

DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN INFORMÁTICA BASADA EN SIG
PARA EVALUAR LA PÉRDIDA DE SUELO PROMEDIO ANUAL Y EL
POTENCIAL DE EROSIÓN DE UNA CUENCA MEDIANTE LA ECUACIÓN
UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO

VICTOR MANUAL CABALLERO ORTIZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERA CIVIL
ESPECIALIZACION EN SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA
BUCARAMANGA
2004

DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN INFORMÁTICA BASADA EN SIG
PARA EVALUAR LA PÉRDIDA DE SUELO PROMEDIO ANUAL Y EL
POTENCIAL DE EROSIÓN DE UNA CUENCA MEDIANTE LA ECUACIÓN
UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO

VICTOR MANUAL CABALLERO ORTIZ

Monografía de grado para optar el título de
Especialista en sistemas de información geográfica

Director
DR. GERMAN GAVILAN
Ph.D., M.Sc., Hidrología

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERA CIVIL
ESPECIALIZACION EN SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA
BUCARAMANGA
2004

A mi querida hija Laura Victoria, quien fue la encargada de implementar los espacios de recreo durante el trabajo.

AGRADECIMIENTOS

El autor siempre estará muy agradecido del apoyo recibido del Dr. Hernando Guevara Pineda, Subdirector de Normatización y Calidad Ambiental de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB); igualmente del Ingeniero Carlos Mauricio Torres del grupo SIG de la CDMB por la información suministrada.

Agradecimientos a la CDMB por suministrar la información básica de la Cuenca La Angula en formato digital y todos los compañeros de trabajo y colegas que colaboraron para sacar adelante este proyecto y brindaron su apoyo.

CONTENIDO

	Pag
1. ANTECEDENTES DE LA SUBCUENCA ANGULA.....	16
1.1 LOCALIZACIÓN.....	16
1.2 GEOLOGÍA Y SUELOS DE LA CUENCA.....	16
1.3 USO DEL SUELO Y COBERTURA DE LA CUENCA.....	20
1.4 SISTEMAS PRODUCTIVOS AGRÍCOLAS	20
1.5 DENSIDAD POBLACIONAL Y TAMAÑO DE PREDIOS.....	22
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	24
2.1 JUSTIFICACION.....	24
2.2 OBJETIVOS	25
2.2.1 Objetivo General	25
2.2.2 Objetivos Específicos.....	25
2.3 TRABAJOS PREVIOS	25
3. MARCO CONCEPTUAL	28
3.1 EROSION DEL SUELO	28
3.2 CLASES Y AGENTES DE EROSION.....	29
3.3 PRINCIPALES FORMAS DE EROSIÓN	29
3.3.1 Erosión hídrica	30
3.3.2 Erosión eólica.....	31
3.4 EFECTO DE LA EROSIÓN EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS	31
3.5 CONCEPTOS TEORICOS RELACIONADOS CON EL ORDENAMIENTO Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS	32
3.5.1 Planificación	32
3.5.2 Ordenamiento	35
3.5.3 Fases Y Acciones De Manejo De Cuencas	35
3.5.4 Acciones Directas y Acciones Indirectas.....	36
3.6 MODELOS UTILIZADOS EN LA DETERMINACIÓN DE LA EROSIÓN.....	38
3.6.1 Nivel Medio-Bajo De Necesidad De Datos.....	38
3.6.2 Modelos Que Requieren Gran Disponibilidad De Datos (Orientados Hacia El Proceso)	39
3.7 ECUACIÓN UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELOS REVISADO (RUSLE) 40	
3.7.1 Factor de la Erosividad de la lluvia R	41
3.7.2 Factor de erodabilidad del suelo (Factor K)	42
3.7.3 Factor de longitud y pendiente (LS)	43
3.7.4 Factor de manejo de cobertura (C)	45
3.7.5 Factor por Prácticas de manejo (P).....	46
3.8 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	49
4. MODELO SIG PROPUESTO PARA LA SUBCUENCA LA ANGULA.....	52

4.1	REQUERIMIENTOS DE INFORMACION	52
4.2	REQUERIMIENTOS TECNICOS	53
4.2.1	Definición De Actores	54
4.2.2	Administradores técnicos.....	54
4.2.3	Administradores Operativos	54
4.2.4	De Consulta	54
4.3	IDENTIFICACION DE ENTIDADES	55
4.4	MODELO ENTIDAD RELACION	58
4.5	CASOS DE USO.....	59
4.5.1	Consulta pérdida de suelos.....	59
4.5.2	Consulta Factores de erosión en la microcuenca.....	60
4.5.3	Consulta datos específicos.....	60
4.6	REQUERIMIENTOS DE INFORMACION DE ENTRADA AL SISTEMA	61
4.6.1	Cartografía Básica.	62
4.6.2	Información temática.....	62
4.6.3	Información Requerida De Precipitación.....	62
5.	DESCRIPCION DEL SISTEMA ELABORADO EN ARCVIEW	63
6.	PRESENTACION DE RESULTADOS.....	65
6.1	CALCULO DEL FACTOR EROSIVIDAD DE LA LLUVIA (FACTOR R) PARA LA CUENCA ANGULA.	65
6.2	CALCULO DEL FACOR ERODABILIDAD DEL SUELO	68
6.3	CALCULO DEL FACTOR LS PARA LA CUENCA.....	70
6.4	MAPADE COBERTURA VEGETAL.....	73
6.5	MAPADE PRÁCTICAS DE CULTIVO EN EL ÁREA.....	75
7.	PERDIDA DE SUELO ANUAL EN LA MICROCUENCA LA ANGULA.....	76
8.	ANALISIS DE RESULTADOS.....	78
8.1	INVERSIÓN DEL PLAN DE MANEJO DE CUENCAS.	81
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Localización de la subcuenca la angula	17
Figua. 2. Distribucion de materiales geológicos de la subcuenca la angula	19
De cdmb, 2000.	22
Figura 3. Megasistema socioecológico en la planificación de cuencas hidrográficas....	34
Figura 4. Nomograma para determinar el factor k de erodabilidad del suelo.	43
Figura 6. Procedimiento para el análisis de la erosión.....	51
Figura 7. Diagrama entidad relación para el modelo de erosión.	58
Figura 8. Modelos de casos de uso.....	59
Figura 9. Modelo de análisis	60
Figura 11. Interface de la herramienta.....	64
Tabla 5. Valores de precipitación media multianual de las estaciones utilizadas.....	66
Figura 12. Mapa del factor erosividad de la lluvia	67
Figura 13. Mapa del factor erodabilidad del suelo.....	69
Figura 14. Mapa de pendientes de la subcuenca.....	71
Figura 15. Mapa del –factor longitud y pendiente	72
Figura 16. Factor de cobertura vegetal.....	74
Figura 17. Mapa de pérdida de suelo de la subcuenca angula	77
Figura 18. Posible relación alta erosividad - fallamiento geológico	79
Figura 19. Correlación pma angula, uso potencial proteccion absoluta – areas alta erosión	80

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Área sembrada en la cuenca para cada cultivo y área en producción para el año 2000.	22
Tabla 2. Cronología de las acciones de ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas.....	36
Tabla 3. Valores de p mínimos para prácticas de contorno	47
Tabla 4. Valores de p para terrazas en función a su grado de pendiente.....	47
Tabla 6. Factor de erodabilidad del suelo para la cuenca angula.	68
Tabla 7. Reclasificación de cobertura vegetal con su valor de c.....	73

LISTA DE ANEXOS

	Pag.
Anexo A. Manual del usuario de la aplicacion	86
Anexo B. Manual tecnico y codigo fuente	97

RESUMEN

TITULO: DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN INFORMATICA BASADA EN SIG PARA EVALUAR LA PÉRDIDA DE SUELO PROMEDIO ANUAL Y EL POTENCIAL DE EROSIÓN DE UNA CUENCA MEDIANTE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO*¹.

AUTOR: Víctor Manuel Caballero Ortiz**²

PALABRAS CLAVES: Cuenca hidrográfica, erosión, USLE, SIG, soil loss equation, ecuación de pérdida de suelo, soil erosion, watershed.

La erosión en Colombia es uno de los problemas ambientales más graves actualmente y al cual se le debe prestar atención; la erosión es un proceso en dos formas por un lado degrada el suelo agrícola y por otro contamina las corrientes de agua superficial; la erosión es originada tanto por las condiciones geológicas naturales que han prevalecido durante el Cuaternario como por la acelerada “culturización” del territorio en busca de producir recursos para alimentar una población cada vez más creciente.

En esta monografía se presenta el diseño de una herramienta SIG que utiliza las capacidades de análisis y consulta espaciales para determinar cuanto suelo se pierde anualmente de una cuenca hidrográfica asumiendo que la erosión se puede entender bajo el modelo matemático de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, (USLE) por sus siglas en inglés. Así que partiendo de una información básica existente en mapas y archivos de información georreferenciada de la microcuenca La Angula que hace parte de la cuenca del río Lebrija en el área de Jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), se plantea un modelo y una metodología para evaluar cuantitativamente la pérdida promedio anual de suelo y mostrar en mapas las áreas en donde la pérdida es mayor con el fin de ayudar a los planificadores en el conocimiento de las áreas más vulnerables a la degradación del suelo, para que puedan diseñar programas de manejo de cuencas hidrográficas.

¹ Monografía de Especialización en Sistemas de Información Geográfica

El software toma los valores para cada uno de los factores de la ecuación de pérdida de suelos de estudios previamente realizados en Colombia, cada factor se traduce en un mapa con formato raster y posteriormente son integrados y modelados para producir el mapa de potencial de erosión.

INTRODUCCION

De acuerdo con La FAO (FAO, 1995), la capacidad de los recursos naturales del mundo para mantener a su creciente población debe ser de los problemas fundamentales a afrontar por la comunidad internacional. La población mundial continúa creciendo un 1.6% por año, superando el 3% por año en muchos de los países menos desarrollados. Al mismo tiempo, los recursos naturales esenciales, tales como tierras y aguas, están disminuyendo en cantidad y calidad debido a factores como la erosión, contaminación y la competitividad con las demandas de la industria y las grandes ciudades. El problema básico es el aumento de la presión ejercida sobre los recursos naturales. Los límites de la capacidad de producción de los recursos de tierras vienen determinados por el clima, las condiciones del suelo la fisiografía, y por el uso y manejo aplicados a las tierras.

Según el SIAC, aproximadamente el 47% del territorio Colombiano presenta algún nivel de erosión por causas climáticas, agresividad de las lluvias, inestabilidad geológica, pendientes fuertes y largas y alto intemperismo. Por otra parte, el área afectada por desertificación en el país es de 4.1% debido a la pérdida de materia orgánica debido a su vez a pérdida de vegetación natural por deforestación. De acuerdo con el mismo informe, en América latina Colombia ocupa el séptimo lugar en cuanto a erosión/desertificación del suelo y los departamentos donde más se presenta desertificación grave y sostenibilidad baja son en orden descendente la Guajira, Santander, Boyacá, Norte de Santander, Cauca, Nariño y Huila.

En Colombia, de acuerdo a las estimaciones del IDEAM, se transportan hacia el océano al año en promedio, cerca de 300 millones de toneladas de sedimentos a través de todo el sistema hidrográfico; la cuenca con el mayor aportante de sedimento es el río Magdalena con 138 millones de toneladas y la producción de sedimento en Santander es, para el río Suarez de 2.72 ton/ha/año y el Chicamocha de 2.35 ton/ha/año; este último es uno de los mayores aportantes al Magdalena (SICAC, 2002)..

De acuerdo a lo anterior la erosión de suelos en Santander es un problema ambiental muy serio que afecta la gran parte del territorio en diferentes grados de severidad, y no solo afecta el recurso suelo, sino que a la vez afecta al recurso hídrico al convertirse en un contaminante del agua. En cuanto a la afectación sobre el agua, el sedimento producido por la erosión de suelos es probablemente uno de los mayores contaminantes ya que afecta las corrientes, rellena lagos, presas, estanques, canales de

navegación y probablemente puertos fluviales y marinos. Realmente el sedimento es un recurso fuera de lugar en el sentido de que se ha producido por el deterioro de la cantidad de recurso suelo en su sitio de origen, reduce la calidad del recurso hídrico a donde entra y puede depositar material estéril durante las inundaciones sobre terrenos productivos como los valles bajos.

A nivel regional, el área de jurisdicción de la CDMB comprende 13 municipios ubicados en la Provincia de Soto al nor-oriental del Departamento de Santander, con el 62% de zona de cordillera de alta pendiente, en donde además se encuentra asentada una gran cantidad de población que vive de la agricultura, la ganadería, construye vías de penetración, extrae madera del bosque, etc. lo que hace que se presente el fenómeno de erosión en gran magnitud hasta la escala de deslizamientos de tierra que han colocado en riesgo tanto la vida humana como la estabilidad en las cuencas hidrográficas.

Durante muchos años y en diversos países se lleva a cabo el manejo de cuencas, como una alternativa de protección a las partes bajas donde están ubicadas las zonas agrícolas, industriales y zonas urbanas como fuente de recursos, principalmente el agua.

La identificación de las áreas más propensas a la erosión en las cuencas hidrográficas nuestras (amenazas por erosión), así como el grado de severidad de la pérdida de suelo en estas cuencas hidrográficas es una actividad de importancia que hace parte tanto para diagnosticar el estado de la cuenca, como para desarrollar estrategias de manejo de variables involucradas, minimizar la pérdida de suelo y producción de sedimento, formular programas de control de erosión para las áreas de alto riesgo de erosión; además, en este momento, el ordenamiento y administración de los recursos naturales de las cuencas es una de las tareas más importantes confiadas por el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial a las Corporaciones Autónomas Regionales quienes debieron asumir a partir del mes de agosto de 2003 la ordenación, manejo y seguimiento de las cuencas hidrográficas en el territorio de su jurisdicción de acuerdo a lo establecido en el Decreto 1729 del 06 de Agosto de 2002.

Esta monografía se enfoca hacia plantear una metodología que permita abordar el problema de la erosión a un nivel de detalle tal que permita un análisis cuantitativo, lo cual se puede lograr utilizando las facilidades del computador y de programas de manejo de información geográfica disponibles en el mercado como el ArcView. Se escogió la Subcuenca de la quebrada La Angula debido a que esta cuenca se ha estudiado con anterioridad con suficiente detalle en todas las variables temáticas y dicha información está disponible en la CDMB en formato digital. Además de lo

anterior se pretende contribuir con acciones indirectas en la cuenca, como son estos tipos de modelamientos, para mejorar el proceso de administración de los recursos de la cuenca y especialmente el recurso hídrico.

Este trabajo pretende trazar unas líneas de trabajo en donde el procesamiento, mediante los sistemas informáticos, de variables ambientales de una cuenca, sean utilizadas para generar información aplicable en la planeación. Es un primer paso en esta dirección y el autor cree que la CDMB debe dirigir sus esfuerzos hacia el montaje de un Sistema de Información Geográfico para el Recurso Hídrico en el cual se desarrolle mucho mejor esta metodología haciendo uso la Ingeniería de Sistemas, conjugada con el conocimiento de los profesionales en las diversas ramas de las ciencias como la geología, la hidrología, la agronomía, y demás disciplinas relacionadas con las ciencias de la tierra.

1. ANTECEDENTES DE LA SUBCUENCA ANGULA

1.1 LOCALIZACIÓN

La Mesa de Lebrija es una Plataforma alta que está limitada estructuralmente por la Falla de San Vicente y la Flexión de Chucurí al Oeste, la falla del Suarez al Este, al Norte el cañón del río Lebrija y al Sur el cañón del río Sogamoso. La Mesa de Lebrija es una peniplanicie de relieve ondulado uniforme desprovisto de accidentes tectónicos importantes y se puede considerar como una superficie de erosión en etapa bastante avanzada; sobre esta mesa se ubica la subcuenca de la quebrada La Angula.

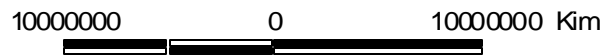
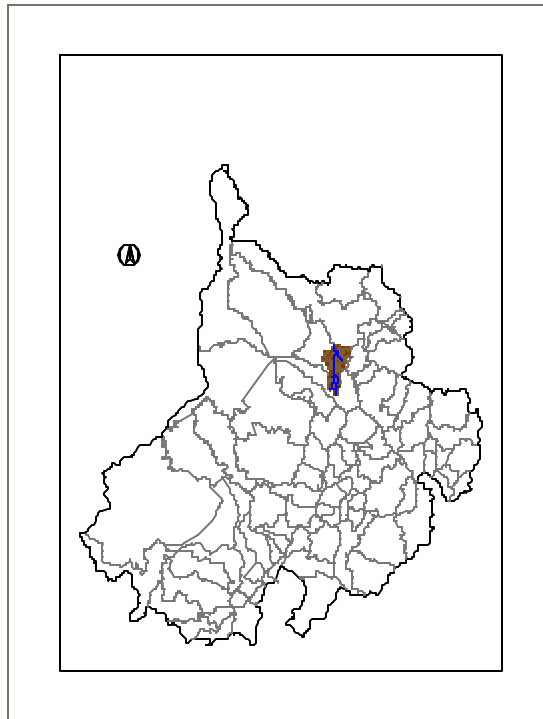
1.2 GEOLOGÍA Y SUELOS DE LA CUENCA

La litología de la cuenca de la quebrada Angula, de acuerdo a la cartografía del Ingeominas (1977), actualizada por Bueno S. Edgar L.(1997), consiste principalmente en areniscas arcosas, lutitas y limolitas de la Formación Girón y algunas calizas y lodolitas de las formaciones Tambor y Rosablanca. Como se puede ver en la **Figura 1.**, las areniscas arcosas cubren más del 90% del área de la cuenca; estas areniscas contienen un alto porcentaje de feldespatos que hacen que sean bastante meteorizables ante influencia y condiciones de clima tropical húmedo como el prevaleciente en la zona y que produzcan gruesos perfiles de suelo arenolimoso, suelo considerado como muy erosionable.

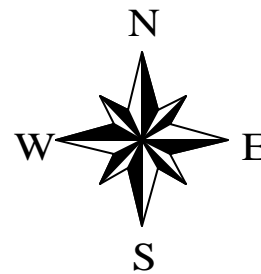
De acuerdo a los estudios de suelos realizados en la cuenca, los perfiles de suelo generados de la litología subyacente heredan la textura arenosa a arenolimoso característica de los suelos de la Mesa de Lebrija. De acuerdo con Bueno E. L. 1997, de estos suelos se puede decir que en condiciones naturales, es decir con cobertura de bosque, rastrojo o pastizales naturales, el regimen de infiltración y de flujos de agua es normal, es decir existe una buena infiltración y la descarga del agua subsuperficial está controlada por la

Figura 1. Localización de la subcuenca La Angula

Ubicación Cuenca La Angula en Santander



- Subcuencas.dwg
- Curvasrioang.dwg
-  5
-  34
-  35
-  107
- Borderasterang.shp
- 2-santander.dwg
-  2
-  6
-  7
-  8



topografía y los afloramientos de estratos más arcillosos que direccionan los flujos subterráneos de agua, presentándose resumideros de agua en los taludes donde se presentan los contactos entre las alteritas o suelos residuales y las arcillolitas o lodolitas más impermeables.

Por otra parte al eliminar el bosque natural o en general la cobertura vegetal natural y al establecer cultivos de manera generalizada hace que el régimen de flujo hídrico se hace superficial, la infiltración se dificulta y entonces se genera escorrentia difusa generalizada que produce crecidas súbitas y transporte de sedimento en grandes cantidades . Igualmente sobre las lodolitas se genera un regimen de escorrentia intensa; por lo tanto se distinguen dos regimenes superficiales, uno con acción de la escorrentia difusa moderada, el otro con la acción de la escorrentia intensa.

El regimen con escorrentia difusa moderada se presenta en las microcuencas Las Lajas y Angula Baja donde la humedad es suficientemente importante para permitir aún la existencia de un regimen de flujo hipodérmico y la vegetación no se ha degradado completamente. La erosión superficial del suelo es entonces moderada y es debida o controlada por el relieve.

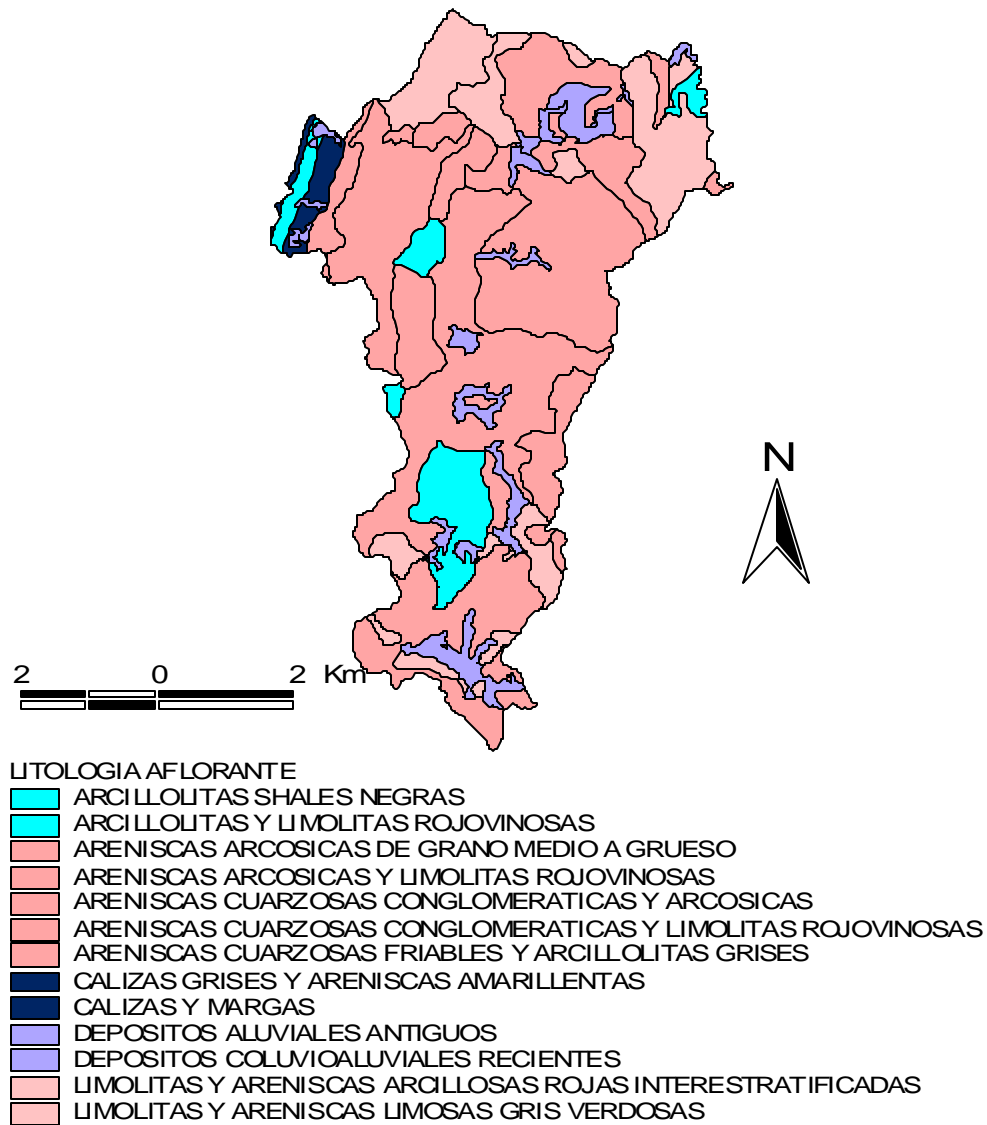
En el sector de Angula Media, Angula Alta y Puente Nave, donde los cultivos se han generalizado, el regimen existente es de escorrentia intensa que erosiona y transporta grandes cantidades de sedimento proveniente de la degradación de las alteritas arenosas y las limolitas de la formación Girón; la red hidrográfica se hace densa y transporta la carga de sedimento que se deposita en bajos o que finalmente puede llegar hasta el río Lebrija.

En el estudio del Inderena de los suelos de la Mesa de Lebrija se encuentran las siguientes descripciones de los perfiles de suelo:

1. Suelos con perfiles integros o casi íntegros: horizonte A completo o reducido hasta un 50% de su espesor natural.
2. Suelos con perfiles parcialmente decapitados: horizonte A reducido a más del 50% de su espesor natural o sin horizonte A, o con el horizonte B reducido hasta el 50% de su espesor natural.
3. Suelos con perfiles completamente decapitados: horizonte B reducido a más del 50% de su espesor natural o sin horizonte B, y aflorando el horizonte C o roca meteorizada.
4. Afloramientos rocosos.

Figua. 2. Distribucion de materiales geológicos de la Subcuenca La Angula

Distribucion Litológica en la Cuenca La Angula



Tomada de Bueno Edgar L. 1997

1.3 USO DEL SUELO Y COBERTURA DE LA CUENCA

La siguiente caracterización fue resumida del Plan de Manejo Ambiental de la Microcuenca Angula Lajas, realizado por la CDMB. La Microcuenca Angula Lajas forma parte de la cuenca superior del río Lebrija, tiene un área aproximada de 22.000 hectáreas de las cuales el 80.65% corresponde al municipio de Lebrija y 19.35% al municipio de Girón.

El sistema productivo corresponde a actividades en cultivos de clima medio y con precipitación promedio anual que varía en toda la cuenca entre 600 mm y 1960 mm anuales; la temperatura varía de 20 a 24 grados centígrados y alturas sobre el nivel del mar que varían desde los 500 m a 1400 m; la pendiente del terreno va de 2% hasta el 60% o superiores en algunos sectores.

De acuerdo con las zonas de vida propuestas por Holdridge, la subcuenca se identifica como zona de Bosque Húmedo Premontano, con temperatura media de 21.7 °C y precipitación media anual de 1.117 mm, y en el área sur de la subcuenca con precipitaciones menores de 800 mm anuales, se clasifica como zona de Bosque Seco Premontano.

1.4 SISTEMAS PRODUCTIVOS AGRÍCOLAS

La actividad agrícola es muy variada, se cultiva frutales como piña, mandarina, limón tahití, naranja, guayaba y aguacate; también se cultivan hortalizas legumbres y verduras y en pequeña y mediana escala se cultiva tomate, pepino, pimentón, habichuela, ahuyama, yuca, plátano, frijol y maíz. Aunque existen algunas veredas del municipio "especializadas" en alguno de los cultivos mencionados, no puede afirmarse que la actividad de siembra que se este desarrollando en cada unidad productiva se dirija con exclusividad hacia el monocultivo, salvo muy contadas excepciones los agricultores tienen sus fincas más o menos diversificadas .

El sistema de producción para las actividades agrícolas se desarrolla en el 47.5% de las tierras de la Microcuenca, predios con tamaño promedio menores a 6 hectáreas, en suelo tipos VII con limitaciones severas para el desarrollo de estos cultivos.

El cultivo de piña representa el 65% del área cultivada en la Microcuenca. En este sistema el 80% de las plantaciones son menores a 5 has; la preparación del suelo para su cultivo se hace con tractor, se tractoran los suelos con fuertes pendientes, practica que esta arruinando los suelos así trabajados. se siembran entre 25.000 y 45.000 plantas por Ha.

En cítricos existe un área sembrada de aproximadamente 2802 Has. en mandarina común o china, 372 Has. en limón Tahití y 214 Has en naranja Valencia, para un total de 3388 Has. En cacao existen cerca de 1868 Has. en producción.

En cuanto a las hortalizas cultivadas en la microcuenca se practica en suelos de 2 a 50% de pendiente o más, que son fácilmente erosionables por acción del agua. Dichos suelos se tractoran para cada cosecha con arado de disco, se siembran generalmente en el sentido de la pendiente. En cuanto a tomate en la porción de cuenca que pertenece a Girón se tiene un área sembrada de 540 Hectáreas correspondiendo un 20% a la subcuenca en la Angula Alta en la vereda el pantano, que equivale a 180 Has. en Lebrija para 1.998 el área sembrada fue de 160 Hectáreas considerados los 2 semestres, en un área cosechada de 140 Hectáreas

La ahuyama en la cuenca es un cultivo transitorio tecnificado con un área sembrada de 600 Hectáreas se produce en la zona de Lebrija, con un área cosechada para 1.998 de 560 Has. En la subcuenca la habichuela se produce al igual que los otros productos transitorios en áreas pequeñas, siendo un cultivo tecnificado y al igual que el tomate y el maracuya, los mayores porcentajes de la producción corresponden a las microcuencas Angula Media y Baja con 40% para cada una y el restante 20% en las otras microcuencas, para un área total de 140 has.

Para todos los cultivos se reporta prácticas de labranza no sostenibles, inadecuadas prácticas culturales y el deterioro del suelo es bastante intenso.

Tabla 1. Área sembrada en la cuenca para cada cultivo y área en producción para el año 2000.

Cultivo	Área Sembrada Ha	Área en Producción año 2000 Ha
Piña	5074	3200
Mandarina	2802	2500
Limón Tahití	372	250
Naranja Valencia	214	180
Cacao	1868	1600
Yuca	2010	1800
Maracuyá	133	100
Tomate	119	119
Habichuela	87	87
Pepino	89	89
Pimentón	43	43
Ahuyama	230	230
Maíz	713	713
Plátano	726	726
TOTAL	14480	11637

De CDMB, 2000.

1.5 DENSIDAD POBLACIONAL Y TAMAÑO DE PREDIOS

De acuerdo con el documento del Plan de Manejo Ambiental de la Subcuenca La Angula, en las microcuencas Angula Alta y Puente Nave que tienen el 27.0% del territorio, existen de acuerdo a la información predial catastral 200 predios que corresponden al 7.5% del total, con un promedio de 30.6 Has por predio y una densidad de 24 personas por Km² en Angula Alta y 41 en Puente Nave, mientras que en Angula Media y Baja con el 67.6% de la población y 59.9% del territorio, existen 1756 predios (66% del total) con promedio de 7.3 Has por predio, que señala una relación de 4 a 1 entre las zonas mencionadas, siendo mayor la fragmentación de la propiedad, lo cual incide en la cantidad de personas que se asienta en la zona.

La microcuenca Las Lajas que tiene el 15.4% de la población, su densidad es de 60 personas por Km², valor que se compone en buena parte por la inclusión de la zona urbana del corregimiento de Bocas, pues al no tenerla en cuenta el promedio de habitantes por Km² sería de 45 personas.

La densidad de 64 personas por Km² de la Angula Media merece especial análisis, en razón a que en esta microcuenca hay 983 predios con un área de 58.39 Km², que representa un promedio de 5.9 Has por predio, existiendo una mayor fragmentación de la propiedad y por ende mas concentración de población.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Como puede verse, la anterior sucinta caracterización de los suelos de la cuenca, su utilización en la actividad agrícola y los tamaños de predio predominante, se puede predecir, o se puede esperar, que los suelos de la cuenca de la quebrada La Angula en este momento sean muy vulnerables a la erosión; de hecho el problema más grave que se reporta de esta cuenca es la alta desertización y pérdida de suelo agrícola por erosión o por pérdida de nutrientes que se refleja en la mayor utilización de fertilizantes químicos y orgánicos mal utilizados como la gallinaza; todo esto conlleva en general a la degradación del suelo, al deterioro de los mecanismos de infiltración de agua lluvia en el suelo y su retención para periodos de sequía y finalmente a la contaminación del agua y escacés del recurso ya que durante las temporadas de lluvia, la escorrentia es máxima y se presentan avenidas torrenciales perjudiciales para todo el sistema.

En este contexto vale la pena utilizar la información sobre la caracterización de las diferentes variables ambientales, para modelar en un software SIG, la perdida de suelo promedio anual de la cuenca.

2.1 JUSTIFICACION

En este contexto, el conocimiento de las condiciones actuales de las cuencas y el manejo futuro que se le dé a los recursos del suelo indirectamente influye sobre el recurso hídrico y es una de las actividades más importantes a tener en cuenta por las implicaciones que finalmente tienen en la sostenibilidad de una cuenca hidrográfica y su capacidad para producir recursos para la población, especialmente el agua. Por tanto esta propuesta metodológica una vez establecida e implementada por la CDMB, irá a contribuir en parte a la solución de prever y definir las área de mayor potencial de erosión, definir las cuencas donde se está produciendo la mayor pérdida de suelo para así poder desarrollar estrategias de manejo de variables involucradas, minimizar la pérdida de suelo y producción de sedimento, y formular programas de control de erosión para las áreas de alto riesgo de erosión en el territorio de jurisdicción de la CDMB.

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 Objetivo General

Desarrollar una aplicación basada en SIG, para evaluar la pérdida de suelo promedio anual y el potencial de erosión de una cuenca mediante la ecuación universal de pérdida de suelo.

2.2.2 Objetivos Específicos

Especificar los requerimientos de información y elaborar el modelo conceptual para el cálculo de la amenaza de erosión y pérdida de suelo en una cuenca hidrográfica.

Representar en mapas o realizar el análisis y modelamiento digital para generar los factores de la ecuación universal de pérdida de suelos : R (potencial erosivo de la lluvia), K (factor erosionabilidad del suelo), LS (Longitud y grado de pendiente), C (factor cubierta vegetal), y P (factor prácticas de conservación de suelos), para una cuenca determinada.

Realizar el análisis y modelamiento digital para el cálculo de pérdida promedio anual de suelo y potencial de erosión para una cuenca determinada.

Implementar en ArcView la aplicación a partir de los modelos generados para una cuenca hidrográfica en la jurisdicción de la cdmb.

2.3 TRABAJOS PREVIOS

La microcuenca de la quebrada La Angula ha sido estudiada desde varios puntos de vista y por diferentes instituciones.

- Los estudios del ambiente físico de la microcuenca realizados desde 1969 por el Inderena, 1981 con el Estudio Desarrollo Integral de la Cuenca Superior del Rio Lebrija por la Corporación para la Defensa de la Meseta

de Bucaramanga; posteriormente el Plan de Manejo Integral de la Cuenca Superior del Río Lebrija por la CDMB y la Agencia Canadiense para el desarrollo Internacional ACDI.

- Más recientemente Torres G., Carlos M. (2000), estudia los aspectos geomorfológicos que son de importancia en el desarrollo y formación de suelos para ser aplicados en la zonificación de unidades ecológicas del paisaje de la subcuenca con fines de determinar las zonas para reforestación en el proyecto SIG-PAFC.
- Otros estudios llevados a cabo en esta cuenca son:
- Estudio semidetallado de suelos de la Subcuenca de La Quebrada La Angula. Corpoica. 1997. 123 p.
- Estudio de caracterización biótica de 11.200 Has y zonificación ecológica de la Cuenca de La Quebrada La Angula. Quintero Sandra L., y otros. 1999. 156 p.
- Estudio de caracterización socioeconómica de 22.00 Has de la Subcuenca de La Quebrada La Angula del área de jurisdicción de la CDMB. Proes S.A. 1999. 235 p.
- Estudio de análisis de conflictos de usos y prospectivas respecto a escenarios que permitan establecer una zonificación ambiental y una reglamentación de uso para el ordenamiento territorial. Cortés Daniel y otros. 2002. 208 p.
- Inventario hídrico, usos y aforos de la Microcuenca de La Quebrada La Angula. CDMB 2002.
- Estudio de la vegetación, inventario, composición florística y clasificación taxonómica Subcuenca Baja Quebrada La Angula, Municipio de Lebrija, Departamento de Santander. Corpoica – CDMB. Osorio Ocampo y otro. 1997.
- Memorias de cálculo hidráulicas – hidrológicas embalse Piedras Negras. René Alexander Pinto. UPB. Internet. 2000.
- Un estudio de oferta hídrica en la Cuenca Superior del Río Lebrija. Proyecto de grado. Mendoza Carlos Andrés, Sandoval Reinaldo. Tesis de Grado UIS. 2002.
- SIG aplicado a la zonificación de amenazas por inestabilidad de pendientes en la Subcuenca de la Quebrada La Angula. Cepeda Elizabeth, Díaz Olfa Georget, Torres Carlos Mauricio. Tesis de Grado UIS 2001.
- Cuantificación del recurso hídrico superficial aplicado a la zonificación de unidades ecológicas del paisaje en la Microcuenca Quebrada La Angula, Lebrija-Santander. Muñoz Pedro, Tesis de Grado UIS, 1997.
- Zonificación Ecológica y caracterización socioeconómica realizados por los consultores Juan Agustín Gualdrón Rueda Y PROES LTDA.

- Estudio de análisis de conflictos y Prospectiva respecto a escenarios que permitan establecer Zonificación Ambiental y reglamentación de uso para el ordenamiento ambiental territorial.
- Además de la C.D.M.B han participado Instituciones de carácter investigativo como lo son La Universidad Industrial de Santander, la Universidad Cooperativa de Colombia, CORPOICA.

3. MARCO CONCEPTUAL

3.1 EROSION DEL SUELO

La erosión y depositación de sedimento son dos aspectos del mismo proceso que en geología se llama denudación, en una parte del sistema denudativo ocurre erosión y en otra parte del sistema ocurre depositación; la erosión genera sedimento que entra en movimiento que finalmente es depositado para configurar paisajes nuevos.

Las afectaciones ambientales que ocurren en la primera parte del sistema generalmente están dentro de las siguientes categorías:

Pérdida de suelo que conduce al empobrecimiento de la agricultura

Erosión hídrica concentrada (surcos, cárcavas) que conducen a daños estructurales del perfil de suelo.

Desestabilización de laderas que conducen a procesos de remoción en masa.

Las afectaciones ambientales que ocurren en la segunda parte del sistema están asociadas con la acumulación de sedimentos donde pueden causar pérdidas económicas y daños que son reales por ejemplo la sedimentación de represas, canales o ríos navegables y daño a tomas de agua por no decir el deterioro de la misma calidad del agua y las poblaciones de fauna contenidas.

Dentro del sistema erosión depositación, dos parámetros críticos son la erodabilidad del suelo y la erosividad de la lluvia. El primero se refiere a la facilidad con la cual un suelo particular puede ser erosionado y la última se refiere a la habilidad de la lluvia para lograr la erosión. El primero puede ser cartografiado seleccionando criterios específicos para definir la erodabilidad del suelo, el segundo es variable y solo se puede mapear propiedades estadísticas de eventos de lluvia pasados como por ejemplo la intensidad máxima de lluvias esperadas para un periodo de treinta minutos.

3.2 CLASES Y AGENTES DE EROSION

Según Suarez J. (1992), la erosión es aquel proceso de desprendimiento y arrastre de partículas del suelo provocado por la acción del agua, o del viento, o su remoción en masa. En general se distinguen dos tipos de erosión, la erosión geológica o natural y la erosión acelerada.

La erosión geológica o natural, que se produce por la dinámica del medio ambiente, como el agua de las lluvias, la corriente de los ríos, el viento, el clima, la topografía. Esta erosión es imperceptible y tiende a buscar la estabilidad en la superficie del suelo y equilibrio entre el proceso de desgaste de la superficie terrestre y la formación nueva del suelo.

La erosión acelerada, es propiciada por el hombre al romper el equilibrio entre los suelos, la vegetación, el agua y los animales. Esta erosión se da cuando el ecosistema natural es transformado por la práctica productiva del hombre en un agroecosistema, en este proceso se altera el ciclo básico del ecosistema natural, es decir, de los diferentes flujos de la relación suelo-planta-agua. En consecuencia se produce un empobrecimiento químico del suelo, se reduce las poblaciones de microorganismos y empeoran las características físicas del suelo.

Los agentes erosivos más importantes que actúan en la erosión acelerada son:

La lluvia

El viento

Los ríos

La temperatura

Los animales

El laboreo agrícola

3.3 PRINCIPALES FORMAS DE EROSIÓN

Suarez J. (1999), identifica dos formas de erosión principales la erosión hídrica ya sea natural o geológica y erosión eólica:

3.3.1 Erosión hídrica

Es producido principalmente por efecto de la lluvia. El impacto de las gotas de agua en el suelo descubierto, ocasiona el desprendimiento de sus partículas y su remoción por agua de escorrentía. Los factores que intervienen en este proceso son:

- La intensidad y frecuencia de las lluvias
- El relieve del terreno
- La longitud de la pendiente
- La cobertura vegetal
- El tipo de suelo
- El manejo del suelo

Hay tres formas de erosión hídrica:

A. Erosión laminar

Es el arrastre uniforme y casi imperceptible de delgadas capas de suelo por el agua de escurrimiento. Es la forma de erosión menos notable y al mismo tiempo la más peligrosa: Bajo este proceso erosivo, la capa superficial del suelo comienza a mostrar manchas en las pendientes debido a la pérdida de nutrientes minerales y materia orgánica. Es así que se ha estimado que la erosión laminar de 1 cm de suelo superficial representa la pérdida de 100 m³/ha.

B. Erosión en surcos

Es la erosión que se presenta como consecuencia de una fuerte erosión laminar y el mal uso de herramientas de labranza. Ocurre cuando el agua de escurrimiento se concentra en lugares del terreno, hasta adquirir volúmenes y velocidades capaces de hacer cortes en el suelo y formar canales o surcos que se destacan.

Esta erosión se facilita en terrenos cultivados en el sentido de la pendiente. En pendientes menores al 20%, estos surcos pueden ser borrados con herramientas de labranza evitando que aumente su tamaño hasta formas cárcavas. Los daños de esta forma de erosión revisten también gravedad, sin embargo, por ser más visibles que la erosión laminar el agricultor le presta atención más oportuna.

C. Erosión en cárcavas

Se produce después de la erosión laminar y en surco. Se forman cuando el agua de escurrimiento es mayor, produciendo surcos que se unen y forman

zanjas de gran tamaño, conocidas como cárcavas generalmente ramificados . Estas zanjás no permiten el empleo de yuntas o maquinarias en la preparación del terreno, ni otros trabajos de campo, tienen en general su origen en las siguientes causas:

Las depresiones e irregularidades naturales del terreno
Mayor intensidad y frecuencia de las lluvias
Falta de corrección oportuna de la erosión en surcos
Labranza a favor de la pendiente
Pisoteo continuo del ganado en praderas sobrepastoreadas.

Bergsma (1998), indica que los procesos de erosión dependen de la precipitación, del material, de la posición relativa en el paisaje (sobreflujo y humedad antecedente), de la forma de la pendiente, del uso y manejo del suelo.

3.3.2 Erosión eólica

Causado por el viento en terrenos sueltos, localizado en regiones con variaciones altas de temperatura, poca precipitación y predominio de vientos fuertes.

La acción que el viento ejerce sobre la superficie del suelo depende de la fuerza y velocidad con que sopla. Sin embargo, son otros los factores que facilitan esta forma de erosión:

Velocidad del viento
Excesivo laboreo del suelo
Uso de herramientas inadecuadas
Sobrepastoreo de la cubierta vegetal
Suelo suelto, seco y sin estructura
Superficies extensas sin barreras vivas o cortinas rompeviento

3.4 EFECTO DE LA EROSIÓN EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS

La erosión representa un impacto ambiental de gran importancia en las cuencas hidrográficas de nuestra jurisdicción, también un costo neto para la agricultura en cuanto que significa una pérdida de tierra productiva, así como

de nutrientes y materia orgánica que deben sustituirse con fertilizantes, lo que obliga al agricultor a efectuar considerables desembolsos si desea mantener la productividad del suelo.

3.5 CONCEPTOS TEORICOS RELACIONADOS CON EL ORDENAMIENTO Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS

Desde el punto de vista teórico la conceptualización del término Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas puede presentar varias enfoques en nuestra región, e implica una serie de conceptos relacionados que se definirán con la intención de clarificar en que parte del ordenamiento contribuye el trabajo a realizar en esta monografía de especialización.

3.5.1 Planificación

El ordenamiento y manejo de cuencas, en un primer nivel, un nivel muy general, se relaciona con el concepto de planificación, dado que el ordenamiento de cuencas es un acto de planificación. De acuerdo con Awad, 1995, la planeación es una acción eminentemente política en la cual se distribuyen los recursos de la sociedad. En un sentido más formal es la acción consistente en utilizar un conjunto de procedimientos mediante los cuales se introduce una mayor racionalidad y organización en unas acciones y actividades previstas de antemano con que se pretende alcanzar determinados objetivos habida cuenta de las limitaciones de recursos. Es el proceso sistémico y ordenado que busca la utilización eficiente de los recursos existentes con sujeción a una línea de acción determinada para alcanzar un objetivo dado.

La planeación es un cálculo que precede a la acción y que cumple seis propósitos:

1. Mediar entre el presente y el futuro
2. Prever ante las dificultades de predecir.
3. Preparar para lo imprevisto
4. Convertir la experiencia en conocimiento y el conocimiento en acción.
5. Coherencia total entre acciones de los actores
6. Búsqueda permanente del rumbo.

El ordenamiento y manejo de cuencas se enmarca dentro de la planificación ambiental, ahora, al incluir el aspecto ambiental en la planificación nos encontramos con un concepto bastante complejo como lo es la planificación ambiental en donde se trata de la planificación de los recursos naturales o ambientales con que se cuentan en una cuenca para su desarrollo, es decir, se pretende buscar la convivencia inarmónica entre los dos sistemas interrelacionados y conminados inexorablemente a compartir el mismo espacio (físico – temporal), a saber el Social y el Natural.

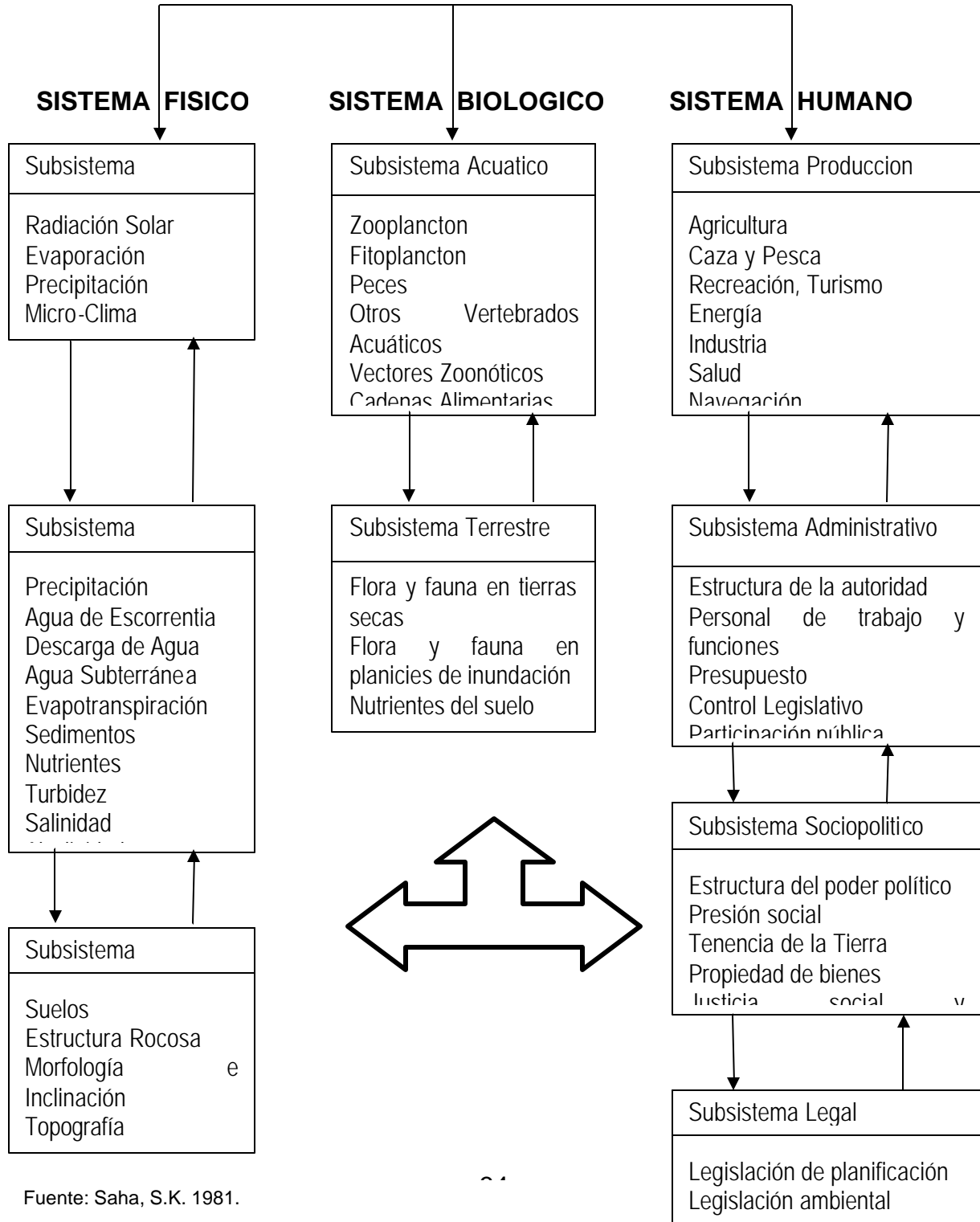
Los estudiosos del tema de la planificación ambiental definen los siguientes criterios a tener en cuenta en esta:

1. El aprovechamiento de los recursos naturales de una cuenca es una condición Sine Qua Non (sin la cual) no podría darse el desarrollo de la comunidad, pero este desarrollo debe darse respetando ética y científicamente la dinámica de la naturaleza.
2. Los objetivos sociales del desarrollo y sus procesos deberían ser compatibles con la dinámica, potencialidad y limitaciones del sistema natural de la cuenca.
3. Los objetivos sociales o económicos y los medios para alcanzarlos deberían respetar el equilibrio del medio ambiente y ser compatibles con la conservación de los recursos de la cuenca.
4. La cuenca hidrográfica como parte del ambiente, se constituye en un productor de servicios de bienestar social, de ella depende la disponibilidad de respirar aire puro, consumir agua limpia, consumir alimentos sin contaminación, habitar y trabajar en espacios funcionales.
5. La planificación de la cuenca debe adoptar un enfoque sistémico, relacional e interrelacional.
6. Igualmente se debe tener en cuenta un enfoque a largo plazo y de acción sostenida (dimensión temporal), las leyes naturales inmutables y eternas, en contraposición con las leyes sociales.
7. La planificación de una cuenca debe adoptar un enfoque integrado entre la acción correctiva y preventiva, es decir, actuar sobre los síntomas para disminuir ciertos efectos.

En el siguiente diagrama se trata de representar los diferentes subsistemas, o sistemas de por sí, que se encuentran interrelacionados en una cuenca hidrográfica, que interaccionan entre ellos y que se pretenden modelar en la planificación ambiental.

Figura 3. Megasistema socioecológico en la planificación de cuencas hidrográficas

Relaciones envolviendo subsistemas agua, tierra y hombre



Fuente: Saha, S.K. 1981.

3.5.2 Ordenamiento

En nuestro enfoque el ordenamiento de una cuenca tiene que ver más con el proceso legislativo de un proceso mucho mayor que se denomina Manejo o Gestión de Cuencas Hidrográficas.

A partir de la etimología, el Ordenamiento es la “acción y efecto de ordenar algo: Ley u ordenanza que da el superior”. Se puede inferir entonces que ordenamiento de una cuenca es la acción y efecto de disponer racional y armónicamente las actividades humanas en una cuenca hidrográfica para permitir el desarrollo sostenible de su población.

Si se analiza el ordenamiento desde el punto de vista espacial, este se concibe como el proceso de asignación de uso para una cuenca acorde a la aptitud natural de esta, a su oferta natural de recursos, y al manejo concertado entre los componentes económicos, sociales y culturales.

El fin último del ordenamiento de cuencas debe ser la compatibilización entre la aptitud ecológica u oferta ambiental y las actividades socioeconómicas o de demanda social, para lograr un balance del hombre y la naturaleza.

3.5.3 Fases Y Acciones De Manejo De Cuencas

En primer lugar se utilizará el término manejo o gestión de cuencas hidrográficas en el sentido dado por la CEPAL, 1992, en el documento “Bases Conceptuales para la Formulación de Programas de Manejo de Cuencas Hidrográficas” como las acciones principales que se ejecutan en orden cronológico para lograr el desarrollo de una cuenca hidrográfica que no es otra cosa que “aprovechamiento y conservación de los recursos naturales disponibles dentro de una cuenca con el fin de posibilitar el desarrollo sostenible del hombre que habita en ella o depende de sus recursos”, en particular del agua.

En este enfoque las acciones de ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas se puede agrupar en varias fases cronológicas distinguidas en el siguiente cuadro:

Tabla 2. Cronología de las Acciones de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas

Fases temporales de las Acciones	Acciones principales	Orientación de las acciones
Previas (ordenamiento)	Elaboración de estudios (Inventarios, evaluaciones, diagnósticos)	Orientada al ordenamiento o planificación
	Elaboración y formulación de proyectos de inversión (prefactibilidad, factibilidad, diseño)	Orientada al diseño y fundamentación de soluciones y de estrategias para llevarlas a cabo.
Intermedias (habilitación)	Ejecución de proyectos hidráulicos, obras de diversa índole y estructuras auxiliares de servicio (forestales, de control de erosión e inundación y otros)	Fase dedicada a la ejecución de lo planificado
Permanentes (manejo)	Administración del agua (admón., operación, mantenimiento, reparación y mejoramiento de obras hidráulicas construidas).	Orientada a hacer buen uso de las inversiones Organización de usuarios del agua Reparación y mejoramiento de obras y equipamiento
	Manejo de cuencas (manejo, recuperación, preservación y conservación de recursos naturales o cuencas)	Conservar los recursos. Organización de los usuarios de la cuenca Ordenamiento del uso de los recursos naturales Recuperación y conservación de recursos Preservación y protección de recursos
	Seguimiento y evaluación (establecer mecanismos e instrumentos de seguimiento y evaluación)	Orientado a definir indicadores ambientales y de gestión que permitan evaluar el cumplimiento del Plan

Modificado de Axel Dourojeanni, CEPAL, 1992.

El proyecto planteado apoyará a cada una de las acciones principales de las fases previas y permanentes y mantendrá la información necesaria para apoyo en la toma de decisiones en todas las fases del ordenamiento y manejo de recursos hídricos de las cuencas.

3.5.4 Acciones Directas y Acciones Indirectas

Igualmente, las acciones de manejo se pueden dividir en acciones de manejo directas y acciones de manejo indirectas, según el efecto que su aplicación produzca en la cuenca.

Las **acciones directas** son las que alteran o modifican físicamente la cuenca y su dotación de recursos, como por ejemplo una reforestación, la construcción de captaciones y acueductos comunitarios; las **acciones indirectas** son todas aquellas que posibilitan la ejecución de las acciones directas como por ejemplo: determinar las áreas de mayor potencial de erosión de la cuenca (investigación aplicada), organizar el inventario la población de usuarios del agua en la cuenca (determinar la oferta y la demanda de recursos hídricos, etc.). En esta última categoría podríamos ubicar el proyecto planteado en este plan de Monografía.

3.6 MODELOS UTILIZADOS EN LA DETERMINACIÓN DE LA EROSIÓN

La erosión por su distribución espacial y por que las mismas están condicionadas por muchos factores interactuantes, es un proceso que no puede ser medido en forma exacta y de manera sencilla. La estimación de las tasas de erosión se realizan con base a pruebas de campo y modelos expresados en ecuaciones matemáticas que consideran al mundo real como un sistema.

En la modelación es muy útil hacer uso de los computadores y especialmente de los sistemas de información o de herramientas que manejen información georeferenciada como es el caso de los Sistemas de Información Geográficos.

A continuación se muestran los modelos más conocidos para la determinación de la erosión de acuerdo con Antezana C. Julio C. 2001. Y la Página Web: <http://www.fao.org/docrep/W2598S/w2598s05.htm>)

3.6.1 Nivel Medio-Bajo De Necesidad De Datos

➤ **Cargas por superficie unitaria** (predicción estadística)

Aplicación: Pérdida de sedimentos, pérdida de nutrientes

Escala de tiempo: Promedios a largo plazo

Escala espacial: Decenas a centenares de km²

Los modelos estadísticos utilizan datos agregados para situaciones comparables. La capacidad de predicción es baja, pero puede ser útil como medio de detección o en los 13 casos en que no se dispone de datos sobre los campos de cultivo o la escala espacial es tan grande que resulta antieconómico obtenerlos.

➤ **USLE** (Ecuación universal de pérdida de suelo)

Aplicación: Pérdida media de suelo en relación con cultivos específicos, etc.

Escala de tiempo: Anual

Escala espacial: Parcela/finca

➤ **RUSLE/MUSLE** (USLE revisada/modificada)

Aplicación: Pérdida media de suelo en relación con cultivos específicos, etc.

Escala de tiempo: Anual

Escala espacial: Parcela/finca

Los modelos empíricos semejantes al USLE se aplican en el análisis de grandes superficies, utilizando, por ejemplo, datos obtenidos con sistemas de teledetección, para elaborar estimaciones regionales de las pérdidas de suelos (por ejemplo, en el Brasil). Estos modelos se incorporan muchas veces en los modelos hidrológicos más detallados que se indican a continuación.

3.6.2 Modelos Que Requieren Gran Disponibilidad De Datos (Orientados Hacia El Proceso)

➤ **ACTMO** (modelo de transporte de productos químicos agrícolas)

Aplicación: Procesos hidrológicos Calidad del agua

Escala de tiempo: Suceso aislado, continuada

Escala espacial: Finca

➤ **AGNPS** (contaminación de fuentes agrícolas no localizadas)

Aplicación: Hidrología, erosión, N, P y plaguicidas

Escala de tiempo: Suceso aislado, diariamente, continuada

Escala espacial: Cuadrícula, finca

➤ **ANSWERS** (simulación de respuestas ambientales en cuencas hidrográficas de fuentes zonales no localizadas)

Aplicación: Hidrología, erosión, N, P y plaguicidas

Escala de tiempo: Una tormenta

Escala espacial: Cuadrícula

➤ **CREAMS** (erosión química y escorrentía de los sistemas de ordenación agrícola)

Aplicación: Hidrología, erosión, N, P y plaguicidas

Escala de tiempo: Diaria, continuada

Escala espacial: Finca

➤ **EPIC** (calculador del efecto erosión-productividad)

Aplicación: Hidrología, erosión, ciclo de los nutrientes, ordenación de cosechas y suelos y economía

Escala de tiempo: Suceso aislado, diaria, continuada

Escala espacial: Finca

- **HPSF** (Programa Fortran de simulación hidrológica)
Aplicación: Hidrología, calidad del agua en relación con contaminantes orgánicos tóxicos y convencionales
Escala de tiempo: Suceso aislado, diaria, continuada
Escala espacial: Cuenca hidrográfica
- **SHE** (Sistema hidrológico europeo)
Aplicación: Hidrología, con módulos de calidad del agua
Escala de tiempo: Suceso aislado, diaria, continuada
Escala espacial: Cuenca hidrográfica
- **SWAM** (modelo de cuencas hidrográficas pequeñas)
Aplicación: Procesos hidrológicos, sedimentos, nutrientes y plaguicidas
Escala de tiempo: Diaria, continuada
Escala espacial: Cuenca hidrográfica
- **SWAT** (instrumento de evaluación de suelos y aguas)
Aplicación: Procesos hidrológicos, sedimentos, nutrientes y plaguicidas
Escala de tiempo: Suceso aislado, diaria, continuada
Escala espacial: Simulación simultánea para centenares de subcuencas
- **SWRRB** (simulador para recursos hídricos en cuencas rurales)
Aplicación: Balance hídrico y procesos hidrológicos y sedimentación
Escala de tiempo: Suceso aislado, diaria, continuada
Escala espacial: Cuenca hidrográfica
- **WEPP** (proyecto de predicción de la erosión hídrica)
Aplicación: Procesos hidrológicos, procesos de sedimentación
Escala de tiempo: Tormenta, diaria, continuada
Escala espacial: Ladera, cuenca hidrográfica, cuadrícula

3.7 ECUACIÓN UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELOS REVISADO (RUSLE)

Es una ecuación utilizada para predecir la pérdida total de suelo por erosión pluvial o de escorrentía, como fue descrito por Mannaerts (1999), la RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) se puede utilizar para:

Predecir pérdida de suelo promedio a largo plazo de condiciones de campo específicas, usando un sistema específico de manejo.

Para predecir erosión entre surcos y en surcos, en pasturas, cultivos y sitios en construcción.

La pérdida de suelo calculado por el modelo, es la cantidad de sedimento perdido por el perfil, no la cantidad de sedimento que deja la cuenca o el terreno.

El perfil del paisaje es definido por una longitud de la pendiente, la cual es la longitud del origen del flujo superficial hasta el punto donde el flujo alcanza una mayor concentración o una mayor área de deposición como en las pendientes cóncavas y cerca de los límites del terreno.

Para estimar las tasas de erosión que son removidas del suelo, de partes críticas del paisaje y que guían a la elección de las prácticas de control de la erosión hasta un nivel de pérdida de suelo tolerable.

El RUSLE tiene la siguiente expresión matemática: (Mannaerts,1999)

$$A = R * K * LS * C * P$$

Donde:

A = Pérdida de suelo promedio anual en [T/Ha]

R = Factor erosividad de las lluvias en [MJ*mm/Ha.h]

K = Factor erodabilidad del suelo en [T*h/MJ*mm]

LS = Factor topográfico, función de longitud – inclinación - forma de la pendiente (adimensional).

C = Factor ordenación de los cultivos, cubierta vegetal, (adimensional).

P = Factor de practicas de conservación, conservación de la estructura del suelo, (adimensional)

En seguida se explicará cada uno de los factores y la manera de calcularse para un caso particular.

3.7.1 Factor de la Erosividad de la lluvia R

Este factor cuantifica la capacidad que tiene la lluvia de erosionar un campo desprotegido y se define como una propiedad específica de las lluvias, que puede ser evaluada cuantitativamente como la capacidad potencial de las lluvias para producir erosión en circunstancias dadas. Perez, 2001 propone la siguiente relación para estimar el valor de R:

$$R = 1.19254 * 10^{-5} PMA^{1.70148}$$

Esta ecuación fue obtenida mediante regresiones de tipo exponencial entre el valor de precipitación media anual y la erosividad en 139 estaciones distribuidas en todo el país.

Donde,

R es el factor de erosividad de la lluvia promedio anual en [MJ/ha*mm/hr]
PMA es la precipitación promedio anual (mm).

3.7.2 Factor de erodabilidad del suelo (Factor K)

Es una compleja propiedad que se la entiende como la facilidad con la cual el suelo es desprendido por el salpicamiento, durante una lluvia o por flujo superficial. Esta propiedad del suelo está relacionada al efecto integrado de la lluvia, escurrimiento e infiltración.

Los suelos generalmente llegan a ser menos erosivos con una reducción en la fracción de limo a pesar del correspondiente incremento de la fracción de arcilla o arena. El factor K representa el efecto de las propiedades del suelo y de las características del perfil del suelo en la pérdida de suelo. Los valores de K son asignados usando el Nomograma de erodabilidad del suelo, que combina el efecto del tamaño de las partículas, %MO, código de la estructura del suelo y la clase de permeabilidad del perfil.

La textura del suelo es muy importante en la determinación de la erodabilidad. Los suelos arenosos tienen tasa baja de escorrentia y son arrancados más fácilmente, pero son más difíciles de transportar que los limosos. Los suelos arcillosos no son fácilmente arrancados, pero las tasas mas bajas de infiltración, pueden conducir a escorrentia mayor e incremento de la erosión. El factor de erodabilidad del suelo puede calcularse también mediante un nomograma que fue elaborado para ello. **Ver Figura 3.**

$$K=7.594\{0.0034+0.0405\exp[-(1/2)(\log_{10} D_g+1.659/0.7101)^2]\}$$

Donde:

K = Factor de erodabilidad del suelo(T.h/MJ*mm]

D_g = diámetro medio de la partícula de suelo en mm

$$D_g = \exp\{\sum f_i \cdot \ln(m_i)\}$$

i = es el componente de la textura del suelo, arena o arcilla

f_i = es la fracción de arena o arcilla.

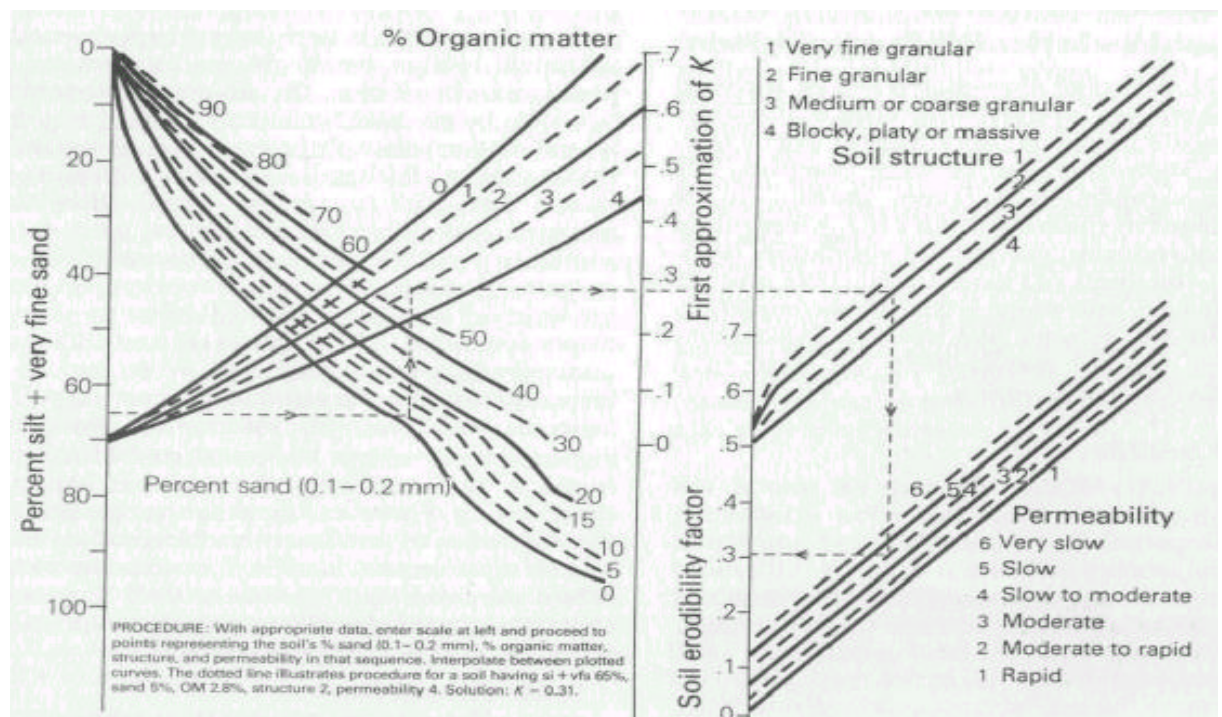
m = es la media aritmética de cada tipo de suelo.

Arena: 1.025

Arcilla: 0.026

Limo: 0.001

Figura 4. Nomograma para determinar el factor K de erodabilidad del suelo.



Tomado de Wischmeier and Smith, 1978

3.7.3 Factor de longitud y pendiente (LS)

Es el efecto de la topografía en la erosión y tiene en cuenta la longitud de la ladera y el grado de inclinación o pendiente del terreno.

Entre más larga la ladera el proceso de erosión es más intenso y lo mismo sucede con la pendiente.

Factor de Longitud (L)

La longitud de pendiente es definida como la distancia horizontal desde el origen de un flujo hasta el punto, donde:

El gradiente de la pendiente reduce lo suficiente que la deposición comienza

El escurrimiento llega a ser concentrado en un canal definido.

Para su cálculo se utiliza la fórmula:

$$L = (x/22.13)^m$$

Donde:

L = Factor de longitud de pendiente (adimensional).

x = Longitud de la pendiente [m] y de acuerdo con estimaciones empíricas varía con el grado de la pendiente (\emptyset)

para \emptyset entre 0 y 3%, x=200

para \emptyset entre 3 y 7%, x= 160

para $\emptyset > 7\%$, x=60

m es un exponente que toma diferentes valores en función de \emptyset así:

para \emptyset menor a 3% m=0.2

para \emptyset entre 3 y 7%, m=0.3

para $\emptyset > 7\%$, m=0.4

Factor de la pendiente (S)

El factor de inclinación de la pendiente refleja la influencia de la gradiente de la pendiente en la erosión. El potencial de erosión se incrementa con la inclinación de la pendiente.

$$S = 65.41\text{sen}^2\emptyset + 4.56\text{sen}\emptyset + 0.0665$$

Donde:

S = Factor de pendiente

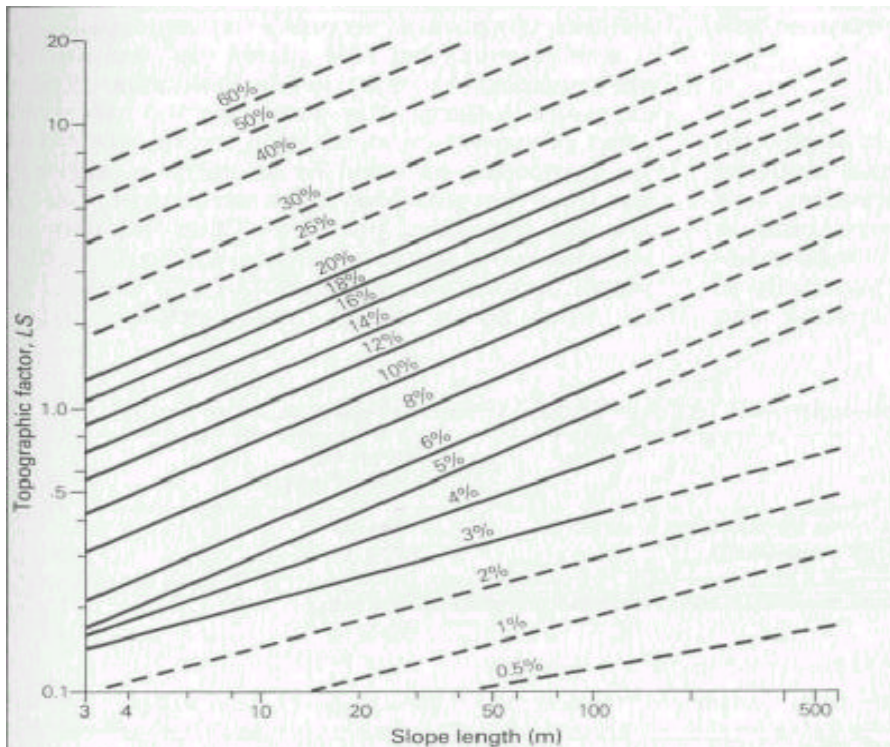
\emptyset = grado de pendiente [%]

La pendiente y la longitud de la pendiente son medidos perpendicular a las curvas de nivel.

El factor LS combinado en RUSLE representa la proporción de pérdida de suelo de una longitud e inclinación dada. Valores más que 1 representan

condiciones más erosivas que la condición de referencia. El siguiente Nomograma es utilizado para determinar manualmente estos valores. Ver **Figura 4**.

Figura 5. Nomograma para hallar la longitud de pendiente y el factor gradiente LS.



(Wischmeier and Smith, 1978, en R.U. Cook and J.C. Doornkamp).

3.7.4 Factor de manejo de cobertura (C)

El factor de manejo de los cultivos representa la relación entre la pérdida de suelo a partir de una condición específica de cultivo o cobertura y la pérdida de suelo a partir de un estado de labranza y barbecho continuo para el mismo suelo, pendiente y condiciones de precipitación. Este factor incluye los efectos interrelacionados de la cubierta, la secuencia de cultivos, el nivel de productividad, prácticas de cultivo, la duración de la estación de crecimiento, el manejo de residuos y la distribución de la precipitación (Kirkby y Morgan, 1984).

El valor C es difícil de evaluar debido a los múltiples sistemas de cultivo y manejo. Los cultivos pueden ser permanentes o rotarse con otros cultivos, rotaciones de diferentes duraciones y secuencias. Los residuos se pueden eliminar, dejar en el campo o incorporar en el suelo. El suelo puede labrarse o puede utilizarse algún sistema de labranza de conservación, cada uno de estos sistemas se debe evaluar para obtener un valor adecuado del factor por manejo y cultivo.

En la literatura se pueden encontrar valores para el parámetro C para los programas más frecuentes de cultivo y manejo, unas asociadas a tipos de cultivo en Colombia y otras a tipos de cultivo en otros países, estas tablas sirven para determinar este factor en el área de la cuenca tomando como base el mapa de cobertura y uso del suelo de la cuenca y realizando las adaptaciones necesarias de acuerdo a los tipos de cobertura o uso del suelo.

3.7.5 Factor por Prácticas de manejo (P)

Es la relación de pérdida de suelo con prácticas de soporte a la pérdida correspondiente con labranza en pendiente, la cual tiene un valor de 1. Estas prácticas de control (soporte) combate la erosión, puesto que modifica los patrones de flujo y el grado o dirección de superficie de escurrimiento. Para las prácticas de soporte de tierras cultivadas, generalmente incluye contorno, cultivos en faja, terraceo y drenaje subsuperficial.

RUSLE calcula el factor P basado en porcentajes de pendiente, longitud de pendiente, rugosidad, altura de bordes, distribución del "EI", grupo de suelos hidrológicos y el efecto de terrazas contra la pendiente.

Las prácticas de apoyo con las que trabaja el RUSLE son: (Mannaerts,1999)

A.. Surcos en contorno

Ø Camellones

Ø Contornos a desnivel

Ø Longitud de pendiente crítica, gradiente

B.. Terrazas

Terraceo en gradas

Deposición

C.. Cultivos en fajas

Fajas de amortiguación
Fajas perpendiculares a la pendiente

D.. Drenaje subsuperficial
Drenes

E.. Medidas de conservación en tierras silvopastoriles
Prácticas de manejo silvopastoril.

La guía del usuario del RUSLE (1993), sugiere las siguientes prácticas mínimas de conservación de suelos, poniendo a consideración los valores del factor P para diferentes condiciones:

Tabla 3. Valores de P mínimos para prácticas de contorno

Altura entre surcos	Factor P mínimo
Muy baja	0.5
Baja	0.3
Moderado	0.15
Alto	0.08
Muy alto	0.05

Tomado de Antezana, C. 2001

Tabla 4. Valores de P para terrazas en función a su grado de pendiente

Grado de la terraza (%)	Subfactor de entrega de sedimentos
Al final de la salida	0.05
Nivel Cero	0.1
0.1	0.13
0.2	0.17
0.4	0.29
0.6	0.49
0.8	0.83
0.9	0.9
>1	1

Tomado de Antezana, C. 2001

Según Miranda (1992), la conservación de suelos es un conjunto de esfuerzos técnicos y agronómicos dirigidos primordialmente a incrementar la productividad de la tierra. En efecto, la conservación de suelos es la base para un sistema racional de explotación agrícola sostenible, especialmente

en las zonas altas donde los campesinos tienen que roturar tierras en pendientes escarpadas, con suelos de baja fertilidad y lluvias irregulares.

3.8 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Para Nadie es desconocido que en la actualidad la mayor parte de la información que se maneja en empresas privadas, instituciones del estado, universidades, etc. se hace utilizando sistemas de información, es decir, utilizando el computador; La información que se puede manejar en un computador es enormemente variada, desde sonidos, imágenes, letras, números, mapas, etc.. La tecnología del computador y el manejo de información que se logra al procesar información es exitosa con respecto a las anteriores formas de hacerlo, debido a que el computador facilita el almacenamiento, la transmisión y el procesamiento de una amplia variedad de información de manera precisa, ágil y rápida.

Los computadores pueden manejar información que representa el mundo real y a través de ellos gestionamos esta información y podemos presentarla de manera simplificada para suplir nuestras necesidades. La mayor parte de la información que utilizamos es información distribuída en el espacio, el espacio en donde vivimos o trabajamos y sobre el cual debemos tomar decisiones.

En el caso de la geología, toda la información que se maneja es información espacial, es decir, información de las rocas, suelos, paisaje, etc. que puede ser georreferenciada con respecto a un sistema de coordenadas; a esta información se le denomina Información Geográfica para decir que está distribuida en el espacio y se puede georreferenciar.

Desde hace aproximadamente treinta años los computadores se utilizan para procesar información geográfica de diversas maneras tales como digitalizar información, gravar la información en medios digitales, analizar la información geográfica buscando encontrar patrones, tendencias, dimensiones de un fenómeno, combinar diversos temas y generar otros, etc, encontrar tendencias por comparación entre diversas épocas de toma de información, mostrar información en forma de mapas, imágenes y otros tipos de visualización, etc.

Estos sistemas de manejo de información podrían denominarse Sistemas de Información Geográfica SIG, pero realmente no todo lo que vemos es un SIG y aquí hay que aclarar que un hardware y software (paquete), no es un SIG sino una herramienta para manejo de información geográfica.

Un sistema de información geográfica va más allá de tener un hardware y software básico; involucra además para su correcto funcionamiento un equipo de expertos tanto en temas particulares como suelos, geología, vegetación, etc. como expertos en sistemas; la compilación y depuración de la información geográfica a manejar, la definición de los procedimientos de manejo de la información y el diseño de los programas de computador que sean necesarios para adaptarlos a una determinada aplicación. De manera resumida un SIG de cumplir las siguientes funciones:

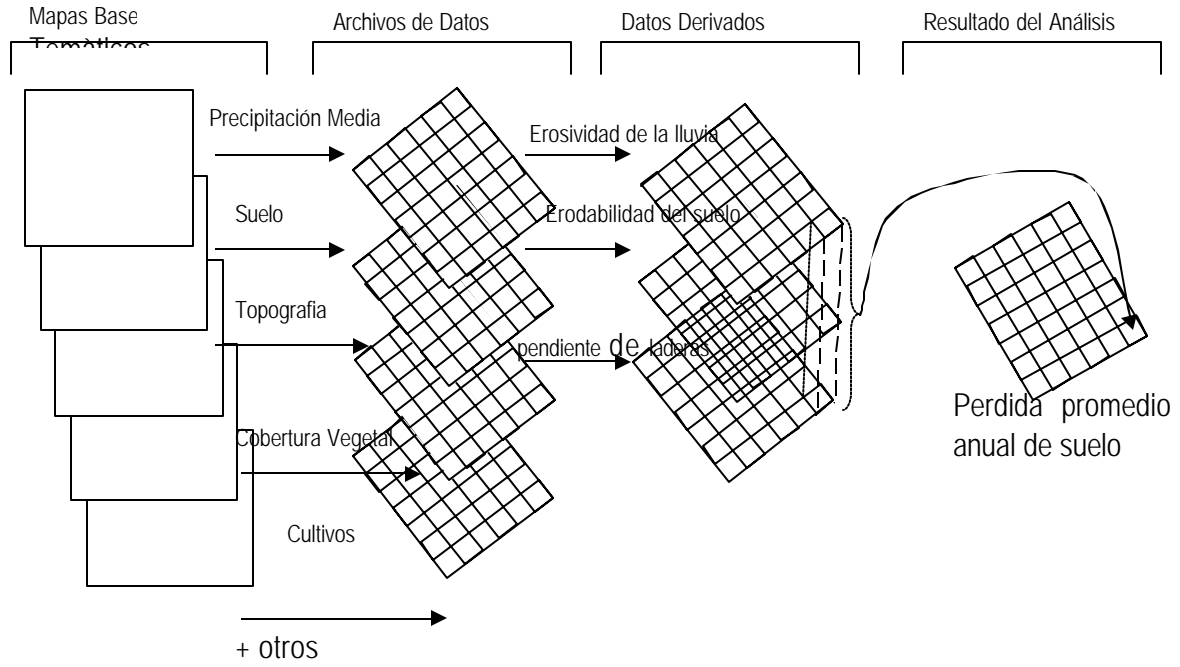
- Adquisición de información geográfica y verificación
- Compilación de la información
- Almacenamiento
- Actualización y edición
- Manejo e intercambio
- Manipulación de la información
- Recuperación y presentación
- Análisis y combinación.

Un SIG debe aplicar todas estas acciones y operaciones a los datos geográficos almacenados en su base de datos.

El uso más común en nuestra profesión de geólogos de los SIG, es la manipulación de mapas temáticos y la combinación de estos para derivar nuevos mapas con información combinada o analizada bajo varios puntos de vista, por ejemplo: combinar varios temas como cobertura vegetal, pendiente, materiales geológicos, precipitación, geomorfología, etc. para ver como estas variables pueden influir en la identificación de áreas de amenaza por erosión o remoción en masa de materiales.

La aplicación que se propone en esta monografía es la de utilizar las capacidades de análisis y consulta espaciales de un software SIG y partiendo de una información básica existente en mapas y archivos de información referenciada de una pequeña cuenca, derivar nuevos datos y poder llegar a un resultado final aplicando ciertas operaciones matemáticas entre variables iniciales. (**Ver esquema**)

Figura 6. Procedimiento para el análisis de la erosión



Modificado de Aronof Stan. 1993

4. MODELO SIG PROPUESTO PARA LA SUBCUENCA LA ANGULA

4.1 REQUERIMIENTOS DE INFORMACION

Dentro de la Subdirección de Normatización y Calidad Ambiental de la Corporación se requiere conocer la línea base ambiental con el objeto de poder evaluar los impactos ambientales que se pueden producir por proyectos de desarrollo tales como proyectos agropecuarios, vías, urbanizaciones, etc.; esta línea base ambiental requiere información de las cuencas, cuando un proyecto está planteado para localizarse sobre alguna de ellas, y específicamente del estado de los recursos hídricos y suelos.

Sobre los recursos hídricos se necesita saber la cantidad y calidad del recurso, es decir, se necesita saber cual es la oferta hídrica de una cuenca y la demanda del recurso que normalmente se calcula determinando el número de usuarios de la corriente y el caudal tomado por cada uno de ellos.

Sobre el recurso suelo se necesita saber los tipos de suelo existentes, la pendiente del terreno, la cobertura vegetal o uso del suelo, la cantidad de lluvia promedio anual que cae en determinado sector y el potencial de pérdida de suelos.

En la subdirección de recursos naturales la información sobre áreas erosionadas o de mayor potencial de erosión, es uno de los tantos factores que se utilizan en el establecimiento de plantaciones forestales ya sea protectoras o comerciales.

Los permisos de aprovechamiento forestal, deberían modelar el cambio producido en una cuenca como respuesta a la posible aprovechamiento del bosque existente, antes de conceder dicho aprovechamiento, en el entendido que hay áreas que deben estar permanentemente cubiertas de bosque y otro tipo de cobertura con el fin de evitar el deterioro de la cuenca.

La administración del recurso hídrico en una cuenca y el ordenamiento ambiental de cuencas hidrográficas requiere en la Fase de diagnóstico del ordenamiento y manejo de cuencas, (decreto 1729 del Ministerio de

Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial), que se identifique la situación ambiental de la cuenca, con el fin de establecer las potencialidades, conflictos y restricciones de los recursos naturales renovables. Entre otros se tiene que evaluar en la cuenca:

Los impactos ambientales sobre los recursos naturales renovables, generados por el aprovechamiento de los recursos naturales de la cuenca.

Identificar riesgos, amenazas y vulnerabilidad.

identificar conflictos de uso de los recursos naturales renovables y potencialidades de la cuenca.

Por lo tanto la determinación del potencial de erosión y pérdida de suelo de una cuenca contribuye en el diagnóstico y análisis de los impactos, amenazas, conflictos.

Finalmente, identificadas las áreas de mayor potencial o amenaza de erosión en una cuenca, el impacto que produce la actividad humana sobre la cuenca, etc, la información que se obtenga es básica para definir las inversiones que las CAR deben realizar en cuencas, ya sea en programas de reforestación, manejo integral de cuencas, para poder obtener los valores de costos del coeficiente de inversión C_k (Fracción de los costos totales del plan de ordenación y manejo de la cuenca de que trata el decreto 1729 de 2002 no cubiertos por la tarifa mínima) y poder obtener el valor del Factor Regional para el cobro de la tarifa de la tasa por utilización de agua (TU), expresada en pesos/m³.

4.2 REQUERIMIENTOS TECNICOS

Para el desarrollo del prototipo se utilizarán herramientas de común uso en la Corporación, tal es el caso del ArcView que es un paquete muy utilizado y disponible en la Corporación y la base de datos que maneja esta herramienta, una vez presentado el trabajo a la CDMB y esta lo retome para el desarrollo, el grupo SIG podrá acomodar la herramienta a la base de datos que el grupo SIG estime conveniente, lo que se quiere es que sea un sistema flexible en donde queden bien definidos los usuarios y su rol y que sea dinámico en el tiempo para que pueda desarrollarse y consolidarse en la entidad como una herramienta util en la toma de decisiones.

4.2.1 Definición De Actores

Para la definición de los actores que intervienen en el sistema y que se interrelacionan con el sistema, hemos evaluado las labores que desarrollan los funcionarios de la Subdirección de Normatización y calidad Ambiental. Podemos clasificar entonces, los usuarios en tres grupos: Administradores técnicos, Administradores operativos y usuarios que consultan la información.

4.2.2 Administradores técnicos

Esta clase de actores son los que tiene que ver con toda la parte técnica del desarrollo del SIG, son personas expertas en Sistemas de información y se encargan del manejo de toda la sistematización de la entidad, están siempre atentos a las necesidades de soporte, de mantenimiento de equipos, de manejo de servidores, de base de datos, estándares, en resumen se encargan de la parte de sistemas en la empresa.

4.2.3 Administradores Operativos

Son los técnicos en manejos del recurso hídrico, son los usuarios más directos del sistema, manejan información y toman decisiones. Responsables de generar la información de todo el proceso de concesiones y administradores del recurso hídrico.

4.2.4 De Consulta

Son todos los funcionarios que para desarrollar algunas de sus funciones necesitan conocer la información de concesiones, también requieren de algunos análisis de esta información, la diferencia con los anteriores es que estos no son responsables de la generación de información para este sistema.

4.3 IDENTIFICACION DE ENTIDADES

A continuación presentamos definición de las entidades que trabajará el sistema.

Cuenca. Es la unidad que recoge las aguas de una determinada área, esta puede estar compuesta por varias subcuencas y estas a su vez en un área de rendimiento hídrico más pequeña. Es la base de todo estudio ambiental.

Sus principales atributos son:

Código.

Nombre.

Area.

Oferta de agua.

Demanda de agua.

Costos del plan de manejo.

Subcuenca. Es la unidad que recoge las aguas de una determinada área, esta puede estar compuesta por varias microcuencas y estas a su vez en un área de rendimiento hídrico más pequeña. Es la base de todo estudio ambiental.

Sus principales atributos son:

Código.

Nombre.

Cuenca.

Area.

Oferta de agua.

Demanda de agua.

Costos del plan de manejo.

Microcuenca. Es la unidad mínima de rendimiento hídrico, recoge las aguas de una determinada área.

Sus principales atributos son:

Código.

Nombre.

Subcuenca.

Cuenca.

Area.

Oferta de agua.

Demanda de agua.

Estación. Son todos los datos de precipitación media multianual para todas las estaciones distribuidas a lo largo de la cuenca y para los cuales se tiene un valor particular de la precipitación media anual (PMA).

Sus principales atributos son:

Nombre.

Código.

PMA.

Coord X.

Coord Y.

Suelo. Son todos los tipos de suelo que se distribuyen a lo largo de la cuenca y para los cuales se tiene un valor particular del factor K.

Sus principales atributos son:

Nombre.

Código.

Factor K.

Area

Pendiente del terreno. Se refiere a la pendiente en % de cada área del terreno y que es función de la topografía igualmente se puede asignar un valor de factor Longitud de la Pendiente del Terreno (factor L), de acuerdo a la pendiente que exista..

Sus principales atributos son:

Código.

Nombre.

Area.

Pendiente %.

Factor L.

Cobertura Vegetal. Son todos los tipos de cobertura vegetal que se puedan encontrar en la cuenca.

Sus principales atributos son:

Código.

Nombre.

Area.

Factor C.

Práctica de Cultivo: son todas las áreas en las cuales se realizan prácticas de cultivo, pueden ser diferentes prácticas cada una de las cuales tiene un factor P asociado, los atributos son:

Código.

Nombre.

Area.

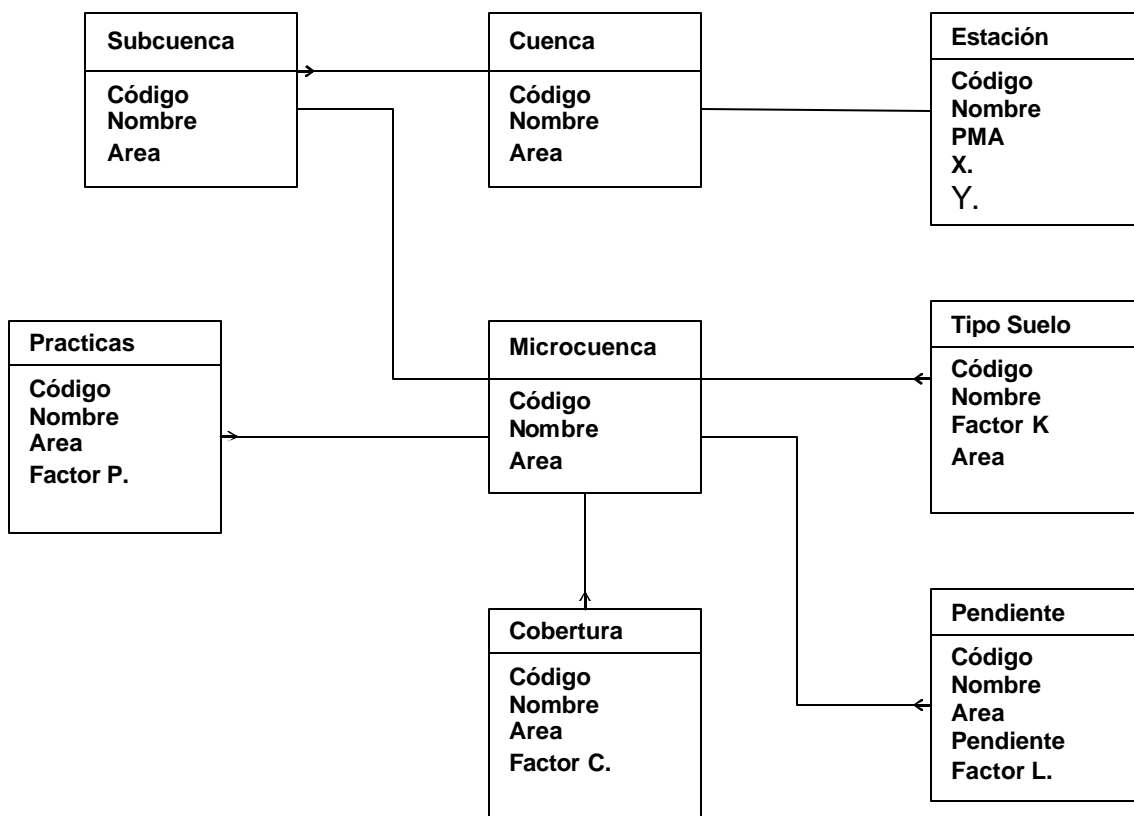
Factor P.

4.4 MODELO ENTIDAD RELACION

Las entidades creadas tiene una relación tanto de pertenencia como de agregación, cada una de estas forma parte de otra, en el caso de cuencas, encontramos que una cuenca esta dividida en subcuencas y estas a su vez en microcuencas; igualmente los tipos de suelo, cobertura vegetal, precipitación, prácticas de cultivo, factor % y longitud de la pendiente corresponden tanto a una microcuenca como a una subcuenca o cuenca.

Veamos entonces a continuación las relaciones entre las diferentes entidades definidas para su análisis.

Figura 7. Diagrama Entidad Relación para el modelo de erosión.



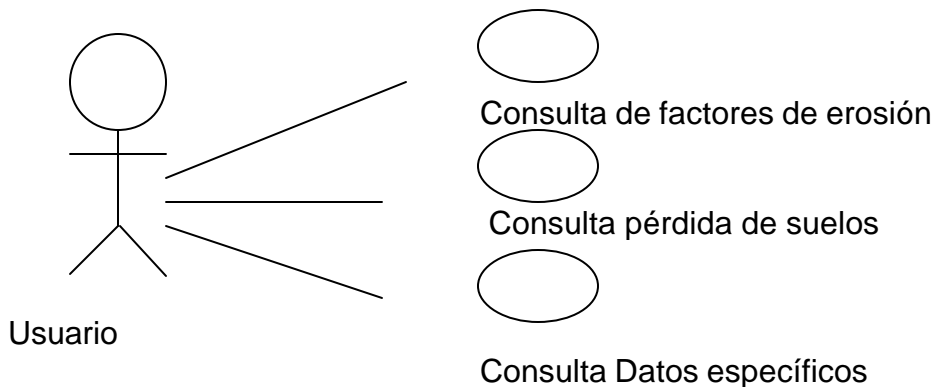
Base de Datos

Para el presente trabajo solo se utilizan la base de datos, o las tablas de ArcView, pero una vez se establezca por el grupo SIG de la Corporación y una vez se realice la concertación con la subdirección de Planeación y Sistemas la base se tendrá que ajustar para que funcione dentro del diseño del sistema institucional.

4.5 CASOS DE USO

En el proceso de utilización de la herramienta se han establecidos los siguientes casos de uso:

Figura 8. Modelos de casos de uso.



4.5.1 Consulta pérdida de suelos.

Para este caso de uso, el usuario que desea consultar la información de factores de erosión, ingresa las coordenadas del punto donde se pretende calcular la pérdida de suelo total anual. El sistema lo que debe hacer es que a partir de los temas .shp debe generar grids o en otras palabras convertir los polígonos de formato vectorial a formato raster y posteriormente para cada uno de los temas raster realizar los cálculos mediante las fórmulas matemáticas previamente especificadas para finalmente generar cada factor

de erosión; posteriormente computa los valores contenidos en cada factor celda por celda y hace los cálculos para obtener el valor solicitado, una vez lo obtiene lo envía al visor para ser visualizado por el usuario.

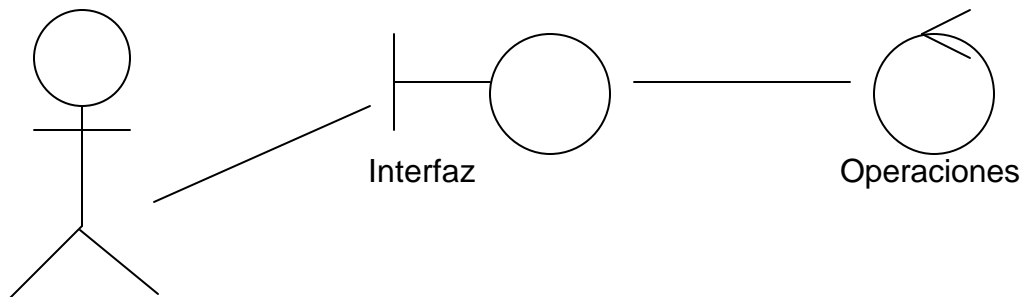
4.5.2 Consulta Factores de erosión en la microcuenca

Cada uno de los factores que componen la ecuación universal de pérdida de suelo podrá ser consultado por aparte, para este procedimiento el usuario deberá primero a partir de los temas erodabilidad del suelo, cobertura vegetal y prácticas de cultivo en formato vectorial el sistema debe convertirlos a formato raster asignando a todas las celdas el valor correspondiente al factor convertido, para los temas de erosividad de la lluvia y factor topográfico, el sistema debe generar una distribución matricial o raster mediante interpolación y cálculos matemáticos especificados para generar el mapa del factor particular. Una vez generado el mapa del factor particular se puede consultar con las herramientas de ArcView para un punto determinado y luego el resultado es enviado al visor para poder ser consultado por el usuario.

4.5.3 Consulta datos específicos.

El usuario podrá consultar un dato específico de los objetos del sistema, para este uso el usuario solicita por la interfaz el dato deseado, el sistema directamente consulta la base de datos correspondiente y lo presenta a través del visor del sistema.

Figura 9. Modelo de análisis

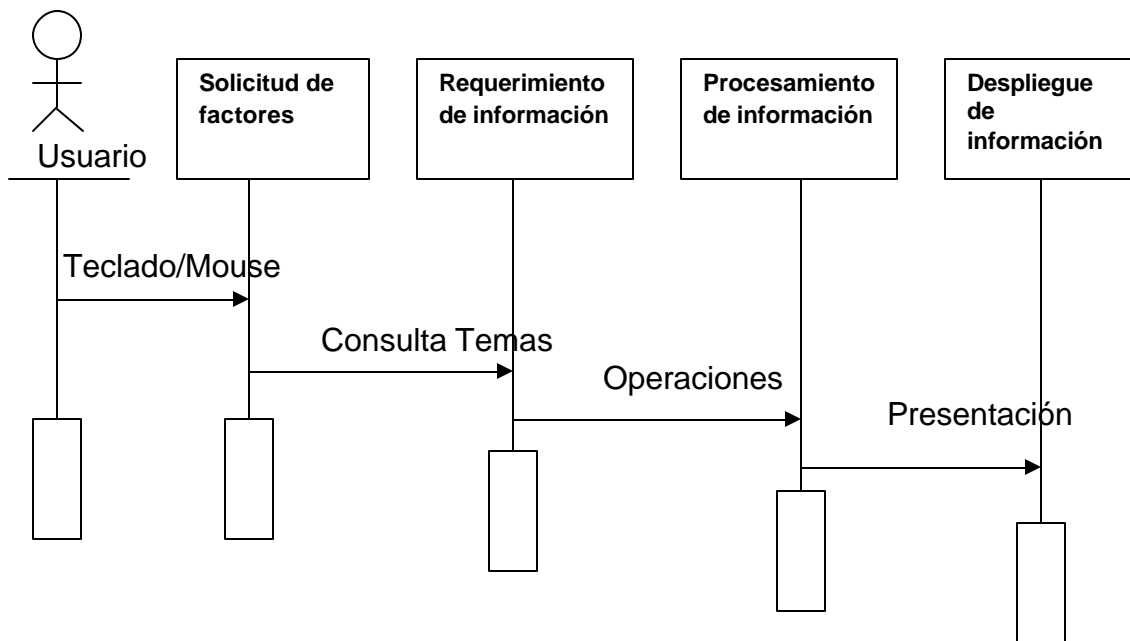


Usuario

Para todas las consultas el modelo de análisis se mantiene, todo el procedimiento es similar para los diferentes casos de uso. El usuario hace la solicitud y el sistema a partir de temas de entrada realiza una serie de operaciones y genera la respuesta.

A continuación se presenta un diagrama de secuencia de las operaciones a realizar en los casos de uso.

Figura 10. Diagrama de secuencia.



4.6 REQUERIMIENTOS DE INFORMACION DE ENTRADA AL SISTEMA

Teniendo en cuenta el marco teórico y lo expuesto en los anteriores apartados se presenta a continuación los requerimientos que han sido

evaluados con los funcionarios de la CDMB que serán usuarios y que utilizan esta información en las actividades de rutina para su trabajo y de las personas que estarán encargados del manejo del sistema.

4.6.1 Cartografía Básica.

En cuanto a la cartografía se requiere el mapa base de la cuenca hidrográfica con toda la información geográfica tales como curvas de nivel, leyenda básica, coordenadas, escala 1:25000. Para este caso se tomó la cuenca de la quebrada La Angula como cuenca piloto, ya que tiene suficiente información temática de estudios previamente realizados.

4.6.2 Información temática

Se requiere el mapa de distribución de precipitación, mapa de tipo de suelos, mapa topográfico, mapa de cobertura vegetal y mapa de prácticas de cultivo con el fin de trabajar los modelos para pérdida de suelo.

4.6.3 Información Requerida De Precipitación.

Se requiere para cada uno de los puntos de la microcuenca la información de precipitación, para efectos del presente trabajo se utilizará el resultado en este aspecto, del estudio realizado con el convenio que la CDMB realiza con la Universidad Industrial de Santander UIS denominado "EVALUACION DEL POTENCIAL HIDRICO DE LA QUEBRADA LA ANGULA", específicamente se utiliza la información sobre las estaciones pluviométricas y su valor de precipitación promedio multianual..

Para lograr lo anterior, se utilizan los datos de precipitación que genera y mantiene en bases de datos el grupo de concesiones a partir de los valores de las estaciones de registro de precipitación tanto de la CDMB como del IDEAM.

5. DESCRIPCION DEL SISTEMA ELABORADO EN ArcView

La aplicación del modelo de pérdida de suelo promedio anual en la Subcuenca La Angula fue realizada en ArcView, utilizando para ello el modelo matemático descrito anteriormente de la ecuación universal de pérdida de suelo USLE por sus siglas en inglés.

La aplicación es muy simple, consistió en utilizar las funciones de ArcView y automatizar el proceso mediante la programación en Avenue, de los scripts que hacen que el programa funciones como un sistema. los atributos de las diferentes entidades se tienen algunas la base de datos Access otras tablas son las mismas de ArcView.

Implementar este modelo, será una de los retos que las CAR tieneN hacia el futuro para la adecuada administración del recurso suelo en las cuencas de su jurisdicción.

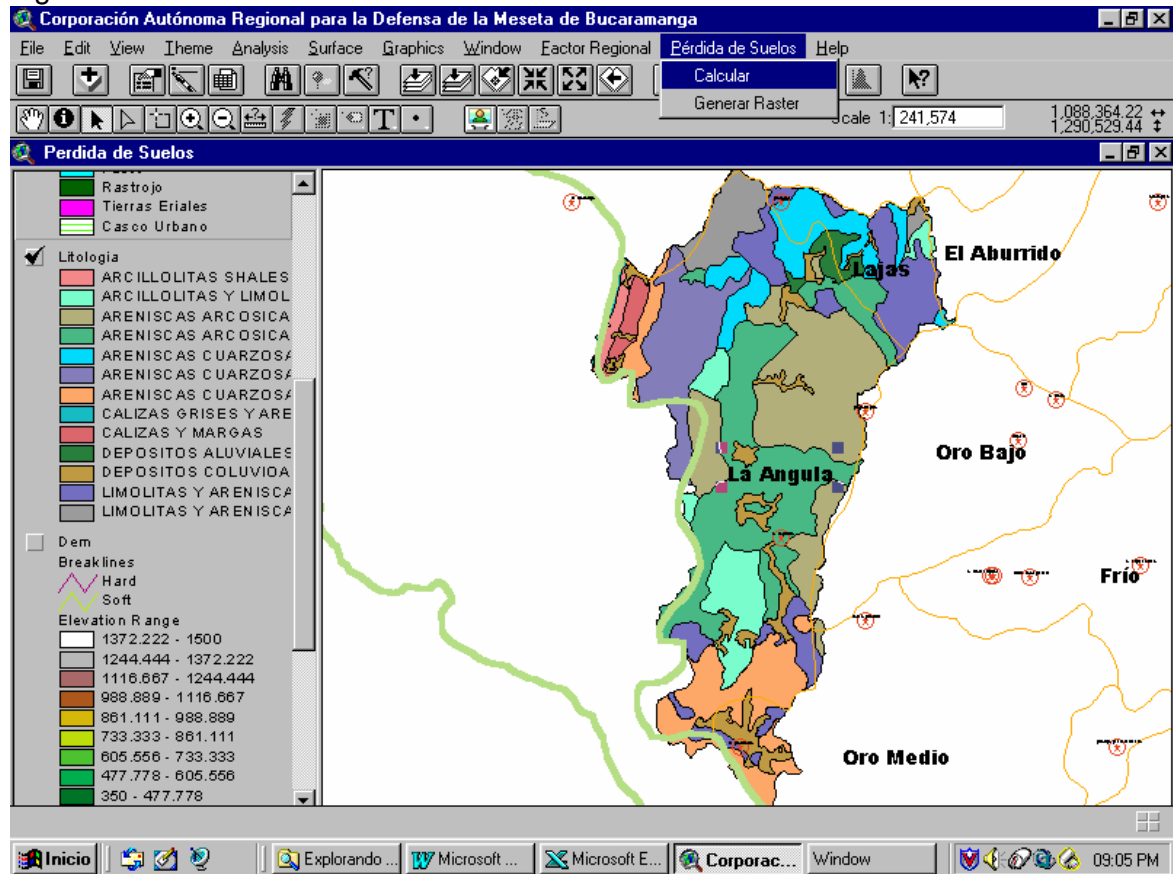
La interface utilizada es la misma de ArcView, simplemente se le adicionaron un botón y una opción de Menu para seleccionar ya sea generar los mapas raster de los diferentes factores involucrados en la ecuación de pérdida de suelo y el mapa de pérdida de suelo y la otra opción es calcular la pérdida promedio anual de suelo en un unto especificado mediante coordenadas por el usuario o utilizando el puntero en algún sitio del área de la cuenca.

En la opción del Menú Pérdida de Suelos de Generar Raster, el sistema genera los mapas de factores en una vista diferente a la principal, allí en cada uno de estos mapas se puede visualizar la distribución de los valores de los factores: erosividad de la lluvia, erosionabilidad del suelo, factor longitud y pendiente del terreno, factor cobertura vegetal y para prácticas de cultivo no se generó mapa debido a que en la cuenca se puede decir que no se tienen prácticas culturales por lo que se escogió un valor de 1 para dicho factor. El ultimo mapa en generar en esta opción es el de Pérdida de Suelo, el cual resume todo el proceso y muestra la distribución de pérdida de suelo promedio anual en Ton/Ha de la cuenca.

En la opción de calcular en un punto específico, se genera un cuadro de diálogo en donde se pide especificar las coordenadas o utilizar el puntero para escoger un punto cualquiera dentro de la cuenca. Al hacerlo, internamente el sistema calcula la precipitación promedio anual para la

cuenca utilizando dos métodos de interpolación el IDW y el SPLINE para generar la distribución. Genera los valores de los diferentes factores en ese punto. Genera el valor numérico de la pérdida de suelo anual promedio en Ton/Ha.

Figura 11. Interface de la herramienta



6. PRESENTACION DE RESULTADOS

6.1 CALCULO DEL FACTOR EROSIVIDAD DE LA LLUVIA (FACTOR R) PARA LA CUENCA ANGULA.

En esta monografía se toman las estaciones pluviométricas de la cuenca y sus alrededores, se calcula la precipitación promedio anual para cada estación por lo que quedará como una distribución de valores a lo largo de la cuenca y sus alrededores. Con base en este mapa se realiza un proceso de interpolación utilizando los métodos IDW y Spline para generar un mapa raster de precipitación, para cada método utilizado se valida el modelo y se utilizará el que resulte más aproximado a los valores reales.

Con este mapa raster de valores promedio, se aplica la ecuación anterior mediante programación y se realizará el cálculo del factor R de erosividad para toda la cuenca.

El siguiente es el resultado para el caso tratado:

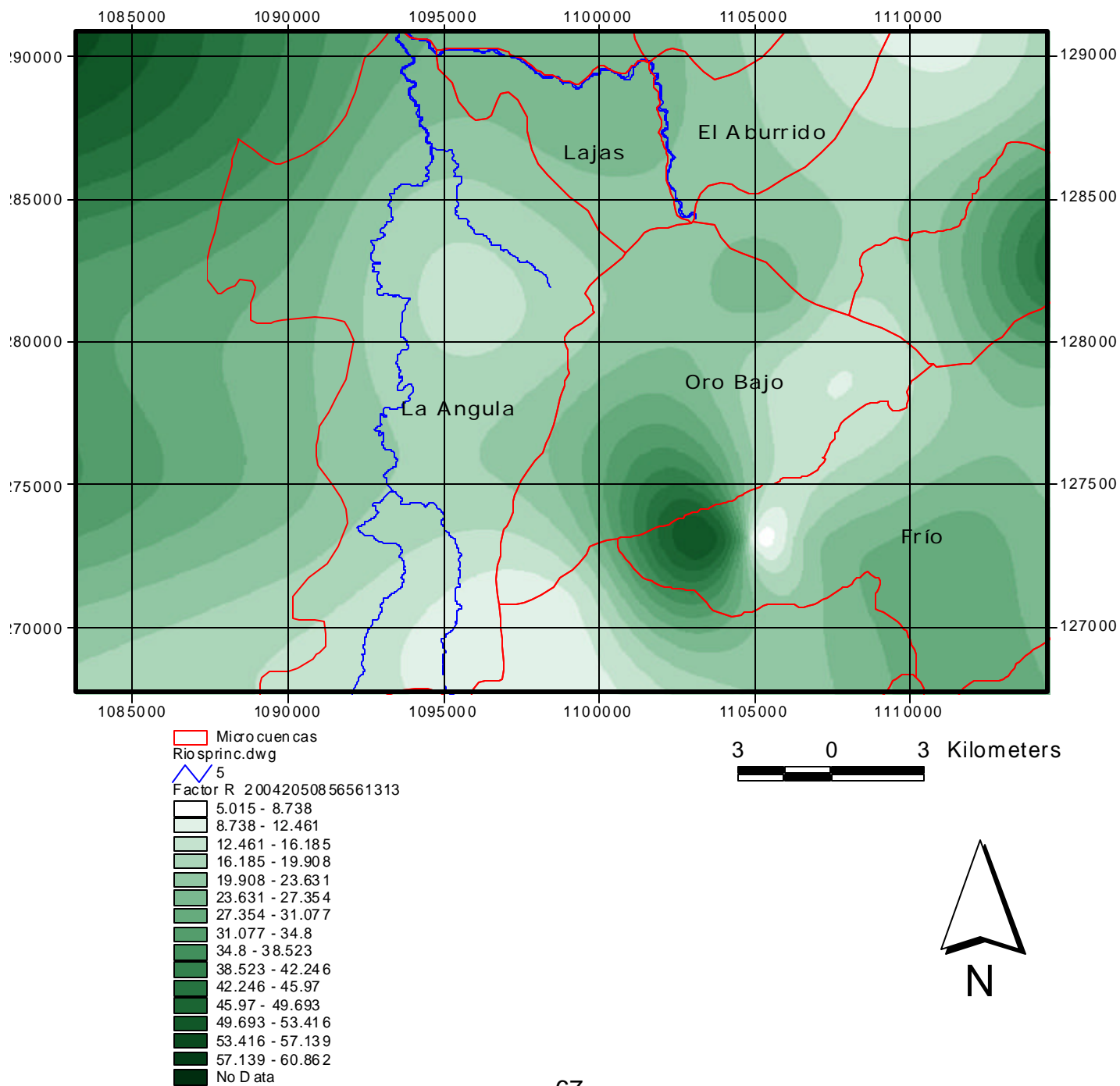
Tabla 5. Valores de precipitación media multianual de las estaciones utilizadas.

Estación	Total Mes												Total Anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
VETAS_EL_POZO	21	38	56	129	118	57	33	61	99	133	89	33	868
MATAJIRA	40	62	84	108	113	53	32	55	99	127	95	48	915
UIS	89	96	134	127	145	93	113	81	114	123	107	71	1,293
VIVERO_SURATA	28	50	74	154	147	63	36	68	124	175	127	51	1,097
TONA	59	93	143	229	188	47	28	61	122	213	172	95	1,449
BERLIN	13	32	36	84	91	56	52	66	93	94	50	22	688
PALONEGRO	60	73	113	130	117	72	91	75	99	137	113	54	1,134
LLANO_GRANDE	39	45	102	98	96	62	79	77	93	115	82	29	914
GJA_PIEDECUESTA	87	98	171	138	155	90	90	89	144	169	132	79	1,441
PALOGORDO	47	57	93	95	119	73	88	74	108	116	90	37	996
EL_PICACHO	33	69	73	206	226	133	109	153	194	203	142	51	1,592
LA_GALVICIA	100	116	149	177	202	179	160	168	198	231	168	89	1,938
LAGUNALA	57	77	116	125	114	76	83	86	93	135	131	44	1,139
LLANODE PALMAS	85	107	149	153	137	67	75	87	129	194	159	85	1,425
PALMAS	69	108	149	144	146	71	71	75	117	167	164	74	1,352
FLORESTALA	65	84	121	122	140	101	122	115	120	123	102	53	1,269
NARANJOEL	68	102	181	234	264	120	94	115	178	253	230	126	1,963
PANTANO EL	43	53	97	101	101	63	75	84	107	122	107	36	989
CLUB_CAMP	66	67	111	101	133	83	106	73	116	121	108	49	1,134
GRAMAL	46	60	92	137	104	33	21	47	92	146	125	41	944
LA_FLORA	61	75	98	90	109	71	80	69	92	96	98	68	1,007
CDMB	57	67	102	100	113	80	87	71	90	92	109	44	1,012
MARIANA LA	43	66	85	143	162	112	91	118	147	166	117	56	1,306
EL_ROBLE	50	82	136	233	212	61	47	84	157	251	182	86	1,581
LAGO_ALTO	45	70	85	206	218	90	90	114	200	271	159	72	1,620
PTAR	42	57	107	127	93	74	108	80	84	127	94	30	1,022
LA_ESPERANZA	99	96	148	128	164	111	111	91	128	164	120	85	1,444
SEVILLA	26	61	73	115	137	97	104	114	156	183	112	44	1,223
EL_RASGON	41	74	72	120	137	105	112	127	152	136	107	39	1,220

Tomado de: Evaluación del Potencial Hídrico Cuenca de la Quebrada La Angula
UIS-Geeomática. 2003.

Figura 12. Mapa del factor erosividad de la lluvia

Factor Erosividad de la LLuvia



6.2 CALCULO DEL FACOR ERODABILIDAD DEL SUELO

Para el tipo de suelo, que es un mapa de distribución de suelos, no puede generarse a partir de puntos de muestreo, ya que no se considera el tipo de suelo una variable regionalizada, sino más bien la distribución de los tipos de suelo se encuentran en función de la distribución de los materiales geológicos del subsuelo o litología (material parental en términos agrológicos), a partir de los cuales se generan los suelos por meteorización de la roca original. Sin embargo el mapa de entrada debe ser el mapa de tipos de suelo en el sentido agrícola en donde cada tipo de suelo presenta un valor distinto del factor de erosividad del suelo.

Esta información se tomó de una caracterización geológica de la cuenca de la quebrada la Angula que fue realizado en una tesis de grado (Bueno E. y otros 1997), para la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga.

Para determinar el factor K, en la Subcuenca de la Angula, se empleó el mapa de distribución litológica en la cuenca (Bueno E. 1998), y se reclasificó teniendo en cuenta el tipo de textura y los perfiles de meteorización, mediante los cuales se realizó para determinar los tipos de suelo de acuerdo a la textura. En la zona de la cuenca, se presentan suelos con las siguientes valores de textura y factor K Ver

Cuadro 3.

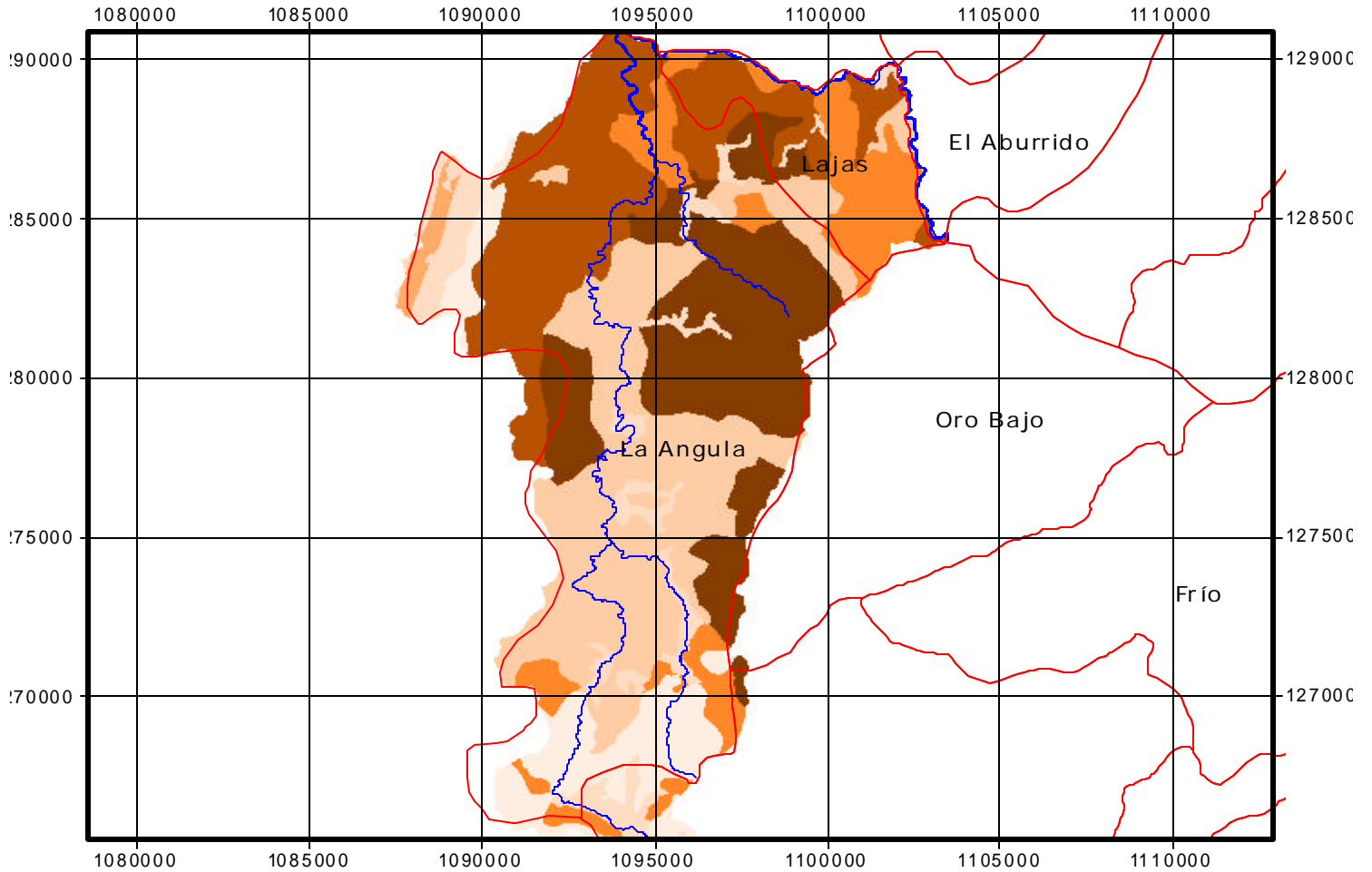
Tabla 6. Factor de erodabilidad del suelo para la cuenca angula.

Tipo de Litologías cartografiadas en la cuenca	Textura del Subsuelo	K
Arcillolitas shales negras	Arcilla, arcilla limosa, limo arcilloso	0.32
Arcillolitas y limolitas rojovinosas	Limo arcilloso	0.28
Areniscas arcoscicas de grano medio a grueso	Areniscas	0.49
Areniscas arcoscicas y limolitas rojovinosas	Limoso y limo arenoso	0.27
Areniscas cuarzosas conglomeraticas y arcoscicas	Conglomerados	0.43
Areniscas cuarzosas conglomeraticas y limolitas rojovinosas	Conglomerados	0.42
Areniscas cuarzosas friables y arcillolitas grises	Arenoso	0.17
Calizas grises y areniscas amarillentas	Residuos de caliza	0.24
Calizas y margas	Arcilloso calcáreo	0.23
Depositos aluviales antiguos	Gravas medias o gruesa	0.49
Depositos coluvialuviales recientes	Grava fina a moderadamente fina	0.24
Limolitas y areniscas arcillosas rojas interestratificadas	Arcilloso y arcillo limoso	0.37
Limolitas y areniscas limosas gris verdosas	Limo arenoso	0.43

Tomado de Perez G. S., 2001.

Figura 13. Mapa del Factor Erodabilidad del suelo

Factor Erodabilidad del Suelo

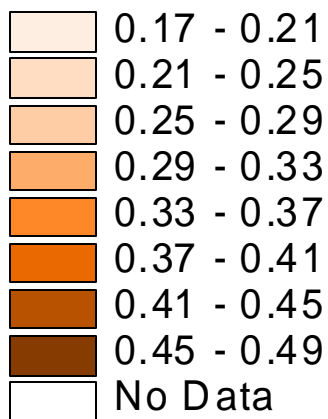


Microcuencas

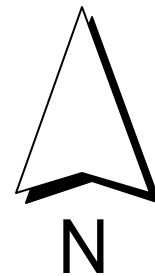
Rios princ. dwg

5

Factor K 20042050855555151



3 0 3 Kilometers



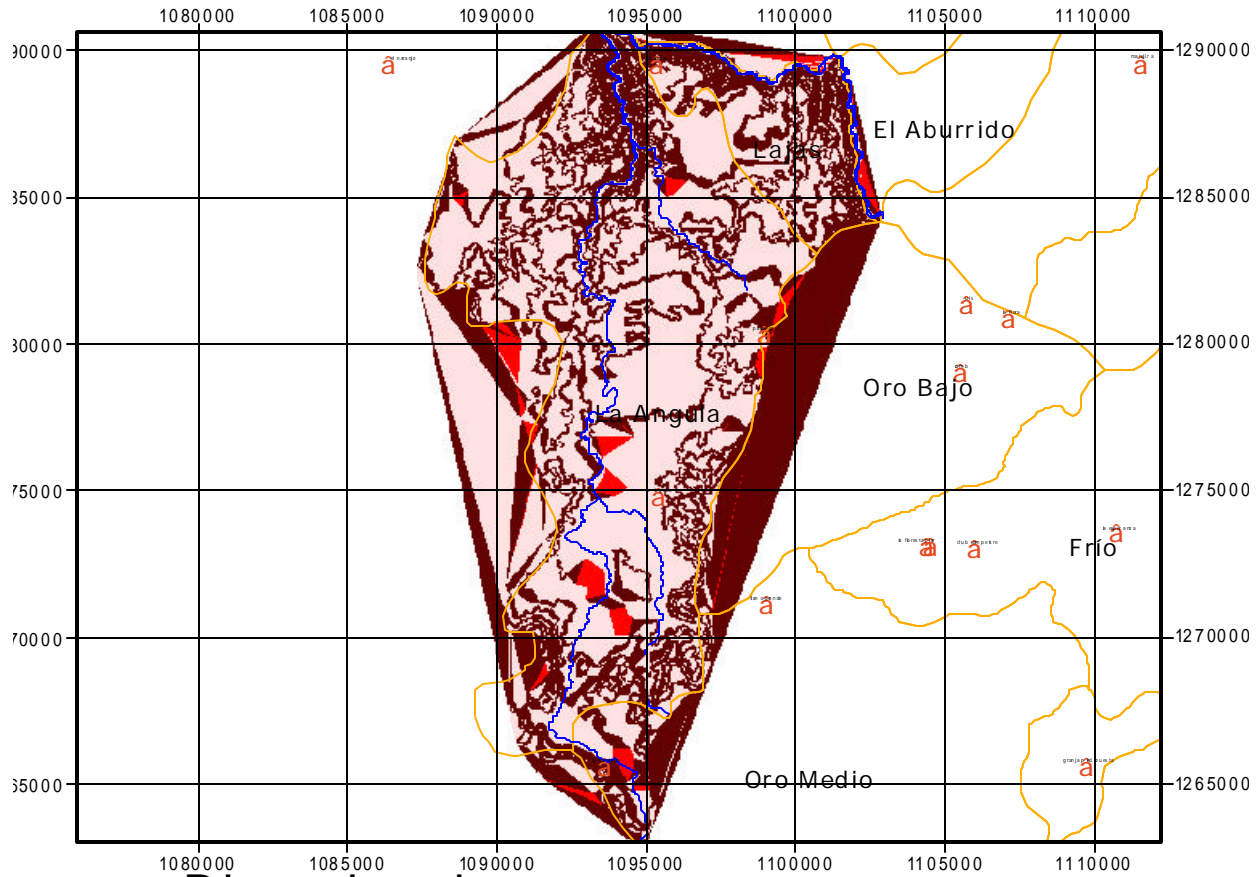
6.3 CALCULO DEL FACTOR LS PARA LA CUENCA

A partir de la distribución de curvas de nivel en el terreno que será un requerimiento de información de entrada, se elabora un mapa de pendientes en determinados rangos de pendiente, en este caso 0 a 3%, 3 a 5% y mayor a 5%.

Para calcular este factor en la cuenca se hizo lo siguiente: a partir del mapa topográfico se realizó primero un mapa raster de pendiente de acuerdo a la topografía o distribución de las curvas de nivel posteriormente aplicando las fórmulas para una celda de 25 m se calculó el factor I y posteriormente el factor S y posteriormente se computaron los dos mapas para producir uno final del factor LS.

Figura 14. Mapa de Pendientes de la subcuenca

Distribución de Pendiente del Terreno



Riosprinc.dwg



5

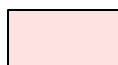
â

Estaciones



Microcuencas

Pendiente



0 - 3



3 - 5



5 - 88.243



No Data

3 0 3 Miles

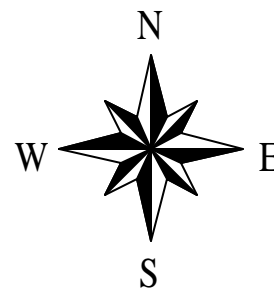
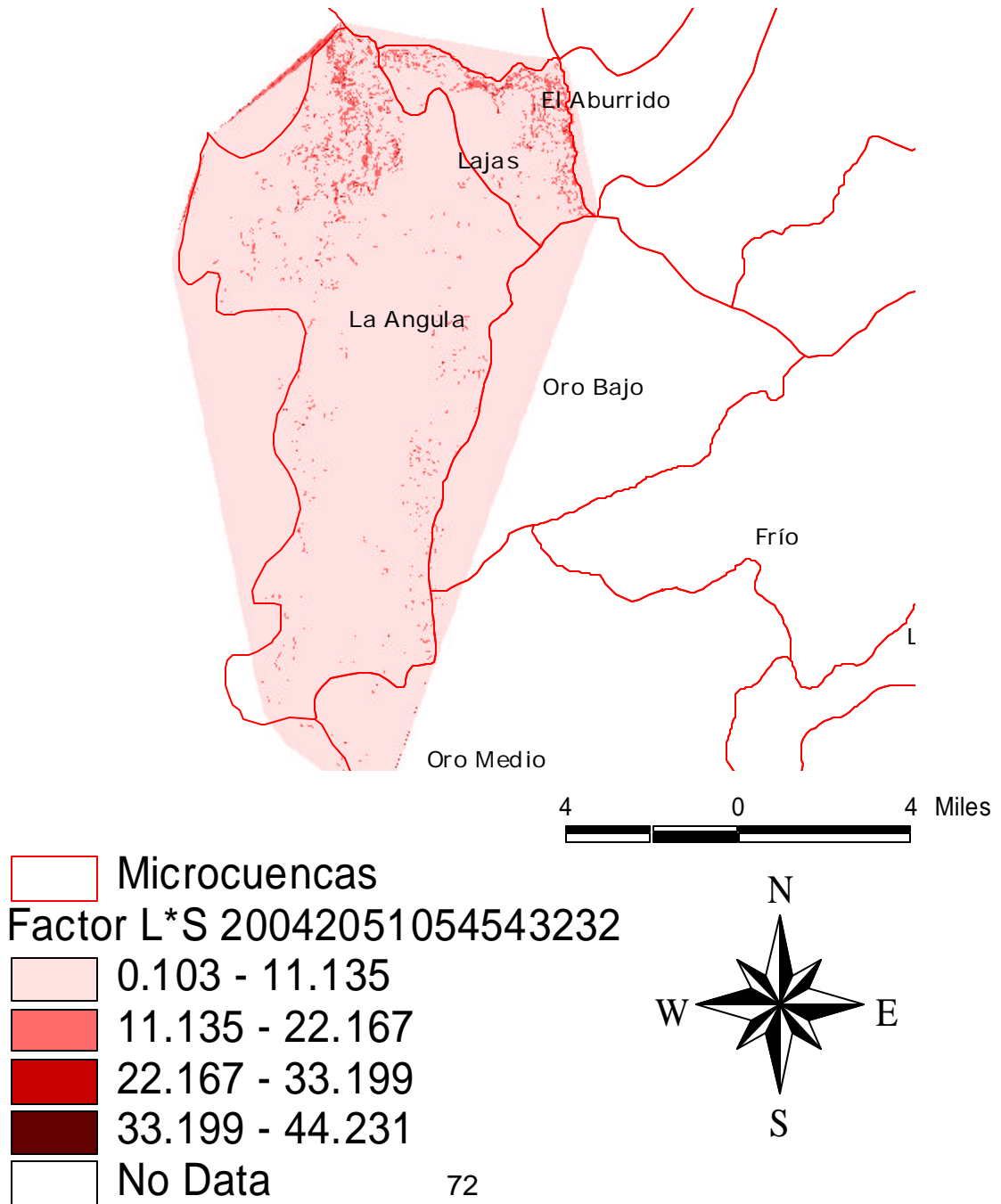


Figura 15. Mapa del –Factor Longitud y pendiente

Factor Longitud y Pendiente



6.4 MAPA DE COBERTURA VEGETAL

La cobertura vegetal debe estar disponible en un mapa de distribución de la cobertura vegetal o uso del suelo. Esta información es la entrada al sistema. cada tipo de vegetación presenta un grado de protección contra la erosión y estos valores se asignan a los polígonos del mapa de distribución de tipos de suelo.

En la literatura se pueden encontrar valores para el parámetro C para los programas más frecuentes de cultivo y manejo, unas asociadas a tipos de cultivo en Colombia y otras a tipos de cultivo en otros países, estas tablas sirven para determinar este factor en el área de la cuenca tomando como base el mapa de cobertura y uso del suelo de la cuenca y realizando las adaptaciones necesarias de acuerdo a los tipos de cobertura o uso del suelo.

Para el caso que nos ocupa, se tomó el mapa de cobertura vegetal y usos del diagnóstico ambiental y plan de ordenamiento y manejo de la cuenca la Angula, en el área de jurisdicción de la Corporación.

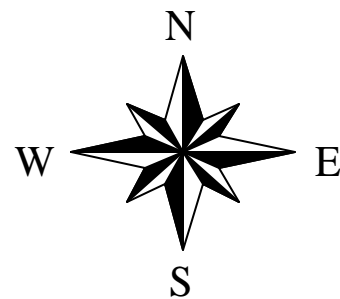
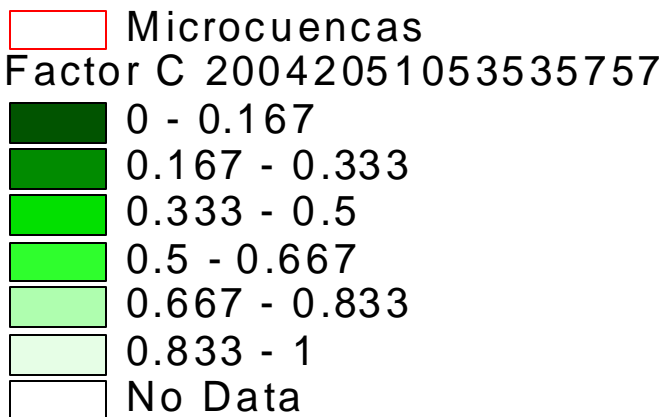
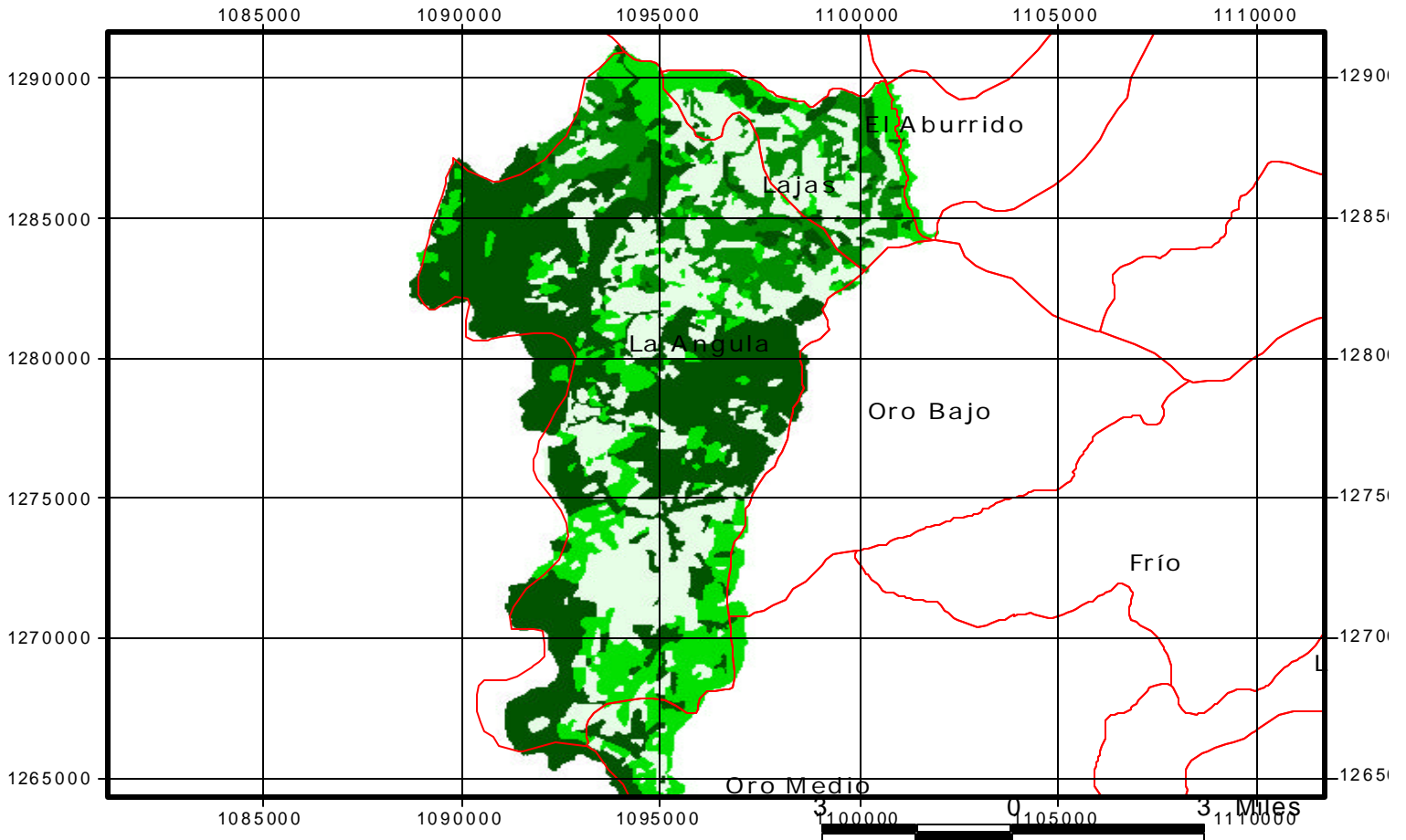
En el **Tabla 7.** se ven los valores adoptados para la cuenca en estudio.

Tabla 7. Reclasificación de cobertura vegetal con su valor de C.

Cobertura Vegetal	C	Leyenda del mapa de cobertura vegetal cuenca angula.
Aeropuerto	0.0	Aeropuerto
Area Urbana	0.0	Area Urbana
Construcciones rurales	0.001	Grandes Equipamentos
Bosques naturales intervenidos	0.34	Rastrojo
Bosques naturales	0.0006	Bosques
Bosques plantados	0.02	Bosque Plantado
Cultivos permanentes y transitorios no tecnificados	0.3	Barbecho
Cultivos permanentes	0.5	Cultivos Permanentes
Pajonales	0.12	Pajonales
Cultivos transitorios	0.9	Cultivos Transitorios
Tierras malas	1.0	Tierras Eriales
Pastizales	0.078	Pastos
Cuerpos de agua	0.0	

Figura 16. Factor de Cobertura Vegetal

Factor Cobertura Vegetal



6.5 MAPA DE PRÁCTICAS DE CULTIVO EN EL ÁREA

Otra entrada al sistema es la distribución espacial de las áreas de cultivo en donde se presentan prácticas culturales de manejo y conservación de suelos, tales como surcos en contorno, terrazas, cultivos en fajas, drenaje subsuperficial, medidas de conservaciones en tierras silvopastoriles, etc., para el caso de la cuenca Angula, allí raramente se utilizan prácticas de conservación por lo que solo se utilizó un valor único, en este caso el valor más desfavorable para la realización del modelamiento.

En la cuenca se puede asumir que no existen prácticas de cultivo por lo que se adoptará un valor para este **factor de uno**, para asumir la situación más desfavorable.

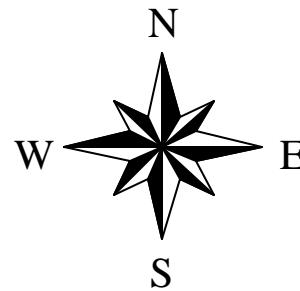
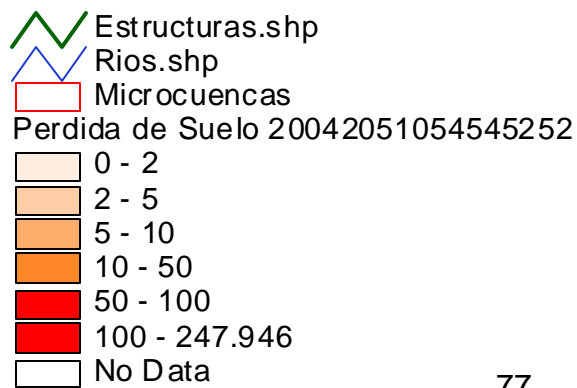
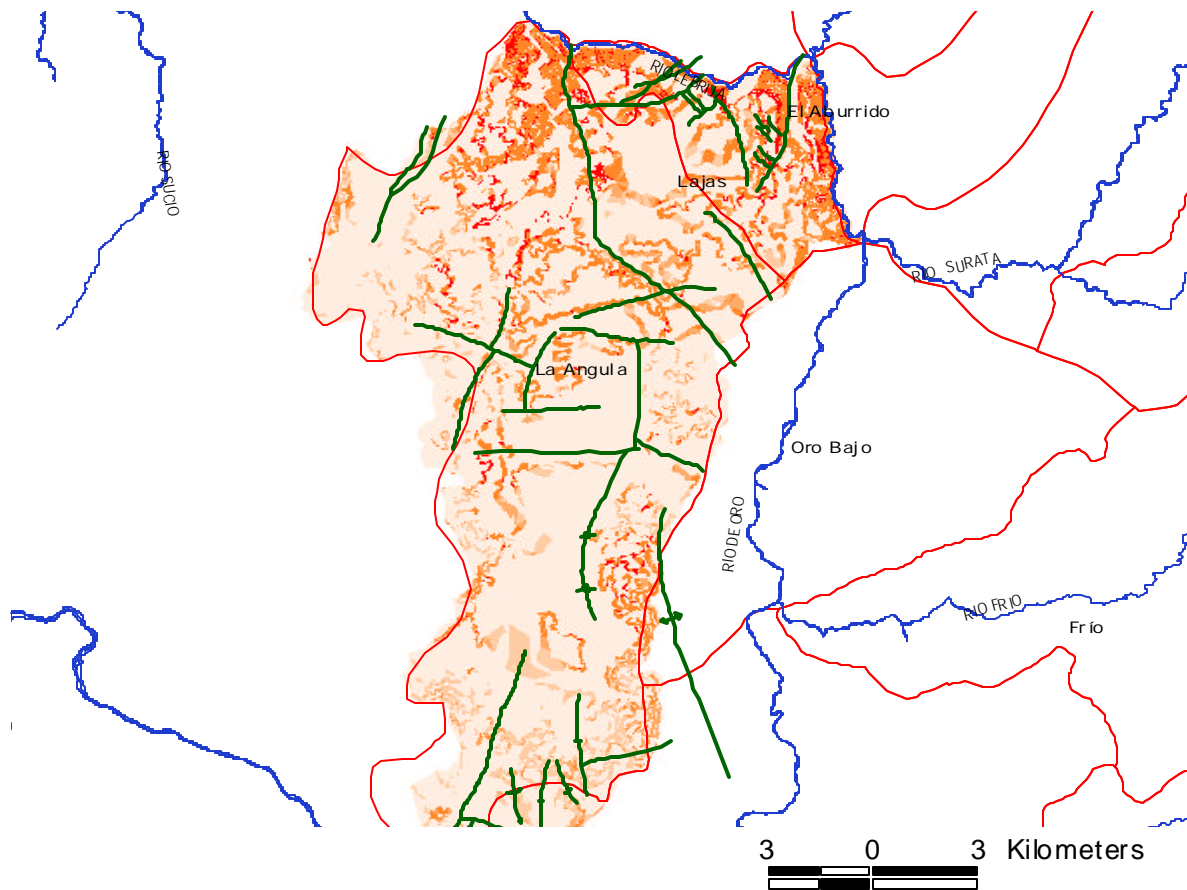
7. PERDIDA DE SUELO ANUAL EN LA MICROCUENCA LA ANGULA

El producto final de salida de este sistema es un mapa raster en donde se encuentra la distribución de la pérdida de suelo anual en función de cada uno de los factores de erosión que son generados previamente en formato raster.

Este mapa igualmente muestra en colores las zonas en donde se está perdiendo la mayor cantidad de suelo dentro de la cuenca.

Figura 17. Mapa de Pérdida de Suelo de la Subcuenca Angula

Pérdida de Suelo Anual



8. ANALISIS DE RESULTADOS

Los resultados de la aplicación del modelo en la cuenca son los siguientes: como se puede ver en la mayor parte de la cuenca se presentan pérdidas de suelo menores a 5 Ton/Ha-año. Solo en algunos sectores muy localizados se presentan pérdidas mayores a 50 Ton/Ha-año.

Los sectores de altas pérdidas de suelos parecen correlacionarse con sitios donde existe alto fracturamiento o actividad de fallas geológicas que permiten una mayor meteorización de la roca y generación de gruesos perfiles de suelo, pero también se correlaciona con el grado de pendiente el cual aumenta hacia la parte baja de la cuenca.

Otra correlación encontrada es la de que la pérdida de suelo entre 5 y 10 toneladas se correlaciona con las áreas de cultivos transitorios, seguramente debido a la inexistencia de prácticas de conservación de suelos.

Los altos valores de pérdida de suelos en la cuenca, posiblemente no reflejen la realidad, porque valores tan altos como de 100 ton/Ha_año, no son explicables a menos que existan problemas gravísimos de deterioro y remoción en masa. Seguramente lo que el modelo muestra es que existe la necesidad de calibrar los factores para la cuenca, ya que los datos asumidos para erosividad de la lluvia y erodabilidad del suelo han sido utilizados en suelos con pendientes muy suaves menores al 10%, en parcelas pequeñas de cultivo.

Algo interesante para observar es que al comparar la pérdida de suelo anual de la cuenca con el mapa de potencial de uso de suelo para la cuenca elaborado por la CDMB en su Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental de la Subcuenca, las áreas de mayor producción de sedimento coinciden con las áreas de potencial para protección absoluta, por lo que se espera que el modelo, aún sin haber calibrado exactamente los factores de la ecuación, predice con algún grado de exactitud las áreas donde se deben tomar acciones de protección por ser muy vulnerables.

Figura 18. Posible relación Alta erosividad - Fallamiento Geológico

Correlación con Estructura Geológicas

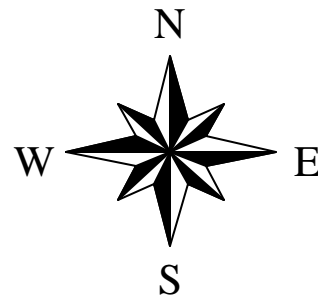
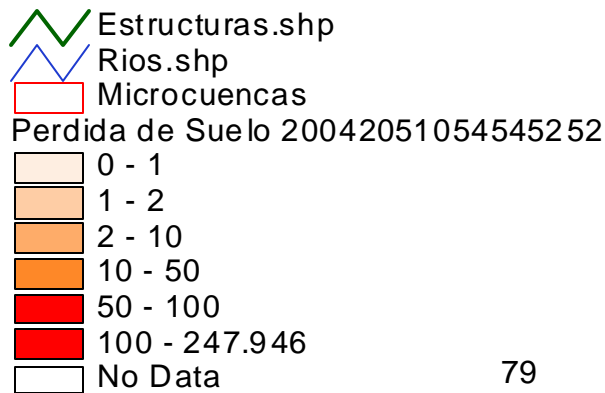
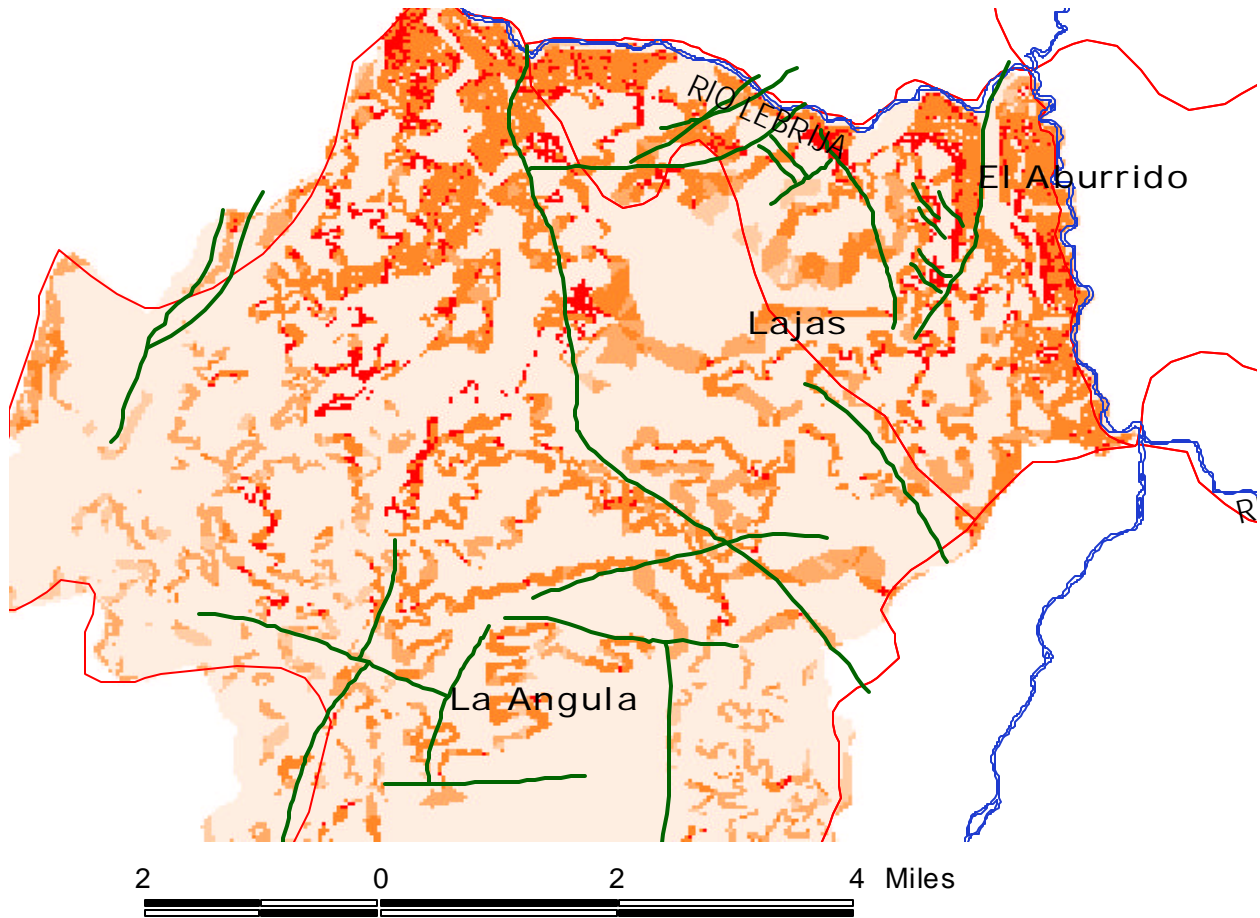
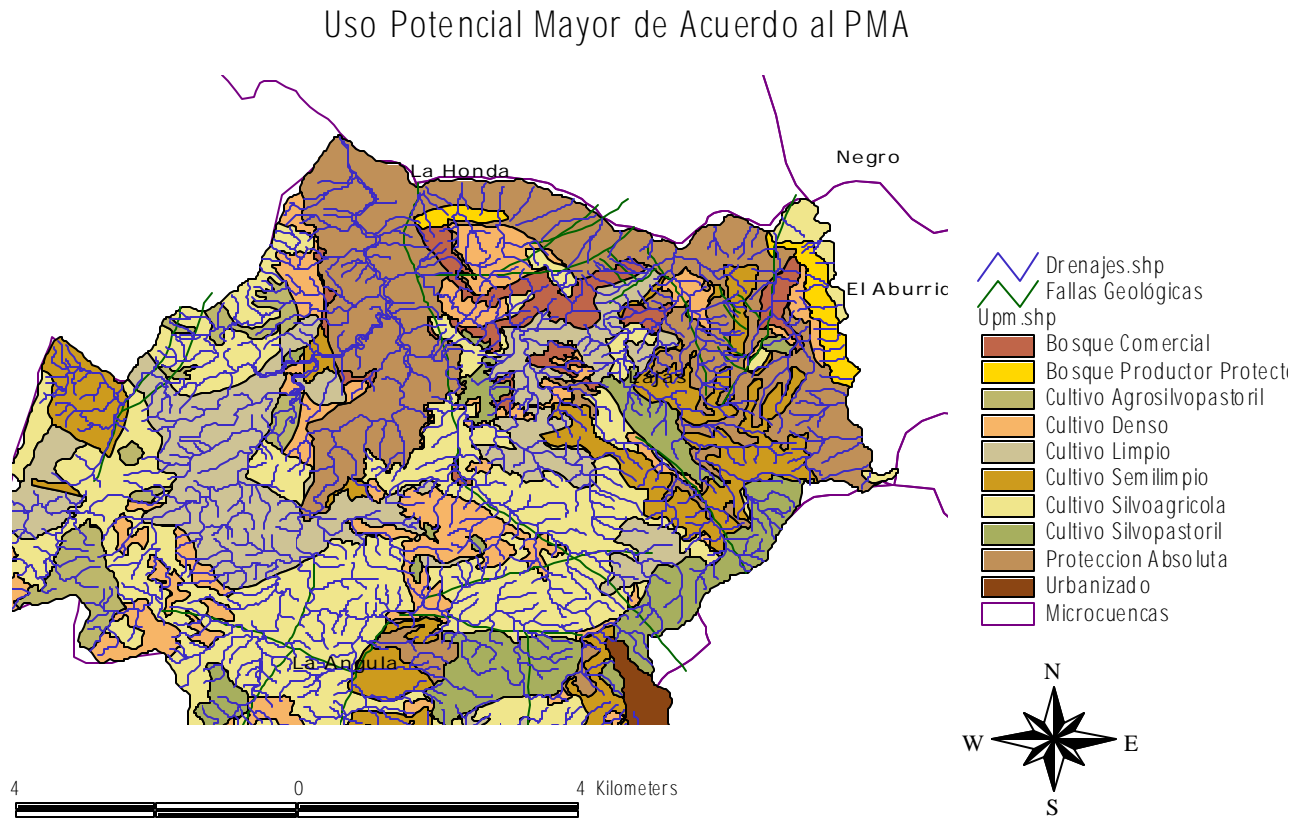


Figura 19. Correlación PMA Angula, Uso Potencial Protección Absoluta – Areas Alta Erosión



8.1 INVERSIÓN DEL PLAN DE MANEJO DE CUENCAS.

Los costos de inversión del plan de manejo de cuencas será una información que se puede generar a partir del conocimiento de las áreas de mayor potencial de erosión; en estos momentos la CDMB ha declarado en ordenamiento las cuencas de su jurisdicción y hasta ahora se empieza a hacer los diagnósticos para poder posteriormente calcular esta inversión en función tanto de las áreas a recuperar como otros factores que se tienen en cuenta en el grupo de ordenamiento territorial.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos se puede concluir:

La utilización de las aplicaciones SIG, son una herramienta valiosa para el análisis de información georreferenciada relacionada con el suelo y permite estimar la producción de sedimentos en cualquier subcuenca hidrográfica, integrando a nivel de celda de manera cuantitativa y sistematizada los diferentes factores que intervienen en el proceso de la erosión, de acuerdo a la metodología planteada en esta monografía.

Conocer la producción de sedimentos en cualquier punto de la cuenca es muy útil para determinar si las obras de captación por ejemplo, se encuentran en riesgo de ser colmatadas y permite tomar decisiones al respecto.

Una vez calibrados los factores de erosión en la cuenca, como generar los mapas de estos y el mapa de erosión media anual es muy fácil, se podría utilizar la herramienta para evaluar diferentes escenarios en los cuales se estudien las posibles respuestas del terreno de la cuenca frente a diferentes opciones de control o mitigación de erosión. Por ejemplo, ¿ que pasa si se acometen programas de reforestación en cierto número de hectáreas y en ciertos sectores de la cuenca?.

9.2 RECOMENDACIONES

El trabajo siguiente es el de validar el modelo y ver si el modelo se adecua o no a las condiciones de la zona, esto se podría lograr con datos reales de cálculo de producción de sedimento en la subcuenca.

Mediante la validación del modelo se podría llegar a calibrar los valores de los factores de erosividad de la lluvia, erodabilidad del suelo, longitud y pendiente del terreno y cobertura vegetal y poder generalizar su aplicación en cualquier área de jurisdicción de la CDMB.

Realizar el diseño e implementación de la herramienta utilizando las facilidades en cuanto a software y hardware así como del equipo técnico que existe en la CDMB y poderlo poner al servicio de la administración del recurso hídrico y suelos.

BIBLIOGRAFIA

Antezana Coca Julio Cesar. 2001. Calibración de los factores de erosión utilizando la ecuación universal de pérdida de suelo revisado “rusle” en sistemas de producción agrícola de la cuenca taquiña. tesis maestría profesional en “levantamiento de recursos hídricos (Manejo y Conservación de Cuencas)”. Centro de Levantamientos Aeroespaciales y aplicaciones SIG para el Desarrollo Sostenible de los Recursos Naturales. Bolivia.

Bueno, Edgar L. y Otros. 1997. Zonificación de unidades ecológicas del paisaje para el manejo sustentable de la Subcuenca Quebrada La Angula, Lebrija Santander. UIS Escuela de Ingeniería Civil. Especialización en Ingeniería de Preservación de Recursos Hídricos y Suelos. Bmga.

Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga. 2000. Estudio de Análisis de Conflictos de Uso y Prospectivos Respecto a Escenarios que Permitan Establecer Zonificación Ambiental y Reglamentación de Uso para el Ordenamiento Ambiental Territorial. Informe Final : Reglamentación de Usos, Estrategias, Programas y Proyectos, Proyecto de Acuerdo Rev: 3 Código interno No: JAG-CDMB-ANG-02. 5/09/00. Bucaramanga. 209 p.

Correa Velásquez Paula L, 2002. Sistema de Información Geográfica para la gestión del recurso hídrico a nivel de cuenca. Tesis de Grado UN. Medellín. Facultad de Minas. 2002.

Dooke R.U. and Doornkamp J.C., Geomorphology in environmental management, a new introduction 2nd Edition Oxford University Press. 1993.

FAO; Taller Regional sobre Aplicaciones de la Metodología de Zonificación Agroecológica y los Sistemas de Información de Recursos de Tierras en América Latina y El Caribe Santiago – Chile, Octubre 1996

Julio C. Antezana C. 2001. Calibración de los factores de erosión utilizando la ecuación universal de pérdida de suelo revisado “RUSLE” en sistemas de producción agrícola de la Cuenca Taquiña. Tesis de Maestría. CLAS (Centro de levantamientos aeroespaciales y aplicaciones SIG. Cochabamba, Bolivia.

Mannaerts, C en (Julio C. Antezana C.). 1999. Factores de erosión. Módulo 11: Degradación de suelos. ITC. Cursos de postgrado en levantamiento de recursos hídricos. Cochabamba, Bolivia.

Perez G. Sandra J. 2001. Modelo para evaluar la erosión hídrica en Colombia utilizando Sistemas de Información Geográfica. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Química. Especialización en Ingeniería Ambiental. Bogotá. 77p.

SIAC Sistema de información ambiental de Colombia. Perfil del estado de los recursos naturales y del medio ambiente en Colombia 2001. Julio de 2002, Colombia.

Universidad Industrial de Santander. CDMB, Desarrollo de una aplicación SIG para la cuantificación del recurso hídrico. Primer informe de avance. Subdirección de Normatización y Calidad Ambiental. Bucaramanga, 2003.

ANEXO A. MANUAL DEL USUARIO DE LA APLICACION

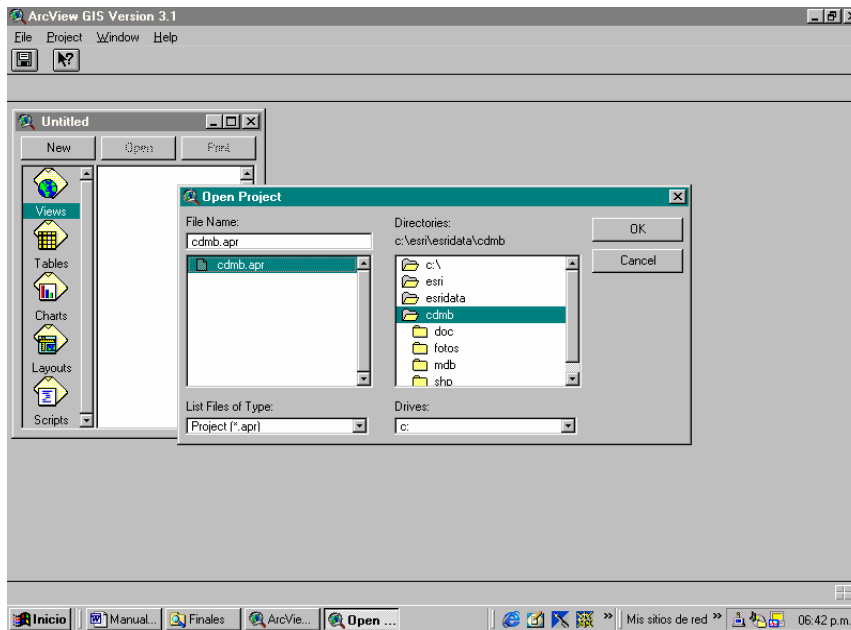
COMO ENTRAR Y SALIR DEL PROGRAMA

El proceso de instalación solo requerirá que se copie la carpeta CDMB al disco duro del computador en el directorio C:\ESRI\ESRIDATA.

Una vez instalado se selecciona el icono de ArcView que aparece en el escritorio , o dando clic en el menú inicio seleccione programas y allí ArcView.

Se desplegará una ventana nueva, selecciones Open an Existing Project y seleccionar en el directorio la carpeta cdmdb y en esta el archivo cdmdb.apr.

Para salir del sistema se debe presionar el icono Salir de la Aplicación o en el menú archivo selecciones salir de la aplicación.



La interfaz consta de vistas, tablas, scripts, diálogos y botones para su ejecución.

Además consta de un menú de Pérdida de Suelo y Consultas creados especialmente para la aplicación.

En el menú Pérdida de Suelo se encuentra:

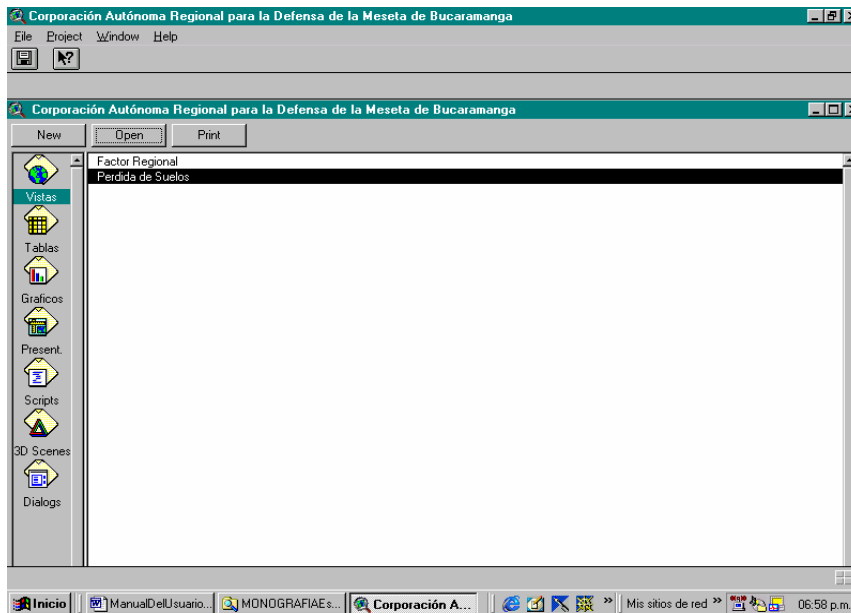


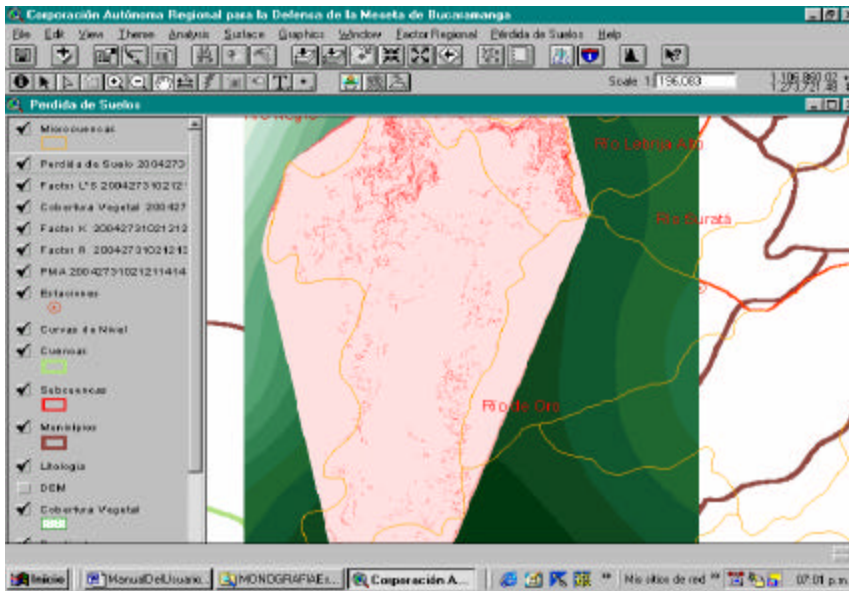
Perdida de suelo
 Calcular
 Generar Raster

Estas opciones se pueden ejecutar por el menú o por los botones creados para este fin los cuales corren un script programado para cada una de las funciones.

VISTAS

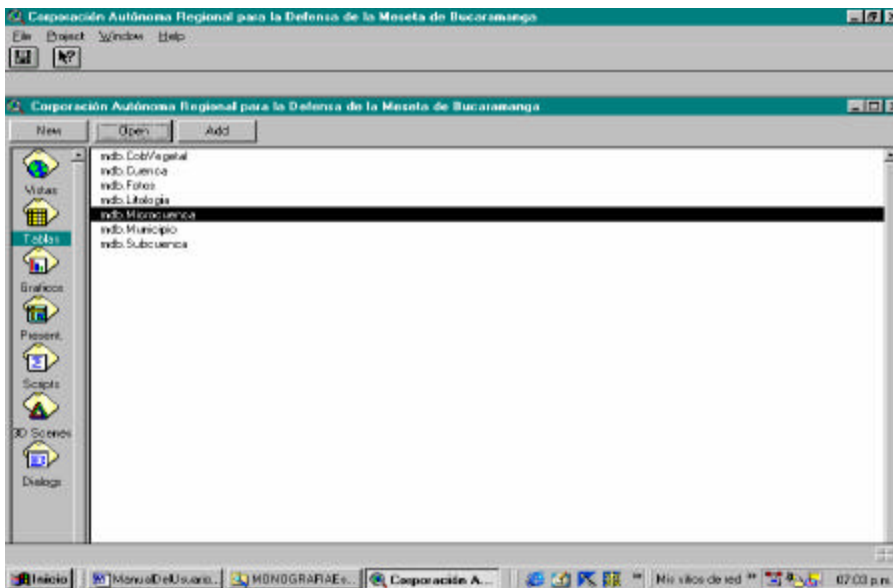
La Vista se llama Pérdida de suelos la cual permite desplegar los shapes y sobre esta vista se desarrollan todos los scripts.

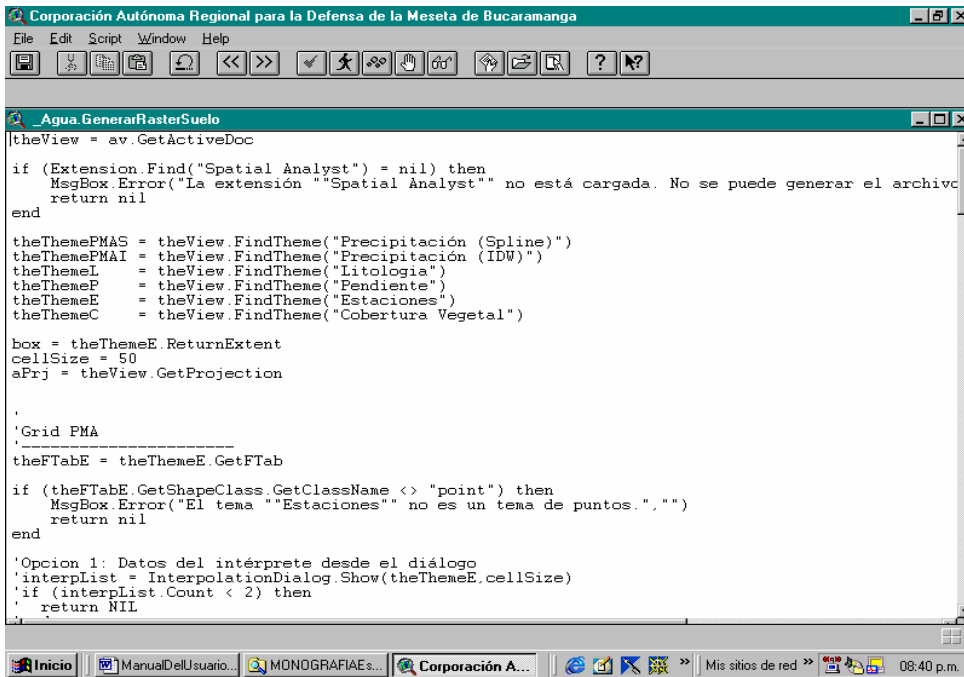




TABLAS

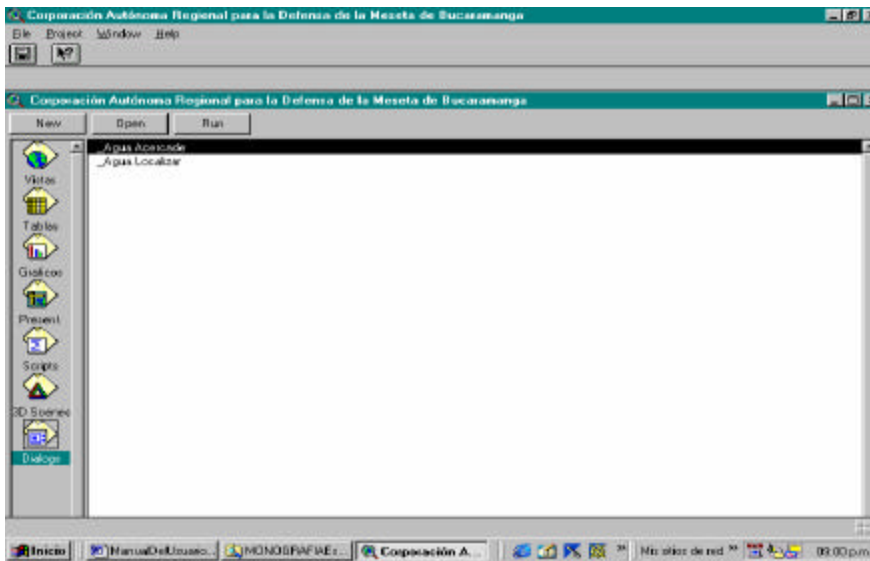
En ellas se muestra la información de los diferentes shapes tales como suelos o litología en este caso, cobertura vegetal, estaciones y datos de pma, topografía, etc. utilizadas para el desarrollo de la aplicación.

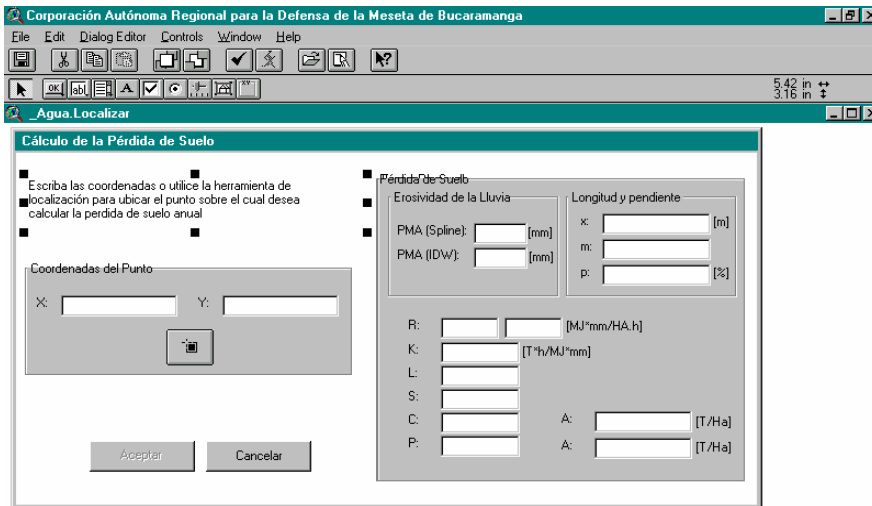




DIALOGOS

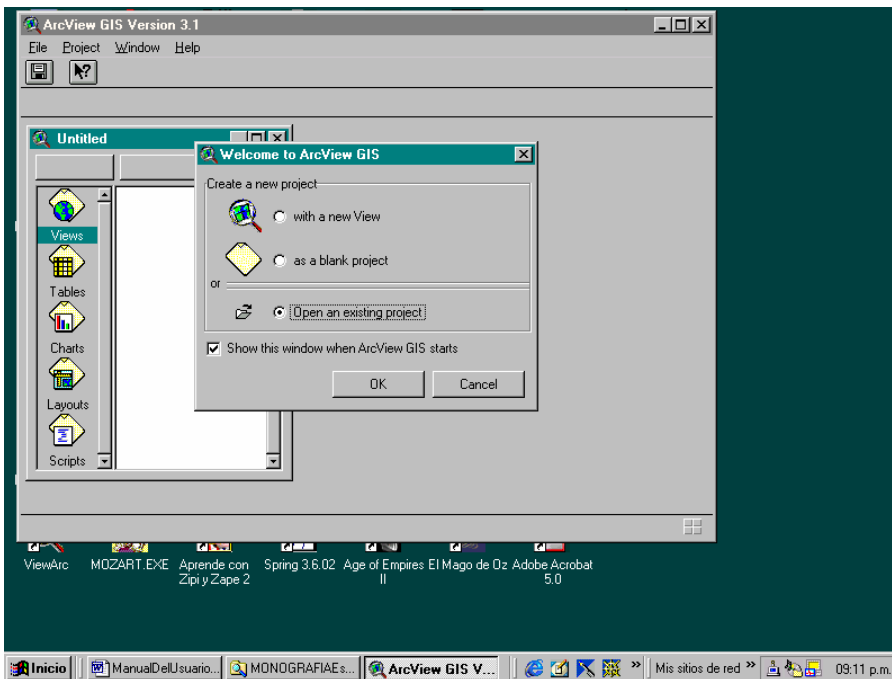
Permiten la visualización de los resultados de las consultas en forma amigable.



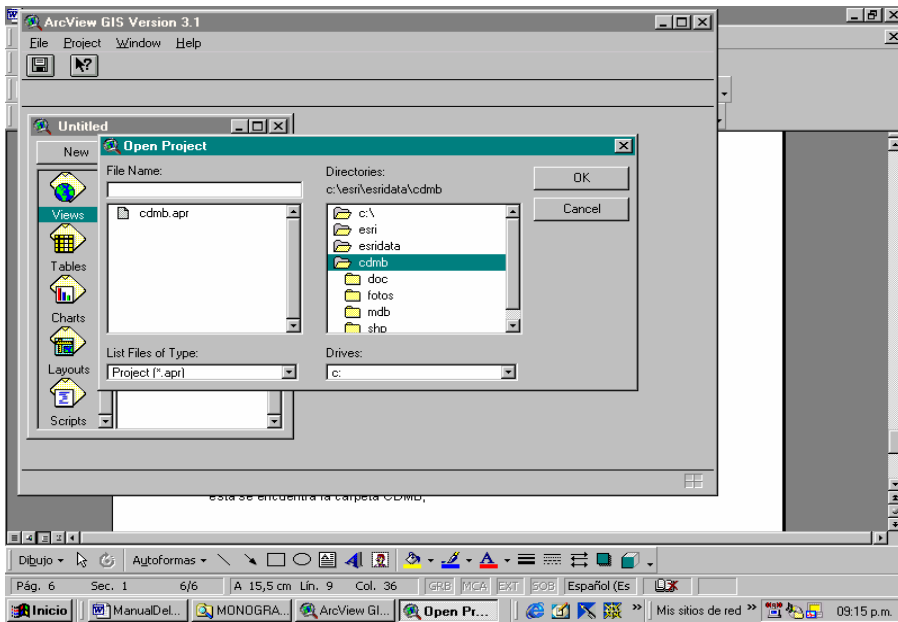


ENTRADA A LA APLICACION

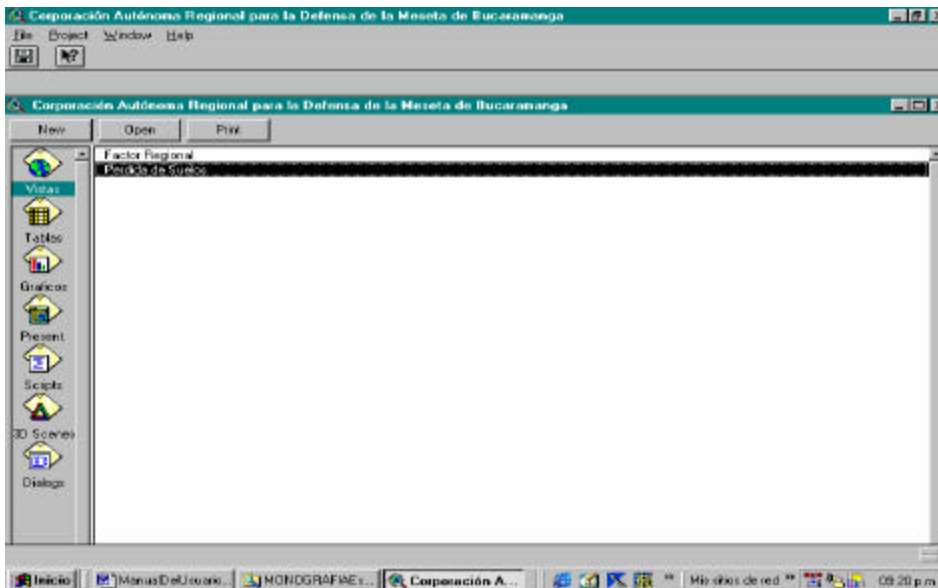
Para entrar a la aplicación de doble clic sobre el icono de ArcView, elegir la opción Open an Existing Project.



Elige en el directorio C: la carpeta ESRI y dentro de esta ESRIDATA, dentro de esta se encuentra la carpeta CDMB, y dentro de esta el archivo cdmdb.apr



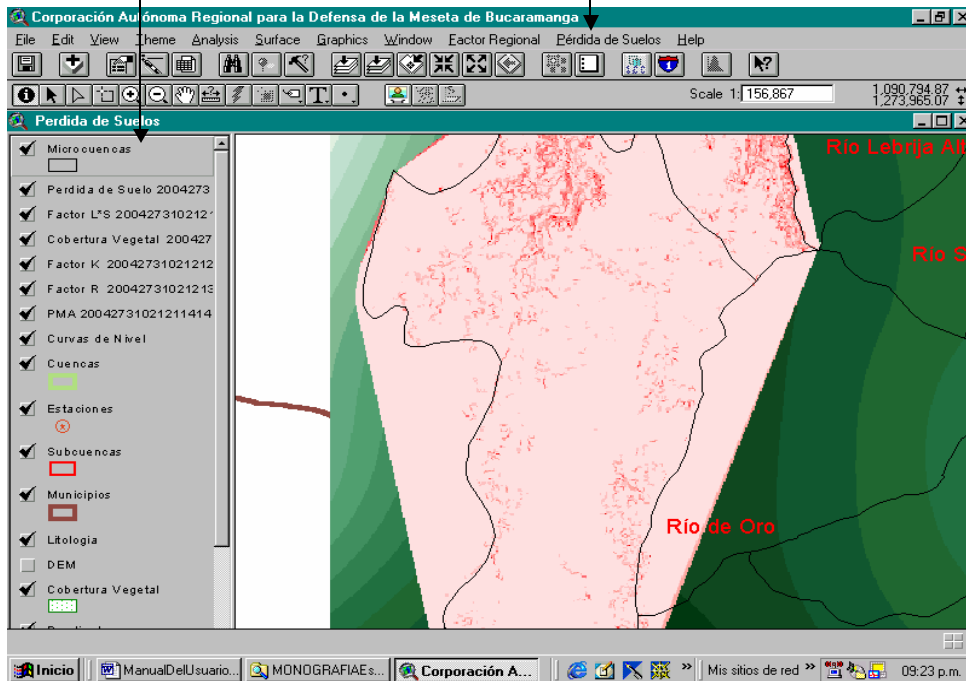
Para activar la vista se debe activar la ventana cdmdb.apr, automáticamente, nos cambia el menú de presentación.



Luego seleccione la opción Open y de esta forma se cargan los temas dentro de la vista

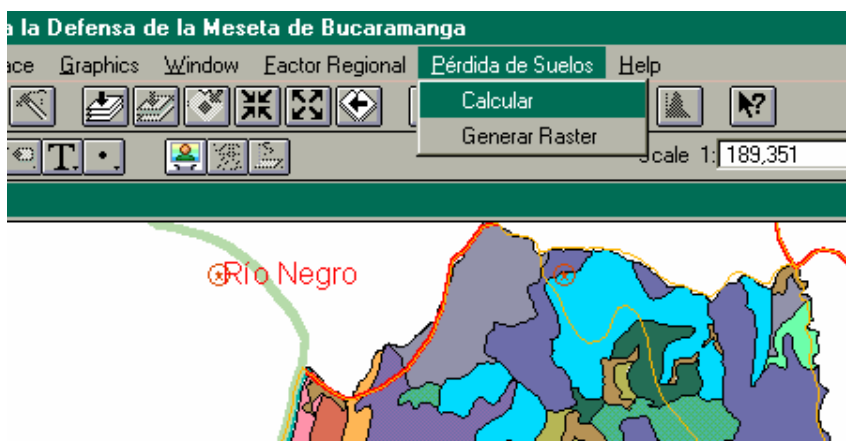
Temas

Menú



Para realizar las consultas se puede utilizar el Menú y/o los diferentes iconos que se muestran a continuación.

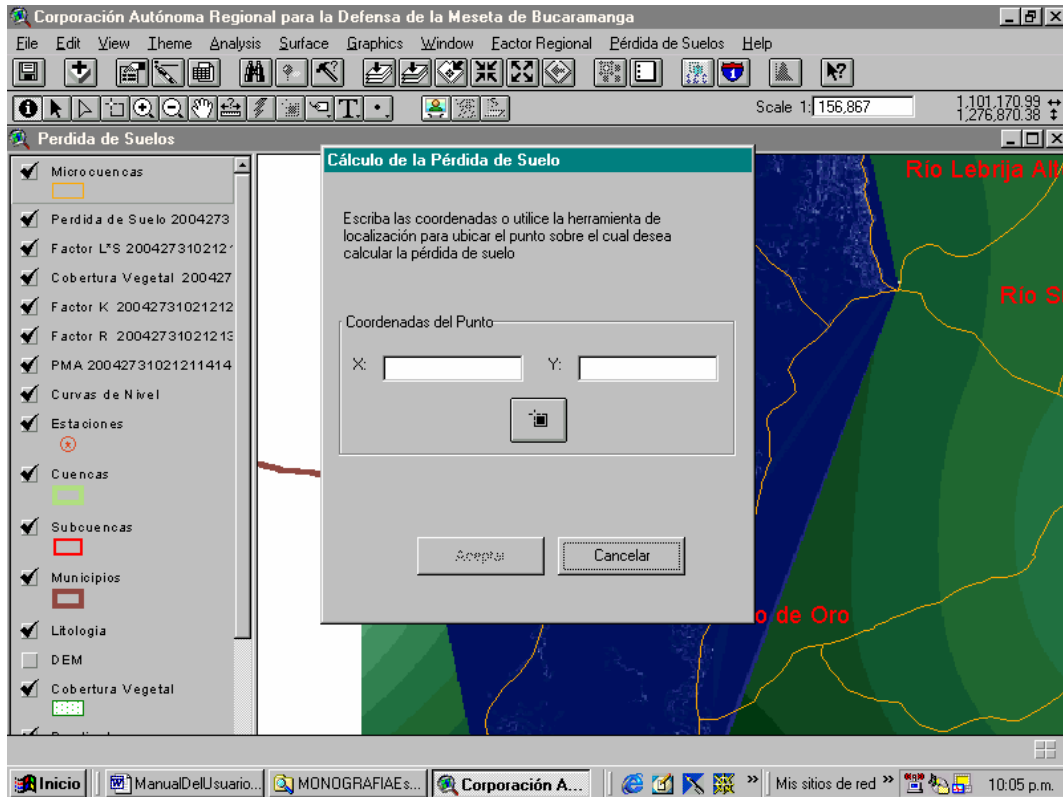
MENÚ PERDIDA DE SUELO



Perdida de suelo
Calcular
Generar Raster

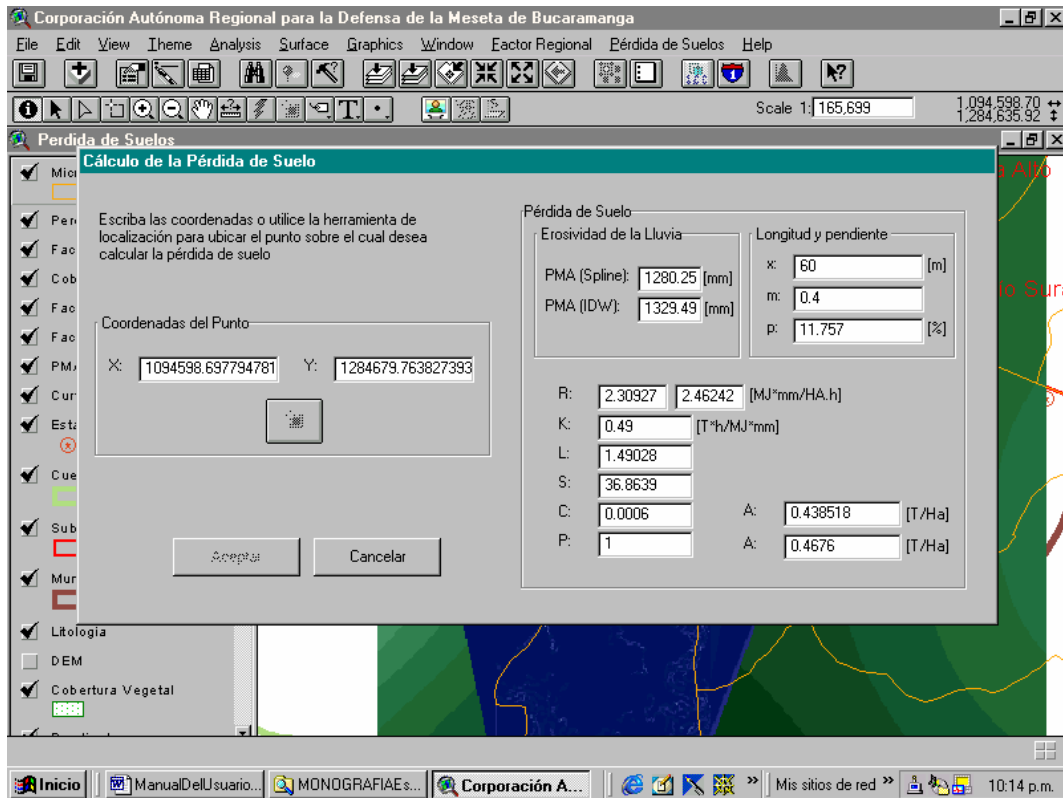
CALCULAR LA PERDIDA DE SUELO

Para obtener el valor de pérdida de suelos haga clic sobre el icono Calcular, al instante se desplegará la siguiente ventana, que le permitirá elegir las coordenadas del punto en donde quiera conocer la pérdida de suelo.

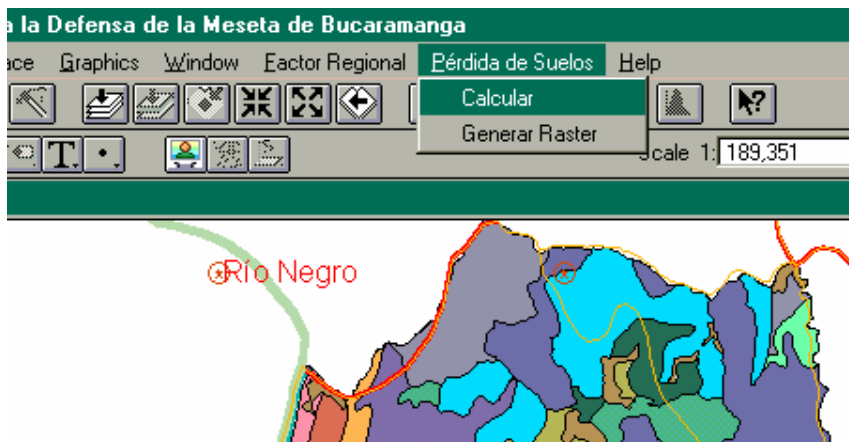


En este punto puede introducir las coordenadas X, Y del punto de interés o si prefiere presionar el botón del centro y elegir el sitio donde quiere calcular la pérdida de suelo directamente sobre el mapa, hace clic en aceptar e inmediatamente inicia el cálculo de los diferentes factores de pérdida de suelo y el cálculo de la pérdida total anual de suelo computando los diferentes valores.

En la siguiente imagen se puede ver la ventana desplegada mostrando los valores de las diferentes variables calculadas.



GENERAR LOS FACTORES EN FORMATO RASTER



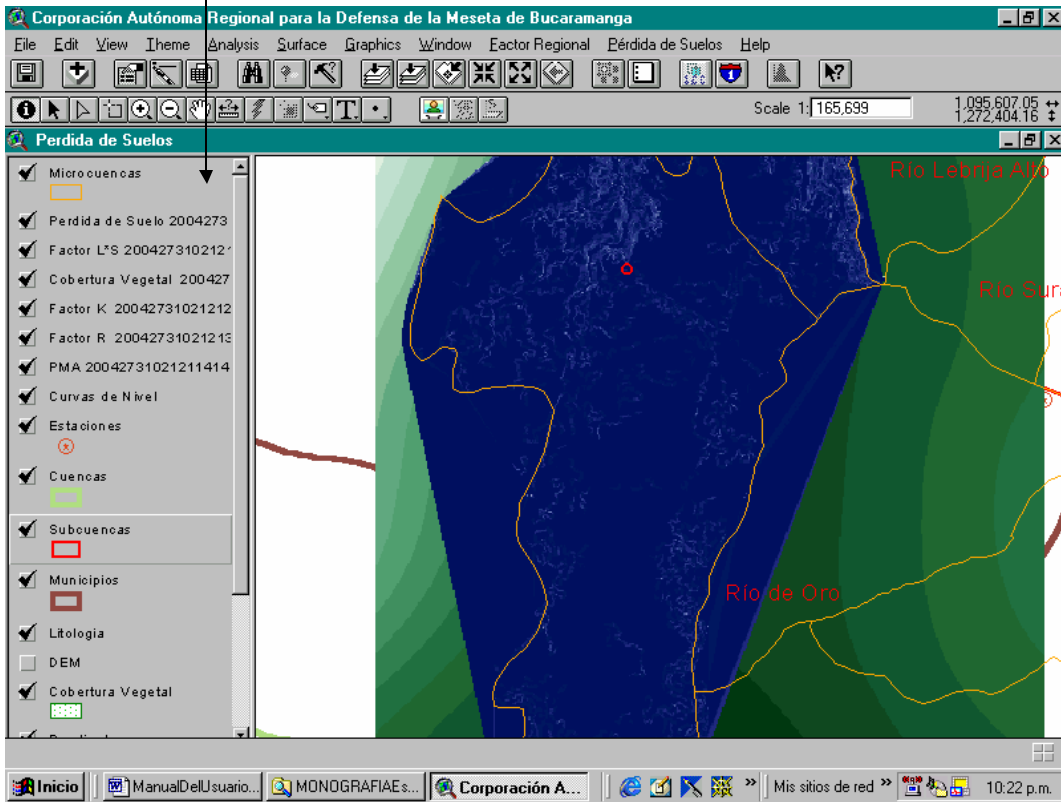
Perdida de suelo
 Calcular
 Generar Raster

Para obtener la distribución de los diferentes parámetros de la ecuación universal de pérdida de suelo, haga clic sobre el icono Gnerar Raster, al instante se iniciará internamente el proceso de transformación de los shapes a raster o de utilizando alguna variable como la PMA, mediante interpolación generar la distribución de la precipitación y posteriormente realizando cálculos

matemáticos aplicando una ecuación especificada, dalcular la erosividad de la lluvia.

En seguida se calcularán los factores y se desplegarán los correspondientes mapas en formato raster para cada uno de los factores.

Temas Raster para los diferentes factores de erosión de la ecuación universal .



Estos temas pueden ser visualizados en la venta de la vista para mostrar la distribución de los diferentes valores.

ANEXO B. MANUAL TECNICO Y CODIGO FUENTE

INSTALACIÓN

Copiar la carpeta “**CDMB**” en el directorio de datos del software ArcView 3.x (Generalmente ubicada en C:\ESRI\ESRI\DATA)

9.2.1 Requisitos del Sistema

Sistema Operativo Windows 98, NT4 SP6, 2000, XP, 2003 Server

Memoria mínima: 128 MB

Espacio mínimo disponible en disco: 2 Mb

ArcView 3.1, 3.2, 3.3 previamente instalado con las extensiones: **3D Analyst**, **Spatial Analyst**

9.2.2 Creación del origen de datos

Las siguientes instrucciones de creación del origen de datos son válidas para el sistema operativo Windows XP. Los pasos pueden variar en otros sistemas operativos.

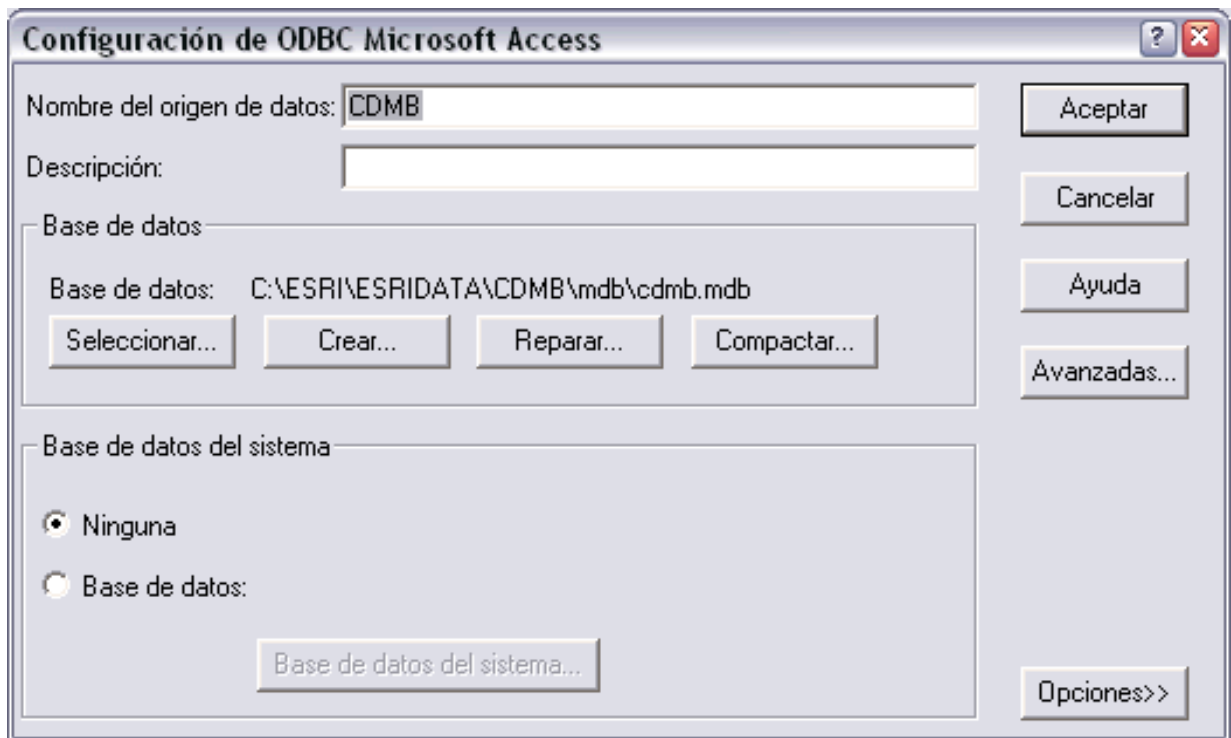
En los sistemas operativos Windows NT, Windows 2000, Windows XP y Windows 2003 Server se requiere tener permisos administrativos para realizar esta configuración.

Ir a la carpeta **Panel de Control**

Abrir la carpeta **Herramientas Administrativas**

Ejecutar el acceso directo: **Orígenes de datos (ODBC)**

En la pestaña **DSN del Sistema** oprima el botón **Agregar**



En el cuadro de diálogo emergente elija el controlador **Microsoft Access Driver (*.mdb)** y elija **Finalizar**

En el diálogo emergente escriba **"CDMD"** como nombre del origen de datos. Luego oprima el botón **Seleccionar**, navegue hasta el archivo **"C:\ESR\ESRIDATA\mdb\cdmb.mdb"**, selecciónelo y oprima **Aceptar**.

9.2.3 DATOS DE ORIGEN Y ACTUALIZACIÓN

El sistema cuenta con datos de entrada almacenados en formatos *vectoriales*, *alfanuméricos* e *imágenes*. Estos datos pueden remplazarse y modificarse para permitir la actualización de los mismos.

Base de Datos Alfanumérica








Los datos alfanuméricos se encuentran almacenados en una base de datos Access 2002 en el archivo **/mdb/cdmb.mdb**

Los valores almacenados en esta base de datos son pasados a *ArcView* mediante el motor de *Orígenes de Datos de Windows* (ODBC) e intercambiados con los datos espaciales de la aplicación.

El origen de datos debe configurarse previo a la utilización del sistema como se indica en la sección de instalación.

La base de datos Access puede manipularse directamente o mediante otro sistema de actualización siempre y cuando no se encuentre abierta la aplicación de ArcView.

Las siguientes son las tablas y campos que debe contener la tabla para que la aplicación funcione de manera apropiada:

	CobVegetal
	Cuenca
	Fotos
	Litologia
	Microcuenca
	Municipio
	Subcuenca

9.2.3.1 ALGORITMO

Para el desarrollo de los algoritmos de cálculo se utilizó el lenguaje de programación **Avenue** el cual permite interactuar con los “objetos” geográficos contenidos dentro de un proyecto del software ArcView 3x.

Código Fuente

9.2.4 GenerarRasterSuelo.ave

```
theView = av.GetActiveDoc

if (Extension.Find("Spatial Analyst") = nil) then
  MsgBox.Error("La extensión "Spatial Analyst" no está cargada. No
se puede generar el archivo raster de pérdida de suelo.", "")
  return nil
end

theThemePMAS = theView.FindTheme("Precipitación (Spline)")
theThemePMAI = theView.FindTheme("Precipitación (IDW)")
theThemeL = theView.FindTheme("Litología")
theThemeP = theView.FindTheme("Pendiente")
theThemeE = theView.FindTheme("Estaciones")
theThemeC = theView.FindTheme("Cobertura Vegetal")

box = theThemeE.ReturnExtent
cellSize = 50
aPrj = theView.GetProjection

'
'Grid PMA
'-----
theFTabE = theThemeE.GetFTab

if (theFTabE.GetShapeClass.GetClassName <> "point") then
  MsgBox.Error("El tema "Estaciones" no es un tema de puntos.", "")
  return nil
end

'Opcion 1: Datos del intérprete desde el diálogo
'interpList = InterpolationDialog.Show(theThemeE, cellSize)
'if (interpList.Count < 2) then
'  return NIL
'end
'zField = interpList.Get(0)
'anInterp = interpList.Get(1)

'Opcion 2: datos del intérprete directos
zField = theThemeE.GetFTab.FindField("pma")
anInterp = Interp.MakeSpline(#SPLINE_REGULARIZED, 0.1, 12)

if ((zField.IsVisible and (zField.IsTypeNumber)).Not) then
  MsgBox.Info("El campo "pma" no es numérico.", "")
  return nil
end
```

```

GridPMA = Grid.MakeByInterpolation (
    theFTabE,
    aPrj,
    zField,
    anInterp,
    {cellSize, box})

if (GridPMA.HasError) then
    MsgBox.Error(theThemeE.GetName ++ "no se pudo convertir a Grid","")
    return NIL
end

'
'Grid Litología
'-----
LitGrid = Grid.MakeFromFTab (theThemeL.GetFTab,
    Prj.MakeNull,
    theThemeL.GetFTab.FindField("K"),
    {10,theView.GetDisplay.ReturnExtent})

'
'Grid Cobertura Vegetal
'-----
CobGrid = Grid.MakeFromFTab (theThemeC.GetFTab,
    Prj.MakeNull,
    theThemeC.GetFTab.FindField("C"),
    {10,theView.GetDisplay.ReturnExtent})

'
'Grid Pendiente
'-----
PendGrid = theThemeP.GetGrid

'
'Factor R
'-----
RGrid = (1.19254 * 10^(-5)).AsGrid * (GridPMA^(1.70148).AsGrid)

'Factor K
'-----
KGrid = LitGrid

'
'Factor L
'-----
mGrid = (PendGrid <= 1.AsGrid).Con((0.2).AsGrid,
    (((PendGrid > 1.AsGrid) And (PendGrid <=
    (3.AsGrid))).Con((0.3).AsGrid,
    (((PendGrid > 3.AsGrid) And (PendGrid <=
    (5.AsGrid))).Con((0.4).AsGrid,
    (PendGrid > 5.AsGrid).Con((0.4).AsGrid, 99.AsGrid ))))))

xGrid = (PendGrid <= 3.AsGrid).Con((200).AsGrid,
    (((PendGrid > 3.AsGrid) And (PendGrid <=
    (5.AsGrid))).Con((160).AsGrid,

```

```

        (PendGrid > 5.AsGrid).Con((60).AsGrid, 0.AsGrid ))))

LGrid = (xGrid/((22.13).AsGrid))^mGrid

'
'Factor S
'-----
PendGridRad = PendGrid * (0.45 * (Number.GetPi / 180))
SGrid = ((65.41).AsGrid * ((PendGridRad.Sin)^2)) +
        ((4.56).AsGrid * (PendGridRad.Sin)) +
        (0.0665).AsGrid

'
'Factor C
'-----
CGrid = CobGrid

'
'A
'-----
AGrid = SGrid ' RGrid * KGrid * CGrid * LGrid * SGrid

' Renombrar data set
aFN = av.GetProject.GetWorkDir.MakeTmp("perdida", "")
AGrid.Rename(aFN)

' Verificar
if (AGrid.HasError) then
    MsgBox.Error("Ha ocurrido un error al crear el Grid", "")
    return NIL
end

'Crear Tema
gthm = GTheme.Make(AGrid)

'Crear Leyenda
theLegend = gthm.GetLegend
theLegend.Interval(gthm, "Value", 9)
theSymbolList = theLegend.GetSymbols
theNullSymbol = theSymbolList.Get(theSymbolList.Count - 1)
theSymbolList.Remove(theSymbolList.Count - 1)
startColor = Color.Make
startColor.SetRgbList({90,90,90})
theSymbolList.RampColors(startColor, Color.GetWhite)
theSymbolList.Add(theNullSymbol)
gthm.UpdateLegend

' Asignar nombre
gthm.SetName("Perdida de
Suelo"++Date.Now.SetFormat("yyyyddMhmmss").AsString)

' Agregar el tema
theView.AddTheme(gthm)

```

Localizar.lbt_Aceptar.Click.ave

```
TBW = self.GetDialog

TBW.FindByName("lbt_Aceptar").SetEnabled(false)
TBW.FindByName("tol_Localizar").SetEnabled(false)

theView = av.GetActiveDoc

if (theView.Is(View).Not) then
    MsgBox.Error("El documento" ++ theView.GetName.Quote ++ "no es una
vista.",_tituloC)
    return nil
end

if (TBW.FindbyName("txl_MinX").GetText.IsNumber.Not or
TBW.FindbyName("txl_MinY").GetText.IsNumber.Not) then
    MsgBox.Error("Las coordenadas dadas deben darse en formato
numérico.",_tituloC)
    TBW.FindByName("tol_Localizar").SetEnabled(true)
    return nil
end

thePoint = Point.Make (TBW.FindbyName("txl_MinX").GetText.AsNumber,
TBW.FindbyName("txl_MinY").GetText.AsNumber)

'-----
' CALCULO DEL FACTOR REGIONAL
'-----

if (_Task = "FR") then

    TBW.FindbyName("cpa_fr").SetVisible(true)
    TBW.FindbyName("cpa_ps").SetVisible(false)

    theThemeMC = theView.FindTheme("Microcuencas")
    theThemeSC = theView.FindTheme("Subcuencas")
    theThemeC = theView.FindTheme("Cuencas")
    theThemeM = theView.FindTheme("Municipios")

    if ((theThemeMC = Nil) or (theThemeSC = Nil) or (theThemeC = Nil)
or (theThemeM = Nil)) then
        MsgBox.Error("No se encontraron los temas: " "Microcuencas",
"Subcuencas", "Cuencas" o "Municipios" dentro de la
vista",_tituloC)
        return nil
    end

    flag = 0

    '
    ' Datos de la cuenca
    '-----
    FeatureListMC = theThemeMC.FindByPoint(thePoint)
    FeatureListSC = theThemeSC.FindByPoint(thePoint)
    FeatureListC = theThemeC.FindByPoint(thePoint)
    if ((FeatureListMC.Count+FeatureListSC.Count+FeatureListC.Count) <
1) then
        MsgBox.Error("En el punto seleccionado no hay Microcuencas,
Subcuencas o Cuencas. Intentelo nuevamente",_tituloC)
```

```

        TBW.FindByName("tol_Localizar").SetEnabled(true)
        return nil
    end

    if (FeatureListMC.Count > 0) then
        Registro = FeatureListMC.Get(0) 'Tomamos solo la primera
cuenca seleccionada
        c = 1
    elseif(FeatureListSC.Count > 0) then
        Registro = FeatureListSC.Get(0) 'Tomamos solo la primera
cuenca seleccionada
        c = 2
    elseif(FeatureListC.Count > 0) then
        Registro = FeatureListC.Get(0) 'Tomamos solo la primera cuenca
seleccionada
        c = 3
    end

    theThemeMC.BlinkRecord(Registro)

    if (c=1) then
        cuenca =
theThemeMC.GetFtab.ReturnValue(theThemeMC.GetFtab.FindField("nombre"),
Registro) + " (Microcuenca)"
        cpmc =
theThemeMC.GetFtab.ReturnValue(theThemeMC.GetFtab.FindField("cpmc"),
Registro)
        ctm =
theThemeMC.GetFtab.ReturnValue(theThemeMC.GetFtab.FindField("ctm"),
Registro)
        oferta =
theThemeMC.GetFtab.ReturnValue(theThemeMC.GetFtab.FindField("oferta"),
Registro)
        demanda =
theThemeMC.GetFtab.ReturnValue(theThemeMC.GetFtab.FindField("demanda")
, Registro)

    elseif (c=2) then
        cuenca =
theThemeSC.GetFtab.ReturnValue(theThemeSC.GetFtab.FindField("nombre"),
Registro) + " (Subcuenca)"
        cpmc =
theThemeSC.GetFtab.ReturnValue(theThemeSC.GetFtab.FindField("cpmc"),
Registro)
        ctm =
theThemeSC.GetFtab.ReturnValue(theThemeSC.GetFtab.FindField("ctm"),
Registro)
        oferta =
theThemeSC.GetFtab.ReturnValue(theThemeSC.GetFtab.FindField("oferta"),
Registro)
        demanda =
theThemeSC.GetFtab.ReturnValue(theThemeSC.GetFtab.FindField("demanda")
, Registro)

    elseif(c=3) then
        cuenca =
theThemeC.GetFtab.ReturnValue(theThemeC.GetFtab.FindField("nombre"),
Registro) + " (Cuenca)"

```

```

        cpmc =
theThemeC.GetFtab.ReturnValue(theThemeC.GetFtab.FindField("cpmc"),
Registro)
        ctm =
theThemeC.GetFtab.ReturnValue(theThemeC.GetFtab.FindField("ctm"),
Registro)
        oferta =
theThemeC.GetFtab.ReturnValue(theThemeC.GetFtab.FindField("oferta"),
Registro)
        demanda =
theThemeC.GetFtab.ReturnValue(theThemeC.GetFtab.FindField("demanda"),
Registro)

    end

    if (cpmc.IsNull or (cpmc = 0)) then
        cpmc = 0
        flag = 1
    end

    if (ctm.IsNull) then
        ctm = 0
        flag = 1
    end

    if (oferta.IsNull or (oferta = 0)) then
        oferta = 0
        flag = 1
    end

    if (demanda.IsNull) then
        demanda = 0
        flag = 1
    end

    ,
'Datos del Municipio
'-----
FeatureListM = theThemeM.FindByPoint(thePoint)
if (FeatureListM.Count < 1) then
    MsgBox.Error("En el punto seleccionado no hay municipios.
Intentelo nuevamente",_tituloC)
    TBW.FindByName("tol_Localizar").SetEnabled(true)
    return nil
end

RegistroM = FeatureListM.Get(0) 'Tomamos solo el primer municipio

municipio =
theThemeM.GetFtab.ReturnValue(theThemeM.GetFtab.FindField("municipio")
, RegistroM)
nbi =
theThemeM.GetFtab.ReturnValue(theThemeM.GetFtab.FindField("nbi"),
RegistroM)

    if (nbi.IsNull) then
        nbi = 0
        flag = 1
    end

```

```

end

'
'Mostrar Valores
'-----

TBW.FindbyName("txl_cuenca").Setlabel(cuenca.AsString)
TBW.FindbyName("txt_cpmc").SetText(cpmc.AsString)
TBW.FindbyName("txt_ctm").SetText(ctm.AsString)
TBW.FindbyName("txt_ie").SetText((demanda/oferta).AsString)

TBW.FindbyName("txl_municipio").Setlabel(municipio.AsString)
TBW.FindbyName("txt_nbi").SetText(nbi.AsString)

if (flag = 1) then
    MsgBox.Error("Los valores de la tabla para la cuenca" ++
cuenca.Quote ++ "no son válidos.",_tituloC)
    TBW.FindByName("tol_Localizar").SetEnabled(true)
    return nil
end

TBW.SetExtent(Rect.Make(50@50, 695@362))

'Mover al centro el cuadro de diálogo
AVUpperLeft = av.ReturnOrigin
AVCenter = avUpperLeft + (av.ReturnExtent / (2@2))
halfDialogWidthHeight = TBW.ReturnExtent.ReturnSize / (2@2)
MovePoint = AVCenter - halfDialogWidthHeight
TBW.MoveTo(MovePoint.GetX, MovePoint.GetY)

'
'Cs
'-----
Cs = (100 - nbi)/100
TBW.FindbyName("txt_cs").SetText(Cs.AsString)

'
'Ck
'-----
Ck = (cpmc - ctm)/cpmc
TBW.FindbyName("txt_ck").SetText(Ck.AsString)

'
'Ce
'-----
Ies = demanda/oferta

if (Ies < 0.1) then
    Ce = 0
elseif((Ies >= 0.1) And (Ies < 0.5)) then
    Ce = (5/6)/(1-((5/3)*Ies))
elseif(Ies >= 0.5) then
    Ce = 5
end
TBW.FindbyName("txt_ce").SetText(Ce.AsString)

'
'Fr
'-----

```

```

Fr = 1 + ((Ck + Ce)*Cs)
TBW.FindbyName("txt_fr").SetText(Fr.AsString)

'-----
'CALCULO DE LA PÉRDIDA DE SUELO
'-----
elseif(_Task = "PS") then
    TBW.FindbyName("cpa_fr").SetVisible(false)
    TBW.FindbyName("cpa_ps").SetVisible(true)

    theThemePMAS = theView.FindTheme("Precipitación (Spline)")
    theThemePMAI = theView.FindTheme("Precipitación (IDW)")
    theThemeL     = theView.FindTheme("Litología")
    theThemeP     = theView.FindTheme("Pendiente")
    theThemeE     = theView.FindTheme("Estaciones")
    theThemeC     = theView.FindTheme("Cobertura Vegetal")

    if ((theThemeP = Nil) or (theThemeC = Nil)) then
        MsgBox.Error("No se encontraron los temas: ""Pendiente"",
""Cobertura Vegetal"", ""Estaciones"" dentro de la vista",_tituloC)
        return nil
    end

    flag = 0

    '
    'Datos de precipitación
    '-----
    ' Método 1: Leyendo el valor desde el GTema de precipitación
interpolado
    '
    ' if ((theThemePMAS = Nil) or (theThemePMAI = Nil)) then
    '     MsgBox.Error("No se encontraron los temas: ""Precipitación
(Spline)"", ""Precipitación (IDW)"" dentro de la vista",_tituloC)
    '     return nil
    ' end

    '
    ' FeatureListPMAS = theThemePMAS.FindByPoint(thePoint)
    ' FeatureListPMAI = theThemePMAI.FindByPoint(thePoint)
    ' if ((FeatureListPMAS.Count+FeatureListPMAI.Count) < 1) then
    '     MsgBox.Error("En el punto seleccionado no hay Datos de
precipitación media anual",_tituloC)
    '     TBW.FindByName("tol_Localizar").SetEnabled(true)
    '     return nil
    ' end

    ' GridPMA1 = theThemePMAS.GetGrid
    ' GridPMA2 = theThemePMAI.GetGrid

    '
    'Método 2: Interpolando los valores de las estaciones
box = theThemeE.ReturnExtent
cellSize = 50
aPrj = theView.GetProjection

theFTabE = theThemeE.GetFTab

if (theFTabE.GetShapeClass.GetClassName <> "point") then

```

```

        MsgBox.Error("El tema "Estaciones" no es un tema de
puntos.", "")
        return nil
    end

    zField = theThemeE.GetFTab.FindField("pma")
    anInterp1 = Interp.MakeSpline(#SPLINE_REGULARIZED, 0.1, 12)
    theRadius = Radius.MakeVariable(12, nil)
    anInterp2 = Interp.MakeIDW(2, theRadius, Nil)

    if ((zField.IsVisible and (zField.IsTypeNumber)).Not) then
        MsgBox.Info("El campo "pma" no es numérico.", "")
        return nil
    end

    GridPMA1 = Grid.MakeByInterpolation (
        theFTabE,
        aPrj,
        zField.Clone,
        anInterp1,
        {cellSize, box})

    GridPMA2 = Grid.MakeByInterpolation (
        theFTabE,
        aPrj,
        zField,
        anInterp2,
        {cellSize, box})

    if (GridPMA1.HasError or GridPMA2.HasError) then
        MsgBox.Error(theThemeE.GetName ++ "no se pudo convertir a
Grid", "")
        return NIL
    end
    '-Fin del metodo 2

    pma1 = GridPMA1.PointValue(thePoint, Prj.MakeNull)
    pma2 = GridPMA2.PointValue(thePoint, Prj.MakeNull)

    if (pma1.IsNull) then
        pma1 = 0
        flag = 1
    end

    if (pma2.IsNull) then
        pma2 = 0
        flag = 1
    end

    '
    'Datos de erodabilidad
    '-----
    FeatureListL = theThemeL.FindByPoint(thePoint)
    if ((FeatureListL.Count) < 1) then
        MsgBox.Error("En el punto seleccionado no hay datos de
erodabilidad.", _tituloC)
        TBW.FindByName("tol_Localizar").SetEnabled(true)
        return nil
    end
end

```

```

    if (FeatureListL.Count > 0) then
        Registro = FeatureListL.Get(0) 'Tomamos solo la primera
    end
    K =
theThemeL.GetFtab.ReturnValue(theThemeL.GetFtab.FindField("K"),
Registro)

    if (K.IsNull) then
        K = 0
        flag = 1
    end

    '
    'Datos de pendiente
    '-----
    FeatureListP = theThemeP.FindByPoint(thePoint)
    if ((FeatureListP.Count) < 1) then
        MsgBox.Error("En el punto seleccionado no hay datos de
pendiente",_tituloC)
        TBW.FindByName("tol_Localizar").SetEnabled(true)
        return nil
    end

    p = theThemeP.GetGrid.PointValue(thePoint, Prj.MakeNull)

    if (p.IsNull or (p < 0)) then
        p = 0
        flag = 1
    end

    '
    'Datos de cobertura
    '-----
    FeatureListC = theThemeC.FindByPoint(thePoint)
    if ((FeatureListC.Count) < 1) then
        MsgBox.Error("En el punto seleccionado no hay datos de
cobertura vegetal.",_tituloC)
        TBW.FindByName("tol_Localizar").SetEnabled(true)
        return nil
    end

    RegistroC = FeatureListC.Get(0) 'Tomamos solo el primer registro
    C =
theThemeC.GetFtab.ReturnValue(theThemeC.GetFtab.FindField("c"),
RegistroC)

    if (C.IsNull) then
        C = 0
        flag = 1
    end

    if (flag = 1) then
        MsgBox.Error("Los valores de entrada no son válidos en el
punto seleccionado.",_tituloC)
        TBW.FindByName("tol_Localizar").SetEnabled(true)
        return nil
    end
end

```

```

TBW.SetExtent(Rect.Make(50@50, 695@362))

'Mover al centro el cuadro de diálogo
AVUpperLeft = av.ReturnOrigin
AVCenter = avUpperLeft + (av.ReturnExtent / (2@2))
halfDialogWidthHeight = TBW.ReturnExtent.ReturnSize / (2@2)
MovePoint = AVCenter - halfDialogWidthHeight
TBW.MoveTo(MovePoint.GetX, MovePoint.GetY)

'
'R
'-----
R1 = 1.19254*(10^(-5))*(pma1^1.70148)
R2 = 1.19254*(10^(-5))*(pma2^1.70148)

'
'K
'-----
K = K

'
'L
'-----
if (p < 3) then
    x = 200
elseif((p >= 3) And (p < 5)) then
    x = 160
elseif(p >= 5) then
    x = 60
end

if (p < 1) then
    m = 0.2
elseif((p >= 1) And (p < 3)) then
    m = 0.3
elseif((p >= 3) And (p < 5)) then
    m = 0.4
elseif(p >= 5) then
    m = 0.4
end
L = (x/22.13)^m

'
'S
'-----
prad = (p * 0.45 * (Number.GetPi / 180))
S = (65.41*(prad.Sin)^2)+(4.56*prad.Sin)+0.0665

'
'C
'-----
C = C

'
'P
'-----
PM = 1

'

```

```

'A
'-----
A1 = R1*K*L*S*C*P
A2 = R2*K*L*S*C*P

'
'Mostrar Valores
'-----

TBW.FindbyName("txl_pmas").SetText(pma1.AsString)
TBW.FindbyName("txl_pmai").SetText(pma2.AsString)
TBW.FindbyName("txl_pmai").SetText(pma2.AsString)
TBW.FindbyName("txl_R1").SetText(R1.AsString)
TBW.FindbyName("txl_R2").SetText(R2.AsString)
TBW.FindbyName("txl_K").SetText(K.AsString)
TBW.FindbyName("txl_p").SetText(p.AsString)
TBW.FindbyName("txl_x").SetText(x.AsString)
TBW.FindbyName("txl_m").SetText(m.AsString)
TBW.FindbyName("txl_L").SetText(L.AsString)
TBW.FindbyName("txl_S").SetText(S.AsString)
TBW.FindbyName("txl_C").SetText(c.AsString)
TBW.FindbyName("txl_PM").SetText(PM.AsString)
TBW.FindbyName("txl_A1").SetText(A1.AsString)
TBW.FindbyName("txl_A2").SetText(A2.AsString)

```

end