ para } s > 9 \% \text{ y } s < 9 \% \quad (15)$$

donde :

S = grado de pendiente

s = pendiente o gradiente (%)

Finalmente, con los dos factores topográficos, “*L*” y “*S*”, calculados para el modelo MUSLE, se determina el producto de ambos, para obtener el factor *LS*.

Para el cálculo del factor topográfico *LS*, del modelo USLE, se utiliza el método de Helena Mitsova, el cual viene expresado de la siguiente manera: (Mitsova y Mitsova, 1.999).

$$LS_{(r)} = (m+1) * [A_{(r)}/22,1]^{0,6} * [\sin b_{(r)}/0,09]^{1,3} \quad (16)$$

donde :

$(r) = (x, y)$ (punto en el área)

$A_{(r)}$ = pendiente ascendente por unidad de área (%)

$b_{(r)}$ = pendiente (grado)

$m = 0.6$ (parámetros)

$n = 1.3$ (parámetros)

$a_0 = 22,1 \text{ m} = 72,6 \text{ pies}$ (longitud de la pendiente, estándar de la USLE)

$b_0 = 0,09 = 9\% = 5,16 \text{ grado}$ (pendiente estándar de la USLE)

Utilizando los parámetros $m = 0.6$ y $n = 1.3$, los resultados del factor *LS*, son más coherentes con el modelo RUSLE (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada), cuando las longitudes de las pendientes son menores a 100 mts (<100 mts) y los ángulos de las pendientes menores a 14 grados (<14) (Moore y Wilson, 1.992, citado por Mitsova y Mitsova, 1.999), estos parámetros pueden ser calibrados si los datos están disponibles.

2.18.2.5. Factor C :Cultivos

El cultivo influye en la erosión, todo va a depender de la especie a ser cultivada, la cantidad de producción y el período en la cual se desarrollan las labores. Un suelo cubierto por bosques se protege más a los efectos de la erosión, que un suelo cubierto por pastizales, esto se debe a una intervención humana mínima o inexistente, caso que no ocurre con los pastizales. Para la obtención del factor **C**, se utiliza una tabla, la cual, dependiendo del tipo de cultivo, se le asigna su valor correspondiente.

Para efecto de esta investigación, se utilizó la siguiente tabla para la obtención del factor **C**, la utilización del mapa de vegetación del estudio de impacto ambiental (REPSOL, 2002), imagen satelital y la ayuda de un experto, éste último, para identificar los cultivos presentes en el área .

Tabla 2. Factor de Cultivos **C** para vegetación natural o para algunos tipos de vegetación permanente.
Fuente: Wischmeier y Smith(1.978) y Delgado F. (2001), citado por Vargas M. UNELLEZ, 2.004.

Cultivos	Factor C.
Pastizal denso, no pastoreado	0.003 - 0.006
Pastizal denso, moderadamente pastoreado	0.01 - 0.02
Pastizal ralo , no pastoreado	0.06 - 0.10
Pastizal ralo, pastoreado	0.20 - 0.40
Pastizal ralo muy pastoreado y degradado	0.60 - 0.80
Matorral denso	0.005 - 0.01
Matorral claro con substrato herbáceo denso	0.01- 0.05
Matorral claro con substrato herbáceo denso ralo o degradado	0.10 - 0.30
Bosque denso	0.001 – 0.003
Bosque claro con substrato herbáceo denso	0.003 – 0.010
Bosque claro con substrato herbáceo ralo	0.15 – 0.20
Páramo	0.005 – 0.01
Terrenos desprovistos de vegetación	0.9 – 1.0

2.18.2.6. Factor P : Prácticas de Cultivo o Conservación

Es la relación entre la erosión que ocurre con una determinada práctica mecánica de apoyo y la que ocurre con la condición estándar de laboreo a favor de la pendiente (Clérici y García, 2.001). Cuando el valor de $P=1$, indica que no existen prácticas de cultivo en la zona, generalmente éste es el valor que se asume cuando se aplican modelos de erosión. Los valores de éste factor se obtienen de la siguiente tabla.

Tabla 3. Factor P. Fuente: Wischmeier y Smith (1.978), Delgado F. (2001) citado por Vargas. M. UNELLEZ, 2.004.

Prácticas de Conservación (P)	Factor P
Sin prácticas	1.000
Siembra en contorno	0.875
Cultivo en franjas de ancho > 30 cm	0.750
Cultivo en franjas de ancho 15-30 cm	0.650
Cultivo en franjas de ancho < 15 cm	0.560
Barreras vivas simples de pasto denso, dist. > 30 m	0.540
Barreras vivas simples de pasto denso, dist. 15-30 m	0.525
Barreras vivas simples de pasto denso, dist. < 15 m	0.510
Fajinas altas de ramas, dist. > 30 cm	0.530
Fajinas altas de ramas, dist. 15-30 cm	0.520
Fajinas altas de ramas, dist. < 15 cm	0.505
Terrazas de bancos alternos, dist > 30 m	0.380
Terrazas de bancos alternos, dist 15-30 m	0.340
Terrazas de bancos alternos, dist < 15 m	0.300
Terrazas de bordo ancho, dist > 120 m	0.510
Terrazas de bordo ancho, dist 80-120 m	0.490
Terrazas de bordo ancho, dist < 80 m	0.470
Acequias de ladera, dist. >30 m	0.400
Acequias de ladera, dist. 15-30 m	0.375
Acequias de ladera, dist. <15 m	0,350
Acequias de ladera con barreras vivas, dist. >30 m	0,300
Acequias de ladera con barreras vivas, dist. 15-30 m	0,280
Acequias de ladera con barreras vivas, dist. <15 m	0,260
Zanjas de absorción, dist. >30 m	0,390
Zanjas de absorción, dist. 15-30 m	0,360
Zanjas de absorción, dist. <15 m	0,330

4. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

En éste capítulo, se delimita y describe el área geográfica donde va a ser desarrollada la investigación.

El sistema de embalses Boconó Tucupido, también llamado Represa la Coromoto, se encuentra ubicado, en las coordenadas geográficas comprendidas aproximadamente entre los $8^{\circ} 53' 8.75''$ y $9^{\circ} 5' 15.39''$ de latitud norte y los $69^{\circ} 53' 3.13''$ y $70^{\circ} 7' 23.69''$ de longitud oeste.

4.1. Ubicación Política

El sistema de embalses Boconó Tucupido, se localiza en los municipios San Genaro de Boconoíto y Guanare en el estado Portuguesa y Rodríguez Domínguez en el estado Barinas.

4.2. Límites Naturales

Norte: Divisorias de aguas en las filas “la Peña, Cerro Qda. Riquera y Agua Amarilla”

Sur: Carretera Troncal 5 (tramo Tucupido – Puente Páez).

Este: Divisorias de agua subcuenca Tucupido.

Oeste: Divisorias de agua subcuenca Boconó.

4.3 Marco Legal

El área de estudio se encuentra totalmente dentro de la zona protectora del área “Guanare – Masparro”, la cual comprende las cuencas hidrográficas de los ríos Guanare, Boconó, Tucupido, La Yuca y Masparro (Méndez *et al.*, s/f), es una figura

jurídica de ABRAE (áreas bajo régimen de administración especial) cuyo origen se remonta a la creación por Decreto Presidencial Nro. 107 de fecha 26/05/74, el cual es modificado por razones técnicas mediante Decreto Nro. 1.651 de fecha 20/08/91, a fin de facilitar el manejo, la materialización e identificación de los límites de la Zona Protectora. Luego, un año después, en fecha 05/06/92 en otro decreto Nro.2.326 se estableció el Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso (convenio inter-institucional entre MARN, CADAPE-DESURCA y BioCentro), el cual estableció los lineamientos y directrices para la administración del área (MARNR, 1.998).

Según Méndez *et al.*, (s/f), la premisa fundamental de la Zona Protectora es cumplir con el objetivo de preservar los recursos naturales de esta enorme región, así como preservar la vida útil de los embalses Masparro y Boconó-Tucupido, obras hidráulicas de valor estratégico de la región centro-occidental de Venezuela. También refleja la diversidad natural y cultural que debe ser preservada para el uso y disfrute de las generaciones actuales y futuras.

La ubicación geográfica del sistema de embalses (ver sección 4.1 - 4.2) puede verse en la siguiente figura.

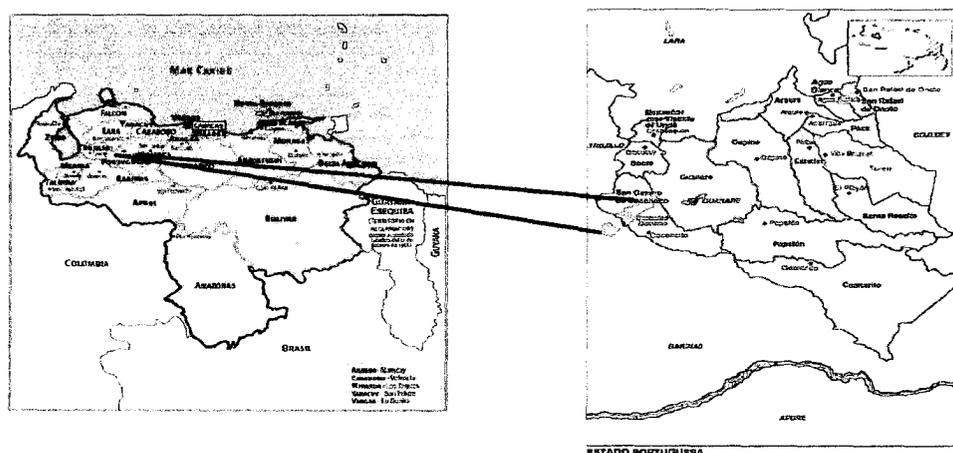


Figura 4.- Ubicación Geográfica del Sistema de Embalses Boconó Tucupido

4.4 Sistema de Embalses

A comienzos de los años 50, se dio inicio al proyecto para la construcción de un complejo, el cual estaría conformado por la presa Boconó Tucupido, una central hidroeléctrica y los sistemas de riego Boconó Tucupido. El mismo sería desarrollado en varias etapas. En 1.957 se realiza el proceso de licitación pública, pero motivado a la caída de la dictadura en el año 1.958 se declaró desierto, fue entonces hasta 1.975 cuando se da inicio a las obras, cuya finalización en 1.988 se obtiene con la construcción del canal de interconexión de los embalses Boconó Tucupido (Becerra, 2.005).

4.4.1. Beneficios del Complejo Boconó Tucupido

Entre los beneficios se encuentran :

1. Generar Electricidad.
2. Proveer de actividades económicas, agrícolas, industriales y de servicios a la población.
3. Regular Caudales, navegación fluvial, ordenamiento hidráulico, tierras agrícolas y pesqueras.
4. Desarrollar actividades deportivas, recreativas y turísticas, etc.

4.4.2. Características del Sistema de embalses Boconó Tucupido

Tabla 4. Características del Sistema de Embalses Aguas Arriba. **Fuente:** MARNR, 1.998

Aguas Arriba	
Nivel Máximo	195 m.s.n.m
Nivel Mínimo	191,50 m.s.n.m
Cuenca del río Boconó en la presa	1.580 km ²
Cuenca del río Tucupido en la presa	440 km ²

Tabla 5. Características del Sistema de Embalses Aguas Abajo. **Fuente:** MARNR, 1.998

Aguas Abajo	
Nivel Máximo	195 msnm
Nivel Mínimo	191,50 msnm
Cuenca del río Boconó en la presa	1.580 km ²
Cuenca del río Tucupido en la presa	440 km ²
Precipitación media anual en las cuencas	2.090 mm
Volumen almacenado para nivel normal	3.590 x10 ⁶ m ³
Volumen útil	2.090 x10 ⁶ m ³
Volumen muerto	1.500 x10 ⁶ m ³
Volumen control crecientes	:400 x10 ⁶ m ³
Área inundada	2.020 km ²

**Figura 5.-** Sistema de Embalses Boconó Tucupido

4.4.3. Estaciones Pluviográficas :

La estación pluviográfica “Peña Larga” se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas de latitud $08^{\circ} 53' 05''$ y longitud $70^{\circ} 02' 19''$ a una altitud de 286 m.s.n.m, en la cresta de la presa a la margen izquierda del embalse Boconó Tucupido. El equipo que contiene ésta estación es el siguiente :

1. Testigo – PC
2. Pluviógrafo



Figura 6.- Pluviógrafo Estación Peña Larga

La estación pluviográfica “Caño Largo” se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas de latitud $08^{\circ} 57' 37''$ y longitud $70^{\circ} 01' 39''$ a una altitud de 311 m.s.n.m, en la cola del embalse Boconó Tucupido en la margen izquierda del río Boconó. El equipo que contiene esta estación, es un pluviógrafo, con un registro desde el año 1.987.



Figura 7.- Pluviógrafo Estación Caño Largo

4.5. Caracterización Físico Natural

4.5.1. Clima

El área que comprende el sistema de embalses Boconó Tucupido, se encuentra ubicado entre el piedemonte y la montaña de la Sierra de Portuguesa. Esta posee dos zonas de vida según Holdridge, 1.979: Bosque Seco Tropical en los sectores piedemontinos hasta cerca de los 800 m.s.n.m y Bosque Húmedo Premontano en los sectores de montaña más al norte.

4.5.2. Precipitación

Los datos de precipitación indican la presencia de dos períodos climáticos, bien definidos, uno seco en los meses de diciembre a marzo y uno de lluvia, correspondientes a los meses de abril a noviembre.

El total promedio de precipitación para el período de 1.989 – 1.999, en el área de estudio es de 1.727,8 mm. Las precipitaciones máximas promedios se registran entre los meses de mayo, junio y julio; siendo junio el más lluvioso. Los meses más secos son diciembre, enero y febrero, siendo enero el más seco con 9,7 mm.

Tabla 6. Valores Promedios mensuales de precipitación (mm) en las estaciones Guanare, Mesa de Cavacas, Sipororo y Desembocadero. Período 1.989 – 1.999.

Fuente: MARN, 2.000, citado por Niño M. 2.002

Período 1.989 – 1.999.	Guanare	Mesa de Cavacas	Sipororo	Desembocadero	Promedio
Enero	8,7	5,3	5,7	19,1	9,7
Febrero	22,7	22,3	13,6	41,0	24,9
Marzo	24,5	34,9	27,7	49,3	34,0
Abril	110,1	153,4	138,0	198,1	149,9
Mayo	245,0	228,5	208,0	253,8	233,8
Junio	262,0	249,2	200,7	289,3	250,3
Julio	248,6	245,2	204,8	269,5	242,0
Agosto	217,1	211,0	184,6	258,9	222,9
Septiembre	187,4	212,4	196,0	271,7	216,9
Octubre	179,2	206,9	172,0	238,8	199,2
Noviembre	86,0	100,4	103,9	150,2	112,4
Diciembre	22,0	30,3	25,9	49,3	31,8
Total	1.613,3	1.708,8	1480,0	2.109,1	1.727,8

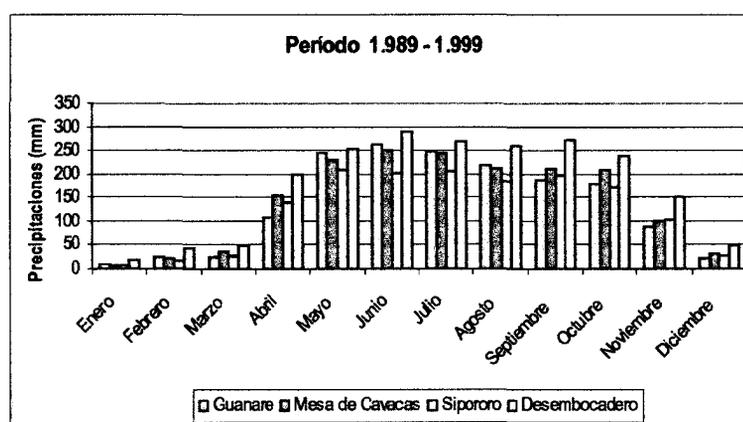


Figura 8.- Gráfico de valores promedios mensuales de precipitación (mm).

Fuente: cálculos propios, 2.007

Los datos de precipitación que a continuación se presentan, pertenecen a tres estaciones pluviográficas sumamente importantes para el sistema de embalses Boconó Tucupido. La estación “Peña Larga”, la estación “Caño Largo” y la estación “Sipororo”, las cuales se encuentran ubicadas en la cresta, cola y sur respectivamente, del sistema de embalses Boconó Tucupido.

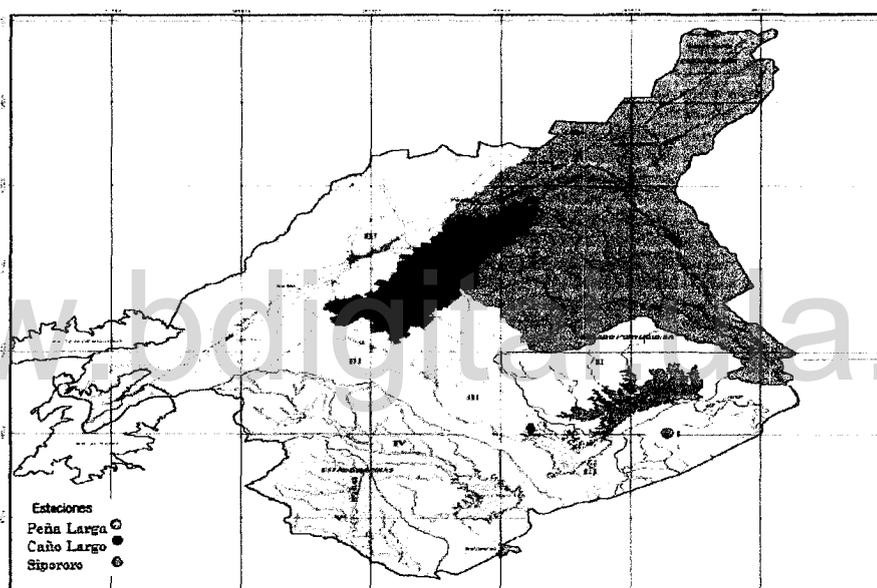


Figura 9- Estaciones Pluviográficas Peña Larga, Caño Largo Y Sipororo

Fuente: DESURCA, 2007

Los datos de precipitación indican la presencia de dos períodos climáticos, bien definidos, uno seco en los meses de diciembre a marzo y uno de lluvia, correspondientes a los meses de noviembre a abril.

El total promedio de precipitación para el período de 1.992 – 2.002 en el área de estudio, fue de 1.860,03 mm. Las precipitaciones máximas promedios se registraron entre los meses de mayo, junio, julio y agosto; siendo junio el más lluvioso. Los

meses más secos son diciembre, enero y febrero, siendo enero el más seco con 5,53 mm (tabla 7).

Tabla 7. Valores promedios mensuales de precipitación (mm) en las estaciones Peña Larga y Caño Largo. Período 1.992 – 2.002. **Fuente:** DESURCA. Peña Larga, 2.007

<i>Período 1.992 - 2.002</i>	<i>Peña Larga</i>	<i>Caño largo</i>	<i>Promedio</i>
Enero	3,24	7,82	5,53
Febrero	20,75	26,96	23,85
Marzo	44,13	56,22	50,17
Abril	153,48	164,93	159,20
Mayo	254,05	269,05	261,55
Junio	280,46	287,07	283,77
Julio	235,65	248,23	241,94
Agosto	238,29	250,01	244,15
Septiembre	217,72	245,68	231,70
Octubre	209,28	237,75	223,51
Noviembre	94,54	107,09	100,81
Diciembre	28,43	39,25	33,84
Total	1.780,01	1.940,05	1.860,03

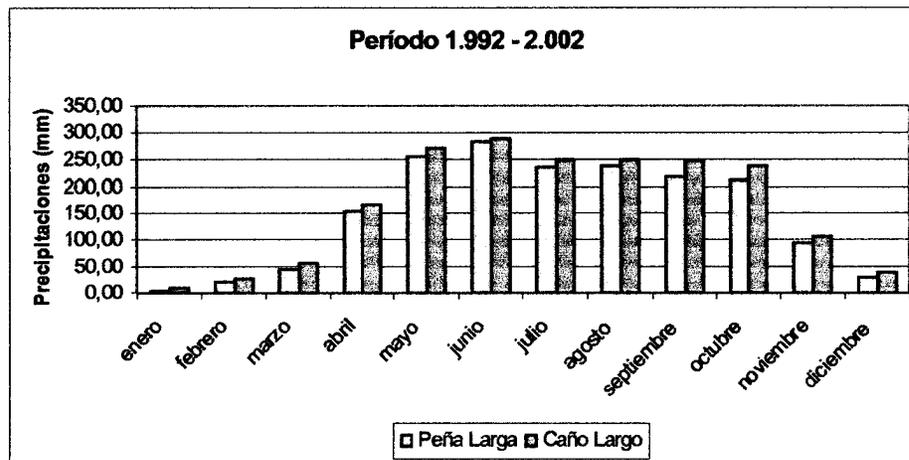


Figura 10.- Gráfico de valores promedios mensuales de precipitación (mm).

Fuente: cálculos propios, 2.007

Comparando los resultados de las Tablas 6 y 7, se deduce, que no existe variación en cuanto a los períodos climáticos, seco y de lluvia, entre las estaciones Guanare, Mesa de Cavacas, Sipororo, Desembocadero, Peña Larga y Caño Largo, más no así, en los valores promedios mensuales de precipitación de cada una de ellas.

4.5.3. Temperatura

La temperatura media en el área de estudio es de 26,6 °C (Tabla 8). La temperatura máxima media y máxima absoluta, se registran en el mes de marzo con 34,4 °C y 38,5 °C, respectivamente. La temperatura mínima absoluta se registra en el mes de febrero con 15,4 °C (MARN, 1.993, citado por Niño, 2.002).

Tabla 8. Valores promedios de temperatura (°C) en las estaciones Guanare y Mesa de Cavacas.
Período 1.989 – 1.999.

Fuente: MARN, 2.000. Citado por Niño, 2.002

<i>Período 1.989 -1.999</i>	<i>Guanare</i>	<i>Mesa de Cavacas</i>	<i>Promedio</i>
Enero	26,6	26,5	26,6
Febrero	27,6	27,4	27,5
Marzo	28,4	28,0	28,2
Abril	28,2	27,7	27,9
Mayo	26,8	26,4	26,6
Junio	25,7	25,8	25,8
Julio	25,2	25,5	25,4
Agosto	25,6	26,0	25,8
Septiembre	26,1	26,5	26,3
Octubre	26,4	26,8	26,6
Noviembre	26,3	26,5	26,4
Diciembre	26,1	26,3	26,2
Total	26,6	26,6	26,6

La temperatura promedio mínima anual en la zona es de 21,41 °C, se registró la mínima absoluta en el mes de enero con 19,3 °C, en el año 1.994 y la temperatura promedio mínima mensual se registró en el mes de enero con 20,21 °C (Tabla 9). La temperatura promedio máxima anual es de 31,98 °C, se registró la máxima absoluta en el mes de marzo con 35,8 °C en el año 1.992 (Tabla 10).

Tabla 9. Valores promedios mensuales de temperatura mínima (°C). Período 1.992- 2.002.**Fuente :** Estación la Quinta. Sabaneta Edo. Barinas, 2.006

Temperaturas Mínimas en °C													
Año	ene	Feb	Marz	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nomb	Dic	PRMA
1992	20,50	22,00	24,20	24,90	23,60	22,80	22,00	22,30	22,10	23,30	23,00	21,50	22,68
1993	21,00	21,70	22,70	23,80	23,80	23,10	22,40	22,20	22,80	23,30	22,50	21,20	22,54
1994	19,30	22,00	23,10	23,20	23,20	22,40	21,90	21,80	22,50	22,30	22,00	21,40	22,09
1995	19,60	20,40	22,70	23,80	23,40	23,10	22,50	22,70	22,80	22,60	22,10	21,50	22,27
1996	20,60	22,40	23,30	23,60	23,30	23,30	22,70	23,30	23,50	23,60	23,20	22,10	22,91
1997	21,00	22,50	21,70	23,60	23,60	23,20	22,20	23,10	23,40	23,30	23,10	22,10	22,73
1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1999	-	-	-	-	-	22,30	20,90	22,00	22,50	22,40	22,50	21,20	12,82
2000	19,80	21,80	22,40	23,20	23,40	22,60	21,80	22,30	22,00	22,20	21,90	21,40	22,07
2001	19,50	19,40	22,20	22,90	23,30	21,70	22,10	22,00	22,40	22,80	22,80	22,40	21,96
2002	20,60	20,90	22,80	23,20	23,40	22,30	22,30	21,80	21,40	22,60	22,60	20,90	22,07
Promedio mensual	20,21	21,46	22,79	23,58	23,44	22,68	22,08	22,35	22,54	22,84	22,57	21,57	21,41
Min. Mensual													20,21
Min. Absoluta	19,3	19,4	21,7	22,9	23,2	21,7	20,9	21,8	21,4	22,2	21,9	20,9	19,3

Tabla 10. Valores promedios mensuales de temperatura máximas (°C) . Período 1.992- 2.002.**Fuente:** Estación la Quinta. Sabaneta Edo. Barinas, 2.006

Temperatura Máxima en °C														
Año	ene	Feb	mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	PRMA	
1992	32,80	34,30	35,80	34,00	31,90	30,10	29,60	30,40	31,40	33,10	32,00	31,80	32,25	
1993	32,30	33,70	32,80	31,90	31,30	30,20	30,40	30,20	31,70	32,00	31,00	31,90	31,62	
1994	33,00	33,60	33,60	31,80	30,80	30,10	29,60	30,70	31,00	31,40	31,50	32,00	31,58	
1995	32,50	33,60	34,40	32,30	31,80	30,80	31,00	31,50	32,60	31,00	32,30	32,30	32,18	
1996	33,30	33,40	33,40	33,40	31,20	30,30	29,60	31,30	31,40	31,80	31,20	31,10	31,78	
1997	32,30	30,90	32,50	32,80	30,60	30,50	29,70	30,90	32,40	32,80	32,40	32,50	31,69	
1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1999	-	-	-	-	-	32,10	30,30	30,40	31,50	31,50	32,60	32,20	31,51	
2000	33,20	34,40	33,10	33,80	31,80	30,90	30,70	31,70	31,70	32,40	32,50	31,70	32,33	
2001	32,70	32,70	34,60	33,50	32,90	30,80	31,70	31,50	32,10	32,40	33,70	32,10	32,56	
2002	33,20	34,20	34,40	32,90	31,60	30,50	31,70	30,90	32,60	31,50	32,20	31,80	32,29	
Promedio mensual	32,81	33,42	33,84	32,91	31,54	30,63	30,43	30,95	31,84	31,99	32,14	31,92		
Promedio Anual													31,98	
Max Absoluta	33,3	34,4	35,8	34	32,9	32,1	31,7	31,7	32,6	33,1	33,7	32,5	32,56	35,8

4.5.4. Evaporación

La evaporación promedio anual en la zona es de 1.433,94 mm, la evaporación máxima ocurre en el mes de marzo con 188,09 mm, la mínima se registran en el mes de mayo con 140,34 mm (Tabla 11) .

Tabla 11. Valores promedios mensuales de Evaporación (mm). Período 1.992- 2.002.**Fuente :** Estación la Quinta. Sabaneta Edo. Barinas, 2.006

EVAPORACION (mm)													
AÑO	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	PROMA
1992	213,6	230,3	239,3	170,3	141,3	128,0	109,8	133,5	156,5	178,2	145,9	146,9	166,13
1993	164,4	183,6	168,5	132,9	136,6	101,9	127,3	135,5	154,3	170,2	124,4	165,8	147,12
1994	200,6	196,2	201,4	137,7	105,6	130,1	114,8	134,8	122,7	112,6	143,0	141,8	145,11
1995	167,5	172,7	166,3	153,7	146,1	129,9	144,9	153,9	157,3	144,0	170,5	164,6	155,95
1996	192,6	162,7	173,1	156,8	121,9	113,1	161,0	118,2	126,4	150,4	121,6	133,7	144,29
1997	180,7	143,2	185,6	153,4	130,6	140,6	117,2	152,4	157,3	156,4	148,9	179,9	153,85
1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1999	-	-	-	-	-	157,4	135,0	136,6	144,7	153,9	162,9	169,5	88,33
2000	61,8	98,4	135,4	73,0	193,9	325,7	289,4	182,2	211,1	168,3	134,5	85,6	163,28
2001	83,4	201,4	215,9	165,0	141,3	152,3	171,1	152,5	159,2	160,8	169,3	143,2	159,52
2002	212,0	198,9	207,3	144,9	145,8	117,9	161,8	135,7	-	-	-	-	110,36
Prom. Mens	164,07	176,38	188,09	143,08	140,34	149,69	153,23	143,53	154,39	154,98	146,78	147,89	
MAX													188,09
Min													140,34
Totales	1476,6	1587,4	1692,8	1287,7	1263,1	1496,9	1532,3	1435,3	1389,5	1394,8	1321	1331	1433,94

4.5.5. Humedad Relativa

El área de estudio posee una humedad relativa, donde las máximas se registran en los meses de junio a agosto (80%) y la mínima en el mes de marzo (64%).

Tabla 12 . Valores Promedios Mensuales de la Humedad Relativa. Período 1.988 – 2.002.**Fuente:** Estación la Quinta. Sabaneta Edo. Barinas, 2.006.

<i>Período 1.988 -2.002</i>	<i>La Quinta (promedio)</i>
Enero	67,77
Febrero	65,54
Marzo	64,77
Abril	70,00
Mayo	78,08
Junio	80,79
Julio	80,43
Agosto	80,86
Septiembre	78,86
Octubre	78,46
Noviembre	76,92
Diciembre	73,92
Total	74,7

4.5.6. Viento

El área en estudio posee una velocidad media del viento, de 3,87 km/h. Como se aprecia en la Tabla 13, las velocidades máximas del viento ocurren en el mes de febrero con 4,89 km/h y las mínimas en el mes de agosto con 3,32 km/h.

Tabla 13 . Valores promedios mensuales de la velocidad del viento (km/h). Período 1.988 – 1.997.
Fuente: Estación la Quinta. Sabaneta Edo. Barinas, 2.006

<i>Período 1.988 -1.997</i>	<i>La Quinta (promedio)</i>
Enero	3,78
Febrero	4,89
Marzo	4,72
Abril	4,57
Mayo	3,91
Junio	3,67
Julio	3,33
Agosto	3,32
Septiembre	3,42
Octubre	3,37
Noviembre	3,58
Diciembre	3,88
Total	3,87

A continuación se presenta la velocidad del viento tomando en cuenta dos estaciones y períodos diferentes a la tabla anterior.

Según Niño (2.002), el área de estudio posee una velocidad promedio del viento de 5,5 km/h, clasificándolo como “aire ligero” (escala de Beaufort). Como se aprecia en la Tabla 14, las velocidades máximas del viento ocurren en el mes de marzo con 6,6 km/h y las mínimas en el mes de julio con 4,9 km/h.

Tabla 14. Valores promedios mensuales de la velocidad del viento (km/h) en las estaciones Guanare y La Quinta. Período 1.982 – 1.992. Fuente: MARNR, 1.993. Citado por Niño, 2.002.

<i>Período 1.982 -1.992</i>	<i>Guanare</i>	<i>La Quinta</i>	<i>Promedio</i>
Enero	7,2	3,7	5,5
Febrero	7,8	4,3	6,1
Marzo	8,8	4,4	6,6
Abril	7,2	4,1	5,7
Mayo	6,9	3,4	5,2
Junio	6,3	3,8	5,1
Julio	6,8	2,9	4,9
Agosto	5,9	3,0	4,5
Septiembre	6,0	3,1	4,6
Octubre	5,9	3,3	7,6
Noviembre	6,1	3,3	4,7
Diciembre	6,3	3,5	4,9
Total	6,6	3,5 – 4,5	5,5

Como se puede apreciar en la Figura 11, la velocidad del viento en la estación “La Quinta” para el período 1.982-1.992 se mantiene por debajo, excepto en el mes de junio, donde se observa un ligero aumento de 3,8 km/h en comparación con 3,67 km/h para el período 88-97.

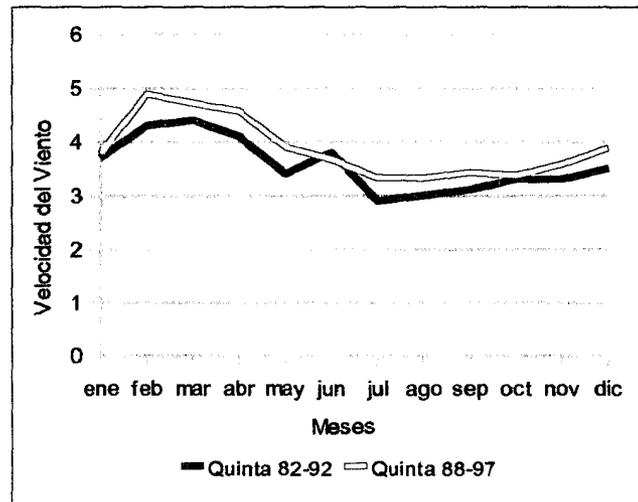


Figura 11. Comparación de la velocidad del viento en la estación la Quinta. Período 1.988– 1.997. y 1.982-1.992. Fuente: Estación la Quinta, 2.006

4.5.7. Hidrología

La red hidrográfica del Guanare – Masparro, está constituida por los ejes fluviales principales, secundarios y terciarios que forman parte de las cuencas de los ríos Guanare, Tucupido, Boconó, Masparro y La Yuca. Cada una de estas cuencas está constituida por una o más subcuencas. A continuación, en la Tabla 15 se señalan las cuencas en estudio, que surten al sistema de embalses Boconó – Tucupido.

Tabla 15. Cuencas en Estudio Sistema de Embalses Boconó - Tucupido .Fuente: MARNR, 2.003

Cuenca		Superficie (ha)	%	Longitud de Ríos (mts)
Río Boconó		3.665	16,05	5.696
	Qda. Barnizales	4.065,976	17,8	60.527
	Sin Nombre 1	3.822,480	16,74	4.248
	Qda. Riquera	1.652,367	7,24	31.033
	Sin Nombre 2	1.722,898	7,54	8.148
	Qda. Los Higuerones	864,103	3,78	13.127
Río Tucupido		7.044	30,84	60.217
TOTAL		22.836	100	182.996

4.6. Unidades Cartográficas y Permeabilidad de los Suelos Presentes en el Área de Estudio :

La zona en estudio, presenta una variedad de suelos dominantes, los cuales vienen clasificados por unidades, es así, como por ejemplo, los suelos dominantes de la unidad M007 son Haplohumults y Humitropepts con una permeabilidad moderada y moderadamente rápida, respectivamente.

Las unidades cartográficas, corresponden a: paisajes de Montaña (M), Piedemonte (P) y Valles (V).

Tabla 16. Unidades Cartográficas y Permeabilidad de los Suelos.

Fuente: MARNR, 2003 y Centro Cartográfico UNELLEZ.

Unidad	Suelos Dominantes				Permeabilidad			Hectáreas
M007	Haplohumults	Humitropepts			3	2		11964,12
M008	Haplohumults	Hapludults			4	3		949,52
P003	Haplustalfs	Haplustults	Paleustults		3	3	3	16855,91
P004	Haplustalfs	Haplohumults			3	3		6632,99
V001	Dystropepts	Humitropepts	Eutropepts		3	1	Sin dato	165,9
V003	Dystropepts	Haplustalfs	Haplustults	Paleustults	3	3	1	13371,93

A continuación, en la Figura 12 se presenta el mapa de suelos de la zona protectora del sistema de embalses Boconó Tucupido, identificando sus unidades cartográficas, las cuales representan los diferentes tipos de paisajes presentes en el área de estudio como montañas, piedemonte y valles, también se puede identificar el espejo de agua (embalse).

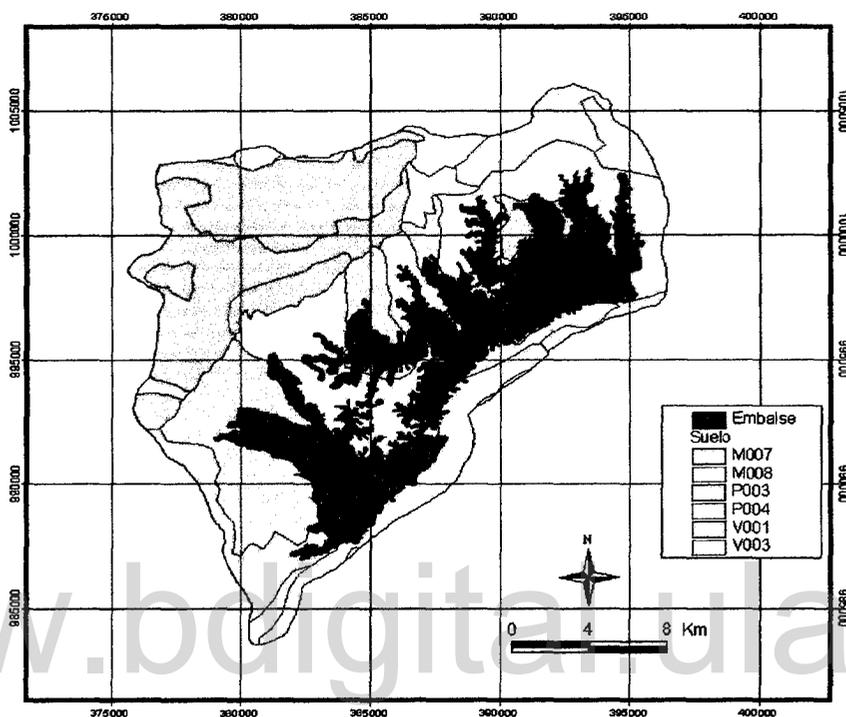


Figura 12. Mapa de Suelos Presentes en la Zona Protectora del Sistema de Embalse Boconó Tucupido

Fuente: Centro Cartográfico. UNELLEZ, 2.007

Según Hernández *et al.*, (2.003), las unidades cartográficas se encuentran caracterizadas de la siguiente manera:

4.6.1. Unidad M007

1. **Fisiografía y Localización** : pertenece al paisaje de montaña y abarca parte de las cuencas de los ríos Tucupido, Boconó y Maspardo. Constituye la mayor parte del frente montañoso que colinda con el piedemonte.

2. **Zona de Vida** : dentro de esta unidad se pueden conseguir varias zonas de vida, siendo las más importantes: bosque húmedo y muy húmedo premontano (sin diferenciar), bosque húmedo tropical, áreas transicionales entre ellos y bosque seco tropical.
3. **Relieve, Drenaje y Erosión** : el relieve es inclinado, con un rango de pendiente muy amplio (25% a 90%); los suelos son bien drenados a algo excesivamente drenados. En forma general, la erosión es imperceptible, aunque en algunas zonas existe cierta erosión laminar.
4. **Aspecto Geológico** : ésta unidad está comprendida dentro de la Formación Pagüey, del terciario, la cual está constituida por rocas sedimentarias cuya descripción litológica resumida es la siguiente: areniscas ferruginosas, carbonáceas, ocasionalmente calcáreas, de color gris a gris oscuro, frecuentemente meteorizando a pardo, de grano fino a medio, lajosas y con rizaduras, que alternan con lutitas y limolitas.
5. **Vegetación Natural y Uso Actual de la Tierra**: existe un predominio de la vegetación boscosa, encontrándose especies tales como: jobo, gateao, cedro, guamo, aceituno, higuerón, jabillo, yagrumo, palma, roble, etc. La intervención es poca, manifestada en su mayor parte por rastrojos, algunos conucos y cafetales.

4.6.2. Unidad M008

1. **Fisiografía y Localización**: se encuentra dentro del paisaje montañoso, ocupando aproximadamente la mitad de la cuenca del río Guanare y una pequeña parte del Boconó.

2. **Zona de Vida** : bosque húmedo y muy húmedo premontano.
3. **Relieve, Drenaje y Erosión** : el relieve es inclinado, con pendientes que oscilan entre 20 y 70%. Los suelos son bien drenados y se observa con frecuencia signos de erosión de tipo laminar.
4. **Aspecto Geológico** :el material de origen de estos suelos corresponde (probablemente) a la Formación río Guache, del terciario, cuya edad abarca desde el cretáceo superior hasta el eoceno superior.
5. **Vegetación Natural y Uso Actual de la Tierra** :el área comprendida dentro de esta unidad cartográfica, es una de las zonas de mayor intervención humana, siendo relativamente escasa la vegetación boscosa natural. Entre las especies arbóreas identificadas se tiene: el guamo, candilero, tambor, san martín, mijao, aceituno, etc. El uso es de café bajo sombra, camburales, cultivos migratorios asociados con matorrales o rastrojos; y potreros donde se realiza un pastoreo extensivo.

4.6.3.Unidad P003

1. **Fisiografía y Localización**: ésta unidad pertenece al paisaje de piedemonte, siendo la parte más extensa de él, ya que corresponde a la casi totalidad de las colinas de este paisaje.
2. **Zona de Vida**:bosque seco tropical, bosque húmedo tropical y áreas transicionales entre ambas zonas de vida.
3. **Relieve, Drenaje y Erosión** : el relieve es colinoso, con pendientes

que oscilan entre 8 y 25%. Los suelos predominantemente son bien drenados. Los procesos erosivos pueden considerarse moderados aunque hay zonas con indicios de fuerte erosión; en general predomina el tipo de erosión laminar.

4. **Aspecto Geológico:** esta unidad corresponde a las formaciones geológicas Río Yuca y Parángula, del terciario superior; constituidas fundamentalmente por areniscas, lutitas y conglomerados.
5. **Vegetación Natural y Uso Actual de la Tierra :** la vegetación está constituida principalmente por gramíneas, asociadas generalmente con chaparrales y con presencia de algunas especies leñosas. También se pueden conseguir bosques deciduos relativamente densos y matorrales. El uso más frecuente es el pastoreo extensivo.

4.6.4 Unidad P004

1. **Fisiografía y Localización:** se encuentra dentro del paisaje de piedemonte y se localiza en la parte central de éste paisaje formando una faja de 1.5 a 3.0 km de ancho que atraviesa las cuencas de los ríos Tucupido, Boconó y Masparro; otra parte se localiza en la transición entre piedemonte y montaña formando parte de las cuencas de los ríos Guanare y Tucupido.
2. **Zona de Vida:** Bosque Seco Tropical.
3. **Relieve, Drenaje y Erosión :** el relieve es inclinado, con pendientes que oscilan generalmente entre 25-50%; el drenaje de los suelos varía

de bien drenado a excesivamente drenado; y la erosión dominante en algunas áreas es tipo laminar, clase moderada, en otras áreas es imperceptible.

4. **Aspecto Geológico:** los suelos de ésta unidad probablemente se han derivado de la Formación Pagüey, perteneciente al terciario medio, y constituida fundamentalmente por lutitas, areniscas, limolitas y rara vez calizas.
5. **Vegetación Natural y Uso Actual de la Tierra :** la vegetación natural en su mayoría está constituida por bosques clímax o virgen, y especies deciduas como caoba, cedro, gateado, trompillo, etc; también hay bosques secundarios que son el resultado de la explotación forestal e incendios.

4.6.5. Unidad V001

1. **Fisiografía y Localización:** constituye el paisaje de valle intramontano, pudiendo cartografiarse solamente en las cuencas de los ríos Guanare y Boconó.
2. **Zona de Vida:** bosque de asociaciones edáficas húmedas, bosque húmedo y muy húmedo premontano y áreas transicionales entre estos y el bosque húmedo tropical.
3. **Relieve, Drenaje y Erosión :** el relieve en general es plano, con pendientes que oscilan entre 1 y 15%; el drenaje de los suelos varía de bien drenado a algo excesivamente drenado; y la erosión en su mayor

parte es imperceptible, pequeñas áreas presentan erosión laminar ligera.

4. **Aspecto Geológico:** la litología de ésta unidad está constituida por los aluviones pertenecientes al cuaternario; conformados básicamente por arenas, limos y arcillas.
5. **Vegetación Natural y Uso Actual de la Tierra :** la vegetación natural está constituida por bosques formados por especies caducifolias; la tierra está bajo uso agrícola y pecuario, en la parte agrícola los cultivos más comunes son: café, cambur y hortalizas.

4.6.6. Unidad V003

1. **Fisiografía y Localización:** esta unidad corresponde al paisaje de valle intrapiedemontino formado por los valles de los ríos Guanare, Tucupido, Boconó, Masparro y La Yuca; los cuales están limitados por las colinas del piedemonte. Los suelos predominantemente se encuentran en posición de terrazas aluviales constituyendo diferentes niveles de superficie de terreno.
2. **Zona de Vida:** bosque de asociaciones edáficas húmedas, bosque húmedo tropical y bosque seco tropical.
3. **Relieve, Drenaje y Erosión :** el relieve es plano, con pendientes menores de 1%, en general los suelos son bien drenados. También hay zonas que presentan riesgos de inundación por desbordamientos de los ríos, debido a la cercanía de estos y por la posición topográfica baja que ocupan. No se observan rasgos significativos de erosión, aunque se

observa en algunas áreas, sobre todo en los niveles de terrazas superiores, una erosión laminar moderada.

4. **Aspecto Geológico:** esta unidad corresponde a los depósitos aluviales, de los ríos que atraviesan el piedemonte, ocurrido durante el cuaternario.

5. **Vegetación Natural y Uso Actual de la Tierra :** dominan las sabanas de gramíneas naturales asociadas con chaparrales y árboles aislados de cierto valor comercial. También se pueden observar bosques de galerías, bosques siempre verdes y rastrojos. El uso que predomina es la ganadería extensiva, aunque se observa cierta agricultura, pero fundamentalmente de subsistencia (conucos) y monocultivos como el maíz, en superficies pequeñas.

4.7. Aspectos Socio Económicos

Tabla 17. División Político Territorial, Superficie y Población de los municipios del área de influencia

.Fuente: MARNR, 2.001

<i>División Político Territorial y Población</i>			
Municipio	Capital	Población	Superficie km²
Alberto A. Torrealba	Sabaneta	33.269	798,58
San Genaro de Boconoito	Boconoito	19.584	1.031
Guanare	Guanare	173.583	2.008

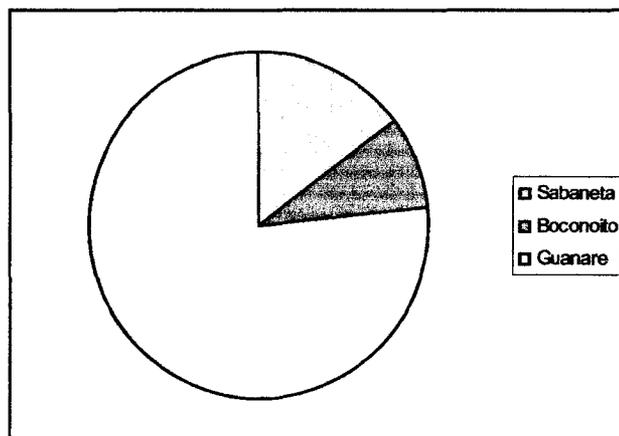


Figura 13. Población Área de Influencia del Sistema de Embalse Boconó Tucupido.

Fuente: cálculos propios, 2.007

Tabla 18. Principales sectores y número de familias en el área de influencia del sistema de embalses Boconó Tucupido .Fuente: MARN, 2.001

Sector	Municipio	Nro. de Familias
Las Panelas	Guanare	37
Los Hierros	Guanare	54
Los Higuerones	San Genaro de Boconoíto	09
La Enriquera	San Genaro de Boconoíto	08
Las Cachamas	San Genaro de Boconoíto	09
El Canal	San Genaro de Boconoíto	04
La Romera	San Genaro de Boconoíto	09
El Espejo	San Genaro de Boconoíto	12
Quebrada Amarilla	Alberto A. Torrealba	09
Quebrada Negra	Alberto A. Torrealba	13
Los Vegones	San Genaro de Boconoíto	60
Balconcito	Alberto A. Torrealba	09

Cont. Tabla 18. Principales sectores y número de familias en el área de influencia del sistema de embalses Boconó Tucupido .Fuente: MARN, 2.001

Sector	Municipio	Nro. de Familias
El Quebradón	San Genaro de Boconoíto	07
Peña Larga	San Genaro de Boconoíto	02
Valle Escondido	San Genaro de Boconoíto	07
La Esperanza	San Genaro de Boconoíto	14
Agua Clara	San Genaro de Boconoíto	04
La Riquera	San Genaro de Boconoíto	07
Llano Alto	Alberto A. Torrealba	16
Villa Nueva	San Genaro de Boconoíto	17

Gómez (1.993), indica que la principal actividad económica del área de estudio la constituye la agricultura, cuyas labores agrícolas vegetales, se localizan en la zona sur adyacente a la carretera nacional Guanare – Barinas. Los principales rubros agrícolas cultivados son: maíz, ajonjolí, girasol y sorgo, la superficie sembrada para el año 1.990, fue de 1.491 hectáreas. En la parte alta y media del área en estudio se localizan pequeñas siembras de café, donde la mayor parte de su producción se dedica al auto consumo y una pequeña parte a la comercialización.

La actividad pecuaria extensiva ocupa una amplia superficie del área de estudio, esta se localiza hacia el sur de la zona del embalse inmediata a la “ Fila de la Panelas” en la unidad fisiográfica identificada como colinas. Igualmente en la zona superior del embalse en las cercanías al caserío “Las Panelas” existe un potrero comunal con una superficie de 2.600 hectáreas, la superficie total dedicada a la actividad pecuaria en el área de estudio es de 28.592,50 ha. La mayor actividad y superficie dedicada a la ganadería, se realiza en el área de piedemonte a lo largo del eje Tucupido – Boconoíto.

En referencia a la tenencia de la tierra en la actividad pecuaria se puede decir,

que 62,5% de los productores son ocupantes, 23,2% son terrenos baldíos y sólo 14,3% son propietarios. En cuanto a la tenencia de la tierra en la actividad agrícola vegetal, se puede mencionar que 83,8% de los productores están en condición de ocupantes y las superficies de las fincas entre 1 y 20 ha (MARN, 1.988).

www.bdigital.ula.ve

5. MATERIALES Y MÉTODOS

Este capítulo hace referencia, a las diferentes fuentes de datos para la implantación del modelo de erosión USLE y el modelo de rendimiento de sedimentos MUSLE.

5.1. Fuentes de Información

Con la finalidad de recopilar información básica relacionada con el área de estudio, se visitó a instituciones públicas de la región, entre ellas: UNELLEZ (Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora), UCV (Universidad Central de Venezuela-Maracay), DESURCA (Desarrollo Uribante Caparo), Ministerio del Ambiente zona 8 (Guanare), Oficina de Ambiente y Ordenación de Territorio, Oficina del Ministerio de Ambiente y Central Hidroeléctrica “Juan A. Rodríguez” ubicadas en el caserío Peña Larga, Estación la Quinta (Sabaneta de Barinas). Posteriormente se procedió a revisar y a analizar la información bibliográfica, obtenida a través de Internet y revisión de tesis relacionadas al tema en estudio.

El centro cartográfico de la “Universidad Nacional Experimental de los Llanos Ezequiel Zamora” (UNELLEZ), proporcionó un mapa digital de suelos a escala 1:100.000, elaborado por el MARNR, bajo el nombre de Proyecto Nacional de Inventario de Tierra (PINT), liderado por Shargel R., en el año de 1.983. Mapas digitales de la Zona Protectora (embalse Boconó Tucupido) tales como: curvas de nivel, vegetación, hidrografía, y el sistema de embalses (Niño, 2002), utilizando el software AutoCAD 2.006, los mismos han sido migrados, para ser trabajados bajo un sistema de información geográfica. También se dispuso de un mapa de cobertura vegetal (REPSOL, 2.002) , escala 1:100.000 del estudio de impacto ambiental exploración y explotación gasífera bloque Barrancas, disponible en el Centro

Cartográfico.

Los datos históricos de precipitación y un estudio batimétrico del sistema de embalses Boconó Tucupido, fueron proporcionados por la unidad de Hidrología del Desarrollo Uribante Caparo C.A (DESURCA) filial de CADAFE (noviembre 2.000-julio 2.001), ubicada en la estación “Peña Larga” y por el Ministerio del Ambiente, específicamente en el departamento de Hidrología, los datos corresponden a la precipitación de la estación Sipororo desde el año 1.967 hasta 2.007.

La información relacionada con: radiación total, velocidad media del viento, insolación, precipitación, temperatura máxima media, temperaturas máximas, temperaturas mínimas, temperatura mínima media, evaporación y humedad relativa fueron obtenidas en la dirección de Hidrología y Meteorología del Sistema Nacional de Información Hidrológica y Meteorológica SINAIHME, estación “La Quinta”, ubicada en Sabaneta estado Barinas.

Los datos de los niveles del embalse Boconó Tucupido fueron facilitados por el departamento de Hidrometeorología de la Central Hidroeléctrica “Juan A. Rodríguez.”, ubicada en el caserío Peña Larga.

Los datos del censo 2.001 de la zona de influencia del embalse Boconó Tucupido, fueron proporcionados por el Ministerio del Ambiente, cuya oficina se encuentra ubicada en el caserío “Peña Larga”.

También fueron obtenidas imágenes de satélite, del Centro de Procesamientos de Imágenes satelitales (CPDI) Caracas-Venezuela.

Adicionalmente, se contó con el apoyo por parte de la Dirección de Ambiente y Ordenación de Territorio del estado Portuguesa a través de la facilitación de mapas digitales a escala cartográfica 1:25.000 y escala temática a 1:250.000, todo ello, forma parte del Proyecto DRO, igualmente proporcionaron imágenes satelitales SPOT 5 de la Zona Embalse año 2.008.

El Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, a través de la oficina de División de Cuencas Hidrográficas en el estado Portuguesa, proporcionó un estudio de suelos de la zona Guanare-Masparro elaborado en agosto de 2.003, denominado “Estudio de Suelos Gran Visión Cuencas Altas Guanare – Masparro”.

Comunicación personal de profesionales relacionados al tema en estudio, en áreas tales como: Edafología, Cartografía, Hidrología y Modelos de Erosión.

A continuación se presenta el diagrama general del trabajo de investigación, donde se hace referencia a los modelos USLE y MUSLE, la información necesaria para su implantación y los parámetros que son comunes entre ellos, así como también, se hace mención a la delimitación de la cuenca, representada por el factor A (área) que para el caso del modelo MUSLE, son siete (7) (Boconó, Qda. Barnizales, Río Tucupido, Sin Nombre 1, Qda. Riquera, Sin Nombre 2 y Qda. Los Higueros) y para la aplicación del modelo USLE, se tomará en cuenta, la zona protectora del sistema de embalses Boconó Tucupido (área de influencia del sistema de embalses), además de la información de precipitación necesaria para determinar el factor R (erosionabilidad de la lluvia), los valores de Q (escorrentía) y Qp (caudal pico o punta), el procesamiento de los mapas de suelos, vegetación y curvas de nivel para determinar su correspondiente factor K , C y LS respectivamente y por último, las prácticas agrícolas representadas por el factor P , el cual se le asigna un valor numérico igual a 1, indicando la ausencia de prácticas de conservación en la zona de estudio.

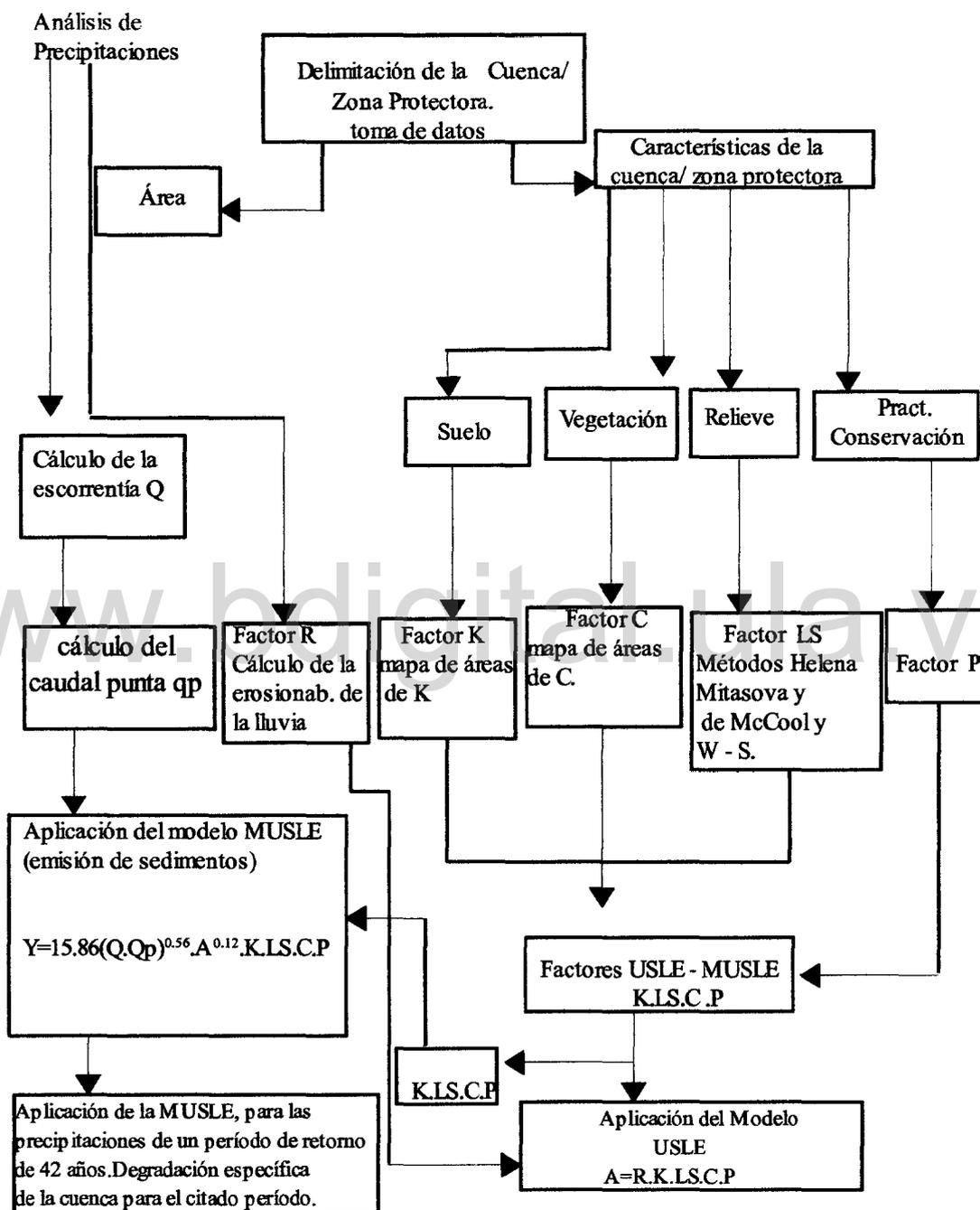


Figura 14. Modelos USLE y MUSLE. Fuente: cálculos propios.2008

5.2 Cálculo de Factores de los Modelos USLE y MUSLE en la Zona Protectora del Sistema de Embalses Boconó Tucupido.

Para el cálculo de cada uno de los factores de los modelos USLE (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo) y MUSLE (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Modificada), se utilizarán diferentes herramientas para su construcción, entre ellas, un sistema de información geográfica, para generar y procesar la información geoespacial, el modelo EPIC para calcular las estadísticas de generación de precipitación del modelo USLE, hojas de cálculo para la construcción de gráficos y operaciones matemáticas relacionadas a los parámetros del modelo MUSLE y el software estadístico Statistix.

Para la aplicación del modelo MUSLE, se utilizó un registro de precipitación de 42 años, tomados de la estación Sipororo para el período 1.967- 2.008, el cual fue depurado, eliminando todos los datos de englobe que allí se encontraban, quedando así, 24 registros de lluvias máximas de cada año para determinar el aporte de sedimentos de cada una de las cuencas hidrográficas. Para el cálculo de sedimentos para lluvias máximas, el estudio está orientado al análisis de siete subcuencas claramente definidas en la zona protectora del sistema de embalses Boconó Tucupido (Figura 15).

El modelo USLE, se aplicó a la zona protectora del sistema de embalses Boconó Tucupido (área de influencia), con un factor de lluvia y escurrimiento (factor R) para el período de 1967-2.007 (promedio anual), cuyos datos fueron obtenidos de la estación Sipororo y procesada con el modelo EPIC.

Los modelos USLE y MUSLE se aplican en parcelas y cuencas hidrográficas respectivamente, donde los factores de erosión no son homogéneos, por lo tanto, deben obtenerse valores únicos y representativos de cada uno de ellos (para el caso del modelo MUSLE). Es de hacer notar, que la utilización de SIG para el modelo

MUSLE, es para la obtención de información geoespacial que será utilizada posteriormente en hojas de cálculos para la aplicación del modelo. Así mismo, el sistema de información geográfica se utilizó para generar el modelo USLE, mediante álgebra de mapas. En éste caso, los valores de los parámetros no son homogéneos y cada pixel de los mapas tendrá, según el caso, un valor de K , LS y C .

Los datos de las estaciones “Peña Larga” y “Caño Largo” no se tomaron en cuenta, ya que poseen registros muy escasos, sólo a partir de 1.987 hasta el presente. Como se tiene una sola estación (Sipororo) con suficientes datos y al no disponer de datos completos en las otras estaciones, el valor del factor R , del modelo USLE será un valor único para toda el área y el valor de P , por lo general, es 1, asumiendo que no existen prácticas de conservación en la zona. Por último, con ayuda del SIG se procede a generar mediante álgebra de mapas, el mapa de erosión (Figura 21), el cual será representado en un mapa raster, donde cada celda representa el cálculo de la pérdida de suelo en Mg/ha/año.

Los parámetros Q (escorrentía), Qp (caudal pico) y A (área) son utilizados en el modelo MUSLE y el factor R (erosividad de la lluvia) en la USLE, el resto de los parámetros, K , LS , C y P (factores erosionabilidad del suelo, longitud y gradiente de la pendiente, uso de la tierra y prácticas de conservación) son utilizados en ambos modelos, cuyos métodos de cálculos, de algunos de estos factores, van a depender, del software aplicado.

La Figura 15, muestra el mapa de las subcuencas hidrográficas evaluadas mediante el modelo MUSLE, para determinar la producción de sedimentos aportadas por cada una de ellas al sistema de embalses Boconó Tucupido en un período de 24 años, representadas por las subcuencas Boconó, Qda. Barnizales, Río Tucupido, Sin Nombre 1, Qda. Riquera, Sin Nombre 2 y Qda. Los Higueros.

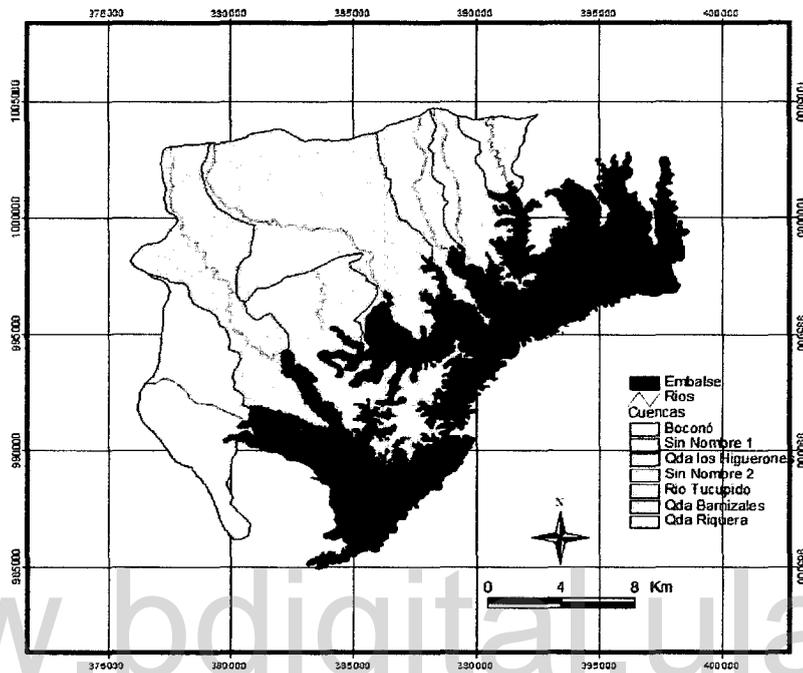


Figura 15. Subcuencas bajo Estudio por el Modelo MUSLE.

Fuente: Cálculos propios, 2007

En la Figura 16, se muestra el mapa de la zona protectora del sistema de embalse Boconó Tucupido, área en la cual se determinará el grado de erosión producida por los diferentes factores que evalúa el modelo USLE.

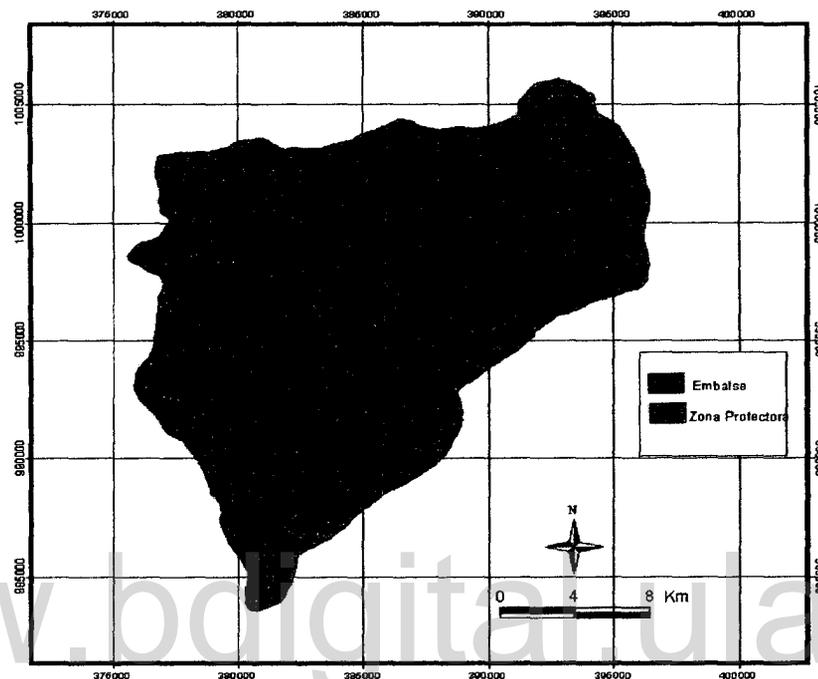


Figura 16. Área de Estudio del Modelo USLE.

Fuente: Centro Cartográfico – UNELLEZ, 2.006.

5.2.1. Factor LS (topográfico)

Para determinar el factor topográfico “*LS*” del modelo USLE, se utilizó el método de Helena Mitsova (fórmula 16, sección 2.18.2.4) y un sistema de información geográfica para el procesamiento de la información geoespacial. Es importante resaltar, que para implementar la fórmula se necesita agregar y activar las extensiones (script de ArcView) del software, que permiten procesar modelos hidrológicos.

Procedimiento

1. A partir del mapa de curvas de nivel de la zona, se generó un mapa digital del terreno (MDT).
2. Con el MDT (modelo tridimensional del terreno), se generó el mapa de elevación (mapa raster, que tiene en cada pixel un valor de altura sobre el nivel del mar)(Anexo 10.4).
3. Se elaboró el mapa de pendientes (Anexo 10.2) a partir del mapa de elevación.

4. Se construyó el mapa de flujo de agua (Mapa de *flowacc*, Anexo 10.3), utilizando la siguiente expresión (software utilizado) en el sistema de información geográfica:

flowacc=(*elevacion*].FlowDirection(FALSE)).FlowAccumulation(NIL)

La expresión anterior determina la dirección del flujo de agua, según el método de Mitsova.

5. Finalmente, con el mapa generado anteriormente (*flowacc*), se procede a calcular el factor *LS*, con la expresión (adaptación de la fórmula 16 de la sección 2.18.2.4, al software utilizado) :

$$(((\textit{flowacc}] * \textit{resolution} / 22.1) . \text{Pow} (0.6)) * ((([\textit{pendiente}] * 0.01745) . \text{Sin}) / 0.09) . \text{Pow} (1.3)) * 1.6$$

donde:

flowacc = mapa flujo de agua

pendiente = mapa de pendiente

resolution = tamaño del pixel(m)=185,605

Pow = función potencia
0.01745 = $\pi/180$ (para llevar el mapa de pendiente a radianes, originalmente se encontraba en grados)
Sin = función Seno.

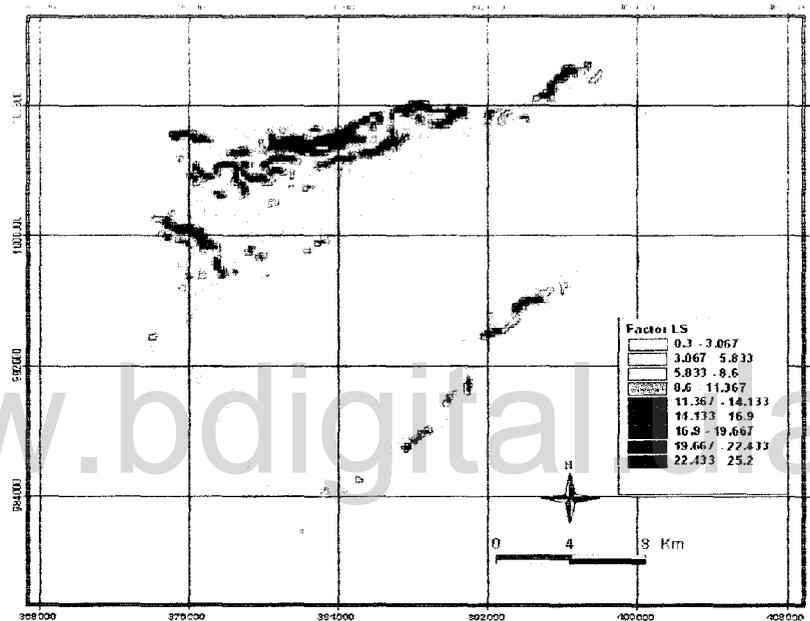


Figura 17. Factor LS. Método Helena Mitsova.

Fuente: cálculos propios, 2009

Para calcular el Factor *LS* e implementarlo en el modelo MUSLE, se utilizaron las ecuaciones 12, 13, y 15 de la sección 2.18.2.4.

Procedimiento:

1. Utilizando un SIG, se generó el mapa de pendientes en porcentajes, de cada una de las cuencas bajo estudio.

2. Se toma el valor promedio de la pendiente de cada una de las cuencas, a partir de los estadísticos.
3. Se calculó el factor L , utilizando, la ecuación 12.
4. Se calculó el factor S , utilizando las ecuaciones 13 (McCool) y 15 (Wischmeier y Smith).
5. Se calculó el factor LS , seleccionando el valor que cumpla con el criterio mencionado en la sección 2.18.2.4 para el cálculo de S .

Tabla 19. Factor LS del modelo MUSLE .

Fuente: cálculos propios, 2.009

Factor LS (Topográfico)							
Cuenca	Pendiente, %	Longitud(m)	Factor L	S (W y S)	S (McCool)	LS(S-McCool)	LS(S-WyS)
Boconó	10.00	50	10	1,2	12	1,9	1,9
Qda. Bamizales	39.00	50	10	11,7	50	0,1	19,09
Río Tucupido	14.00	50	10	2,0	10	3,0	3,21
Sin Nombre 1	4.38	50	10	0,4	05	0,8	0,8
Qda. Riquera	82.00	50	10	47,5	102	10,6	77,4
Sin Nombre 2	7.00	50	10	0,7	00	1,3	1,1
Qda. Los Higueros	14.00	50	10	2,0	10	3,0	3,21

5.2.2. Factor Q (escorrentía)

El factor de escorrentía se estimó a partir de la fórmula 3, presentada en la sección 2.18.2.1. Mediante esta expresión, se calculó el volumen o lámina de escorrentía con base a la lluvia diaria caída, en nuestro caso, se usará la lluvia

máxima de cada año, en el período 1.967-2.008, del cual se eliminaron los registros de englobe, por tanto solo se evaluaron 24 años. Los registros están ordenados por precipitación P (mm) en forma descendente. (Tabla N° 20)

Tabla 20. Precipitaciones máximas, Período 24 años .

Fuente: Estación Sipororo, 2.008

Año	P
1.981	154,80
1.979	142,30
1.971	139,20
1.982	134,30
1.967	128,60
1.977	112,30
1.980	111,90
1.989	105,50
2.000	104,30
1.972	99,70
2.003	95,50
2.002	92,10
1.976	84,60
1.978	84,30
1.970	83,30
1.974	72,70
1.983	67,70
1.990	65,40
1.975	63,20
1.968	60,20
1.973	60,10
1.984	56,80
2.001	53,50
1.985	48,40

Posteriormente, se calculó la retención potencial de agua en el complejo suelo cobertura (S , mm), parámetro del factor Q , para ello se utilizó la fórmula 4 de la sección 2.18.2.1. Para determinar éste parámetro fue necesario calcular previamente el número de curva (CN).

Procedimiento

1. Determinación del grupo hidrológico al cual pertenece el suelo de la zona en estudio, tomando en cuenta su permeabilidad, todo ello con la finalidad de obtener el número de curva, el cual depende del uso y manejo de la tierra, de la cobertura superficial, humedad antecedente y potencial de escorrentía del suelo.
2. La permeabilidad del área, se determinó a partir de un estudio de suelos Gran Visión Cuencas Altas Guanare – Masparro (Hernández *et al.*, 2.003) y un criterio de selección.
3. Se determinó el uso del suelo y porcentaje de uso en la zona de estudio, a partir del mapa de vegetación (REPSOL,2002).
4. Finalmente se determinó el número de curvas, basado en los pasos anteriores, en función del uso del suelo.

5.2.2.1 Determinación del Grupo Hidrológico

(Criterio de Selección para el valor de Permeabilidad)

El área de estudio se encuentra formada por asociaciones de suelos, es decir,

grupos de suelos en una misma unidad, por tal motivo, se seleccionó como criterio el valor de permeabilidad más limitante (Tabla 16) (Mariana León, comunicación personal, 2.008) es decir, el más alto, según la codificación establecida para tal fin (véase codificación de permeabilidad, parámetro “c” de la ecuación 9 de la sección 2.18.2.3), ya que a menor permeabilidad, mayor es la probabilidad de escorrentía y en consecuencia mayor es la erosión y acarreo de sedimentos al embalse Boconó Tucupido. En nuestro caso, el suelo del área en estudio pertenece al grupo B, por tener una permeabilidad moderada.

Tabla 21. Clasificación de los Suelos según su grupo Hidrológico.

Fuente:UAP, s/f.

GRUPO	DESCRIPCIÓN
A	Es el que ofrece menor escorrentía. Incluye los suelos que presentan mayor permeabilidad, incluso cuando están saturados.
B	Incluye suelos de moderada permeabilidad cuando están saturados
C	Incluye los suelos que ofrecen poca permeabilidad cuando están saturados
D	Es el que ofrece mayor escorrentía, incluye los suelos que presentan gran impermeabilidad.

5.2.2.2. Determinación del Uso del Suelo de la Zona Protectora del Embalse Boconó Tucupido

Para determinar el uso del suelo del área bajo estudio, se utilizó el mapa de vegetación (Figura 18) disponible para la zona, en el mismo se observa, una zona

constituida por bosques, barbecho (matorrales) y pastizales, también se puede visualizar el embalse o espejo de agua. Los bosques pueden presentar hasta 3 pisos arbóreos, el superior, alcanzando hasta 30 o más metros de altura con diámetros hasta de 1,50 mts; el medio, entre 10 y 18 mts y el inferior, con menos de 8 mts.

El barbecho es una formación transicional que crece más o menos rápidamente sobre los rastrojos abandonados por la producción agrícola, muchas veces los matorrales se usan como potreros, si quedan abandonados por mucho tiempo, crecen hasta matorral denso o bosques, por último se presentan los pastizales, los mismos no abarcan grandes extensiones de tierra, estos son utilizados para el consumo animal (Hernández *et al.*, 2.003).

www.bdigital.ula.ve

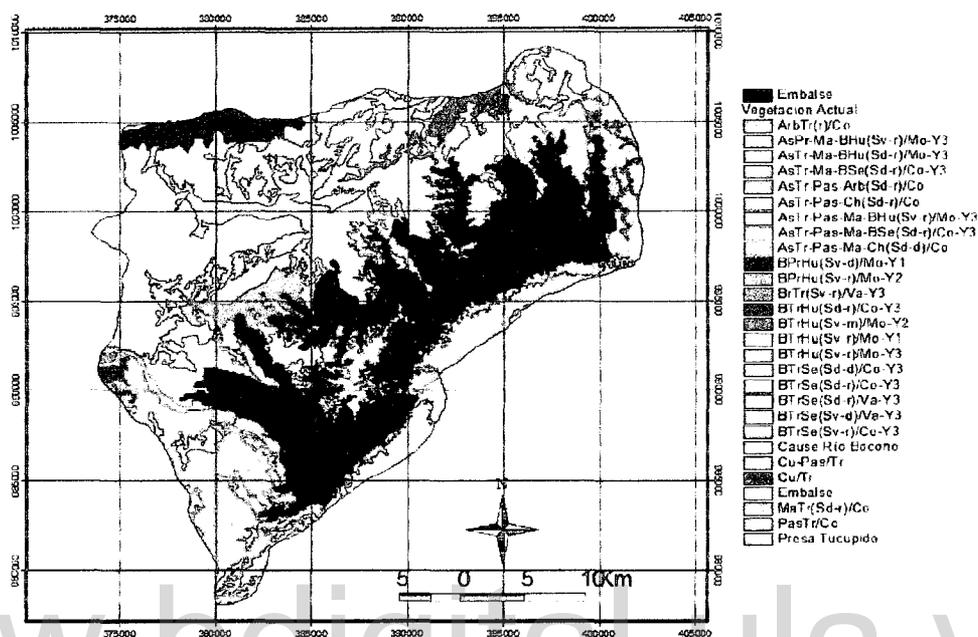


Figura 18. Mapa de Vegetación Zona Protectora del Sistema de Embalse Boconó Tucupido.

Fuente: Centro cartográfico UNELLEZ- Proyecto REPSOL(2.002), 2009

A continuación se muestra el escenario actual de los diferentes usos de suelo para cada una de las cuencas en estudio y el total de hectáreas que abarcan dentro del área de influencia del sistema de embalses Boconó Tucupido.

Tabla 22. Usos del suelo. Cuenca Boconó

Fuente: Cálculos Propios

Subcuenca	Categoría/Usos	Código	Descripción	Ha	%
Boconó	Bosque	BtrHu(Sv-r)/Mo-Y1	Bosque intervenido	1.119,428	30,544
	Bosque	BtrSe(Sd-r)/Co-Y3	Bosque muy intervenido	617,502	16,849
	Ganadería Extensiva	PasTr/Co	Pastizal	622,538	16,986
	Pastizal - Arbustal	AsTr-Pas-Arb(Sd-r)/Co	Pastizal - Arbustal	1.015,072	27,696
	Cultivo Subsist-Ganadería, semi -extens	BrTr(Sv-r)/Va-Y3	Bosque Ribereño (Br)	54,333	1,482
	Cultivos-Pastizal	BtrHu(Sd-r)/Co-Y3	Bosque fuerte intervención	167,395	4,567
	Cultivos-Sub-Ganadería	MaTr(Sd-r)/Co	Matorral	45,796	1,250
	Ganadería Semi-Extensiva	AsTr-Ma-BSe(Sd-r)/Co-Y3	Asoc-Matorral y Bosque	10,626	0,290
	Ganadería Semi-Extensiva	BtrSe(Sv-d)/Va-Y3	Bosque muy intervenido	12,146	0,331
	Bosque	BtrSe(Sv-r)/Co-Y3	Bosque muy intervenido	0,152	0,004
		Sub-Total Ha		3664,99	100
	<i>Río Boconó(no entra en la evaluación)</i>		<i>172,57</i>		
	Total		3837,562		

www.bdigital.ula.ve

Tabla 23. Usos del suelo. Cuenca Qda. Barnizales

Fuente: Cálculos Propios

Subcuenca	Categoría/Usos	Código	Descripción	Ha	%
Qda. Barnizales	Cultivo de Subsistencia Café	AsPr-Ma-BHu(Sv-r)/Mo-Y3	Asoc-Bosque-cultivos	95,680	2,353
	Ganadería Semi-Extensiva	AsTr-Ma-BSe(Sd-r)/Co-Y3	Asoc-Matorral y Bosque	2,946	0,072
	Pastizal - Matorral, Bosque	AsTr-Pas-Ma-BHu(Sv-r)/Mo-Y3	Asoc-Bosque-Mat-Pastizal	256,963	6,320
	Bosque	BprHu(Sv-d)/Mo-Y1	Bosque intervenido	242,894	5,974
	Bosque	BtrHu(Sv-r)/Mo-Y1	Bosque intervenido	2.327,995	57,256
	Bosque	BtrSe(Sd-r)/Co-Y3	Bosque fuerte intervención	288,096	7,086
	Bosque	BtrSe(Sv-r)/Co-Y3	Bosque fuerte intervención	246,985	6,074
	Cultivos-Sub-Ganadería	MaTr(Sd-r)/Co	Matorral	47,552	1,170
	Ganadería Extensiva	PasTr/Co	Pastizal	556,865	13,696
		Sub-Total Ha		4.065,976	100
	<i>Embalse(no entra en la evaluación)</i>		<i>154,8</i>		
	Total		4.220,776		

Tabla 24. Usos del suelo. Cuenca Río Tucupido**Fuente:**Cálculos Propios

Subcuenca	Categoría/Usos	Código	Descripción	Ha	%
	Arbustal	ArbTr(r)/Co	Arbustos	0,052	0,001
	Cultivo de Subsistencia Café	AsPr-Ma-BHu(Sv-r)/Mo-Y3	Asoc-Bosque-cultivos	1,645	0,023
	Pastizal - Arbustal	AsTr-Pas-Arb(Sd-r)/Co	Pastizal - Arbustal	204,813	2,908
	Cultivo Subsist-Ganadería	AsTr-Pas-Ma-BHu(Sv-r)/Mo-Y3	Asoc-Bosque-Mat-Pastizal	3.005,702	42,673
	Bosque	BprHu(Sv-d)/Mo-Y1	Bosque intervenido	931,608	13,226
	Bosque	BprHu(Sv-r)/Mo-Y2	Bosque moderadamente intervenido	9,195	0,131
	Cultivo Subsist-Ganadería, semi-extensiva	BrTr(Sv-r)/Va-Y3	Bosque Ribereño (Br)	2,044	0,029
	Bosque	BtrHu(Sv-r)/Mo-Y1	Bosque intervenido	2.790,824	39,622
	Bosque	BtrHu(Sv-r)/Mo-Y3	Bosque fuerte intervención	11,239	0,160
	Bosque	BtrSe(Sd-r)/Co-Y3	Bosque fuerte intervención	19,513	0,277
	Bosque	BtrSe(Sv-r)/Co-Y3	Bosque fuerte intervención	0,019	0,000
	Ganadería Extensiva	PasTr/Co	Pastizal	66,931	0,950
			Sub-Total Ha	7.043,585	100
	Embalse(no entra en la evaluación)			84,7	
			Total	7.128,287	

Tabla 25. Usos del suelo. Cuenca Sin Nombre 2**Fuente:**Cálculos Propios

Subcuenca	Categoría/Usos	Código	Descripción	Ha	%
	Pastizal - Arbustal	AsTr-Pas-Arb(Sd-r)/Co	Pastizal - Arbustal	31,512	1,829
	Cultivo Subsist-Ganadería	AsTr-Pas-Ma-BHu(Sv-r)/Mo-Y3	Asoc-Bosque-Mat-Pastizal	1.432,310	83,134
	Cultivo Subsist-Ganadería, semi-extensiva	BrTr(Sv-r)/Va-Y3	Bosque Ribereño (Br)	102,823	5,968
	Bosque	BtrHu(Sv-r)/Mo-Y1	Bosque intervenido	79,678	4,625
	Bosque	BtrHu(Sv-r)/Mo-Y3	Bosque fuerte intervención	71,456	4,147
	Bosque	BtrSe(Sd-r)/Co-Y3	Bosque fuerte intervención	5,119	0,297
			Sub-Total Ha	1722,9	100
	Embalse(no entra en la evaluación)			181,75	
			Total	1904,65	

Tabla 26. Usos del suelo. Cuenca Qda. Riquera**Fuente:**Cálculos Propios

Subcuenca	Cobertura	Código	Descripción	Ha	%
	Pastizal – Arbustal	AsTr-Pas-Arb(Sd-r)/Co	Pastizal – Arbustal	190,416	11,524
	Cultivo Subsist-Ganadería	AsTr-Pas-Ma-BHu(Sv-r)/Mo-Y3	Asoc-Bosque-Mat-Pastizal	783,528	47,419
	Cultivo Subsist-Ganadería, semi -extens	BrTr(Sv-r)/Va-Y3	Bosque Ribereño (Br)	69,727	4,226
	Bosque	BtrHu(Sv-r)/Mo-Y1	Bosque intervenido	71,512	4,328
	Bosque	BtrHu(Sv-r)/Mo-Y3	Bosque fuerte intervención	498,049	30,142
	Bosque	BtrSe(Sd-r)/Co-Y3	Bosque fuerte intervención	39,135	2,368
			Sub-Total Ha	1.652,367	100
				147,046	
			Total	1.799,413	

Embalse(no entra en la evaluación)

Tabla 27. Usos del suelo. Cuenca Sin Nombre 1**Fuente:**Cálculos Propios

Subcuenca	Cobertura	Código	Descripción	Ha	%
	Pastizal – Arbustal	AsTr-Pas-Arb(Sd-r)/Co	Pastizal – Arbustal	22,343	0,614
	Cultivo Subsist-Ganadería	AsTr-Pas-Ma-BHu(Sv-r)/Mo-Y3	Asoc-Bosque-Mat-Pastizal	477,470	13,115
	Cultivo Subsist-Ganadería, semi -extens	AsTr-Ma-BSe(Sd-r)/Co-Y3	Asoc.Bosque y Matorral	953,479	26,189
	Bosque	BtrHu(Sv-r)/Mo-Y1	Bosque intervenido	114,153	3,135
	Bosque	BtrSe(Sv-r)/Co-Y3	Bosque fuerte intervención	868,159	23,846
	Bosque	BtrSe(Sd-r)/Co-Y3	Bosque fuerte intervención	1056,445	29,017
	Ganadería Extensiva	PasTr/Co	Pastizal	148,682	4,084
			Sub-Total Ha	3.640,731	100
				181,749	

Embalse(no entra en la evaluación)

Tabla 28. Usos del suelo. Cuenca Qda. Higuerones

Fuente: Cálculos Propios

Subcuenca	Cobertura	Código	Descripción	Ha	%
	Ganadería Semi-Extensiva	AsTr-Ma-BHu(Sd-r)/Co-Y3	Asoc-Matorral y Bosque	99,676	11,535
	Pastizal - Arbustal	AsTr-Pas-Arb(Sd-r)/Co	Pastizal - Arbustal	95,488	11,051
	Cultivo Subsist-Ganadería	AsTr-Pas-Ma-BHu(Sv-r)/Mo-Y3	Asoc-Bosque-Mat-Pastizal	257,874	29,843
	Cultivo Subsist-Ganadería, semi-extens	BrTr(Sv-r)/Va-Y3	Bosque Ribereño (Br)	16,681	1,930
	Cultivo Subsist-Ganadería	BTrHu(Sv-m)/Mo-Y2	Bosque moderadamente intervenido	264,733	30,637
	Bosque	BTrHu(Sv-r)/Mo-Y1	Bosque intervenido	129,650	15,004
			Sub-Total Ha	864,1	100

La interpretación de la columna *código* de las tablas anteriores se describe en las siguientes tablas :

Tabla 29. Densidad de Cobertura

Fuente: Centro Cartográfico. Proyecto REPSOL(2.002)

Densidad de Cobertura	
Código	Descripción
d	denso
m	medio
r	ralo

Tabla 30. Caducifolia

Fuente: Centro Cartográfico. Proyecto REPSOL(2.002)

Caducifolia	
Código	Descripción
do	Deciduo o caducifolio
Sd	Semi-deciduo
Sv	Siempre verde

Tabla 31. Grado de Intervención**Fuente:**Centro Cartográfico. Proyecto REPSOL(2.002)

Grado de Intervención	
Código	Descripción
Y1	Sin intervención aparente
Y2	Moderada
Y3	Fuerte

Tabla 32. Piso Altitudinal**Fuente:**Centro Cartográfico. Proyecto REPSOL(2.002)

Piso Altitudinal	
Código	Descripción
Pr	Premontano
Tr	Tropical

Tabla 33. Paisaje**Fuente:**Centro Cartográfico. Proyecto REPSOL(2.002)

Paisaje	
Código	Descripción
Co	Colinar
Va	Valle
Mo	Montaña

Tabla 34. Provincia de Humedad

Fuente: Centro Cartográfico. Proyecto REPSOL(2.002)

Provincia de Humedad	
Código	Descripción
Hu	Húmedo
Se	Seco

Un ejemplo de la interpretación del *código*: BprHu(Sv-d)/Mo-Y1, es la siguiente:

B	Cobertura Vegetal	Bosque
Pr	Piso Altitudinal	Premontano
Hu	Provincia de Humedad	Húmedo
Sv	Caducifolia	Siempreverde
d	Densidad de Cobertura	denso
Mo	Paisaje	Montaña
Y1	Grado de Intervención	Sin intervención aparente

A partir de la identificación del uso y con la información obtenida sobre la permeabilidad del suelo (Tipo B) se procedió a determinar el número de curvas, mediante la Tabla 1. El número de curva para cada una de las subcuencas, se obtuvo por ponderación ya que se necesita que el área sea homogénea (Silva, 2008).

Tabla 35. Número de Curva. Cuenca Río Boconó

Fuente: Cálculos Propios

Subcuenca	Cobertura	Numero Curva	Cobert %	NC * %
	Bosque intervenido	60	0,30544	18,32629
	Bosque fuerte intervención	66	0,16849	11,12012
	Pastizal	79	0,16986	13,41900
	Pastizal – Arbustal	69	0,27696	19,11055
	Bosque Ribereño (Br)	55	0,01482	0,81537
	Bosque muy intervenido	66	0,04567	3,01449
	Matorral	56	0,01250	0,69975
	Asoc-Matorral y Bosque	65	0,00290	0,18846
	Bosque fuerte intervención	66	0,00331	0,21873
	Bosque fuerte intervención	66	0,00004	0,00274
				66,92

Tabla 36. Número de Curva. Cuenca Qda. Barnizales

Fuente: Cálculos Propios

Subcuenca	Cobertura	Numero Curva	Cobert %	NC**%
	Asoc-Bosque-cultivos	65	0,02353	1,52957
	Asoc-Matorral y Bosque	65	0,00072	0,04710
	Asoc-Bosque-Mat-Pastizal	65	0,06320	4,10789
	Bosque intervenido	60	0,05974	3,58429
	Bosque intervenido	60	0,57256	34,35330
	Bosque fuerte intervención	66	0,07086	4,67645
	Bosque fuerte intervención	66	0,06074	4,00913
	Matorral	56	0,01170	0,65493
	Pastizal	79	0,13696	10,81962
				63,78

Tabla 37. Número de Curva. Cuenca Río Tucupido

Fuente: Cálculos Propios

Subcuenca	Cobertura	Numero Curva	Cobert %	NC**%
	Arbustos	56	0,00001	0,00041
	Asoc-Bosque-cultivos	65	0,00023	0,01518
	Pastizal – Arbustal	69	0,02908	2,00638
	Asoc-Bosque-Mat-Pastizal	65	0,42673	27,73739
	Bosque intervenido	60	0,13226	7,93580
	Bosque moderadamente intervenido	60	0,00131	0,07833
	Bosque Ribereño (Br)	55	0,00029	0,01596
	Bosque intervenido	60	0,39622	23,77333
	Bosque fuerte intervención	66	0,00160	0,10531
	Bosque fuerte intervención	66	0,00277	0,18284
	Bosque fuerte intervención	66	0,00000	0,00018
	Pastizal	79	0,00950	0,75069
				62,60

www.bdigital.ula.ve

Tabla 38. Número de Curva. Cuenca Sin Nombre 1

Fuente: Cálculos Propios

Subcuenca	Cobertura	Numero Curva	Cobert %	NC**%
	Asoc-Bosque-Mat-Pastizal	65	0,01829	1,18886
	Bosque fuerte intervención	66	0,83134	54,86822
	Pastizal	79	0,05968	4,71474
	Asoc. Bosque y Matorral	65	0,04625	3,00602
	Bosque intervenido	60	0,04147	2,48846
				66,27

Tabla 39. Número de Curva. Cuenca Qda. Riquera

Fuente: Cálculos Propios

Subcuenca	Cobertura	Numero Curva	Cobert %	NC*%
	Pastizal - Arbustal	56	0,11524	6,45335
	Asoc-Bosque-Mat-Pastizal	65	0,47419	30,82204
	Bosque Ribereño (Br)	55	0,04220	2,32090
	Bosque intervenido	60	0,04328	2,59671
	Bosque fuerte intervención	66	0,30142	19,89342
	Bosque fuerte intervención	66	0,02368	1,56316
				63,65

Tabla 40. Número de Curva. Cuenca Sin Nombre 2

Fuente: Cálculos Propios

Subcuenca	Cobertura	Numero Curva	Cobert %	NC*%
	Pastizal - Arbustal	56	0,0061	0,34367
	Asoc-Bosque-Mat-Pastizal	65	0,1311	8,52454
	Bosque Ribereño (Br)	55	0,2619	14,40407
	Bosque intervenido	60	0,0314	1,88127
	Bosque fuerte intervención	66	0,2385	15,73818
	Bosque fuerte intervención	66	0,2902	19,15148
				60,04

Tabla 41. Número de Curva. Cuenca Qda Higuerones

Fuente: Cálculos Propios

Cobertura	Numero Curva	Cobert %	NC*%
Asoc-Matorral y Bosque	65	0,1154	7,5
Pastizal - Arbustal	56	0,1105	6,19
Asoc-Bosque-Mat-Pastizal	65	0,2984	19,4
Bosque Ribereño (Br)	55	0,0193	1,06
Bosque moderadamente intervenido	60	0,3064	18,38
Bosque intervenido	60	0,1500	9,00
			61,53

La retención potencial de agua, en el complejo suelo cobertura (S ; mm), para cada una de las subcuencas bajo estudio, determinada por la fórmula 4, se puede observar en la Tabla 42.

Tabla 42. Retención Potencial de Agua para cada una de las cuencas bajo estudio.

Fuente: cálculos propios, 2.008

Cuencas	S (mm)
Boconó	125,56
Qda. Barnizales	144,24
Río Tucupido	151,75
Sin Nombre 1	129,28
Qda. Riquera	145,06
Sin Nombre 2	169,05
Qda. Los Higuerones	158,81

Finalmente, se procedió al cálculo de escorrentía Q (mm) de cada una de las cuencas bajo estudio, para un período de 24 años, tomando en cuenta las

Cont. Tabla 43. Escorrentía (Q) y Precipitación (P) para un período de 24 años. Estación Sipororo

Fuente: cálculos propios, 2.009

Año	P	Q Boconó	Q Qda. Barnizales	Q Río Tucupido	Q Sin Nombre 1	Q Qda. Riquera	Q Sin Nombre 2	Q Qda. Los Higuerones
1990	65,40	9,79	7,39	6,58	9,26	7,30	4,97	5,88
1975	63,20	8,87	6,61	5,85	8,37	6,52	4,35	5,20
1968	60,20	7,66	5,6	4,91	7,21	5,52	3,56	4,32
1973	60,10	7,63	5,57	4,88	7,17	5,49	3,54	4,29
1984	56,80	6,39	4,54	3,93	5,98	4,47	2,75	3,41
2001	53,50	5,23	3,6	3,06	4,87	3,54	2,05	2,62
1985	48,40	3,64	2,33	1,92	3,35	2,29	1,16	1,58

5.2.3. Factor Q_p (Caudal Pico)

Este factor es uno de los parámetros utilizados en el modelo MUSLE, para su cálculo se utilizó la fórmula 5 de la sección 2.18.2.2. Para su uso en el modelo fue necesario transformar sus unidades de $Q_p: m^3 s^{-1}$ a $Q_p: mm h^{-1}$, para ello se aplicó la expresión 8 de la mencionada sección.

El tiempo de concentración (t_c), parámetro necesario para determinar Q_p , se determinó con la fórmula 6 de la sección 2.18.2.2. Se requiere información acerca de la retención potencial (fórmula 4), longitud del cauce principal (mts) (determinada con el SIG, por cada cuenca), y pendiente media del cauce (%), ésta última, se obtuvo con la fórmula 7 de la misma sección.

Procedimiento

1. Se seleccionaron los cauces principales de cada subcuenca en estudio con la ayuda de una imagen satelital, la información se procesó en un SIG para obtener su longitud (L) y pendiente media (P).
2. Se determinó el desnivel de cada cauce (río) (D), utilizando el mapa de curvas de nivel de cada una de las cuencas en estudio.
3. Se calculó el área en hectáreas de cada cuenca (A)
4. Finalmente, para determinar el valor de Q_p (caudal punta), se utilizó la hoja de cálculos.

Tabla 44. Longitud, Desnivel y Pendiente de los cauces.

Fuente: cálculos propios, 2.008

Cuencas	L (long del Cauce;m)	L ^{0,8}	D(desnivel;m)	P(Pendiente media del cauce;%)
Boconó	5.696	1.010,31	30	0,53
Qda. Barnizales	60.527	6.692,05	820	1,35
Río Tucupido	60.217	6.664,62	980	1,63
Sin Nombre 1	4.248	799,00	260	6,12
Qda. Riquera	31.033	3.921,56	500	1,61
Sin Nombre 2	8.148	1.345,37	660	8,10
Qda. Los Higueros	13.127	1.970,30	140	1,07

Tabla 45. Tiempo de Concentración para cada cuenca.

Fuentes: cálculos propios, 2.008

Cuencas	Tiempo de Concentración (TC;h)
Boconó	5,8
Qda. Barnizales	66,87
Río Tucupido	75,23
Sin Nombre 1	15,91
Qda. Riquera	42,88
Sin Nombre 2	36,17
Qda. Los Higueros	18,5

Para el cálculo del factor Q_p (mm/h), la columna de precipitación P (mm), se encuentra ordenada de manera descendente.

Tabla 46. Caudal Pico (Q_p ; mm h⁻¹), para un período de 24 años. Estación Sipororo.

Fuente: cálculos propios, 2.008

Año	P	Q_p Boconó	Q_p Qda. Barnizales	Q_p Río Tucupido	Q_p Sin Nombre 1	Q_p Qda. Riquera	Q_p Sin Nombre 2	Q_p Qda. Los Higueros
1981	154,80	7,77	0,60	0,51	2,77	0,93	0,95	1,99
1979	142,30	6,67	0,51	0,43	2,37	0,79	0,80	1,68
1971	139,20	6,41	0,49	0,41	2,28	0,76	0,77	1,60
1982	134,30	5,99	0,46	0,38	2,13	0,71	0,71	1,49
1967	128,60	5,51	0,42	0,35	1,96	0,65	0,64	1,36
1977	112,30	4,21	0,31	0,26	1,49	0,48	0,47	1,00
1980	111,90	4,18	0,31	0,26	1,48	0,48	0,47	0,99
1989	105,50	3,70	0,27	0,23	1,31	0,42	0,40	0,86
1972	99,70	3,61	0,27	0,22	1,27	0,41	0,39	0,84
2000	104,30	3,28	0,24	0,20	1,15	0,37	0,35	0,75
2003	95,50	2,98	0,22	0,18	1,05	0,33	0,31	0,67

Cont. de la Tabla 46. Caudal Pico (Q_p ; mm h^{-1}), para un período de 24 años. Estación Sipororo.

Fuente: cálculos propios, 2.008

Año	P	Q_p Boconó	Q_p Qda. Barnizales	Q_p Río Tucupido	Q_p Sin Nombre 1	Q_p Qda. Riquera	Q_p Sin Nombre 2	Q_p Qda. Los Higuerones
2002	92,10	2,75	0,20	0,16	0,96	0,31	0,28	0,61
1976	84,60	2,26	0,16	0,13	0,79	0,25	0,22	0,49
1978	84,30	2,24	0,16	0,13	0,78	0,24	0,22	0,48
1970	83,30	2,17	0,15	0,12	0,76	0,24	0,21	0,47
1974	72,70	1,54	0,10	0,08	0,54	0,16	0,14	0,31
1983	67,70	1,27	0,08	0,07	0,44	0,13	0,11	0,25
1990	65,40	1,15	0,08	0,06	0,40	0,12	0,09	0,22
1975	63,20	1,05	0,07	0,05	0,36	0,10	0,08	0,19
1968	60,20	0,90	0,06	0,04	0,31	0,09	0,07	0,16
1973	60,10	0,90	0,06	0,04	0,31	0,09	0,07	0,16
1984	56,80	0,75	0,05	0,04	0,26	0,07	0,05	0,13
2001	53,50	0,62	0,04	0,03	0,21	0,06	0,04	0,1
1985	48,40	0,43	0,02	0,02	0,14	0,04	0,02	0,06

5.2.4. Factor K (índice de erosionabilidad del suelo)

El factor de erosionabilidad del suelo se determinó utilizando la ecuación 9 de la sección 2.18.2.3. y con el mapa de suelos de la Figura 12.

Procedimiento:

1. Inicialmente se hizo un estudio de la base de datos del mapa de suelo (Niño, 2.002) (Figura 12) de la zona en estudio, y se procedió a añadir los campos y registros requeridos (% de arcilla, % de limo,% arena muy fina, % materia orgánica, % arena y permeabilidad), para la aplicación de la ecuación de regresión, que permitió el cálculo del factor K . Dicha información, permitió determinar la erosionabilidad del suelo presente en la zona, a partir del estudio Gran Visión Cuencas Altas Guanare – Masparro (Hernández *et al.*, 2.003).
2. Se realizó un cuadro comparativo de la nomenclatura utilizada, para determinar la estructura del suelo, usada por el Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el utilizado por Gómez (s/f).
3. Con la ayuda del sistema de información geográfica, se estudiaron cada una de las cuencas hidrográficas pertenecientes al área bajo estudio, asignando sus respectivos valores de K ponderado, para ello se calculó la superficie en ha de cada cuenca.
4. Luego, estos valores de K se utilizaron en el modelo MUSLE haciendo uso de hojas de cálculo.
5. En el modelo USLE los valores de K no son ponderados, el mapa generado es convertido a raster, y por ende cada pixel del mismo, contiene información del factor (Figura 19).

5.2.4.1 Estructura del Suelo

En la Tabla 48, se relaciona la estructura del suelo presentada por Gómez E. y el MOP, (Marvéz P., Comunicación Personal, 2.008).

Tabla 47 . Tipo y Tamaño de la estructura del suelo. **Fuente :** MOP, s/f.

Tipo		
M = Migajosa	B = Bloques subangulares	P = Prismática
G= Granular	Ba= Bloques angulares	C = Columnar
L = Laminar	gr = gránulo	gm = grumo
Tamaño		
mf = muy fina	m = moderada	mg = muy grande
f = fina	g = grande	

Tabla 48 . Estructura del Suelo **.Fuente:** cálculos propios, 2.008

Grado / Código	Tamaño (mm)	Tipo (Gómez)	Tipo (MOP)
1	< 1	grmf gmmf	M, G y L, B, Ba (mf)
2	1 - 2	grf gmf	M, G y L
3	2 - 5 5 - 10	grm - gmm gg	M, G y L, B y Ba(f)
4	> 10	grl, P, Cmg	Ba, B (m,g,mg), P y C (todas)

Una debilidad de la codificación de la estructura del suelo, es que ésta no toma en cuenta los intergrados, se sugiere utilizar decimales, cuando el valor se encuentre en ésta circunstancia, por ejemplo, si la estructura del suelo se encuentra entre 3 y 4 (grado) se colocará 3,5. Para el caso en estudio, se tomó en cuenta para su evaluación, el horizonte A, donde ocurre la erosión inicialmente (Marvéz P., Comunicación

Personal, 2.008) .

Los porcentajes de arcilla, limo y arena muy fina, fueron obtenidos de la descripción de las calicatas para cada una de las unidades cartográficas. La fórmula para el cálculo de M (factor representativo de la textura - fórmula 10 sección 2.18.2.3.), exige utilizar el contenido porcentual de la fracción arena muy fina, porcentaje que en la mayoría de las descripciones, no se determinó a nivel de laboratorio para todas las calicatas.

Sin embargo, en los análisis de calicatas que presentan el fraccionamiento de las arenas, la suma de la fracción arena muy fina más arena fina alcanza en forma consistente entre el 70% y 80% del contenido total de la arena. Por lo tanto, se sugiere el cálculo de los contenidos porcentuales de arena muy fina, a partir de la conversión de los contenidos porcentuales totales de arena multiplicados por 70% de esa fracción (Marvéz P., Comunicación Personal, 2.008).

5.2.4.2. Factor K. Para la USLE

La Figura 19 (raster) muestra la distribución del factor K en la zona protectora del sistema de embalses Boconó Tucupido, el mismo será utilizado para la aplicación del modelo USLE.

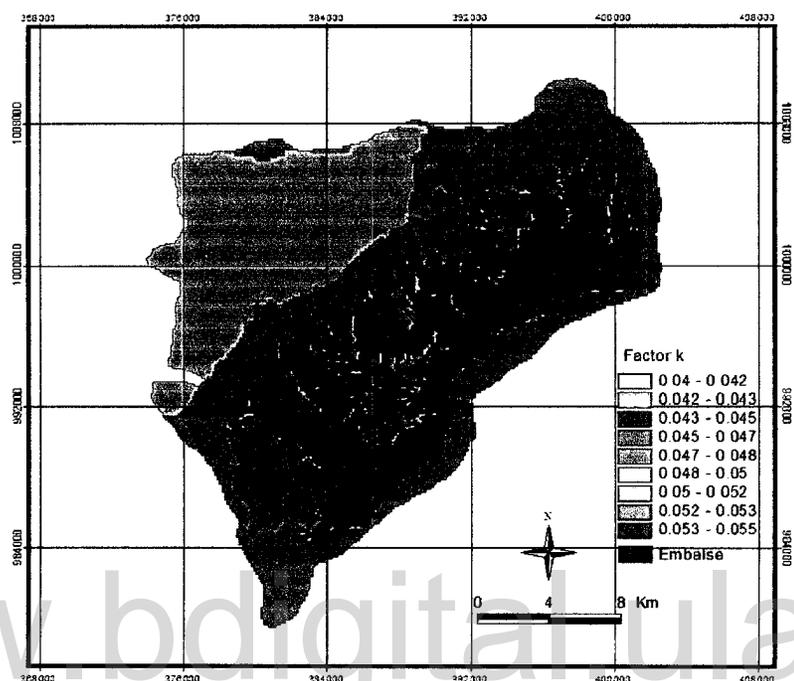


Figura 19. Factor K (sin ponderar). Zona Protectora del Sistema de Embalse Boconó Tucupido.

Fuente: cálculos propios, 2.008

5.2.4.3. Factor K. Para la MUSLE

Como se explicó anteriormente, en el modelo MUSLE es necesario calcular el **K** ponderado en $[\text{Mg/ha}]/[(\text{MJ mm})/(\text{ha h})]$ para cada una de las subcuencas bajo estudio. Con la utilización del SIG, se determinó el área en hectáreas de cada una y finalmente la ponderación del **K**.

Tabla 49. Factor K ponderado de la Subcuenca Boconó.

Fuente: cálculos propios, 2.009

FACTOR K (ponderado)				
Subcuenca	Tipo Suelo	K	Sup(ha)	K*sup
	M007	0,481	0,29	0,14
	M007	0,481	379,55	182,56
	M007	0,481	1326,30	637,95
	M007	0,481	4744,00	2.281,86
	TOTAL		6450,14	3.102,52
Boconó	P003	0,547	698,96	382,33
	V001	0,398	165,87	66,02
	V003	0,445	0,16	0,07
	V003	0,445	1260,49	560,92
	TOTAL		1260,65	560,99

Sum(K*Sup)	Sum(Sup)	PondK3
4.111,85	8575,62	0,048

Tabla 50. Factor K ponderado de la Subcuenca Qda. Barnizales.

Fuente :cálculos propios, 2.009

FACTOR K (ponderado)					
Subcuenca	Tipo Suelo	K	Sup(ha)	K*sup	
	M007	0,481	57,73	27,77	
	M007	0,481	337,60	162,39	
	M007	0,481	0,20	0,10	
	M007	0,481	0,07	0,03	
	M007	0,481	2117,58	1.018,56	
	M007	0,481	212,12	102,03	
	Qda. Barnizales	M007	0,481	205,28	98,74
		M007	0,481	10,17	4,89
	TOTAL		2940,75	1.414,50	
		P003	0,547	296,21	162,03
V003		0,445	983,32	437,58	

Sum(K*Sup)	Sum(Sup)	PondK3
2014,11	4220,29	0,048

Tabla 51. Factor K ponderado de la Subcuenca Río Tucupido.

Fuente :cálculos propios, 2.009

FACTOR K (ponderado)				
Subcuenca	Tipo Suelo	K	Sup(ha)	K*sup
Río Tucupido	M007	0,481	0,05	0,02
	M007	0,481	285,31	137,23
	M007	0,481	94,62	45,51
	M007	0,481	8,36	4,02
	M007	0,481	3542,54	1.703,96
	M007	0,481	1452,47	698,64
	TOTAL		5383,34	2.589,39
	M008	0,441	80,91	35,68
	M008	0,441	213,96	94,36
	M008	0,441	44,06	19,43
	TOTAL		338,93	149,47
	P003	0,547	464,26	253,95
	P003	0,547	55,45	30,33
	P003	0,547	24,12	13,19
	TOTAL		543,83	297,47
V003	0,445	9,14	4,07	
V003	0,445	852,46	379,34	
TOTAL		861,60	383,41	
		Sum(K*Sup)	Sum(Sup)	Ponderado
		3419,74	7127,7	0,048

Tabla 52. Factor K ponderado de la Subcuenca Sin Nombre 1.

Fuente :cálculos propios, 2.009

FACTOR K (ponderado)				
Subcuenca	Tipo Suelo	K	Sup(ha)	K*sup
Sin Nombre 1	M007	0,481	675,45	324,89
	P003	0,547	3167,24	1.732,48
	V003	0,445	0,75	0,33
	V003	0,445	6,82	3,04
	V003	0,445	51,36	22,85
	V003	0,445	24,51	10,91
	V003	0,445	10,17	4,53
	V003	0,445	19,42	8,64
	V003	0,445	56,32	25,06
	V003	0,445	5,59	2,49
	V003	0,445	4,26	1,90
	V003	0,445	4,80	2,14
	TOTAL		184,01	81,88
			Sum(K*Sup)	Sum(Sup)
		2139,26	4026,70	0,053

Tabla 53. Factor K ponderado de la Subcuenca Qda. Riquera.

Fuente :cálculos propios, 2.009

FACTOR K (ponderado)				
Subcuenca	Tipo Suelo	K	Sup(ha)	K*sup
Qda. Riquera	M007	0,481	158,80	76,38
	M007	0,481	355,14	170,82
	M007	0,481	654,44	314,78
	TOTAL		1.168,38	561,99
	M008	0,441	3,78	1,67
	P003	0,547	344,56	188,48
	P004	0,552	115,92	63,99
	P004	0,552	5,55	3,06
	TOTAL		121,47	67,05
	V003	0,445	159,49	70,97
V003	0,445	1,49	0,66	
TOTAL		160,97	71,63	
		Sum(K*Sup)	Sum(Sup)	PondK4
		890,81	1799,16	0,050

Tabla 54. Factor K ponderado de la Subcuenca Sin Nombre 2.

Fuente :cálculos propios, 2.009

FACTOR K (ponderado)				
Subcuenca	Tipo Suelo	K	Sup(ha)	K*sup
Sin Nombre 2	M007	0,481	34,88	16,78
	M007	0,481	4,32	2,08
	M007	0,481	45,23	21,76
	TOTAL		84,43	40,61
	M008	0,441	300,13	132,36
	P003	0,547	816,26	446,50
	P004	0,552	431,59	238,24
	V003	0,445	1,03	0,46
	V003	0,445	270,85	120,53
	TOTAL		271,88	120,99
		Sum(K*Sup)	Sum(Sup)	PondK7
		978,69	1904,29	0,051

Tabla 55. Factor K ponderado de la Subcuenca Qda. Los Higuerones.

Fuente :cálculos propios, 2.009

FACTOR K (ponderado)				
Subcuenca	Tipo Suelo	K	Sup(ha)	K*sup
Qda. Los Higuerones	M008	0,441	306,15	135,01
	P003	0,547	123,35	67,47
	P004	0,552	96,92	53,50
	P004	0,552	336,70	185,86
	TOTAL		433,62	239,36
		Sum(K*Sup)	Sum(Sup)	PondKSup
		441,84	863,12	0,051

www.bdigital.ula.ve

5.2.5. Factor C (Cultivos)

El factor *C* se determinó, utilizando el procedimiento descrito en la sección 2.18.2.5.

Procedimiento:

1. Se utilizó el mapa de vegetación de la zona protectora del sistema de embalses Boconó Tucupido (Figura 18), imagen satelital y la ayuda de un experto, para identificar los diferentes usos del suelo y porcentaje de cubrimiento en las subcuencas bajo estudio, todo ello con el apoyo del SIG.
2. Identificados los usos del suelo y el porcentaje de cubrimiento, se procedió a utilizar la Tabla 2, para identificar los factores de cultivos *C*, correspondientes a cada uso, dichos valores serán ponderados (para el modelo MUSLE)

tomando en cuenta cada subcuenca.

3. Con la utilización de hojas de cálculo, se ponderaron los valores del factor de cultivo, para obtener un valor por cuenca. De ésta manera quedó calculado el factor C , para MUSLE.
4. El factor C para USLE, no se ponderó, para ello se procedió a crear el campo y carga del valor C en la base de datos almacenada en el SIG, dependiendo del uso del suelo, esto se hace tomando los valores directamente de la Tabla 2, con la ayuda del sistema de información geográfica, se convirtió el mapa del factor C a raster (Figura 20).
5. El mapa (raster) que se presenta a continuación (Figura 20), muestra el factor C asociado a los usos del suelo utilizado para el cálculo del modelo USLE .

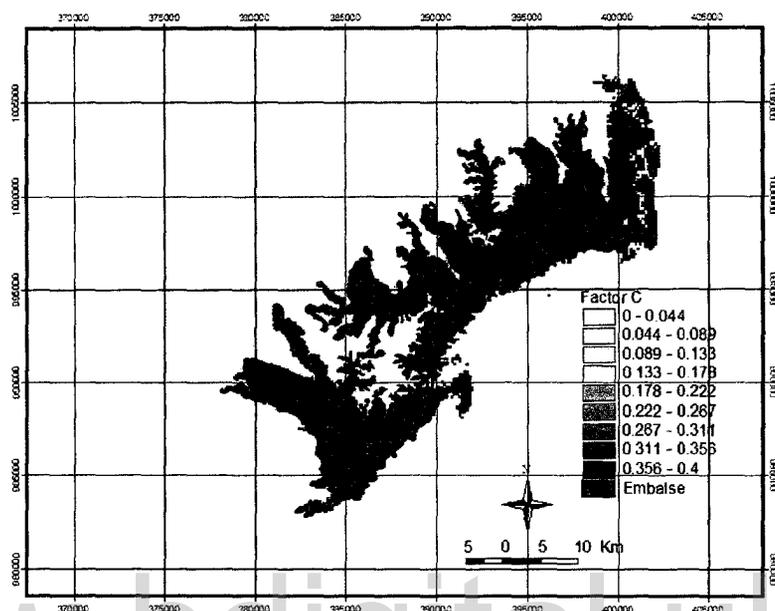


Figura 20. Factor C (sin ponderar). Zona Protectora del Sistema de Embalse Boconó Tucupido.

Fuente: cálculos propios, 2.008

5.2.5.1. Valores del Factor de Cultivos, con el correspondiente Uso del Suelo para cada uno de las cuencas en Estudio y Zona Protectora del Sistema de embalses Boconó Tucupido.

Los valores del factor *C*, asociado a los diferentes usos del suelo, presentes en la zona protectora del sistema de embalses Boconó Tucupido fueron obtenidos a partir del mapa de vegetación (REPSOL,2.002), imagen satelital y la ayuda de un experto .

A continuación se presenta el factor de cultivo C (ponderado), asociado a los diferentes usos del suelo, de cada una de las subcuencas, para aplicar posteriormente el modelo MUSLE.

Tabla 56. Factor C ponderado de la Subcuenca Boconó.

Fuente :cálculos propios, 2.009

FACTOR C (ponderado) Estado Actual									
Subcuenca	Categoría/Usos	Código	Descripción	Ha	C	Porc	porc/100	C*(porc/100)	
Boconó	Bosque	BtrHu(Sv-r)/Mo-Y1	Bosque intervenido	1.119,428	0,003	30,544	0,305	0,001	
	Bosque	BtrSe(Sd-r)/Co-Y3	Bosque muy intervenido	617,502	0,008	16,849	0,168	0,001	
	Ganadería Extensiva	PasTr/Co	Pastizal	622,538	0,080	16,986	0,170	0,014	
	Pastizal - Arbustal	AsTr-Pas-Arb(Sd-r)/Co	Pastizal - Arbustal	1.015,072	0,010	27,696	0,277	0,003	
	Cultivo Subsist-Ganadería, semi -extens	BTr(Sv-r)/Va-Y3	Bosque Ribereño (Br)	54,333	0,008	1,482	0,015	0,000	
	Cultivos-Pastizal	BtrHu(Sd-r)/Co-Y3	Bosque fuerte intervención	167,395	0,050	4,567	0,046	0,002	
	Cultivos-Sub-Ganadería	MaTr(Sd-r)/Co	Matorral	45,796	0,130	1,250	0,012	0,002	
	Ganadería Semi-Extensiva	AsTr-Ma-BSe(Sd-r)/Co-Y3	Asoc-Matorral y Bosque	10,626	0,009	0,290	0,003	0,000	
	Ganadería Semi-Extensiva	BtrSe(Sv-d)/Va-Y3	Bosque muy intervenido	12,146	0,006	0,331	0,003	0,000	
	Bosque	BtrSe(Sv-r)/Co-Y3	Bosque muy intervenido	0,152	0,007	0,004	0,000	0,000	
	Sub-Total Ha				3684,99		100	Penal	0,023
	Río Boconó(no entra en la evaluación)				172,57				
Total				3837,562					

Tabla 57. Factor C ponderado de la Subcuenca Qda. Barnizales.

Fuente :cálculos propios, 2.009

FACTOR C (ponderado) Estado Actual								
Subcuenca	Categoría/Usos	Código	Descripción	Ha	C	Porc	porc/100	C*(porc/100)
Qda. Barnizales	Cultivo de Subsistencia Café	AsPr-Ma-BHu(Sv-r)/Mo-Y3	Asoc-Bosque-cultivos	95,680	0,003	2,353	0,024	0,000
	Ganadería Semi-Extensiva	AsTr-Ma-BSe(Sd-r)/Co-Y3	Asoc-Matorral y Bosque	2,946	0,009	0,072	0,001	0,000
	Pastizal - Matorral,Bosque	AsTr-Pas-Ma-BHu(Sv-r)/Mo-Y3	Asoc-Bosque-Mat-Pastizal	256,963	0,050	6,320	0,063	0,003
	Bosque	BprHu(Sv-d)/Mo-Y1	Bosque intervenido	242,894	0,001	5,974	0,060	0,000
	Bosque	BtrHu(Sv-r)/Mo-Y1	Bosque intervenido	2.327,995	0,003	57,256	0,573	0,002
	Bosque	BtrSe(Sd-r)/Co-Y3	Bosque fuerte intervención	288,096	0,008	7,086	0,071	0,001
	Bosque	BtrSe(Sv-r)/Co-Y3	Bosque fuerte intervención	246,985	0,007	6,074	0,061	0,000
	Cultivos-Sub-Ganadería	MaTr(Sd-r)/Co	Matorral	47,552	0,130	1,170	0,012	0,002
	Ganadería Extensiva	PasTr/Co	Pastizal	556,865	0,080	13,696	0,137	0,011
	Sub-Total Ha				4.065,976		100	PenalG
Embalse(no entra en la evaluación)				154,8				

Tabla 58. Factor C ponderado de la cuenca Río Tucupido

Fuente :cálculos propios, 2.009

Subcuenca	Categoría/Usos	Código	Descripción	Ha	C	Porc	porc/100	C*(porc/100)
	Arbustal	ArTr(r)/Co	Arbustos	0,052	0,020	0,001	0,00	0,000
	Cultivo de Subsistencia Café	AsPr-Ma-BHu(Sv-r)/Mo-Y3	Asoc-Bosque-cultivos	1,645	0,003	0,023	0,00	0,000
	Pasizal - Arbustal	AsTr-Pas-Arb(Sd-r)/Co	Pasizal - Arbustal	204,813	0,010	2,908	0,03	0,000
	Cultivo Subsist-Ganadería	AsTr-Pas-Ma-BHu(Sv-r)/Mo-Y3	Asoc-Bosque-Mat-Pasizal	3.005,702	0,090	42,673	0,43	0,038
	Bosque	BprHu(Sv-d)/Mo-Y1	Bosque intervenido	931,608	0,001	13,226	0,13	0,000
	Bosque	BprHu(Sv-r)/Mo-Y2	Bosque moderadamente intervenido	9,195	0,003	0,131	0,00	0,000
	Cultivo Subsist-Ganadería, semi -extens	BrTr(Sv-r)/Va-Y3	Bosque Ribereño (Br)	2,044	0,008	0,029	0,00	0,000
	Bosque	BrHu(Sv-r)/Mo-Y1	Bosque intervenido	2.790,824	0,003	39,622	0,40	0,001
	Bosque	BrHu(Sv-r)/Mo-Y3	Bosque fuerte intervención	11,239	0,009	0,160	0,00	0,000
	Bosque	BrSe(Sd-r)/Co-Y3	Bosque fuerte intervención	19,513	0,008	0,277	0,00	0,000
	Bosque	BrSe(Sv-r)/Co-Y3	Bosque fuerte intervención	0,019	0,007	0,000	0,00	0,000
	Ganadería Extensiva	PasTr/Co	Pasizal	66,931	0,080	0,950	0,01	0,001
			Sub-Total Ha	7.043,585		100	Factor C	0,041
	<i>Embalse(no entra en la evaluación)</i>			84,7				
			Total	7.128,287				

www.bdigital.ula.ve

Tabla 59. Factor C ponderado de la Subcuenca Sin Nombre 2

Fuente :cálculos propios, 2009

Subcuenca	Categoría/Usos	Código	Descripción	Ha	C	Porc	porc/100	C*(porc/100)
	Pasizal -Arbustal	AsTr-Pas-Arb(Sd-r)/Co	Pasizal -Arbustal	31,512	0,010	1,829	0,02	0,000
	Cultivo Subsist-Ganadería	AsTr-Pas-Ma-BHu(Sv-r)/Mo-Y3	Asoc-Bosque-Mat-Pasizal	1.432,310	0,050	83,134	0,83	0,042
	Cultivo Subsist-Ganadería, semi -extens	BrTr(Sv-r)/Va-Y3	Bosque Ribereño (Br)	102,823	0,008	5,968	0,06	0,000
	Bosque	BrHu(Sv-r)/Mo-Y1	Bosque intervenido	79,678	0,003	4,625	0,05	0,000
	Bosque	BrHu(Sv-r)/Mo-Y3	Bosque fuerte intervención	71,456	0,009	4,147	0,04	0,000
	Bosque	BrSe(Sd-r)/Co-Y3	Bosque fuerte intervención	5,119	0,007	0,297	0,00	0,000
			Sub-Total Ha	1722,9		100	Factor C	0,043
	<i>Embalse(no entra en la evaluación)</i>			181,75				
			Total	1904,65				

Tabla 60. Factor C ponderado de la Subcuenca Qda. Riquera

Fuente : cálculos propios, 2.009

Subcuenca	Cobertura	Código	Descripción	Ha	C	Porc	porc/100	C*(porc/100)
	Pastizal - Arbustal	AsTr-Pas-Arb(Sd-r)/Co	Pastizal - Arbustal	190,416	0,010	11,524	0,12	0,001
	Cultivo Subsist-Ganadería	AsTr-Pas-Ma-BHu(Sw-r)/Mo-Y3	Asoc-Bosque-Mat-Pastizal	783,528	0,050	47,419	0,47	0,024
	Cultivo Subsist-Ganadería, semi-extens	BrTr(Sw-r)/Va-Y3	Bosque Ribereno (Br)	69,727	0,008	4,220	0,04	0,000
	Bosque	BrHu(Sw-r)/Mo-Y1	Bosque intervenido	71,512	0,003	4,328	0,04	0,000
	Bosque	BrHu(Sw-r)/Mo-Y3	Bosque fuerte intervención	498,049	0,009	30,142	0,30	0,003
	Bosque	BrSe(Sd-r)/Co-Y3	Bosque fuerte intervención	39,135	0,007	2,368	0,02	0,000
			Sub-Total Ha	1.652,367		100		0,028
	<i>Embalse(no entra en la evaluación)</i>			147,046				

Tabla 61. Factor C ponderado de la subcuenca Sin Nombre 1

Fuente : cálculos propios, 2.009

Cuenca	Cobertura	Código	Descripción	Ha	C	Porc	porc/100	C*(porc/100)
	Pastizal - Arbustal	AsTr-Pas-Arb(Sd-r)/Co	Pastizal - Arbustal	22,343	0,010	0,614	0,01	0,000
	Cultivo Subsist-Ganadería	AsTr-Pas-Ma-BHu(Sw-r)/Mo-Y3	Asoc-Bosque-Mat-Pastizal	477,470	0,090	13,115	0,13	0,012
	Cultivo Subsist-Ganadería, semi-extens	AsTr-Ma-BSe(Sd-r)/Co-Y3	Asoc.Bosque y Matorral	953,479	0,008	28,189	0,28	0,002
	Bosque	BrHu(Sw-r)/Mo-Y1	Bosque intervenido	114,153	0,003	3,135	0,03	0,000
	Bosque	BrSe(Sw-r)/Co-Y3	Bosque fuerte intervención	863,159	0,060	23,848	0,24	0,014
	Bosque	BrSe(Sd-r)/Co-Y3	Bosque fuerte intervención	1056,445	0,007	29,017	0,29	0,002
	Ganadería Extensiva	PasTr/Co	Pastizal	148,682	0,080	4,084	0,04	0,003
			Sub-Total Ha	3.640,731		100		0,034
	<i>Embalse(no entra en la evaluación)</i>			181,749				
			Total	3.822,480				

Tabla 62. Factor C ponderado de la subcuenca Qda. Higuerones

Fuente :cálculos propios, 2.009

Cuenca	Cobertura	Código	Descripción	Ha	C	Porc	porc/100	C*(porc/100)
	Ganadería Semi-Extensiva	AsTr-Ma-BH(Sd-r)/Co-Y3	Asoc-Matorral y Bosque	99,676	0,009	11,535	0,12	0,001
	Pasizal - Arbustal	AsTr-Pas-Arb(Sd-r)/Co	Asoc-Matorral y Bosque	95,488	0,010	11,051	0,11	0,001
	Cultivo Subsist-Ganadería	AsTr-Pas-Ma-BH(Sv-r)/Mb-Y3	Asoc-Matorral y Bosque	257,874	0,090	29,843	0,30	0,027
	Cultivo Subsist-Ganadería, semi -extens	BTr(Sv-r)/Va-Y3	Asoc-Matorral y Bosque	16,681	0,008	1,930	0,02	0,000
	Cultivo Subsist-Ganadería	BH(Sv-r)/Mb-Y2	Asoc-Matorral y Bosque	264,733	0,004	30,637	0,31	0,001
	Bosque	BH(Sv-r)/Mb-Y1	Asoc-Matorral y Bosque	129,650	0,003	15,004	0,15	0,000
			Sub-Total Ha	864,1		100		0,831

5.2.6. Factor P (Prácticas de Cultivo)

Para la aplicación de los dos modelos, se utilizó el valor de $P=1$, asumiendo que en las cuencas bajo estudio y en el área de influencia del sistema de embalses (zona protectora) no existen prácticas de cultivo. Estas prácticas son medidas para evitar la erosión acelerada, producto de la intervención humana.

5.2.7. Factor R (erosividad de la lluvia)

Para calcular éste factor, en el modelo ULSE, se tomó en cuenta las precipitaciones diarias de la estación Sipororo desde el año 1.967 hasta el año 2.007.

Procedimiento

1. Obtención de un archivo de 12 años de datos diarios completos: solo seis años de los registros originales estaban completos. Se obtuvieron seis años adicionales de registro, asignando cero a los datos englobados, cuando su englobe se consideró pequeño, menor a 20 mm (criterio arbitrario aplicado).

2. Con el archivo de 12 años se calcularon las estadísticas de generación de precipitación requeridas por el modelo EPIC.
3. Se obtuvo un archivo para la serie 1.967 – 2.007 con datos faltantes. En este archivo, se eliminaron todos los englobes, es decir, todos los datos englobados y sus englobes se asumieron como faltantes.
4. Se estimó la erosividad con EPIC empleando el archivo anterior y las estadísticas de generación indicadas en el paso 2. En este caso, para cada día, el modelo utilizó el valor de precipitación del registro, y en caso de estar faltante, lo estimó con el generador climático.

A continuación, se muestra la información generada por EPIC para el modelo USLE, a partir de los datos de precipitación de la estación Sipororo del período 1.967 - 2.007. Se tomó en cuenta, el promedio anual $E_{i30} = 7.746,7 \text{ Mj mm h}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ año}^{-1}$, el cual es el producto de la energía total de la tormenta (E) y su máxima intensidad en 30 minutos (I) (ver sección 2.18.1). Este valor es considerado como moderadamente alto. (Páez, 1.989; citado por Vargas, 2.004).

Tabla 63. Factor R. Generado por EPIC

Fuente :cálculos propios, 2.008

Año	Factor R	Factor R	Factor R
1967	1637,5	921,4	9213,7
1968	1362,5	569,1	5691,4
1969	1729,4	659,4	6593,7
1970	1288,2	514,0	5140,3
1971	1275,8	638,3	6383,1
1972	2033,7	1337,2	13372,2
1973	1019,4	347,0	3470,1
1974	1002,9	412,8	4127,8
1975	1250,0	484,0	4839,9
1976	1761,1	769,2	7691,9
1977	1700,8	1110,2	11101,8
1978	1645,4	964,8	9647,6
1979	1853,7	1194,3	11942,5
1980	1911,8	1476,3	14762,8
1981	2232,1	1833,3	18333,0
1982	2107,7	1191,1	11911,3
1983	1634,0	622,3	6223,5
1984	1195,9	536,8	5368,5
1985	1303,1	478,1	4781,4
1986	1678,8	790,5	7905,1
1987	1169,9	504,8	5047,9

Cont. de la Tabla 63. Factor R, generado por EPIC

Fuente :cálculos propios, 2.008

Año	Factor	R	R ²
1988	1390,5	783,4	7833,7
1989	1276,7	880,7	8807,4
1990	1912,9	1074,6	10746,3
1991	1580,9	803,8	8037,6
1992	1379,0	476,3	4762,8
1993	1299,5	452,9	4528,8
1994	1737,6	920,7	9206,6
1995	1206,9	571,2	5711,6
1996	1671,1	807,6	8075,7
1997	1899,6	1389,1	13891,4
1998	1421,0	643,2	6432,0
1999	1344,0	353,4	3533,8
2000	1267,9	515,7	5156,8
2001	1346,5	533,9	5338,7
2002	1841,4	1262,5	12625,5
2003	1768,5	986,3	9862,8
2004	1359,9	475,0	4750,2
2005	1284,8	728,8	7288,4
2006	1202,6	441,2	4412,1
2007	1198,9	306,3	3063,4
Promedio Anual	1516,7	774,7	7746,7

5.2.8. Área de las Subcuencas (A)

Este factor se obtuvo, utilizando el mapa de las subcuencas bajo estudio de la sección 5.2 (Figura 15) y las herramientas del SIG (Tabla 15).

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Pérdidas de Suelo

Con la aplicación del modelo USLE, en la zona protectora del Sistema de embalses Boconó Tucupido, a través de un SIG y álgebra de mapas, se pudo determinar el mapa de estados erosivos y la cantidad de hectáreas afectadas por los diferentes niveles y grados de erosión presentes en la zona en estudio.(ver Figura 21)

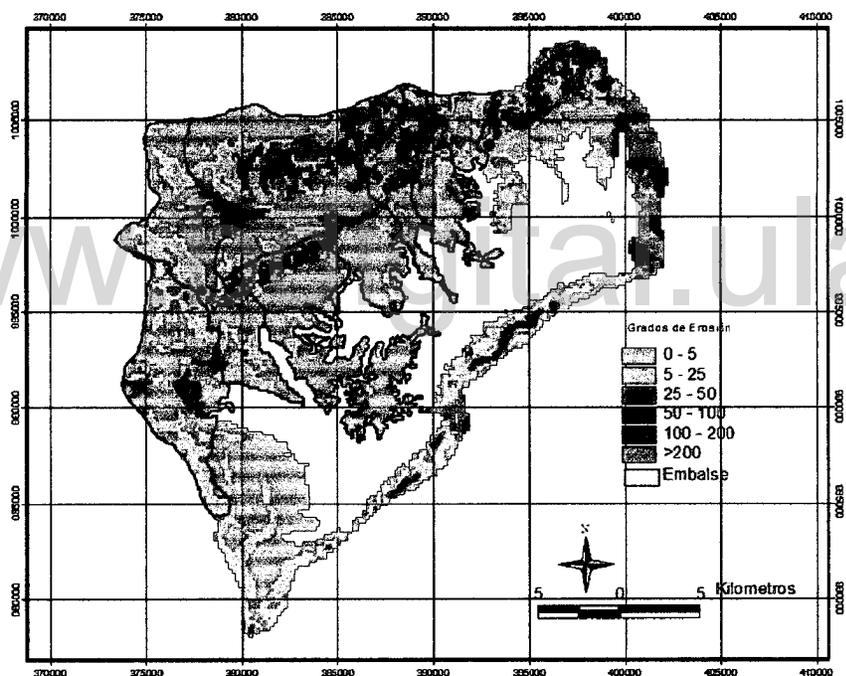


Figura 21 .Mapa de Erosión. Zona Protectora del Sistema de Embalse Boconó Tucupido.

Fuente : cálculos propios, 2.009

La Tabla 64 muestra el grado de erosión, el nivel que ocupa y la cantidad de hectáreas que ésta abarca en el área de influencia del sistema de embalses Boconó Tucupido.

Tabla 64. Pérdida de Suelo. Área de Influencia del Sistema de Embalses Boconó Tucupido

Fuente : cálculos propios, 2.009

Grado de erosión (Mg ha ⁻¹ año ⁻¹)	Número de Hectáreas afectadas (ha)	% De Cubrimiento	Nivel de Erosión
0-5	13.557	38,50	Baja
5-25	14.752	41,89	Moderada
25-50	2.236	6,35	Media
50-100	1.998	5,67	Alta
100-200	1.467	4,16	Muy Alta
>200	1.206	3,42	Crítica
Total	35.213	100,00%	

Los resultados señalan que la mayoría del área (86,74 %) se ubica entre baja a media erosión, favorecido esto, por la presencia de vegetación alta correspondiente a bosques en diversos grados de intervención y matorrales, aún cuando la erosionabilidad de los suelos sea muy alta y la erosividad de las lluvias moderadamente alta .(Páez, 1.989; citado por Vargas, 2.004). Sin embargo, una pequeña extensión (7,58 %) presenta niveles críticos que en mucho contribuiría a la generación de sedimentos que pueden alcanzar el cuerpo de agua. En estos sectores el uso de la tierra juega un papel preponderante ya que en los sectores de las subcuencas donde se presenta esta condición corresponde a matorrales ralos y el resto se encuentra bajo cultivos de subsistencia y ganadería extensiva con pastizales muy

pastoreados.(Mari Vargas, comunicación personal, 2009).

6.2. Producción de Sedimentos.

La producción de sedimentos fue calculada aplicando el modelo MUSLE de la sección 2.18.2. en una hoja de cálculo para cada una de las subcuencas en estudio (Figura 15, sección 5.2) para un registro de precipitación de 24 años, cuyos datos, fueron obtenidos de la estación Sipororo.

Es importante resaltar, que en el área donde se realizó el estudio (área de influencia del sistema de embalses Boconó Tucupido), está restringida al uso primordialmente protector por Gaceta Oficial N° 4.464 del año 92 , no obstante el mismo no se cumple ya que se evidencia en las Tablas 22 hasta la 28, la diversidad de usos no conformes con la figura jurídica establecida.

A continuación, en la Tabla 65 se presenta la producción de sedimentos en $\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ aportada por cada una de las subcuencas bajo estudio, ordenada por precipitación en forma descendente.

Tabla 65. Rendimiento de Sedimentos para lluvias máximas. Período de 24 años. Modelo MUSLE.

Fuente: cálculos propios, 2.009

Cuencas en Estudio. Estación Sipororo								
Año	Precipitación (mm)	Bocanó	Cda. Barrizales	Río Tucupido	Sin Nombre 1	Cda. Figuera	Sin Nombre 2	Cda. Los Higueros
1981	154,80	2,89	2,47	1,77	0,83	8,39	0,82	2,31
1979	142,30	2,47	2,06	1,47	0,71	6,94	0,68	1,92
1971	139,20	2,36	1,96	1,40	0,68	6,61	0,64	1,83
1982	134,30	2,18	1,81	1,29	0,63	6,1	0,59	1,68
1967	128,60	1,99	1,64	1,17	0,57	5,53	0,53	1,52
1977	112,30	1,47	1,19	0,89	0,42	4	0,37	1,08
1980	111,90	1,46	1,18	0,83	0,42	3,97	0,37	1,07
1989	105,50	1,27	1,02	0,71	0,36	3,42	0,32	0,92
2000	104,30	1,24	0,99	0,69	0,35	3,32	0,31	0,89
1972	99,70	1,11	0,88	0,61	0,32	2,95	0,27	0,78
2003	95,50	1,00	0,78	0,55	0,28	2,63	0,24	0,69
2002	92,10	0,91	0,71	0,49	0,26	2,38	0,21	0,62
1976	84,60	0,73	0,56	0,38	0,21	1,87	0,16	0,48
1978	84,30	0,72	0,55	0,38	0,2	1,85	0,16	0,48
1970	83,30	0,70	0,53	0,37	0,2	1,79	0,15	0,46
1974	72,70	0,48	0,35	0,24	0,13	1,17	0,09	0,29
1983	67,70	0,39	0,27	0,18	0,11	0,92	0,07	0,22
1990	65,40	0,35	0,24	0,16	0,1	0,81	0,06	0,2
1975	63,20	0,31	0,21	0,14	0,09	0,71	0,05	0,17
1968	60,20	0,26	0,18	0,12	0,07	0,59	0,04	0,14
1973	60,10	0,26	0,18	0,12	0,07	0,59	0,04	0,14
1984	56,80	0,21	0,14	0,09	0,06	0,47	0,03	0,11
2001	53,50	0,17	0,11	0,07	0,05	0,36	0,02	0,08
1985	48,40	0,11	0,07	0,04	0,03	0,22	0,01	0,04

De acuerdo con estos resultados, los valores más altos de producción de sedimentos coinciden con los períodos de mayor precipitación para todas las cuencas evaluadas. Esto se pudo apreciar en el año 1.981 con una precipitación máxima de 154,80 mm, en el que la producción de sedimentos fue superior a todos los demás períodos en contraste con el menor acarreo de sedimentos producidos en el año 1.985 donde se registró la menor precipitación (48,40 mm).

La Figura 22, muestra el comportamiento de cada una de las subcuencas en relación a la magnitud de sedimentos en un período de 24 años. En ella se observa que la mayoría de las subcuencas evaluadas presentan un comportamiento similar con excepción de la quebrada Riquera, la cual manifestó una producción de sedimentos superior al resto .

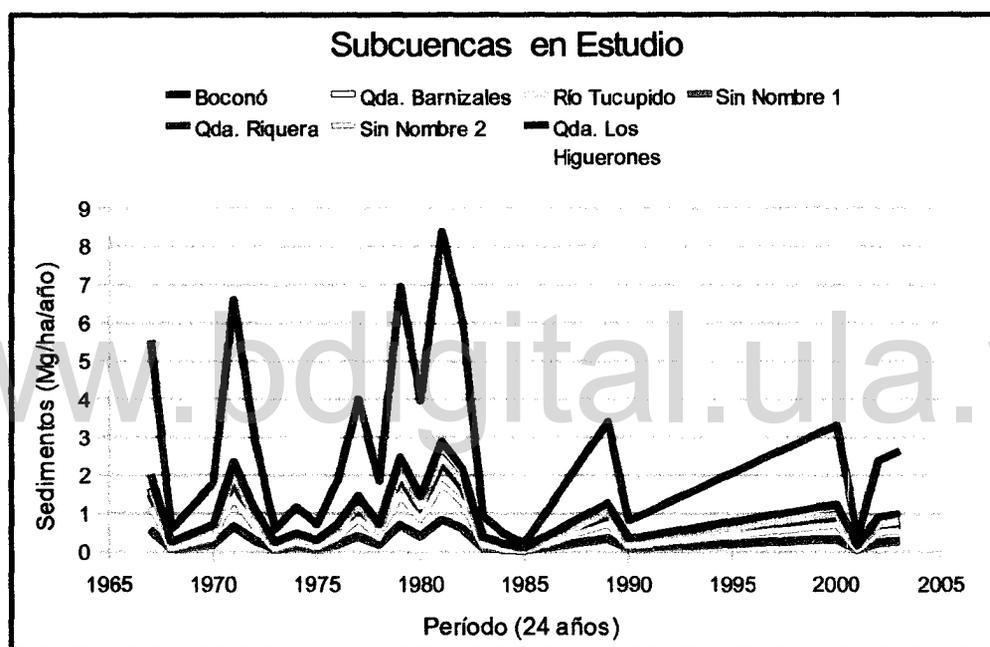


Figura 22 .Rendimiento de Sedimentos. Estación Sipororo.

Fuente: cálculos propios, 2.009

El siguiente gráfico, la frecuencia acumulada (Fa) se generó mediante la siguiente formula : $Fa = 100 * Nro-de-orden / (n + 1)$ (17)

Donde:

$Nro-de-orden$ = posición que ocupa cada valor (sedimentos) en orden ascendente

n = número de observaciones. (24 obs.)

En la Figura 23 se presenta la frecuencia acumulada (Fa), se observa como la mayor magnitud de producción de sedimentos se obtuvo en la cuenca Qda. Riquera, igualmente, se muestran tres grupos en cuanto a la producción de sedimentos (las curvas orientadas a la derecha), el primero representado por la Qda. Riquera, el segundo grupo por las subcuencas Boconó, Qda Barnizales, Qda Higuerones y Río Tucupido y el tercer grupo por las subcuencas Sin Nombre 1 y Sin Nombre 2.

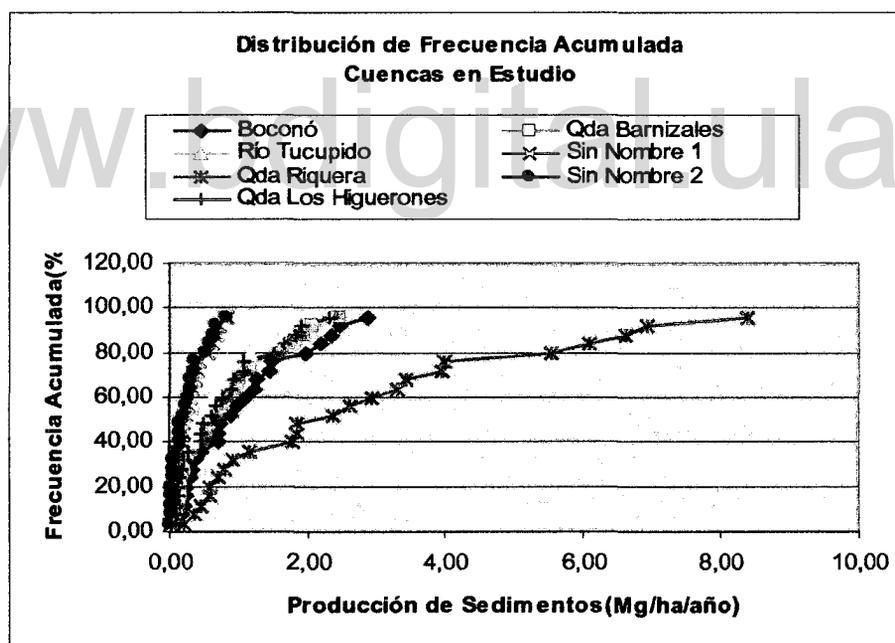


Figura 23. Distribución de Frecuencia Acumulada. Estación Sipororo. Período 24 años.

Fuente: cálculos propios, 2.009

La producción de sedimentos es originado por los diferentes factores que intervienen en los modelos USLE y MUSLE, es por ello, que a continuación se presenta la matriz de correlación de los diferentes factores de erosión, para verificar cuál de ellos es el más influyente.

Tabla 66. Matriz de Correlación. Para 24 años de registros. Fuente: cálculos propios, 2.009

	Sedimentos	Superficie	Pendiente	Factor C	Nro Curva	Factor K	Q
Sedimentos	1						
Superficie	-0,308	1					
Pendiente	,934(**)	-,245	1				
Factor C	-,376	,107	-,408	1			
Nro Curva	,114	,311	-,005	-,551	1		
Factor K	-,183	-,416	-,181	,420	-,024	1	
Q	,108	,308	-,012	-,547	1,000(**)	-,020	1

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Los resultados obtenidos de la correlación de los factores de erosión para un período de 24 años, demuestra que el factor más influyente en la producción de sedimentos en las subcuencas en estudio, es la pendiente, lo cual se puede evidenciar en la subcuenca Qda. Riquera, esta presenta la pendiente más alta de todas con un 82% y una carga de sedimentos de $8,39 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para la precipitación máxima de 154,80 mm.

Existe baja correlación entre el factor Q y el número de curva (CN) con la producción de sedimentos, para evaluar este comportamiento se realizó un análisis de variabilidad de los factores de erosión y escorrentía y también se aplicaron pruebas de sensibilidad para determinar el impacto que tiene el cambio de una variable sobre la producción de sedimentos.

6.3. Variabilidad de los Factores de Erosión y Escorrentía entre las subcuencas .

Para determinar la variabilidad de los factores de erosión y escorrentía, se calcula la desviación y coeficiente de variación de las variables entre las subcuencas.

Tabla 67. Variabilidad de los factores de erosión entre las subcuencas.

Fuente: cálculos propios, 2.010

Factores	Media	Desv. Tip.	CV	CV %
superficie	3.262,34	2.086,98	0,64	63,97
pendiente	24,34	27,86	1,14	114,47
factor C	0,03	0,01	0,29	29,16
Nro Curva	63,54	2,54	0,04	3,86
factor K	0,05	0,00	0,04	3,80
Q	58,24	5,51	0,10	9,46

La correspondencia que existe entre los órdenes de magnitud de las correlaciones y la variación de los factores, indica, que para las condiciones actuales de las subcuencas, la variación de la producción de sedimentos se debe a las variaciones en la pendiente. El resto de las variables son relativamente homogéneas en magnitud, y por lo tanto, influyen poco en la variación de la producción de sedimentos. Ello no implica que *CN*, *C*, *Q* y *K*, no sean importantes, si no que su variación, al ser pequeña, tiene poca influencia en que la producción de sedimentos varíe.

6.4. Análisis de Sensibilidad

Se realizaran pruebas de sensibilidad en la MUSLE, para determinar en que medida cambia la producción de sedimentos en la medida que cambian cada uno de los factores, para ello, se establece una condición “pivote” como emplear los valores intermedios de los factores de las subcuencas. Luego sucesivamente se modifica cada

factor creciente y decrecientemente en “saltos” porcentuales y se observa cuánto es el porcentaje de variación de la producción de sedimentos según el porcentaje de variación del factor. Posteriormente se compara la sensibilidad de los factores con los coeficientes de correlación, para determinar si las bajas correlaciones se deban a poca variación del factor, magnitudes bajas del factor o falta de sensibilidad de la ecuación al factor.

Tabla 68. Análisis de Sensibilidad . Fuente: cálculos propios, 2.010

		15,31	154,00	33,53	3,00	3.953,840	0,051	0,60	0,031	1	0,59	100
Factor	Valor del Factor % de Variación del Factor											
63,48	30	154,00				3.953,840	0,051	0,60	0,031	1		261,45
	10	154,00				3.953,840	0,051	0,60	0,031	1		37,77
	5	154,00				3.953,840	0,051	0,60	0,031	1		212,54
	15	154,00				3.953,840	0,051	0,60	0,031	1		115,37
0,05	30	154,00	33,53	3,00		3.953,840		0,60	0,031	1		129,41
	10	154,00	33,53	3,00		3.953,840		0,60	0,031	1		90,20
	5	154,00	33,53	3,00		3.953,840		0,60	0,031	1		105,99
	15	154,00	33,53	3,00		3.953,840		0,60	0,031	1		84,31
0,03	30	154,00	33,53	3,00		3.953,840	0,051	0,60		1		129,03
	10	154,00	33,53	3,00		3.953,840	0,051	0,60		1		90,32
	5	154,00	33,53	3,00		3.953,840	0,051	0,60		1		104,45
	15	154,00	33,53	3,00		3.953,840	0,051	0,60		1		83,07
3.953,840	30	154,00	33,53	3,00			0,051	0,60	0,031	1		103,20
	10	154,00	33,53	3,00			0,051	0,60	0,031	1		98,74
	5	154,00	33,53	3,00			0,051	0,60	0,031	1		104,59
	15	154,00	33,53	3,00			0,051	0,60	0,031	1		98,07
43,19	30	154,00	33,53	3,00		3.953,840	0,051		0,031	1		144,19
	10	154,00	33,53	3,00		3.953,840	0,051		0,031	1		103,40
	5	154,00	33,53	3,00		3.953,840	0,051		0,031	1		119,77
	15	154,00	33,53	3,00		3.953,840	0,051		0,031	1		98,04

Para el caso del factor *CN* este produce alta sensibilidad, pero su correlación es baja. Esto indica, en correspondencia con su *CV*(coeficiente de variación), que como su variación es pequeña, influye poco en la variación de la producción de sedimentos en las condiciones actuales, pero en condiciones hipotéticas, podría afectarla notablemente.

La sensibilidad de los factores *K*, *C* dan linealmente proporcional porque son factores multiplicativos, es decir, en la misma medida que varían estos factores, variará la producción de sedimentos. Es de resaltar que el factor *C* puede tomar valores dentro de un intervalo de 0,001 a 1, lo que hace que la producción de sedimentos varíe en miles, lo que no ocurre con *K*, pues es esperable una variedad limitada de suelos en el área.

La pendiente es evaluada en la MUSLE a través del factor *LS*, esta produce alta sensibilidad y su correlación también es alta, lo cual indica, que este factor influye en la producción de sedimentos en las subcuencas tanto en las condiciones actuales como hipotéticas.

La superficie produce baja sensibilidad y su correlación es también es baja, lo que indica que tanto en condiciones actuales como hipotéticas de las subcuencas, este factor no influirá en la producción de sedimentos.

6.5. Evaluación de los Resultados.

6.5.1. Modelo MUSLE

En este caso para las cuencas en estudio el modelo MUSLE, no fue posible su validación, en primer lugar porque no existen registros de gastos en todas las cuencas consideradas, ni en una de ellas ni en en algún punto de los cauces principales que conforman las cuencas; por lo tanto, al carecer de esta información se imposibilita la

precisión y consistencia del modelo, y por ende su validación. En segundo lugar, es importante recordar, que en el modelo MUSLE solo determina la carga de sedimentos para un evento de lluvia.

La validación es el establecimiento de cuan precisas y consistentes fueron las simulaciones. Para ello es imprescindible disponer de registros de los procesos que simulan, y que puedan ser asociados a los valores simulados, bien sea en pares de valores medidos-simulados, o según las distribuciones de frecuencias de ambos.

La validación pertinente según se aplicó la MUSLE sería comparar la distribución de frecuencias de las simulaciones de escorrentía y producción de sedimentos con la distribución de frecuencias de mediciones máximas anuales, lo cual es imposible al carecer de registros hidrométricos.

Para realizar una validación al modelo es necesario aplicar la MUSLE desde el momento en que inició el funcionamiento del embalse hasta la última batimetría, lo que significaría una investigación más exhaustiva, es decir, otro estudio porque se requeriría calcular la generación de sedimentos ocurridos por cada evento de lluvia por día (en un día pueden ocurrir dos o tres eventos) durante todo el periodo lluvioso (siete meses) para un período de 15 años, es decir, desde 1.987 hasta 2.002 (última batimetría) en las siete cuencas. En virtud de que en los registros históricos de precipitación en la estación Sipororo al igual que en las otras estaciones localizadas en el área de influencia del embalse, existen muchos datos faltantes no sería confiable para este caso en particular los cálculos generados. Por esta razón fue que solo para fines de aplicar el modelo se utilizó la máxima precipitación anual registrada durante el período considerado (1.967-2.008) .

En otras palabras, una validación general de la MUSLE sería mediante una

batimetría en el embalse. Ello permitiría establecer el ajuste de la estimación global para todas las cuencas en cuanto a la producción de sedimentos, pero no permitiría establecer el ajuste para cada cuenca, ni como ese ajuste se comporta a lo largo del tiempo. Además, para enfrentar esta evaluación, habría que emplear la MUSLE de manera continua en el tiempo, es decir, diariamente para todo el período desde la construcción del embalse hasta la fecha de las eventuales batimetrías. Esto implicaría considerar en los cálculos las variaciones que ocurren naturalmente o por efecto del manejo en las cuencas, como cambios en la humedad antecedente o en el manejo y desarrollo de los cultivos y formaciones vegetales. Esta aplicación de la MUSLE no sería pertinente, sino en su lugar, aplicar un modelo de simulación continuo, lo cual sería un trabajo totalmente distinto al planteado debido a los requerimientos metodológicos y de información.

Cabe destacar que debido a la imposibilidad de la calibración y validación cuantitativa (falta de aforos de escorrentía y producción de sedimentos para comparar los resultados simulados) del método empleado, los resultados deben interpretarse de manera comparativa, es decir, según el orden de magnitudes y tendencias de las diversas subcuencas en cuanto a riesgos relativos de producción sedimentos, lo cual es sumamente útil para establecer prioridades de atención conservacionista, así como de estrategias de preservación o mejoramiento según sus combinaciones de degradación potencial y actual, por ejemplo, en las cuencas de alto riesgo de degradación potencial, pero con bajo nivel de degradación actual, la estrategia de conservación estaría orientada hacia la preservación, pero en cuencas con alto grado de degradación actual, la estrategia estaría orientada hacia el mejoramiento.

Los resultados obtenidos con la MUSLE en este caso orientan hacia el manejo que debe dársele a las cuencas lo cual en función a los aportes de sedimentos la

cobertura debe ser mas o menos protectora en atención a los factores condicionantes que propician la producción de sedimentos.

6.5.2. Modelo USLE

En un estudio realizado en campo por Lizaso (1.980) se calcularon las pérdidas de suelo mediante parcelas de erosión en un sector próximo al polígono de estudio con características edafo-climáticas y topográficas muy similares. Al comparar las pérdidas de suelo obtenidas en campo con el generado por el SIG se encuentran valores de pérdidas similares que califican en el rango de baja y moderada erosión. Las pérdidas de suelo cuantificadas a nivel de campo se calcularon en 1,01 Mg/ha/año en un período de evaluación corto entre mayo y agosto, mientras que los generados por el SIG oscilan alrededor de 5,44 Mg/ha/año para un promedio anual de precipitación. Sobre el particular es importante aclarar, que el citado autor señaló que en el período de evaluación (mayo-agosto) llovió en promedio la mitad de la precipitación anual por lo que se podría esperar mayores pérdidas para éste período. No obstante, en el estudio de Lizaso (1.980) las pérdidas de suelo son bajas, mientras que en esta investigación entra en el rango de moderada de acuerdo con los valores referenciales utilizados por la FAO (Edeso *et al.*, 1.995).

Tabla 69. Comparación de pérdida de suelo en la cobertura Bosque.

Fuente: cálculos propios, 2.009

Lizaso (1.980)	Área de Estudio
Bosque :1,01 Mg/ha/año	Bosque :5,44 Mg/ha/año

En otro estudio, realizado por Cabezas (2.004) con la aplicación de SIG (Arview 2.3) en el sector “Las Panelas” ubicado dentro de la poligonal de la presente investigación, se determinaron los índices de cobertura vegetal en el referido sector, de acuerdo con el autor más de 50% del área tiene una baja sensibilidad a la erosión como consecuencia de la mayor protección del suelo brindada por la vegetación boscosa, casi 40% del área total se ubicó en la categoría de alta sensibilidad, es decir, corresponde a áreas frágiles o muy sensibles al proceso de erosión debido a la presencia de ganadería extensiva (pastizales), el resto se ubicó en una categoría de media sensibilidad representado por una agricultura de subsistencia.

Al comparar la sensibilidad a la erosión reportada por Cabezas (2.004) con la erosión actual determinada por el presente estudio, se observa una correspondencia la cual se evidencia en las Tablas 69 y 70.

Tabla 70. Sensibilidad a la Erosión por Cobertura. Sector Las Panelas. Fuente: Cabezas, 2.004

Sensibilidad a la Erosión por Cobertura. Cabezas (2.004)		
Cobertura	Superficie (%)	Categoría
Bosque	53,22	Baja
Pastizal	41,22	Alta
Agricultura de Subsistencia	5,56	Media
Total	100%	

Tabla 71. Erosión Sector Las Panelas. Fuente: cálculos propios, 2.009

Erosión en el Sector “Las Panelas”			
Cobertura	Grado de Erosión Mg/ha/año	Superficie (%)	Categoría
Bosque Ribereño	0-5	9,41	Baja
Bosque Ribereño	5 -25	11,87	Moderada
-	25 -50	-	Media
Asociación. Pastizal -Chaparral. Cultivos de Subsistencia Ganadería Semi- extensiva	50 -100	34,72	Alta
Bosque Tropical Seco. Muy Intervenido	100 -200	3,45	Muy Alta
Asociación Pastizal -Chaparral. Cultivos de Subsistencia Ganadería Semi- extensiva	> 200	40,55	Muy Crítica
	Total	100%	

En consecuencia se deduce, que la cobertura bosque ribereño se encuentra entre las categorías baja a moderada con el 21,28% del área, el bosque tropical seco muy intervenido entra en la categoría muy alta con 3,45% del área y los pastizales varían entre la categoría alta y muy crítica ocupando un 75,27% de la superficie.

Es importante señalar que las variaciones encontradas entre ambos estudios, se debe al nivel de detalle de las escalas empleadas (Cabezas 1:25.000 y estudio actual 1:100.000) y a la amplitud de las categorías utilizadas.

A continuación se presenta el mapa de erosión del sector “Las Panelas”, reflejando el grado correspondiente en cada sector

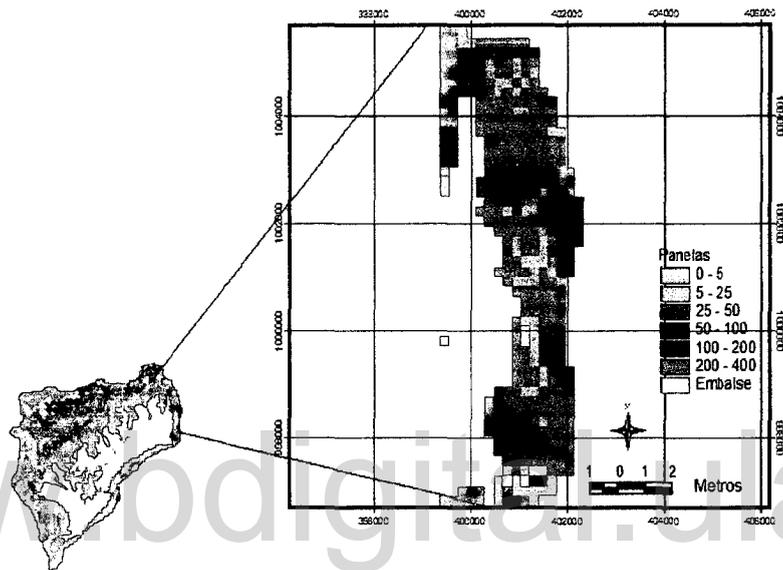


Figura 24. Mapa de Erosión . Sector Las Panelas . Fuente: cálculos propios, 2.009

7. CONCLUSIONES

7.1 . Sobre los Modelos Hidrológicos

El modelo USLE resultó útil para establecer resultados cuantitativos y cualitativos en cuanto al nivel y grado de erosión de la zona protectora del sistema de embalses Boconó Tucupido, así como también, diferenciar los tipos de suelo, estructura, textura y permeabilidad para determinar su erosionabilidad, clasificar los tipos de cultivo y su ubicación espacial, también conocer la erosividad de la lluvia para el período 1967-2.007 calculada con el modelo de simulación continuo EPIC. Finalmente, el modelo permitió conocer la longitud y gradiente de las pendientes presentes en la zona cuyo factor fue calculado con la utilización del método de Helena Mitsova, el cual se implementó a través del diseño y álgebra de los mapas de elevación, flujo de agua y pendiente.

El Modelo MUSLE resultó útil para establecer resultados cuantitativos en cuanto a la producción de sedimentos, aportados por cada una de las subcuencas en estudio, calcular la cantidad de escorrentía y caudal punta, a partir de lluvias máximas por año, conocer la erosionabilidad del suelo y tipos de cultivos de cada una de las cuencas, conocer la longitud de cada cauce y su gradiente, así como también, el área total que abarca cada cuenca.

7.1.1.Ventajas y Desventajas de los Modelos Hidrológicos

Existen diversos métodos para el cálculo de la erosión y acarreo de sedimentos, por los cuales se puede conducir éste estudio, entre los que se pueden mencionar : USLE, MUSLE, RUSLE (Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelos), AOF (método Onstad y Foster), entre otros. En este caso se seleccionaron dos modelos, USLE (cálculo de la erosión laminar y en surcos) y MUSLE (cálculo del acarreo y depósito de sedimentos). Estos modelos poseen ventajas muy significativas, las cuales condujeron a su selección, entre las que resaltan : el método

USLE es muy conocido y fácil de calcular en un SIG, la mayoría de los datos necesarios para su implementación son de muy fácil acceso, los riesgos de erosión pueden ser expresados de manera cualitativa (baja, moderada, alta, crítica) y cuantitativa (Mg/ha/año). Entre las desventajas se encuentran: es un modelo diseñado para computar a largo tiempo pérdidas de suelo promedio en parcelas, no predice deposiciones y no estima la producción de sedimentos procedentes de cárcavas, orillas ni lechos de corrientes y los factores R (erosionabilidad de la lluvia) y C (cultivo) varían con las estaciones.

El modelo MUSLE es útil en cuencas con superficies alrededor de los 100 km² (10.000 ha), característica muy atractiva para éste estudio, determina la cantidad de sedimentos para un evento de lluvia específico. Entre las desventajas que presenta: la magnitud de sedimentos sólo puede ser expresada cuantitativamente (Mg/ha/año), no calcula la erosión y no es aplicable en parcelas.

En el caso particular de éste estudio, se contó con la la ayuda de expertos y con la información requerida para la implantación de estos dos modelos.

7.2. Sobre las Áreas Prioritarias de Actuación

El modelo USLE se aplicó en la zona protectora del Sistema de embalses Boconó Tucupido, área que se encuentra Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE) para preservar las especies que allí habitan, medio ambiente y al sistema de embalses; éste último, es un reservorio que permite abastecer de agua, energía eléctrica y riego a las poblaciones de Guanare y Barinas, sirviendo también como medio de recreación, turístico y deportivo, de allí la gran importancia que presenta para éste estudio el área seleccionada.

Para la implementación del modelo MUSLE, se evaluaron siete subcuencas (Boconó, Qda. Barnizales, Río Tucupido, Sin Nombre 1, Qda. Riquera, Sin Nombre

2 y Qda. Los Higuerones) ubicadas en el área de influencia del sistema de embalses Boconó Tucupido, las cuales son muy importantes por su aporte hídrico y en consecuencia, contribuyen con la vida útil del embalse, es por ello, que se crea la necesidad de evaluarlas a través de un análisis comparativo en cuanto a la producción de sedimentos y determinar los factores que influyen en el acarreo del mismo para tomar las medidas de conservación necesarias para la preservación de dichas cuencas y en consecuencia, el sistema de embalses.

7.3. Utilización de Herramientas Tecnológicas

El uso de las herramientas tecnológicas, como el SIG, hojas de cálculo, software estadísticos y un modelo de simulación continuo (EPIC), permitieron focalizar y predecir de una manera más eficiente y efectiva los problemas erosivos presentes en la zona protectora del sistema de embalses Boconó Tucupido, de esta manera, los modelos USLE y MUSLE ya implantados en ésta área de estudio, permitieron determinar con mayor rapidez y certeza la magnitud de sedimentos aportados por las cuencas, ocasionados por una precipitación específica, así como también, determinar que tan susceptible se encuentra la zona a los procesos erosivos, a partir de los parámetros que constituyen los dos modelos.

7.4. Sobre los Resultados

7.4.1. Pérdida de Suelo

Con la aplicación del modelo USLE en la zona protectora del sistema de embalses Boconó Tucupido y tomando en cuenta el promedio anual de la erosividad de la lluvia de la estación Sipororo, las pérdidas de suelo más altas se determinaron principalmente en la margen derecha, zona alta y sur del sistema de embalses, así como en menor extensión en la cuenca del río Boconó. Es importante señalar que los valores de referencia establecidos como límites aceptables oscilan entre 10 y 12 Mg

ha⁻¹ año⁻¹, pudiendo ampliarse hasta 25 Mg ha⁻¹ año⁻¹ en zonas húmedas (Ramos, 2.001).

En general el área de estudio presenta una condición de erosión baja a moderada (80,39 %), reflejo de la expresión de los factores condicionantes que contribuyen a los procesos erosivos considerados en el modelo USLE. Las subcuencas donde se manifiestan niveles críticos de erosión se corresponden con la mayor intervención de la vegetación, con usos no permitidos y sobre explotación de los suelos(Agricultura de subsistencia y ganadería extensiva).

7.4.2. Producción de Sedimentos

El modelo MUSLE determinó que la cuenca con mayor producción de sedimentos fue la de Quebrada Riquera, que aún cuando no es la de mayor superficie, aportó 43,07 % de los sedimentos totales estimados para todas las subcuencas (19,48 Mg ha⁻¹ año⁻¹) en estudio en el período donde se registró la máxima precipitación, ocurrida en 1.981.

A través del estudio de las diferentes subcuencas, se detectó que el factor más influyente en la producción de sedimentos, en la zona protectora del Sistema de Embalses Boconó Tucupido es la pendiente.

7.5. Importancia del Proyecto en un Postgrado de Modelado y Simulación.

Los sistemas ambientales son complejos debido a la gran diversidad de componentes interconectados que los constituyen y producto de esa relación surgen nuevos elementos que no pueden explicarse a partir de los componentes aislados, es decir, generan información adicional, que no puede ser obtenida de otra manera, sino a partir de la conexión existente entre ellos, lo cual presenta un desafío al momento de ser estudiados. Es allí, donde los modelos y la simulación juegan un papel

importante, ya que proporcionan mecanismos que permiten conocer los componentes del sistema y sus relaciones. Los modelos USLE y MUSLE no escapan a ésta realidad, debido a la variedad de factores o elementos que los involucra (pendiente, suelo, escorrentía, cultivo, etc) y se encuentran entrelazados para producir una respuesta como lo es la erosión y acarreo de sedimentos. Es así, como éste proyecto sienta sus bases en un postgrado de modelado y simulación, permitiendo implementar y analizar estos modelos para manejar y comprender mejor la complejidad de dichos sistemas.

www.bdigital.ula.ve

8. RECOMENDACIONES

En la planificación conservacionista de la zona protectora y las cuencas que surten al sistema de Embalses Boconó Tucupido debe considerarse lo siguiente:

1. Tomar en cuenta las siguientes variables en cuanto al manejo de las subcuencas Qda. Riquera, Qda. Los Higueros, Qda. Barnizales y Boconó.
 - La relación de la topografía y el tipo de cobertura, ya que de ellas depende el riesgo de erosión y el riesgo de escurrimiento.
 - La intensidad y frecuencia de las quemas, sobre todo en periodos secos.
2. Con el fin de reducir el aporte de sedimentos a los cauces, producidos por las altas pendientes, se debe tomar en cuenta:
 - En las laderas de las cuencas, deben introducirse franjas amortiguadoras de bosques u otro tipo de cobertura acorde al tipo de suelo.
3. En la zona protectora, es necesario identificar las tierras aptas para ser reforestadas (seleccionar el tipo de cultivo), con el fin disminuir la erosión; no todas están acondicionadas por razones de tipo de suelo, sobre todo, en la margen derecha del embalse y en la cuenca alta, donde el problema de erosión es bastante crítica.
4. Utilizar herramientas tecnológicas para obtener de manera rápida y efectiva las magnitudes de sedimentos de cada cuenca y grado de erosión, permitiendo así, tomar los correctivos necesarios y de manera inmediata.
5. Sobre los modelos utilizados, se recomienda la validación en campo en algunas de estas subcuencas para determinar la erosión mediante parcelas de erosión y de esta manera comparar con la predicción del modelo.

9. Referencias Bibliográficas

Arroyave C., Gonzaga L., 1.997. Estudio del Balance Hídrico de las Microcuencas la Beta y la Cubero de Piedras Blancas, Antioquia. Universidad Nacional de Colombia. Consultado el 19 de enero de 2.009. Disponible en línea <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/113/11312102.pdf>

Barrios A., 2.000. Evaluación de la Erosión utilizando el Modelo (R)USLE, con apoyo de SIG. Aplicación en una Microcuenca de los Andes Venezolanos. Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Rev. Forest. Venez. 44(1) 2.000, 65-71

Becerra W., 2.005. Central Hidroeléctrica Juan A. Rodríguez D.CADAFE. Gerencia de Transmisión Central. Barinas.

Briceño A., 2.001. Lineamientos Estratégicos para el Manejo Ambiental del embalse “Boconó-Tucupido”, Estado Portuguesa. Postgrado Mención Planificación de los Recursos Naturales Renovables. Especialista. UNELLEZ.

Borsdorf A., Dávila C., Hoffert H., Tinoco C. (s/f). Espacios Naturales de Latinoamérica. Consultado el 21 de enero de 2.009. Disponible en línea :<http://www.lateinamerika-studien.at/content/natur/naturesp/natur-147.html>

Cabezas, F. 2.004. Índice de cobertura vegetal en el sector Las Panelas, Estado Portuguesa. Trabajo de Aplicación de Conocimientos. UNELLEZ-Guanare.

Casanova, M. s/f (a). Predicción de la Erosión Hídrica Vía Modelos. Consultado el 24 de enero de 2.009. Disponible en línea http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias_agronomicas/c2003651232modelos.pdf

Casanova, M. (s/f) (b). Conservación de Suelos. Predicción de la Erosión Hídrica Vía Modelo USLE. Consultado el 31 de marzo de 2.009. Disponible en línea:

http://agronomia.uchile.cl/web/manuel_casanova/conservacion/USLE_2006.pdf

Castillo, J. 2006. Embalses. Consultado el 17 de enero de 2009. Disponible en línea <http://www.monografias.com/trabajos15/embalses/embalses.shtml>

CCIDEP, s/f. Comité Coordinador de la Infraestructura de Datos Espaciales. Consultado el 13 de febrero de 2009. Disponible en línea : http://www.ccidep.gob.pe/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=11

Cuello, M. 2003. Estimación de la Producción y Transporte de Sedimentos en la Cuenca Alta del Río Yaque del Norte y del Río Guanajuma República Dominicana. Consultado el 17 de octubre de 2007. Disponible en línea: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0749E/A0749E.PDF>

Clérici, C. y García, F. (2001). Aplicaciones del Modelo USLE/RUSLE para Estimar Pérdidas de Suelo por Erosión en Uruguay y la Región Sur de la Cuenca del Río de la Plata. Consultado el 25 de enero de 2009. Disponible en línea: <http://www.fagro.edu.uy/agrociencia//VOL5/1/p92-103.pdf>

Chow, Ven Te. 1983. Hidráulica de los Canales Abiertos. Consultado el 17 de octubre de 2007. Disponible en línea: <http://es.wikipedia.org/wiki/EmbalseDavis>, S. y DeWiest R. 1966. Hidrogeología. Ed. Ariel. España.

Desurca (Desarrollo Uribante Caparo), 2001. Estudio Batimétrico Sistemas de Embalses Boconó Tucupido.

Deza, M. 1984. Evaluación Preliminar del Fenómeno Erosivo de la Cuenca Alta y Media del Río Guanare. Trabajo de Aplicación de Conocimientos. UNELLEZ-Guanare.

De la Lanza G., Cáceres C., Adame S., Hernández S. (s/f). Diccionario de Hidrología y Ciencias Afines. Consultado el 18 de enero de 2009. Disponible en línea:

<http://books.google.com/booksid=My27250twg0C&pg=PA146&lpg=PA146&dq=hidrograma>.

Edeso J., Marauri P., Merino A. 1995. Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica en los Estudios Geomorfológicos y Medio Ambientales: El Mapa Sintético de Riesgos Potenciales y el Mapa de Erosión. Consultado el 14 de septiembre de 2007. Disponible en línea: <http://www.ingeba.euskalnet.net/lurralde/lurranet/lur18/maraur/mara18.htm>.

FAO, s/f. Permeabilidad del Suelo. Consultado el 19 de enero de 2009. Disponible en línea: ftp://ftp.fao.org/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm

Flores M., s/f. Diagnóstico Ecológico del Ejido de Huixastla Calabazar, Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, Morelos. Consultado el 23 de enero de 2009. Disponible en línea: <http://educacionparalaconservacion.conanp.gob.mx/files/tesis2007/m3.pdf>

Flores, E. 1978. Hidrología Superficial. Ed. Univ. Son. México.

F. J. Monkhouse. 1978. Diccionario de Términos Geográficos. Oikos-tau, S.A-ediciones.

García, R. s/f. Modelos Paramétricos. Modelo USLE y Modelo RUSLE. Unidad docente de hidráulica e hidrología. Departamento de Ingeniería Forestal .E.T.S. Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. Consultado el 30 de marzo de 2009. Disponible en línea: <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/hidrologia-de-superficies-y-conservacion-de-suelos/ocw-jose-luis-pdf/Tema17.pdf>

Gásperi, T. 1999. Condición de Sedimentación del Embalse Boconó. Propuesta para su Estimación Futura. Tesis de Postgrado en Recursos Naturales Renovables.

UNELLEZ-Guanare.

Gisits, s/f. Curvas de Nivel. Consultado el 19 de enero de 2.009. Disponible en línea: <http://www.gisits.com/curvasdenivel.html>

Gómez, E . s/f. Restauración Hidrológico- Forestal de la Cuenca del embalse de Cuevas de Almanzora. Consultado el 24 de abril de 2.007. Disponible en línea: <http://www.ugr.es/~proyectos/hidraulica/mya/anejos/Anejo8.pdf>

Gómez, R. 1.993. Estudio para el Aprovechamiento Integral del Sistema de Embalses Boconó Tucupido y Areas Adyacentes. Trabajo de Aplicación de Conocimientos .UNELLEZ-Guanare.

González, J. 2.004. Erosionabilidad de los suelos en el Sector Las Pannels. Guanare – Portuguesa. Venezuela. Aplicación de Conocimientos. UNELLEZ-Guanare.

Griggs, R., Srinivasan R., Jones C. s/f. Sistemas de Información Geográfica conexión con los modelos de simulación y aplicación a las materias relacionadas con la erosión. Depósito de Documentos de la FAO. Consultado el 14 de mayo de 2.008. Disponible en línea: <http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S04.htm>

Hernández J., Larreal M., Salazar E., Chacón E., Jiménez A. 2.003. Estudio de Suelos Gran Visión Cuencas Altas Guanare- Masparro. Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales. Guanare.

Hydrolic., s/f. Hidrología Superficial. Consultado el 19 de enero de 2.009. Disponible en línea: http://www.hydrolic.es/hidrologia_hidrosup.html

Holdridge, L.1.979. Determination of World plant formations from simple climatic data sciencia.

Ideam., 2.001. Distribución Agroclimática de las Lluvias. Consultado el 19 de enero de 2.009. Disponible en línea:

<http://www.ideam.gov.co:8080/sectores/agri/distlluv/distlluv01.htm>

Inciarco. s/f. Escorrentía y Cuenca Hidrográfica. Consultado el 19 de enero de 2.009. Disponible en línea: <http://inciarco.com/foros/showthread.php?t=3903>

Jiménez, S. 1.983. Diagnóstico Físico-Conservacionista (fase I) Subcuenca Río Tucupido y Jerarquización de Prioridades a Nivel de Micro-cuencas . MARN-ULA

Jones, R., Griggs, R., Srinivasan W., Srinivasan R., s/f. Predicción de la Erosión de Suelos.Consultado el 10 de septiembre de 2.008. Disponible en línea:<http://www.fao.org/docrep/t2351s/ch03.htm>.

Lambe, T. y Whitman, R. 1.997. Mecánica de suelos. México .Consultado el 23 de diciembre de 2.008.Disponible en línea:<http://es.wikipedia.org/wiki/Permeabilidad>

Lizaso, J.,1.980. Erosión Laminar bajo diferentes coberturas y pendientes en un Palehumult de las cuencas altas del programa Guanare-Masparro. Universidad de los Andes. Mérida Venezuela.

López. R. 2.000. Degradación del Suelo. Serie Suelos y Clima, SC-75.CIDIAT, Mérida, Venezuela, 259 p.

Mancilla, G., s/f. Usando Modelos de Erosión para la Planificación de Actividades Forestales. Consultado el 23 de diciembre de 2.008. Disponible en línea: http://www.forestal.uchile.cl/ambiente_forestal/ambiente_forestal_3/cap6.pdf

Mapping 1.993. Delimitación de los Montes Protectores en el Territorio Histórico de Bizkaia.Consultado el 21 de enero de 2.009. Disponible en línea:http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=1313

MARNR 1.998. Plan de Desarrollo Integral de las Cuencas Boconó Tucupido. Guanare.

MARNR 2.001. Datos de la Población .Censo 2.001.Instituto Nacional de

Estadística.

Martínez, M. s/f. Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Modificada EUPSM. Consultado el 03 de febrero de 2.007. Disponible en línea: http://www.sagarpa.gob.mx/desarrollorural/apoyos_dir/files/presentaciones/06prod-sedimen.pdf

Mitasova H., Mitas L., 1.999. Modeling soil detachment with RUSLE 3d using GIS. Geographic Modeling Systems Laboratory .University of Illinois at Urbana-Champaign. Consultado marzo de 2.007. Disponible en línea: <http://skagit.meas.ncsu.edu/~helena/gmslab/erosion/usle.html>

Morgan R., Urbano P., Urbano J. s/f. Erosión y Conservación de Suelos Consultado el 24 de enero de 2.009. Disponible en línea: <http://books.google.co.ve/booksid=jcFqaFIu1UC&pg=PA84&lpg=PA84&dq=morgan+%2Bfactor+ls&source=web>

Martínez M., Lopez R., Hernández E. 2.001. Relación Sedimentos-Erosión en la Cuenca Alta del Papaloapan. Consultado el 23 de diciembre de 2.008. Disponible en línea: <http://books.google.com.ar/>

Marzola, E., 1.993. Evaluación de los Posibles Impactos Ambientales en el Embalse Boconó-Tucupido. Trabajo de Aplicación de Conocimientos .UNELLEZ-Guanare.

Méndez G, Rivero J, Díaz M. s/f. Actualización del Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso de la Zona Protectora de las Cuencas Hidrográficas de los Ríos Guanare, Boconó, Tucupido, Río Tucupido y Masparro. IV Congreso Forestal Venezolano.

Méndez, Y. 2.005. Lineamientos para la prevención y Control de Sedimentos Generados en la Microcuenca Quebrada Las Cruces, municipio Sucre-Guanare,

estado Portuguesa. Aplicación de Conocimientos. UNELLEZ-Guanare.

Mijares F. 1.999. Fundamentos de Hidrología de Superficie. Ed. Limusa. México.

MOP (Ministerio de Obras Públicas), 1.976. Memoria Descriptiva del Estudio Preliminar de la Zona de Riego del Sistema Boconó- Tucupido. Caracas.

MOP (División de Hidrología), 2.001. Pautas de Trabajo para el Estudio del Almacenaje y Control de Sedimentos en Embalses. V. Seminario Latinoamericano de Irrigación.

Moreira, J. s/f. Capacidad de Uso y Erosión del Suelo. Aproximación a una Valoración Económica de la Erosión de Andalucía. Consultado el 22 de diciembre de 2.008. Disponible en línea:

http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Red_informacion_ambiental/productos/Publicaciones/articulos/articulos_pdf/Paralelo.PDF

Montes M., Domínguez M., Ventura E. s/f. Metodología para la Estimación del Riesgo de Erosión Hídrica en Cuencas Hidrográficas utilizando SIG. Consultado el 28 de diciembre de 2.008. Disponible en línea:

http://www.portalcuencas.net/Virtual_Library/Files/305.pdf

Muñoz R., Ritter A. s/f. Hidrología Agroforestal. Consultado el 19 de enero de 2.009. Disponible en línea: <http://books.google.co.ve/books?id=7UejVLCJZWAC&pg=PA205&lpg=PA205&dq=caudal+pico>

Muñoz R., Rodríguez A. s/f. Hidrología Agroforestal. Consultado el 27 de diciembre de 2.008. Disponible en línea: <http://books.google.com.ar/>

Niño M, 2.002. Propuesta de Ordenamiento Ambiental del Embalse Bocono – Tucupido y su Área de Influencia. Trabajo de Aplicación de Conocimientos. UNELLEZ-Guanare.

Ortíz R. (s/f). Glosario Geohidrológico. Consultado el 18 de enero de 2.009.

Disponible en línea http://books.google.co.ve/books?id=aaM_vpBzDdMC&pg=PA50&lpg=PA50&dq=tiempo+de+recesi%C3%B3

Ramos C., 2.001. Modelamiento Ambiental para Análisis de Susceptibilidad Erosiva en la Cuenca Media y Alta del Río Cañete y Determinación del Mapa de Erosión. Universidad Nacional Agraria La Molina. Consultado el 24 de enero de 2.009 y el 04 de mayo de 2009. Disponible en línea:<http://tarwi.lamolina.edu.pe/~cramost/MODELO%20DE%20EROSION%20HIDRICA%20-%20SIG.pdf>

Ray L &. Franzini J. 1.978 . Ingeniería de Recursos Hídricos. Eb. McGraw-Hill do Brasil.

Rengel L., Ortega F., Aymard G. 1.983. Dinámica de las Variaciones de la Cobertura Vegetal y la Erosión en el Piedemonte de Guanare. Informe Técnico del Vice rectorado de Producción Agrícola. Año 3. N° 1. 73p.; ilus.; Español.

REPSOL, 2.002. Estudio de Impacto Ambiental. Mapas Digitales. Centro Cartográfico. UNELLEZ-Guanare.

Roa E., 1.987. Programa de Conservación de Suelos y Aguas Microcuenca “Quebrada los Baños” Subcuenca Río Tucupido. MARNR Zona 8.

Rojas, R., 1.987. Diagnóstico Físico-Conservacionista (fase I) Microcuenca Quebrada Los Baños. Aplicación de Conocimientos. UNELLEZ-Guanare.

Rondón J., 2.000. Bases para la Gestión Ambiental del Embalse Boconó-Tucupido y su área de Influencia. Portuguesa -Venezuela. Aplicación de Conocimientos. UNELLEZ – Guanare.

Ruiz F., Venialgo C., Gutierrez N., Ingaramo O., Briend M. 2.004. Infiltración del Agua en el Suelo con Diferentes Usos en el Departamento 9 de Julio(Chaco). Consultado el 19 de enero de 2.009. Disponible en línea:

<http://www.unne.edu.ar/Web/cyt/com2004/5-Agrarias/A-070.pdf>

Niño M., 2.002. Propuesta de Ordenamiento Ambiental del Embalse Boconó Tucupido y su Área de Influencia.

Silva O. 2.008. Comportamiento Hidrológico de las Cuencas Función de los Complejos Hidrológicos suelo/topografía/vegetación. UCV. Maracay Edo. Aragua.

Silva O. s/f. Description Of Several Erosion Prediction. Revista Venesuelos. FONAIAP. CIAE, El Tigre, Apartado Postal 212. Estado Anzoátegui. Consultado el 03 de febrero de 2.007. Disponible en línea: <http://www.redpav-fpolar.info.ve/venesuel/v031/v031a060.html>.

Silva O., (s/f). Ecuaciones para evaluar, estimar y predecir la Erosión Hídrica. Revista Venesuelos. FONAIAP. CIAE, El Tigre, Apartado Postal 212. Estado Anzoátegui. Consultado el 17 de abril de 2.008. Disponible en línea: <http://www.redpav.avepagro.org.ve/venesuel/v031/v031a020.html>

Silva G., 2.004. Cálculo de Crecientes en Cuencas no Homogéneas. Consultado el 23 de diciembre de 2.008. Disponible en línea: http://www.geocities.com/gsilvam/c_homogeneas.htm

Silva, G. 2.004. Crecientes. Consultado el 23 de diciembre de 2.008. Disponible en línea: <http://www.geocities.com/gsilvam/crecientes.htm>

Soto Misael, 1.984. Proyecto Preliminar de un Parque Recreacional en el área adyacente al Sistema de Embalse Boconó Tucupido. Estado Portuguesa. UNELLEZ, Guanare. Proyecto de Aplicación de Conocimientos.

Sherman G., 2.007. User and Installation Guide Version 0.9.0 'Ganymede'. Consultado el 02 de enero de 2.008. Disponible en línea: http://gisalaska.com/qgis/doc/user_guide_en.pdf

Staver, Ch. 1.981. Erosión y Generación de Sedimentos en la Zona Protectora del

Área Guanare-Masparro. Situación Actual y las Perspectivas. UNELLEZ. Guanare Informe Técnico. 53p.

UAP, (s/f). Universidad Autónoma de Puebla. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Comisión Estatal del Agua y Medio Ambiente de Morelos. Tipos de Suelos Hidrológicos. Consultado el 25 de enero de 2.009. Disponible en línea:http://www.semarnat.gob.mx/queessemarnat/politica_ambiental/ordenamientoeecologico/Documents/documento_volcan/basestecnicas/5_suelo_hidrol_mor.pdf.

U.C.V. s/f. Introducción a la Simulación Agroambiental. Facultad de Agronomía

UCV. Consultado el 19 de enero de 2.009. Disponible en línea:<http://ftpctic.agr.ucv.ve/intranet/postgrado/agronomia/modelos/cnfacil.pdf>

Vargas, M (2.004). Erosión del Suelo. Modulo Instruccional en formato digital. UNELLEZ. Guanare Edo. Portuguesa.

Verweij, M. (s/f). Caudal Ecológico. Consultado el 26 de diciembre de 2.008. Disponible en línea.

http://aguaboliviana.org/html/analisisx/legislacionaguas/caudalecologi_co.htm

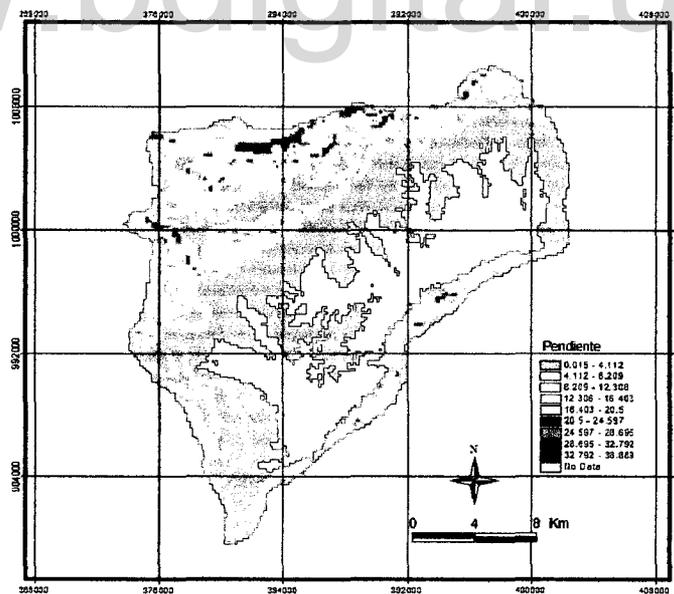
10. ANEXOS

10.1

Tabla 72. Clasificación de la Erosión. Fuente: Edeso *et al.*, 1.995

Nivel de Erosión	Grado
Erosión Baja	A < 5 Tm/ha/año
Erosión Moderada	A < 5 -25 Tm/ha/año
Erosión Media	A < 25 – 50 Tm/ha/año
Erosión Alta	A < 50 -100 Tm/ha/año
Erosión Muy Alta	A < 100 - 200 Tm/ha/año
Erosión Crítica	A >200 Tm/ha/año

10.2

**Figura 25.** Mapa de Pendientes . Zona Protectora del Sistema de Embalse Boconó Tucupido .

Fuente: cálculos propios, 2.009

10.3

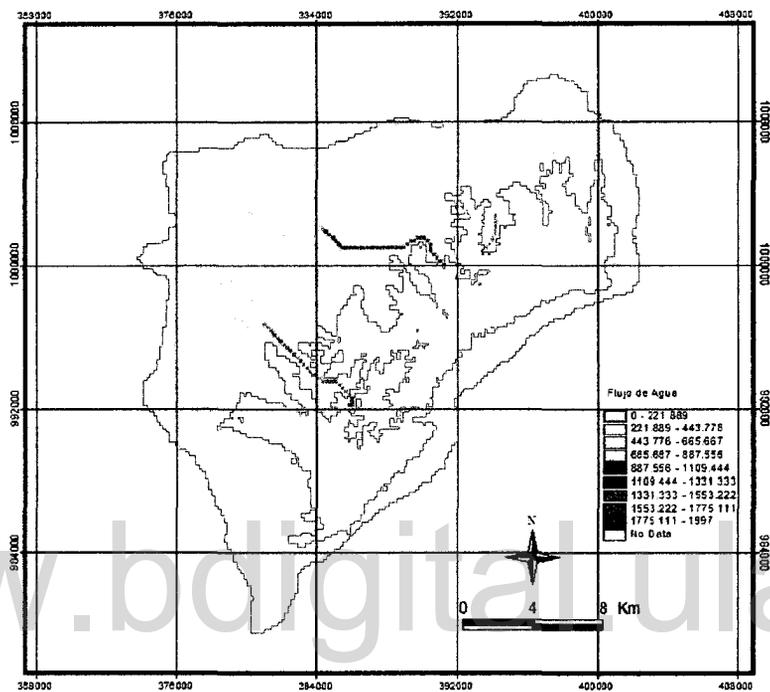


Figura 26. Mapa de Flujo de Agua . Zona Protectora del Sistema de Embalse Boconó Tucupido .

Fuente: cálculos propios, 2.009

10.4

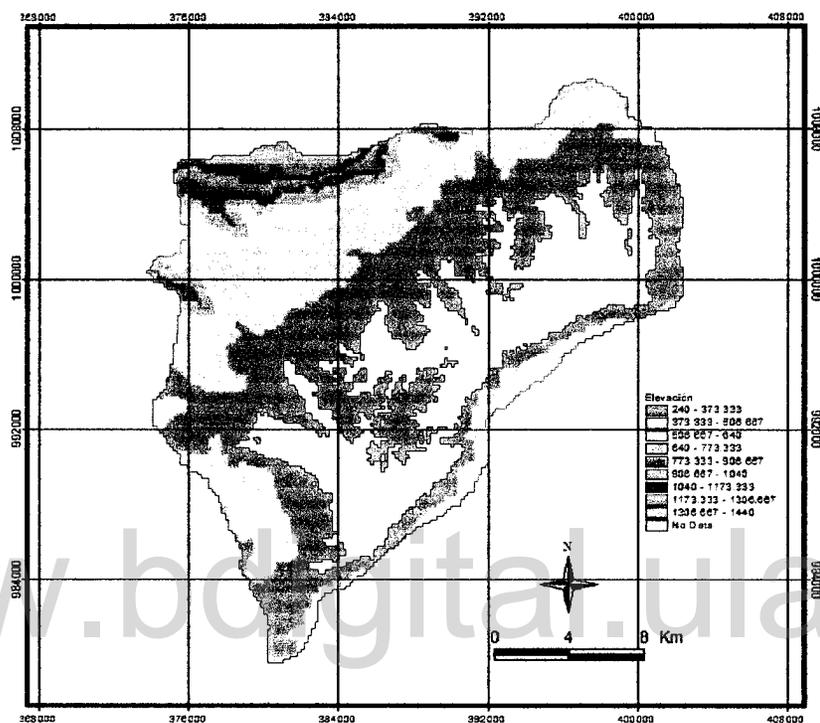


Figura 27. Mapa de Elevación Zona Protectora del Sistema de Embalse Boconó Tucupido .

Fuente: cálculos propios, 2.009

10.5

Tabla 73. Cálculo superficie erosionada (ha), Zona Protectora Sistema de Embalses Boconó Tucupido.

Fuente: cálculos propios, 2.009

Grado de Erosión	Pixel (tamaño)	count	Pow(pixel;2)	ha	%
0-5	185,6105	3.935	34451,26	13.557	38,50
5-25	185,6105	4.282	34451,26	14.752	41,89
25-50	185,6105	649	34451,26	2.236	6,35
50-100	185,6105	580	34451,26	1.998	5,67
100-200	185,6105	425	34451,26	1.464	4,16
>200	185,6105	350	34451,26	1.206	3,42
Total				35.213	100

10.6

Tabla 74. Cálculo superficie erosionada (ha), Sector las Panelas. Margen Derecha del Sistema de Embalses Boconó Tucupido.

Fuente: cálculos propios, 2.009

Grado de Erosión	Pixel (tamaño)	count	Pow(pixel;2)	ha	%
0-5	185,6105	42	34451,26	144,70	9,41
5-25	185,6105	53	34451,26	182,59	11,87
25-50	185,6105		34451,26	0,00	0
50-100	185,6105	155	34451,26	533,99	34,72
100-200	185,6105		34451,26	53,03	3,45
200-400	185,6105	181	34451,26	623,57	40,55
Total				1.537,88	100