

# PLAN DE MANEJO DE LAS SUBCUENCAS CIRÍ GRANDE Y TRINIDAD

Base de Datos  
Geo-espacial



Volumen V

Septiembre, 2008



### **EQUIPO TÉCNICO CONSULTOR DEL CONSORCIO**

<i>Coordinador General y Especialista en Manejo de Cuencas:</i>	<i>Dr. Jorge Faustino</i>
<i>Coordinador Técnico y Especialista en Manejo de Cuencas:</i>	<i>MSc. Luiggi Franceschi</i>
<i>Especialista en Sistemas de Información Geográfica</i>	<i>MSc. Sergio Velásquez</i>
<i>Especialista en Hidrología</i>	<i>MSc. Miguel Osorio</i>
<i>Especialista en Sistemas de producción</i>	<i>MSc. Luis Alvarado</i>
<i>Especialista en Gestión Ambiental</i>	<i>PhD. Michel Roy</i>
<i>Especialista en Desarrollo Rural</i>	<i>MSc. Nidia Castillo</i>
<i>Especialista en Administración</i>	<i>MSc Maaik Kempkes MA. Anita Roy</i>
<i>Asistente Técnico</i>	<i>José Luis Roldán</i>

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. GENERACIÓN DEL MAPA BASE: LÍMITE DE LA ZONA DE ESTUDIO, RED HÍDRICA Y DEFINICIÓN DE SUBCUENCAS .....</b>	<b>1</b>
1.1. Georeferenciación de las hojas cartográficas 1:50,000 de las Cuencas .....	1
1.2. Delimitación de los límites de las Subcuencas del estudio. ....	4
1.3. Mapa de curvas a nivel con intervalo vertical de 10 m derivadas del modelo de elevación digital SRTM .....	9
1.4. Mapa Base de las Subcuencas de Ciri Grande y Trinidad .....	11
<b>2. BASE DE DATOS GEOESPACIAL .....</b>	<b>13</b>
2.1. Mapa de Cobertura del Suelo .....	13
2.2 Grid de Formas del Terreno o Fisiografía: .....	20
2.3. Mapa de conflictos de uso .....	21
2.4. Mapa de zonificación para el ordenamiento territorial .....	24
2.5. Mapa de erosión actual.....	28
2.6. Mapa de riesgo de erosión .....	31
2.7. Mapa de Recarga Hídrica Potencial .....	34
<b>3. ORGANIZACIÓN DE LA BASE DE DATOS GEOESPACIAL .....</b>	<b>38</b>
3.1. Contenido de la Base de Datos en el Disco Compacto .....	38

## RELACIÓN DE CUADROS

Cuadro No. 1. Matriz de conflictos de uso.....	22
Cuadro No. 2. Matriz para la elaboración del mapa de Zonificación para el ordenamiento territorial. ....	27
Cuadro No. 3. Facto K de erodabilidad del suelo .....	29
Cuadro No. 4. Factor C y P de cobertura del suelo y prácticas agrícolas .....	30

## RELACIÓN DE FIGURAS

Figura No. 1. Puntos de control para georreferenciación de la hoja Capira 4242-iii 2	
Figura No. 2. Mosaico de las hojas cartográficas 1:50,000 georreferenciadas que cubren el área de estudio.....	3
Figura No. 3. Modelo de elevación digital de Ciri-Trinidad (SRTM).....	4
Figura No. 4. Grid de dirección de flujo.....	6
Figura No. 5. Grid de acumulación de flujo mostrando la red de drenaje.....	7
Figura No. 6. Microcuencas delimitadas a partir del grid de acumulación de flujo y contorno de las subcuencas delimitadas.....	8
Figura No. 7. División de Subcuencas Ciri Grande y Trinidad en regiones alta, media y baja.....	9
Figura No. 8. Curvas a nivel con intervalos verticales de 10 metros derivadas del modelo de elevación digital (sin suavizar).....	10
Figura No. 9. Curvas a nivel con intervalos verticales de 10 metros derivadas del modelo de elevación digital (suavizadas).....	11
Figura No. 10. Mapa base de las Subcuencas Ciri-Grande y Trinidad.....	12
Figura No. 11. Imagen ASTER del 21 de Octubre de 2006. ....	13
Figura No. 12. Máscara de nubes y sombras de la imagen ASTER.....	14
Figura No. 13. Imagen ASTER sin nubes y sombras.....	15
Figura No. 14. Resultado de la segmentación de la imagen ASTER.....	17
Figura No. 15. Resultado del proceso de segmentación y clasificación Isoseg. ...	18
Figura No. 16. Resultado del proceso de asignación de clases y llenado de vacíos de información.....	19
Figura No. 17. Mapa de Cobertura del Suelo de las Subcuencas Ciri Grande y Trinidad.....	20
Figura No. 18. Grid de Formas de Terreno o Fisiografía.....	21
Figura No. 19. Mapa de conflictos de uso.....	24
Figura No. 20. Puntos de referencia para crear el grid de accesibilidad a las subcuencas de Ciri Grande y Trinidad.....	25
Figura No. 21. Grid de Accesibilidad a las Subcuencas de los Ríos Ciri Grande y Trinidad.....	26

Figura No. 22. Mapa de Zonificación para el Ordenamiento Territorial de las Subcuencas de los Ríos Ciri Grande y Trinidad. .... 28

Figura No 23. Mapa de Erosión Actual (RUSLE) de las Subcuencas de los Ríos Ciri Grande y Trinidad..... 31

Figura No. 24. Mapa de Erosión Potencial de la Subcuenca de los Ríos Ciri Grande y Trinidad. .... 34

Figura No. 25. Mapa de Recarga hídrica potencial de las Subcuencas de los Ríos Ciri Grande y Trinidad..... 37

# 1. GENERACIÓN DEL MAPA BASE: LÍMITE DE LA ZONA DE ESTUDIO, RED HÍDRICA Y DEFINICIÓN DE SUBCUENCAS

A continuación se hará una descripción de las actividades y productos relacionados con la elaboración del mapa base de las Cuencas de los Ríos Ciri Grande y Trinidad.

## 1.1. Georeferenciación de las hojas cartográficas 1:50,000 de las Cuencas

Se obtuvieron las 7 hojas cartográficas oficiales 1:50,000 en formato JPG que distribuye el Instituto Geográfico Nacional “Tommy Guardia”. Las hojas que se obtuvieron son las siguientes:

- Capira 4242-iii
- Cuipo 4143-ii
- El Valle 4141-i
- Escobal 4243-iii
- La Chorrera 4242-iv
- Las Marías 4142-i
- San Pedro 4142-ii

Luego a esas hojas se les aplicaron 9 puntos de control en igual número de intersecciones de la cuadrícula UTM Zona 17, para después generar el modelo lineal de conversión para la georeferenciación de cada una de ellas (figura 1, a manera de ejemplo).

Una vez georeferenciada cada hoja, se cortó al límite del área útil para poder ser utilizadas en forma de mosaico (figura 2).



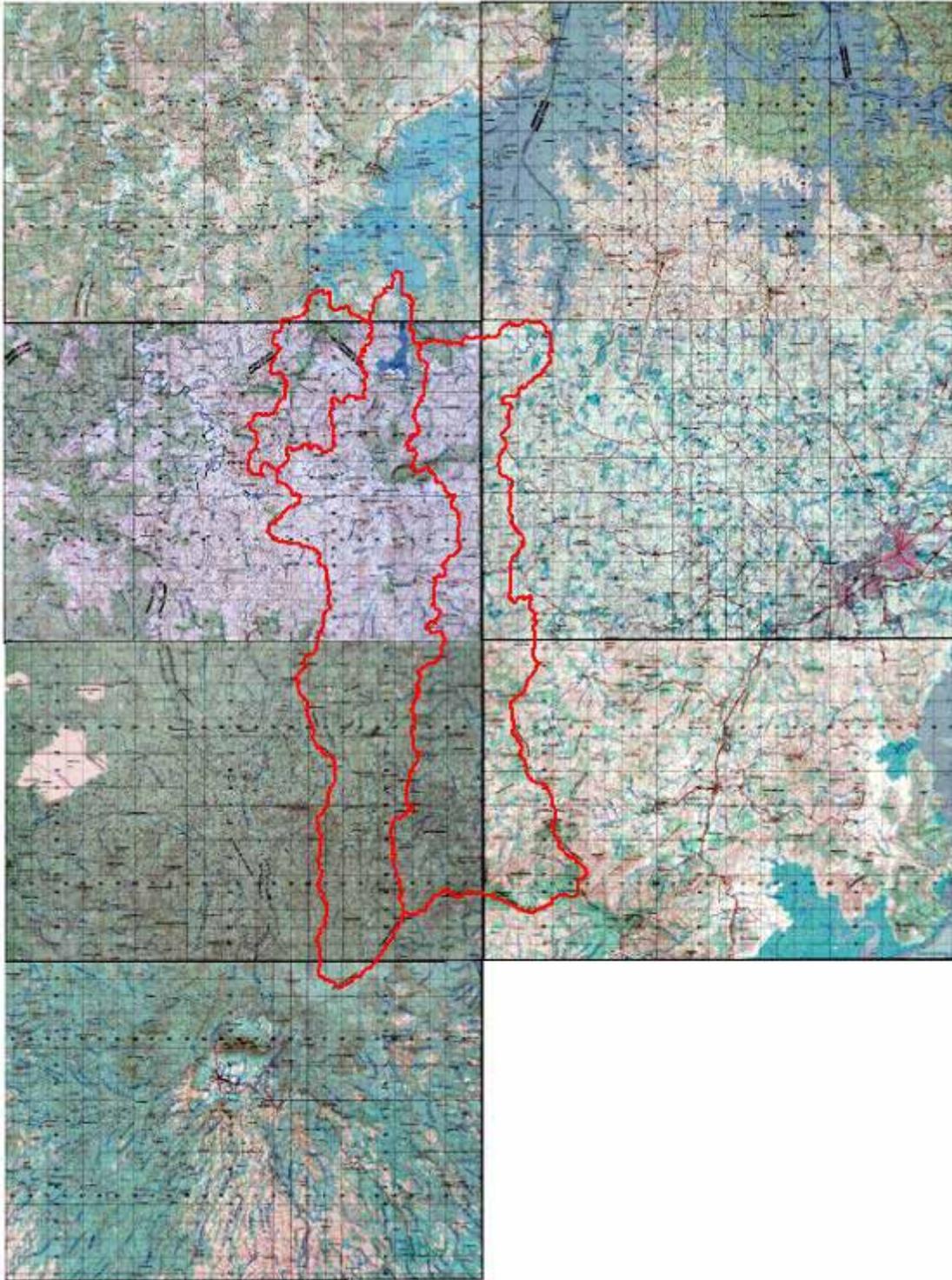


Figura No. 2. Mosaico de las hojas cartográficas 1:50,000 georreferenciadas que cubren el área de estudio

## 1.2. Delimitación de los límites de las Subcuencas del estudio.

Para delimitar las subcuencas del área de estudio se siguió el siguiente procedimiento:

- ❖ Obtención del modelo de elevación digital: El modelo de elevación digital para el área de estudio se obtuvo del proyecto Shuttle Radar Topography Missionr (SRTM). Este modelo de elevación digital tiene una resolución de un punto cada 90 metros, es decir que el mismo fue generado interpolando una grilla de puntos separados 90 metros entre sí (casi un punto por ha), lo que lo hace un producto bastante preciso para la escala que estamos trabajando (figura 3).

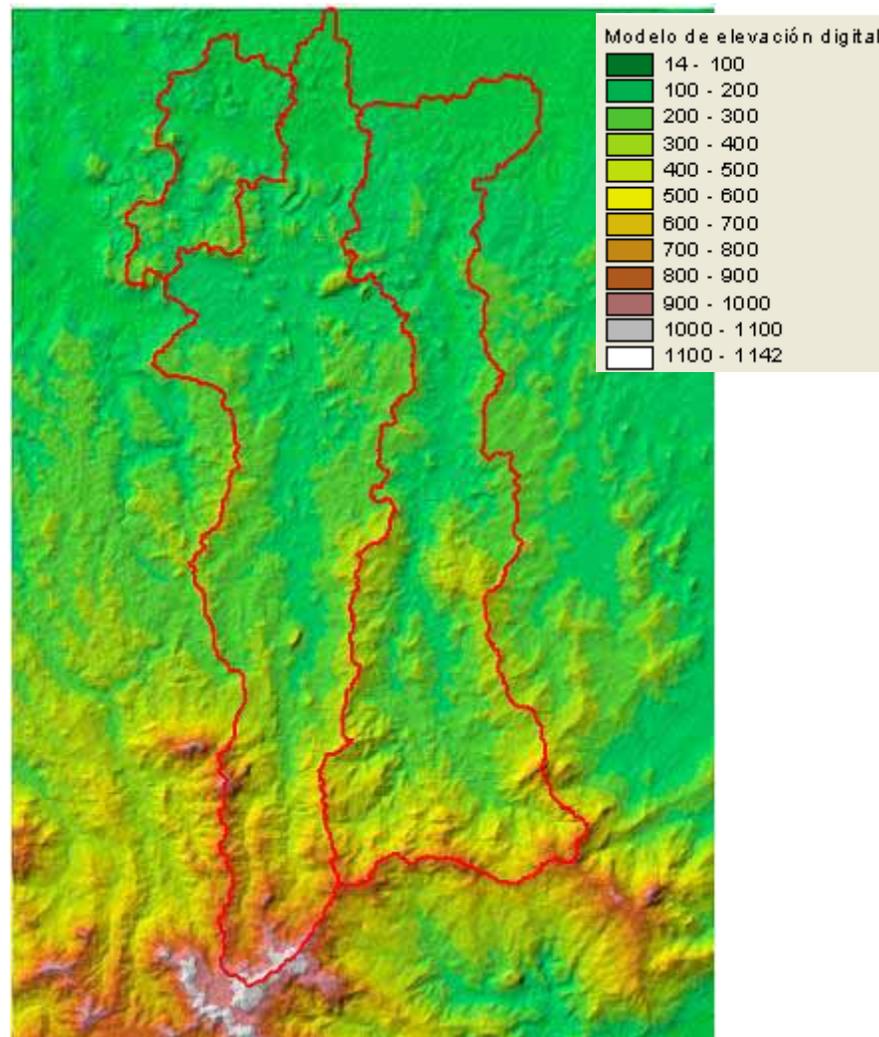


Figura No. 3. Modelo de elevación digital de Ciri-Trinidad (SRTM)

- ❖ Obtención del modelo de elevación digital sin depresiones: A continuación se “quemaron” los ríos sobre el modelo de elevación. Este proceso consiste en asignar a la red hídrica del área de estudio una elevación constante

ficticia (digamos 500 msnm). Luego esta capa de ríos se resta del modelo de elevación digital para simular un proceso de “excavado” de los ríos. En este caso debe evitarse tener elevaciones negativas, por lo que previamente se adicionó 1000 msnm al modelo de elevación digital original. A partir de este nuevo modelo de elevación digital “quemado”, se corre un algoritmo para llenar las depresiones locales que pueda tener el modelo de elevación digital y así evitar que los algoritmos de delimitado de cuencas puedan dar resultados no conformes con la realidad.

- ❖ Obtención del grid de dirección de flujo: A partir del modelo de elevación digital sin depresiones, se generó un grid de dirección de flujo, cuyos números indican la dirección hacia donde fluiría una gota de agua al caer en cualquiera de los pixeles del área de estudio. Así por ejemplo si una gota se mueve de un pixel fuente hacia el pixel que está al este, el programa le asigna al pixel fuente el valor 1, si se mueve hacia el sureste el valor 2, hacia el sur el valor 4, hacia el suroeste el valor 8, hacia el oeste el valor 16, hacia el noroeste el valor 32, hacia el norte el valor 64 y hacia el noreste el valor 128. El grid resultante de este proceso se muestra en la figura 4.

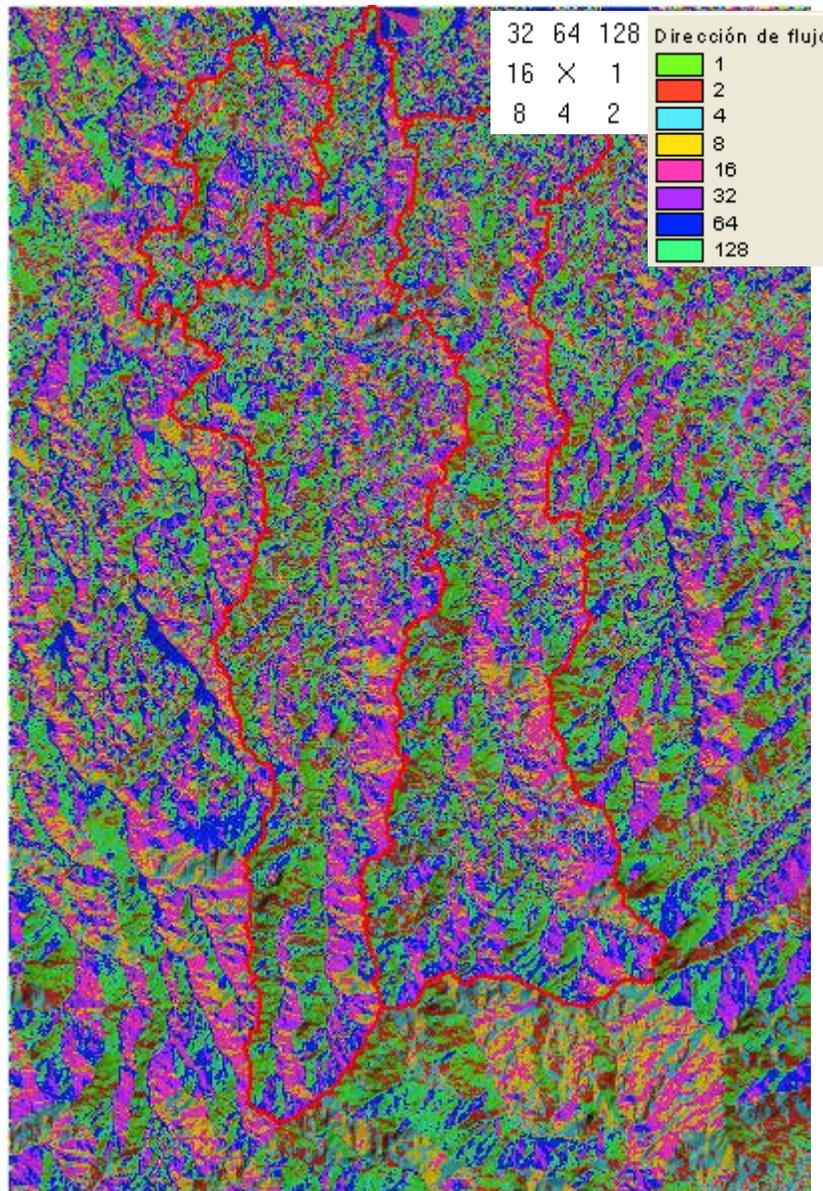
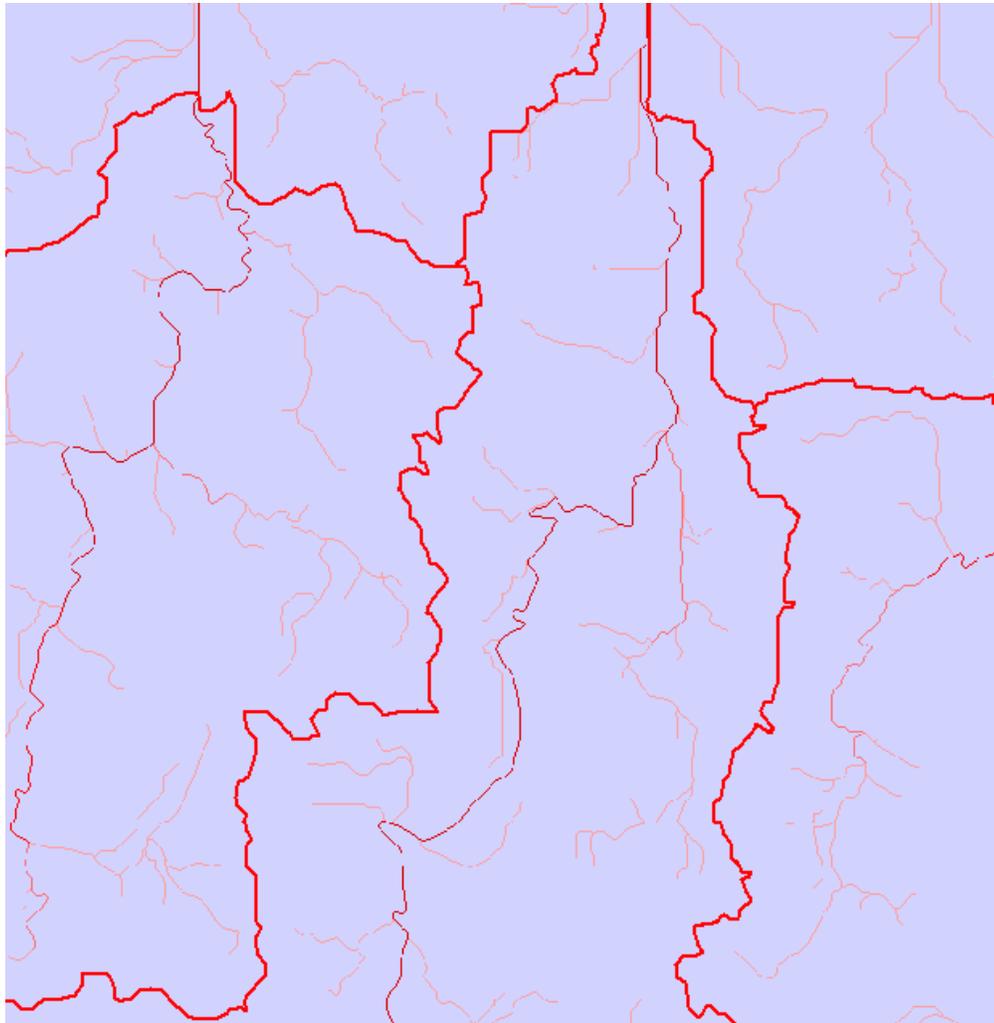


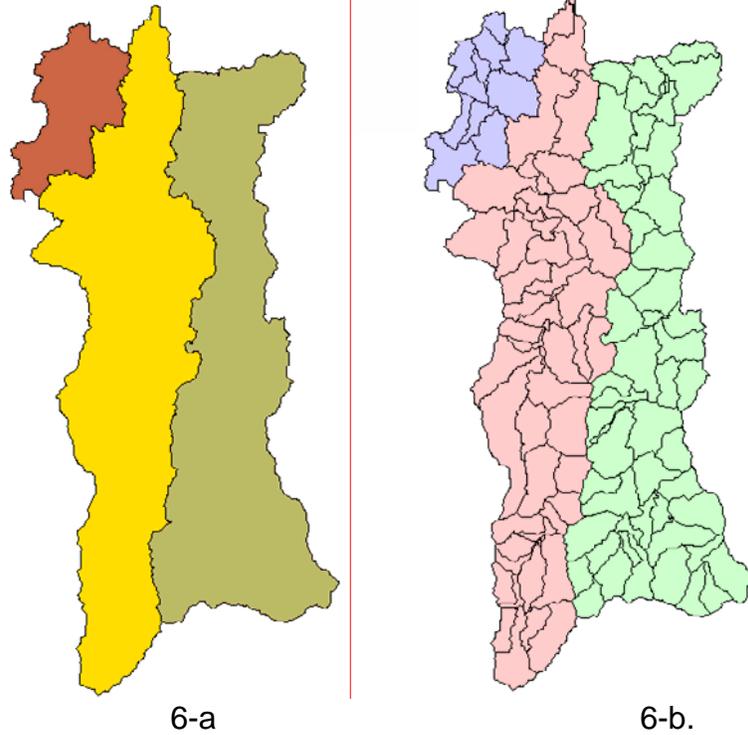
Figura No. 4. Grid de dirección de flujo

- ❖ Obtención del grid de acumulación de flujo: Con el grid de dirección de flujo se procedió a elaborar el grid de acumulación de flujo. Este grid se genera identificando primero aquellas celdas que no reciben flujo de ninguna celda (estas celdas son entonces las celdas que se consideran como las partes altas de las cuencas). Luego se identifica para cada píxel cuántos píxeles están contribuyendo con flujo “aguas arriba” y se le asigna ese valor al píxel. Es así como por definición, el drenaje de la cuenca estará integrado por aquellos píxeles que reciben más flujo. Un sector del grid de acumulación de flujo se muestra en la figura 5, donde se puede apreciar cómo se conforma la red de drenaje a partir del MED.



**Figura No. 5.** Grid de acumulación de flujo mostrando la red de drenaje.

- ❖ Shape de delimitación de las subcuencas del Río Ciri Grande, Ciriquito y Trinidad: Con los grids de acumulación de flujo y dirección de flujo se procede a generar el shape de las microcuencas que conforman el área de cubrimiento de las capas de datos (figura 6a). Dado que la generación de estas microcuencas es automática (lo único que se fija es el área mínima que debe tener una microcuenca), fue necesario hacer una edición de esta capa para identificar las microcuencas que están dentro de cada una de las áreas de estudio. Por último estas microcuencas se fusionan para formar conformar el shape con la delimitación de las subcuencas de los Ríos Ciri Grande, Ciriquito y Trinidad (figura 6b).



**Figura No. 6.** Microcuencas delimitadas a partir del grid de acumulación de flujo y contorno de las subcuencas delimitadas.

- ❖ Sectorización de las subcuencas: La delimitación de los sectores de las subcuencas (alto, medio y bajo) se hizo basada en el trabajo que realizó SONDEAR con base en las comunidades que ellos estudiaron y que incluyeron en cada sector. Se hicieron las consultas del caso en los informes y se llegó a una delimitación que respeta las comunidades involucradas en cada una de las regiones planteadas por SONDEAR. (figura 7).

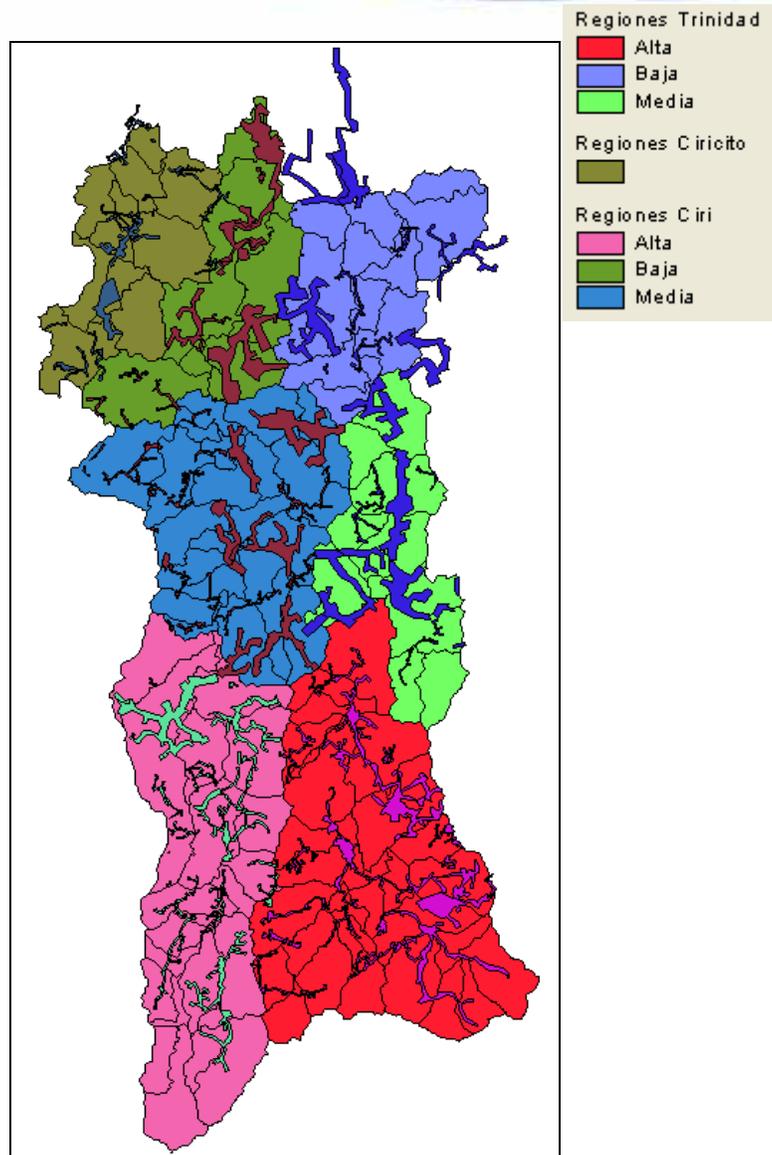


Figura No. 7. División de Subcuencas Ciri Grande y Trinidad en regiones alta, media y baja.

### 1.3. Mapa de curvas a nivel con intervalo vertical de 10 m derivadas del modelo de elevación digital SRTM

A partir del modelo de elevación digital del proyecto SRTM de la NASA, se derivaron las curvas a nivel con intervalo vertical de 10 metros. Estas curvas presentan una forma irregular debido a que son derivadas de una cobertura de formato grid (figura 8). Para corregir estos defectos se hizo un suavizado de líneas utilizando el algoritmo de PAEK disponible en ArcGIS 9.2 y luego se eliminaron los pequeños segmentos de arco que quedan como “errores” cuando se hace el suavizado (figura 9).



**Figura No. 8.** Curvas a nivel con intervalos verticales de 10 metros derivadas del modelo de elevación digital (sin suavizar)



**Figura No. 9.** Curvas a nivel con intervalos verticales de 10 metros derivadas del modelo de elevación digital (suavizadas)

#### **1.4. Mapa Base de las Subcuencas de Cirí Grande y Trinidad**

Con las capas generadas anteriormente y la información recopilada de otras instituciones (caminos, lugares poblados y división política), se procedió a la elaboración del mapa base de las subcuencas de Cirí Grande y Trinidad que se muestra en la figura 10.

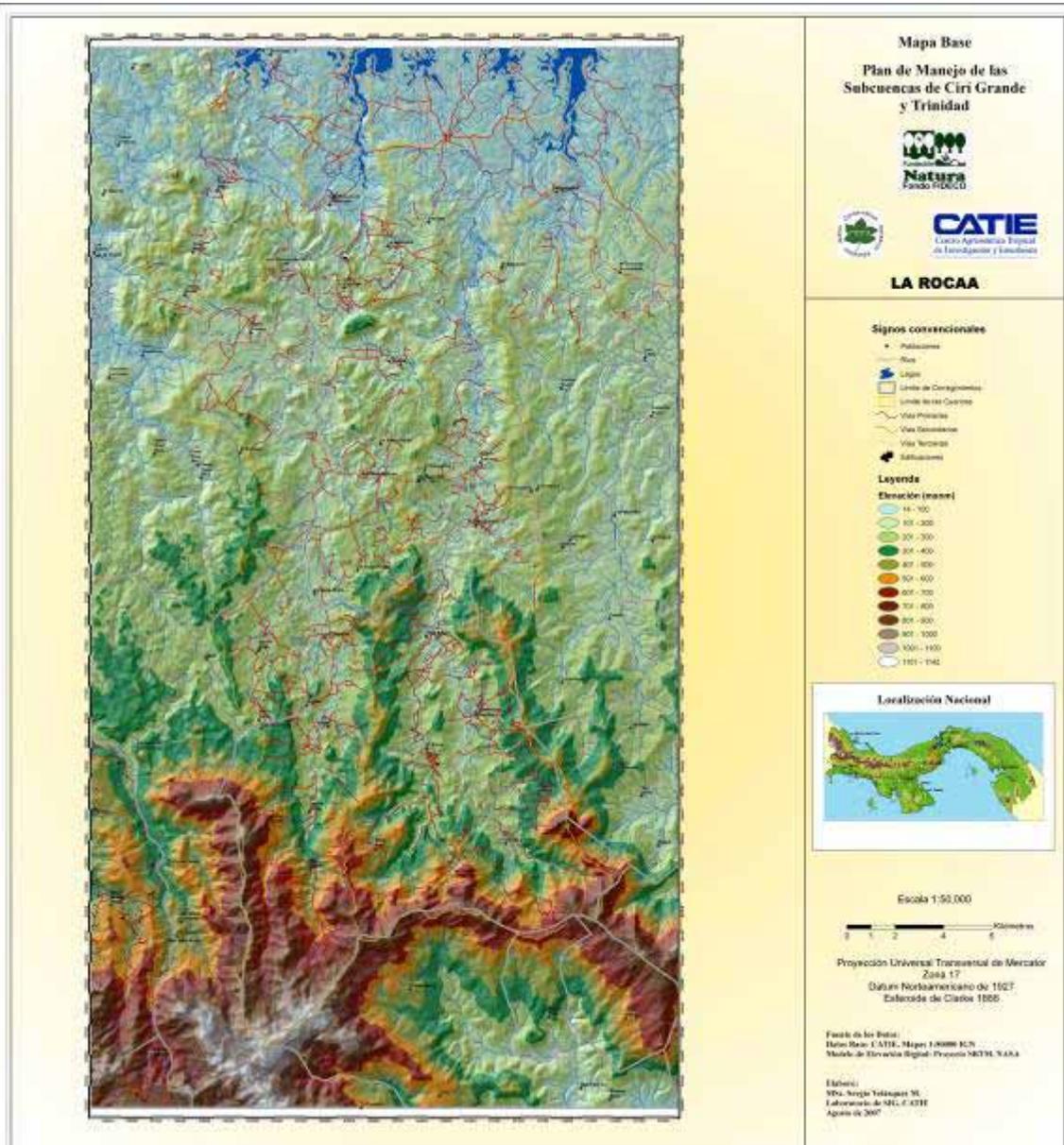


Figura No. 10. Mapa base de las Subcuencas Ciri-Grande y Trinidad

## 2. BASE DE DATOS GEOESPACIAL

### 2.1. Mapa de Cobertura del Suelo

Se obtuvo una imagen del sensor ASTER de fecha 21 de Octubre de 2006. Esta imagen cubre el área de estudio, sin embargo las partes altas de las cuencas, al sur, presentan algunas zonas de nubosidad (figura 11).

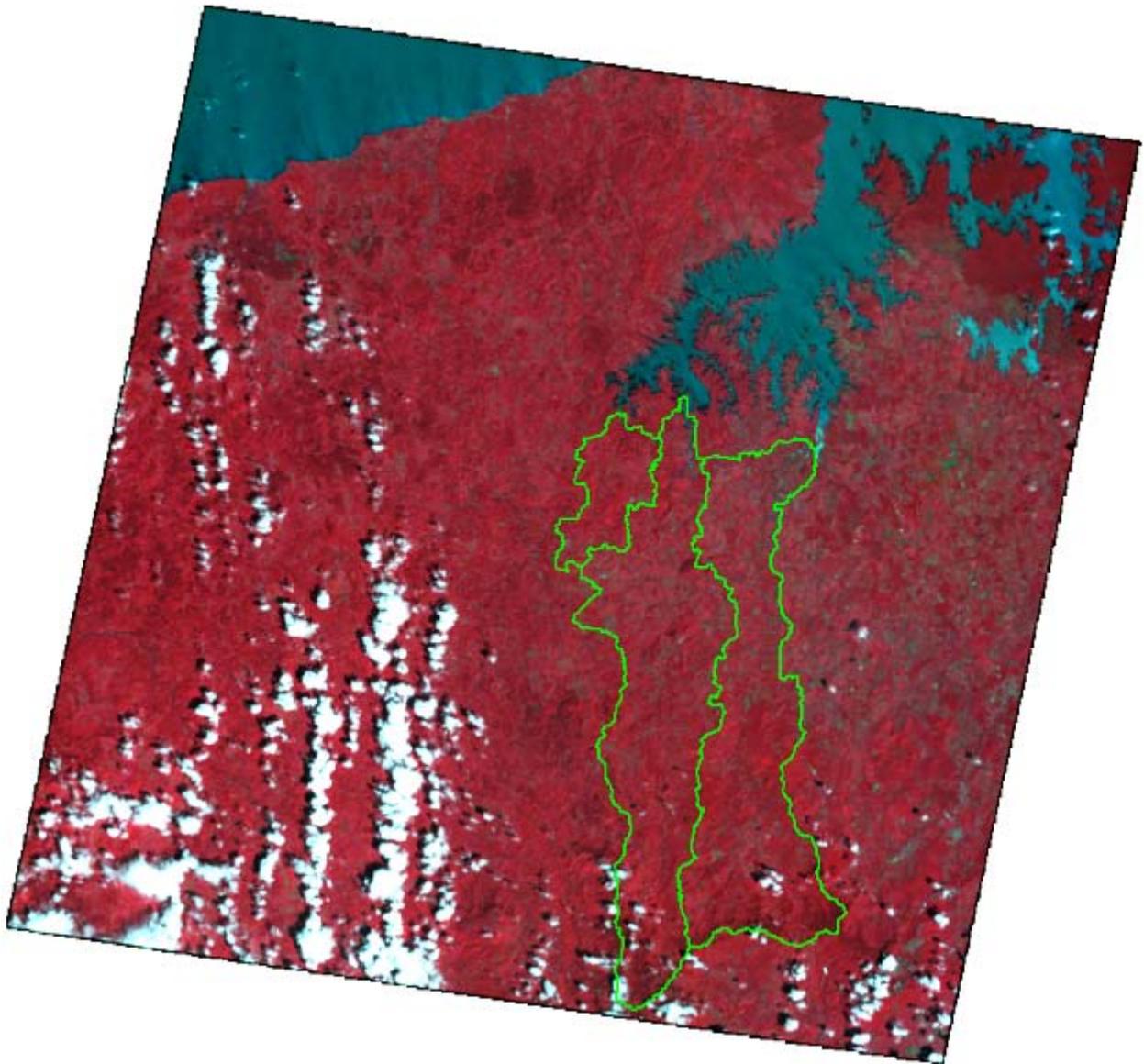


Figura No. 11. Imagen ASTER del 21 de Octubre de 2006.

El procesamiento realizado fue el siguiente:

- ❖ Georreferenciación de la imagen al sistema cartográfico de Panamá (UTM 17, NAD 27): Se procedió a la georreferenciación de la imagen utilizando el programa ERDAS IMAGINE 8.7. Para efectuarla se tomó como base el mosaico de la hojas 1:50,000 georreferenciado descrito en el acápite anterior. La georreferenciación de la imagen tuvo un error medio cuadrático (RMS) menor a 30 metros (2 pixeles). Se procedió en este mismo paso a generar una capa extra de Índice Normalizado de Vegetación, el cual se incorporó a la imagen, pues sirve de ayuda en el proceso de discriminación de los diferentes tipos de cobertura que existen en el área de estudio.
- ❖ Gira de observación y recolección de puntos de control de campo: Con el objetivo de tener insumos para la realización de la clasificación supervisada se levantaron un total de 40 puntos de control de campo para que sirvieran como insumo para realizar la clasificación supervisada. Los puntos se tomaron en las categorías de Bosque Maduro, Bosque secundario y matorrales, Pastos con matorral, Agropecuario y Agua.
- ❖ Clasificación No Supervisada de la imagen para extraer nubes y sombras: Previo a realizar la clasificación supervisada se procedió a correr una clasificación no supervisada por el método de Isodata, utilizando el programa ERDAS Imagine 8.7. En total se generaron 100 clusters, lo que permitió aislar las nubes y las sombras que producen. Con esta clasificación se creó una máscara de las mismas para eliminarlas (figura 12 y 13)

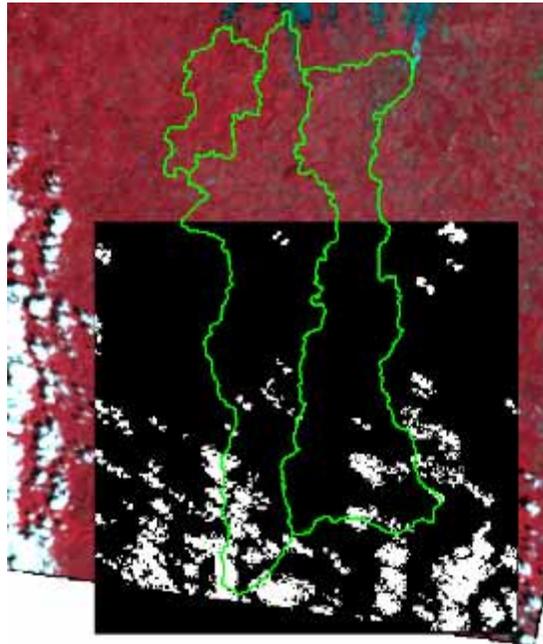


Figura No. 12. Máscara de nubes y sombras de la imagen ASTER

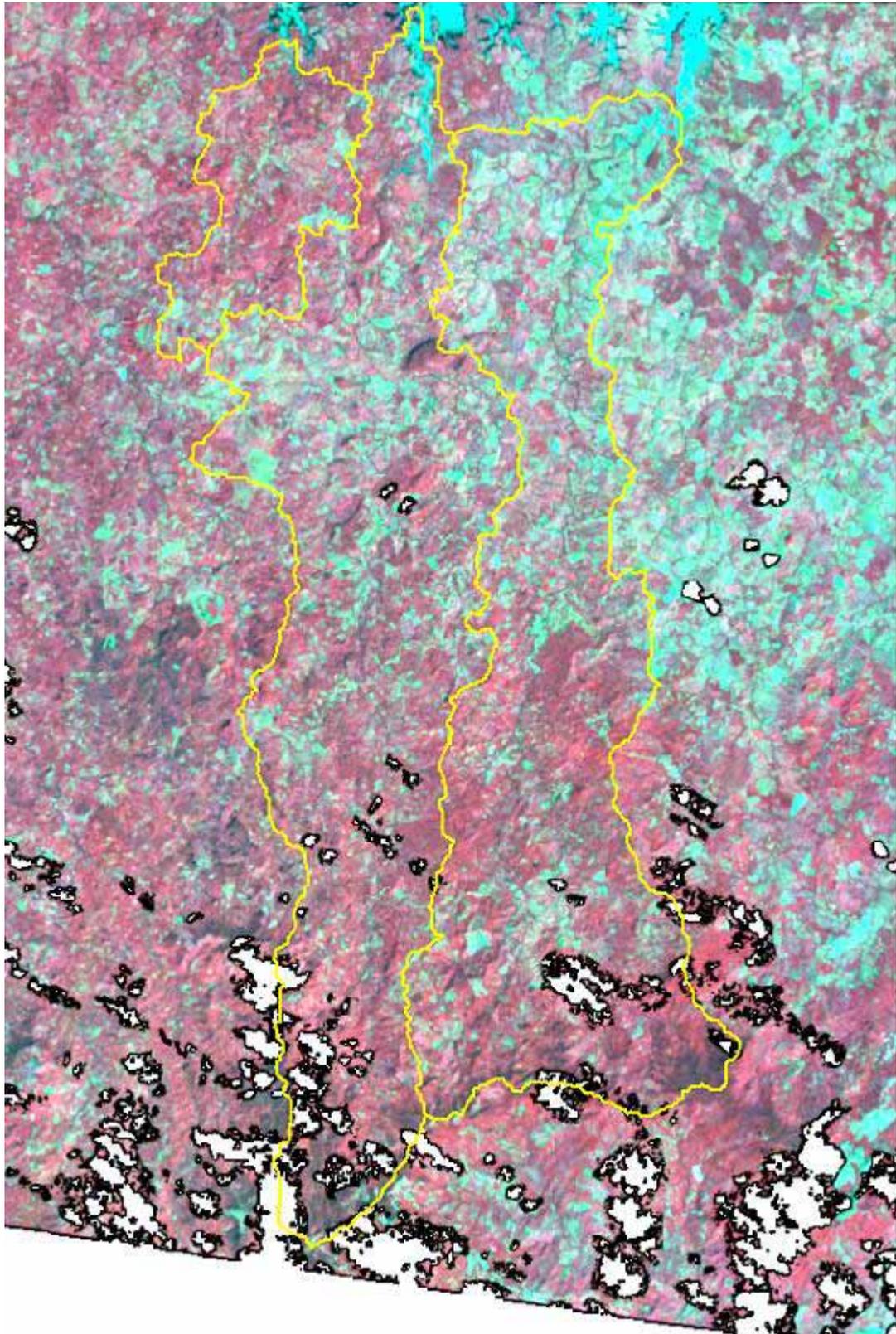


Figura No. 13. Imagen ASTER sin nubes y sombras.

- ❖ Clasificación de la imagen: En una primera aproximación se utilizó el software ERDAS Imagine para hacer la clasificación de la cobertura del suelo por el método mixto de clasificación supervisada y no supervisada, sin embargo se decidió incorporar otra técnica de clasificación que consiste en la segmentación de la imagen y que produce imágenes más suavizadas y con menos “sal y pimienta”. La segmentación es el proceso por el que se divide una imagen en sus partes constituyentes u objetos. Es uno de los elementos más importantes dentro del análisis automatizado de imágenes, ya que permite extraer objetos u otras entidades de interés a partir de una imagen, para un procesamiento posterior, como pueda ser la descripción o el reconocimiento. Básicamente, la segmentación es también un proceso de clasificación de píxeles: se asigna un valor de clase a cada píxel, de manera que la imagen queda segmentada en subconjuntos. El resultado es un proceso de clasificación que además es capaz de asignar otras propiedades a estos segmentos definidos anteriormente.

Para realizar esta clasificación se siguieron los siguientes pasos:

- Crecimiento de regiones: Es una técnica de agrupamiento de datos, en la cual sólo las regiones adyacentes espacialmente, pueden ser unidas. Inicialmente, este proceso de segmentación rotula cada "píxel" como perteneciente a una región diferente. Seguidamente se calcula un criterio de similitud para cada par de regiones adyacente espacialmente. El criterio de similitud se basa en un test de hipótesis estadístico que prueba la media entre las regiones. En este caso el nivel de similitud que se utilizó fue de 10 unidades. Luego se divide la imagen en un conjunto de subimágenes y se realiza la unión de regiones, según un umbral de agregación definido, que para este caso fue de 25 píxeles. Para que dos regiones A y B vecinas sean unidas, se debe adoptar el siguiente criterio:
  - A y B son similares (test de las medias);
  - la similitud satisface el umbral establecido;
  - A y B son mutuamente próximas (entre los vecinos de A, B es la más próxima, y entre los vecinos de B, A es la más próxima).

En el caso que las regiones A y B satisfagan estos criterios, dichas regiones serán agregadas, en caso contrario, el sistema reinicia el proceso de prueba de agregación. El resultado de la segmentación en un sector de la imagen se muestra en la figura 14.

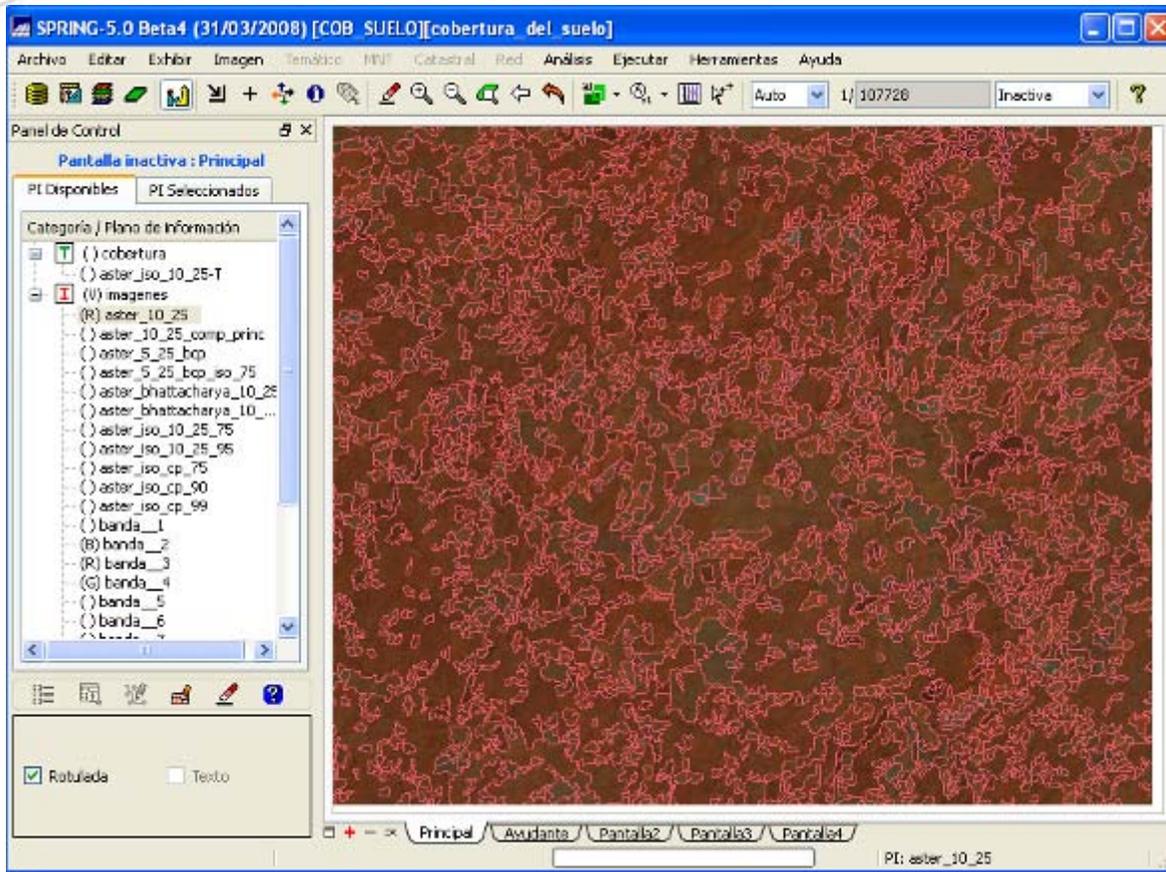


Figura No. 14. Resultado de la segmentación de la imagen ASTER

- ❖ Clasificación de imágenes segmentadas (Isoseg): El clasificador Isoseg es el algoritmo disponible en el SPRING para clasificar las regiones de una imagen segmentada. Es un algoritmo de agrupamiento de datos no supervisado, aplicado sobre un conjunto de regiones, que por su vez son caracterizadas por sus atributos estadísticos de media y matriz de covarianza y también por el área de cada una. Un algoritmo de "clustering" no asume ningún conocimiento previo de la distribución de densidad de probabilidad de los temas, como ocurre con el algoritmo de máxima verosimilitud. Es una técnica de clasificación que procura agrupar regiones, a partir de una medida de similitud entre las regiones. La medida de similitud utilizada consiste en la distancia de Mahalanobis entre la clase y las regiones candidatas a la relación de pertenencia con esta clase. En nuestro caso se escogió una variante de Spring, que permite escoger por medio de un "entrenamiento" similar al de la clasificación supervisada, los clusters que representan cada una de las clases o categorías de clasificación escogidas (figura 15). Para coincidir con las categorías de otros mapas elaborados para la zona de Ciri-Trinidad se modificaron

también las categorías de clasificación del mapa, siendo estas las siguientes:

- Bosque Maduro o Primario
- Bosque Secundario
- Plantaciones Forestales
- Matorrales y Rastrojos
- Agropecuarios
- Urbano
- Agua
- Nubes y Sombras de Nubes

El descriptor de estas categorías coincide con el desplegado en la publicación “Informe del Estado de Ambiente de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá, con la diferencia que las categorías de pastizales y cultivos han sido fusionados en una sola categoría denominada agropecuaria.

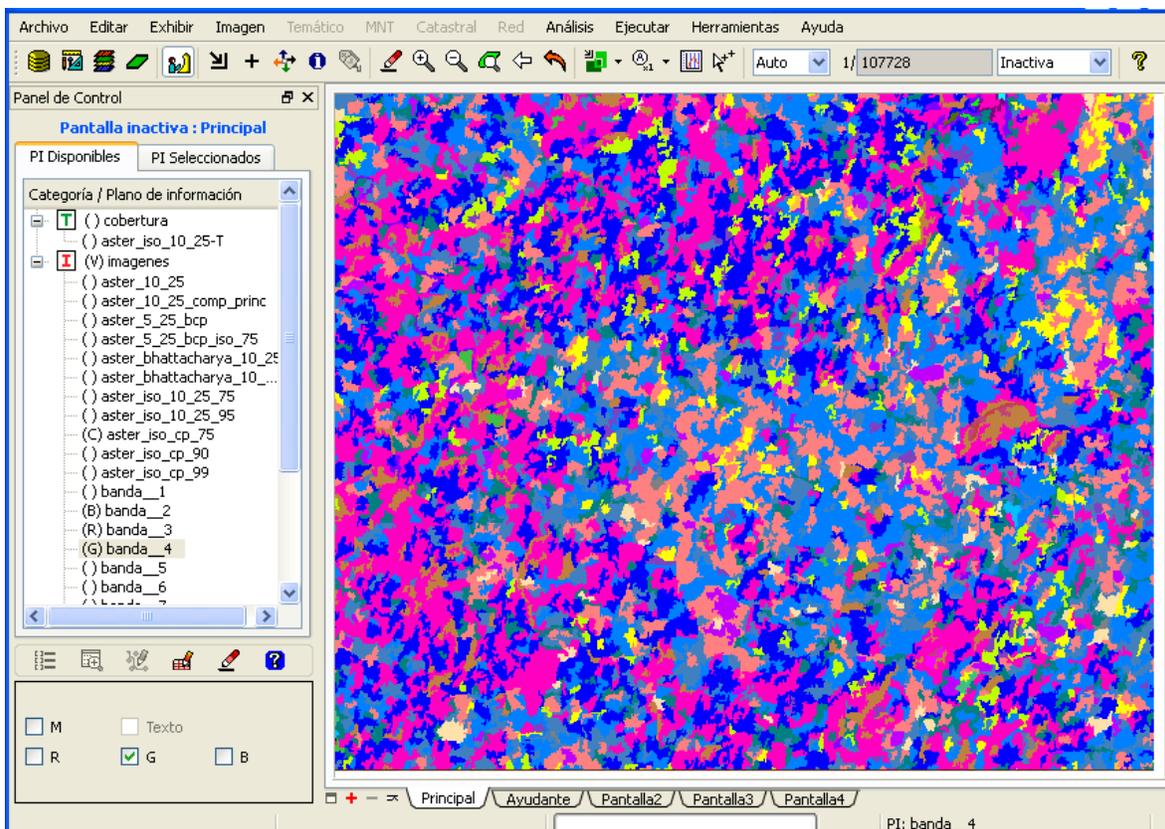
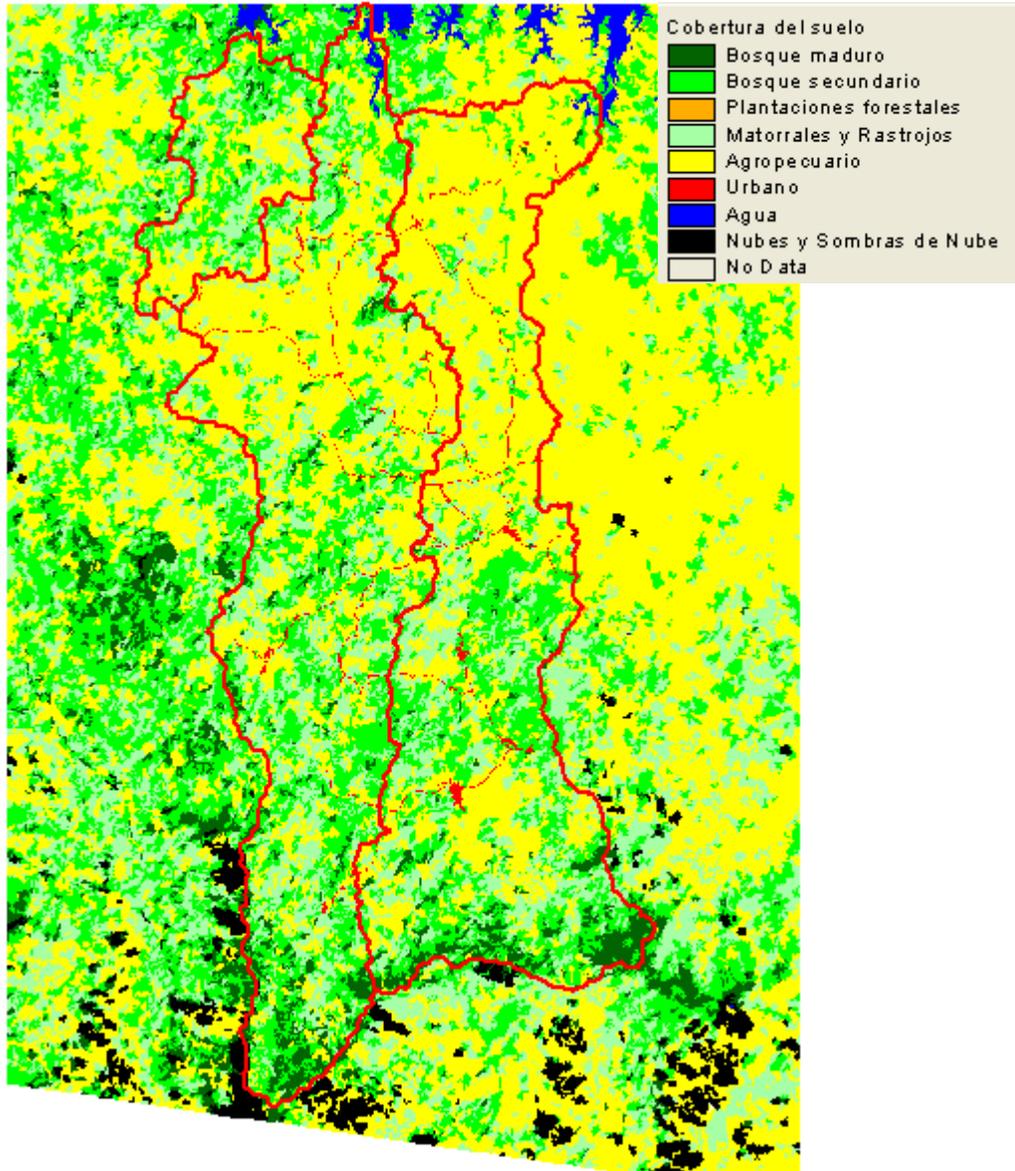


Figura No. 15. Resultado del proceso de segmentación y clasificación Iseseg.

- ❖ Clasificación final y llenado de vacíos: La imagen clasificada se traslado al software ArcView para ser procesada a nivel de la tabla de atributos y para llenar los vacíos de las nubes en la parte Sur. Para el efecto se procedió a

rotular los “clusters” del grid obtenido con Spring y luego se llenaron los vacíos con la información procedente del mapa de Cobertura del suelo 2006 proporcionado por la CICH. Este llenado de vacíos se hizo únicamente en el área que corresponde a las dos subcuencas (figura 16), sin embargo, por cuestión de falta de coincidencia entre los límites de la cuenca establecida en el mapa proporcionado por la CICH y los mapas del CATIE, siempre quedó una pequeña porción de nubes y sombras que no se pudieron eliminar.



**Figura No. 16.** Resultado del proceso de asignación de clases y llenado de vacíos de información.

Una vez concluido el proceso se procedió a cortar el grid al tamaño de la cuenca y a elaborar el mapa final para su presentación, el cual se muestra en la figura 17.

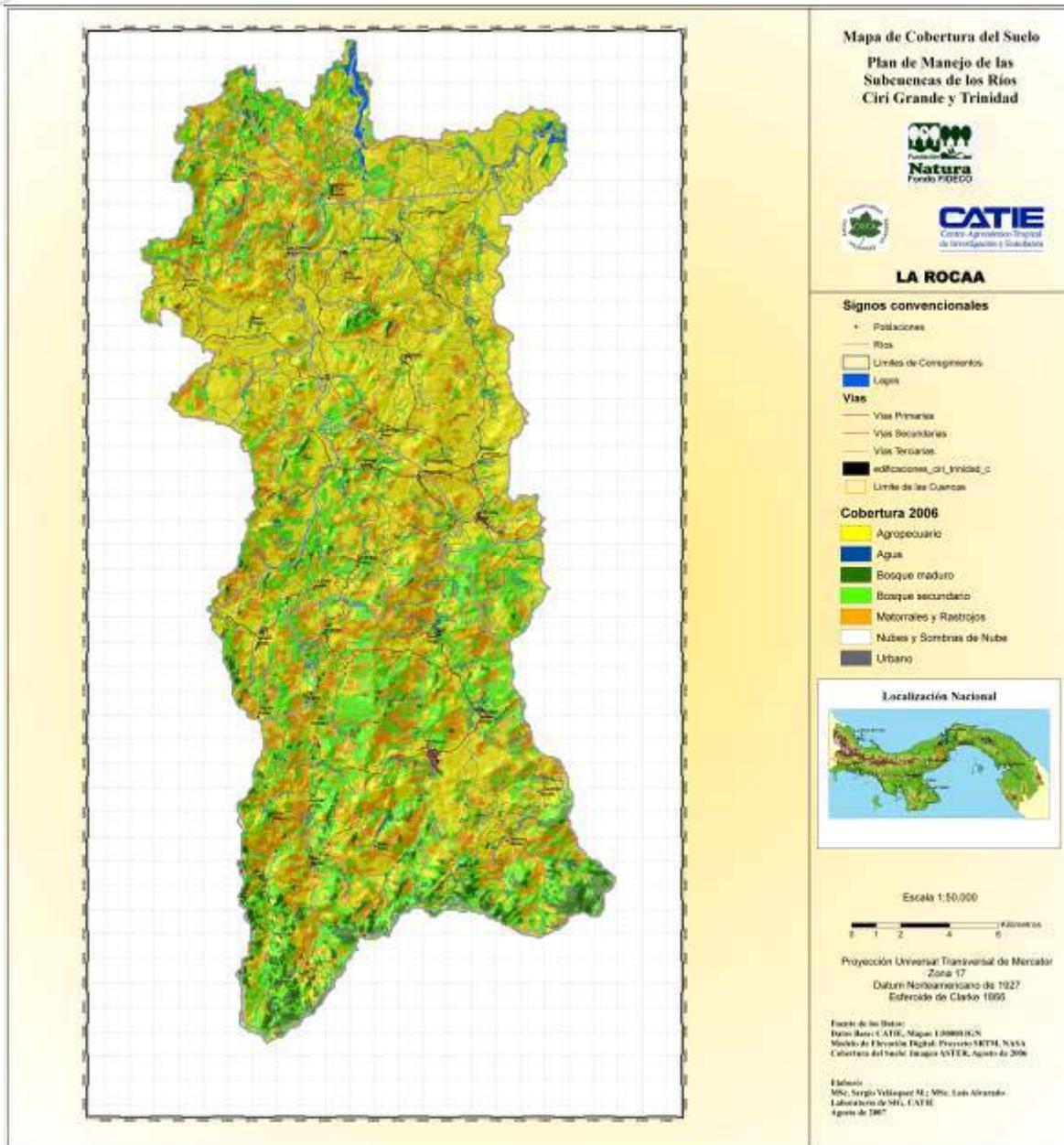


Figura No. 17. Mapa de Cobertura del Suelo de las Subcuencas Ciri Grande y Trinidad.

## 2.2 Grid de Formas del Terreno o Fisiografía:

Se utilizó el grid de pendientes y el modelo de elevación digital para generar con ayuda de la extensión “Topographic Position Index” el grid de “Formas del terreno o fisiografía” (figura 18), el cual puede servir eventualmente como insumo para planificación de mapeo de suelos a escalas más detalladas o en otras aplicaciones en donde se requiera la fisiografía como insumo .

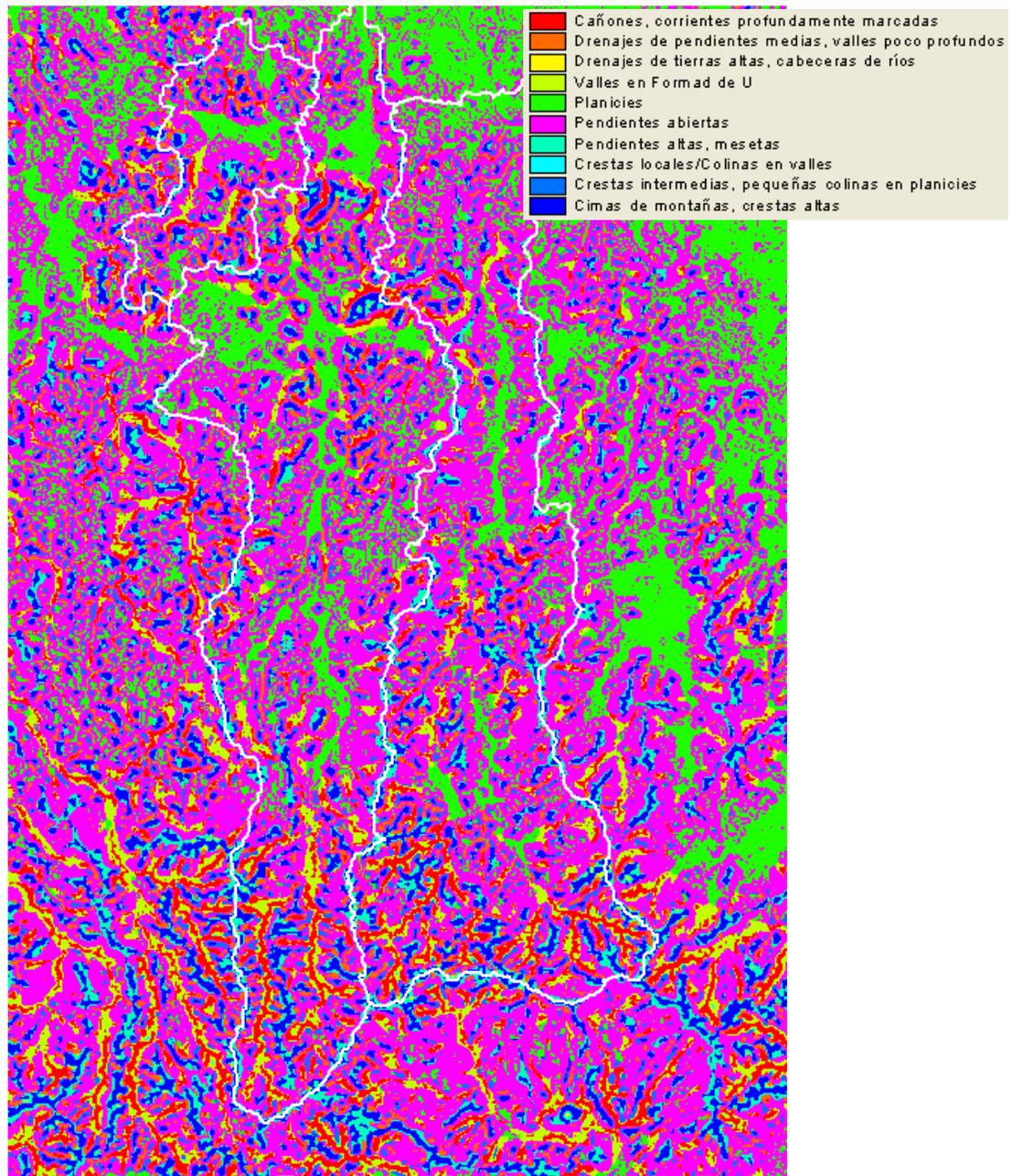


Figura No. 18. Grid de Formas de Terreno o Fisiografía.

### 2.3. Mapa de conflictos de uso

El mapa de conflictos de uso consiste en una confrontación entre el mapa con la cobertura actual del suelo y el mapa de la capacidad de uso del mismo. El resultado de esta sobreposición muestra aquellas áreas en las que se considera que el uso del suelo no excede la capacidad de sostenimiento de la cobertura (subuso), el uso del suelo iguala la capacidad de sostenimiento de la cobertura o

que la misma se encuentra en equilibrio (uso a capacidad), y cuando el uso del suelo excede la capacidad de sostenimiento de los mismo.

Para su elaboración se construyó una matriz de doble entrada (matriz de conflictos de uso), y en la que se determinó de acuerdo a la experiencia de los técnicos de la consultoría los diferentes conflictos producto del cruce de las categorías de los dos mapas. En el cuadro 1 se presenta la matriz utilizada para la elaboración del mapa. En esta matriz se consideraron 6 tipos de cobertura (no se incluyeron las nubes y sombras, así como los cuerpos de agua), tres profundidades de suelo (poco profundo, moderadamente profundo y muy profundo) extraídas del mapa de CATAPAN y seis categorías de pendiente (0-3%, 3-8%, 8-20%, 20-45%, 45-75% y >75%). A cada una de las categorías de los mapas les fue dado un código, de tal manera que la suma de los códigos de cada una de las combinaciones entre ellos arroje como resultado un número único.

**Cuadro No. 1. Matriz de conflictos de uso**

		Pendiente (0-3%) 1000					
Cobertura del Suelo		Poco prof.	100	Mod. Prof	200	Muy Profundo	300
Nubes y Sombras	0	NA	1100	NA	1200	NA	1300
Bosque maduro	1	subuso	1101	subuso	1201	subuso	1301
Bosque secundario	2	subuso	1102	subuso	1202	subuso	1302
Matorrales / Rastrojos	3	subuso	1103	subuso	1203	subuso	1303
Agropecuario	4	sobreuso	1104	adecuado	1204	adecuado	1304
Agua	5	NA	1105	NA	1205	NA	1305
Centro Poblado	6	Urbano	1106	Urbano	1206	Urbano	1306
Plantaciones forestales	7	adecuado	1107	adecuado	1207	adecuado	1307
		Pendiente (3-8%) 2000					
Cobertura del Suelo		Poco prof.	100	Mod. Prof	200	Muy Profundo	300
Nubes y Sombras	0	NA	2100	NA	2200	NA	2300
Bosque maduro	1	subuso	2101	subuso	2201	subuso	2301
Bosque secundario	2	subuso	2102	subuso	2202	subuso	2302
Matorrales / Rastrojos	3	subuso	2103	subuso	2203	subuso	2303
Agropecuario	4	sobreuso	2104	adecuado	2204	adecuado	2304
Agua	5	NA	2105	NA	2205	NA	2305
Centro Poblado	6	Urbano	2106	Urbano	2206	Urbano	2306
Plantaciones forestales	7	adecuado	2107	adecuado	2207	adecuado	2307
		Pendiente (8-20%) 3000					
Cobertura del Suelo		Poco prof.	100	Mod. Prof	200	Muy Profundo	300
Nubes y Sombras	0	NA	3100	NA	3200	NA	3300
Bosque maduro	1	subuso	3101	subuso	3201	subuso	3301
Bosque secundario	2	adecuado	3102	subuso	3202	subuso	3302
Matorrales / Rastrojos	3	adecuado	3103	adecuado	3203	adecuado	3303
Agropecuario	4	sobreuso	3104	sobreuso	3204	adecuado	3304
Agua	5	NA	3105	NA	3205	NA	3305
Centro Poblado	6	Urbano	3106	Urbano	3206	Urbano	3306
Plantaciones forestales	7	adecuado	3107	adecuado	3207	adecuado	3307

Pendiente (20-45%) 4000							
Cobertura del Suelo		Poco prof.	100	Mod. Prof	200	Muy Profundo	300
Nubes y Sombras	0	NA	4100	NA	4200	NA	4300
Bosque maduro	1	adecuado	4101	adecuado	4201	subuso	4301
Bosque secundario	2	adecuado	4102	adecuado	4202	adecuado	4302
Matorrales / Rastrojos	3	sobreuso	4103	sobreuso	4203	adecuado	4303
Agropecuario	4	sobreuso	4104	sobreuso	4204	sobreuso	4304
Agua	5	NA	4105	NA	4205	NA	4305
Centro Poblado	6	Urbano	4106	Urbano	4206	Urbano	4306
Plantaciones forestales	7	adecuado	4107	adecuado	4207	adecuado	4307
Pendiente (45-75%) 5000							
Cobertura del Suelo		Poco prof.	100	Mod. Prof	200	Muy Profundo	300
Nubes y Sombras	0	NA	5100	NA	5200	NA	5300
Bosque maduro	1	adecuado	5101	adecuado	5201	adecuado	5301
Bosque secundario	2	adecuado	5102	adecuado	5202	adecuado	5302
Matorrales / Rastrojos	3	sobreuso	5103	sobreuso	5203	sobreuso	5303
Agropecuario	4	sobreuso	5104	sobreuso	5204	sobreuso	5304
Agua	5	NA	5105	NA	5205	NA	5305
Centro Poblado	6	Urbano	5106	Urbano	5206	Urbano	5306
Plantaciones forestales	7	sobreuso	5107	sobreuso	5207	sobreuso	5307
Pendiente (más de 75%) 6000							
Cobertura del Suelo		Poco prof.	100	Mod. Prof	200	Muy Profundo	300
Nubes y Sombras	0	NA	6100	NA	6200	NA	6300
Bosque maduro	1	adecuado	6101	adecuado	6201	adecuado	6301
Bosque secundario	2	sobreuso	6102	sobreuso	6202	sobreuso	6302
Matorrales / Rastrojos	3	sobreuso	6103	sobreuso	6203	sobreuso	6303
Agropecuario	4	sobreuso	6104	sobreuso	6204	sobreuso	6304
Agua	5	NA	6105	NA	6205	NA	6305
Centro Poblado	6	Urbano	6106	Urbano	6206	Urbano	6306
Plantaciones forestales	7	sobreuso	6107	sobreuso	6207	sobreuso	6307

El mapa de conflictos de uso se muestra en la figura 19.

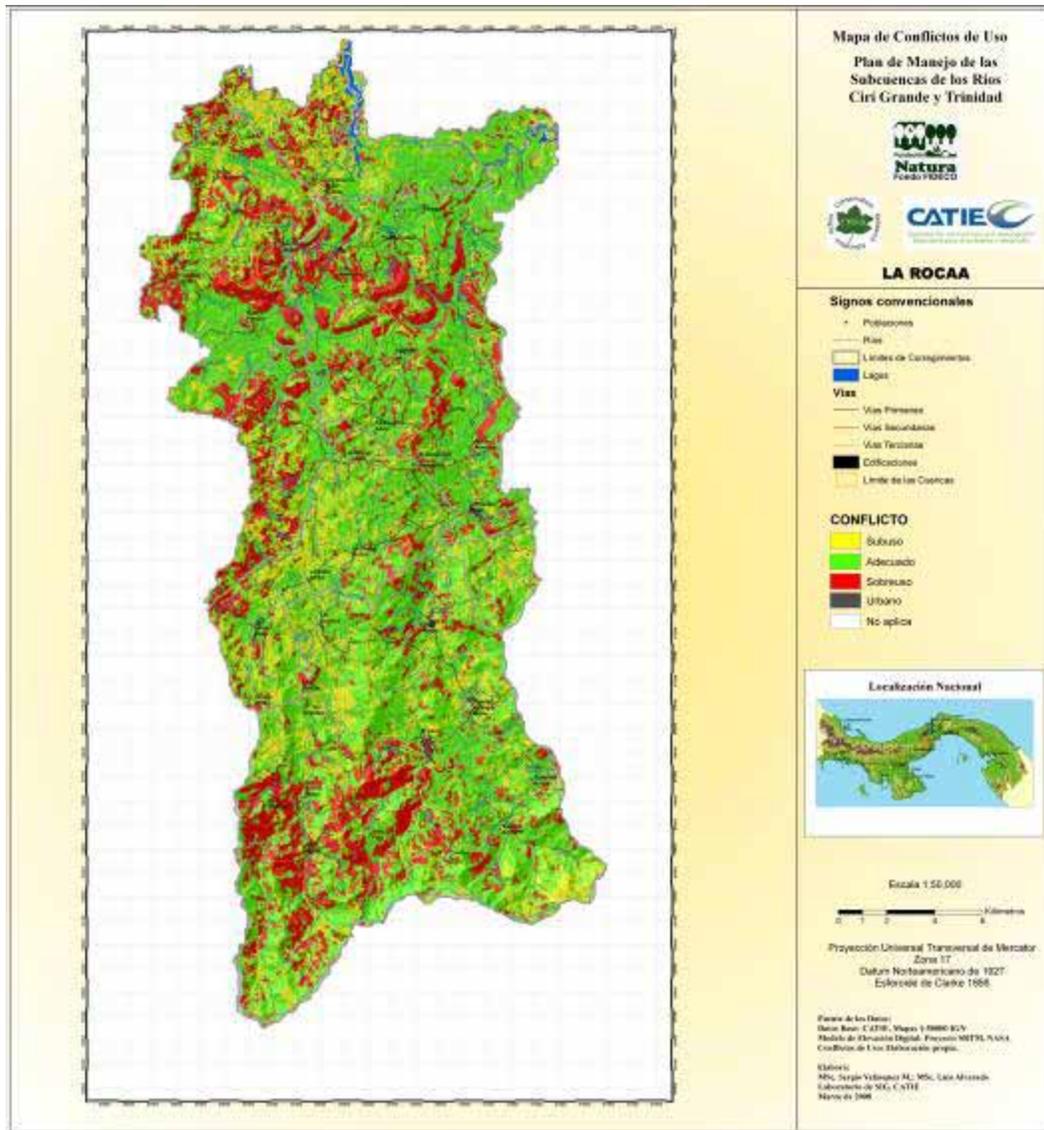


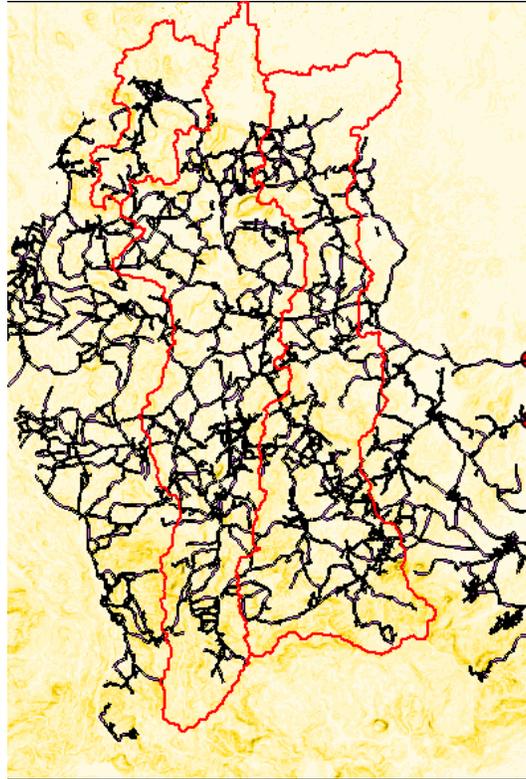
Figura No. 19. Mapa de conflictos de uso.

## 2.4. Mapa de zonificación para el ordenamiento territorial

El mapa de zonificación para el ordenamiento territorial se elaboró siguiendo la metodología que el CATIE implementó en el marco del Proyecto Manejo de Desastres Naturales (PMDN) desarrollado en Honduras. Esta metodología se adaptó a los lineamientos de Plan Indicativo de Ordenamiento Territorial de la República de Panamá

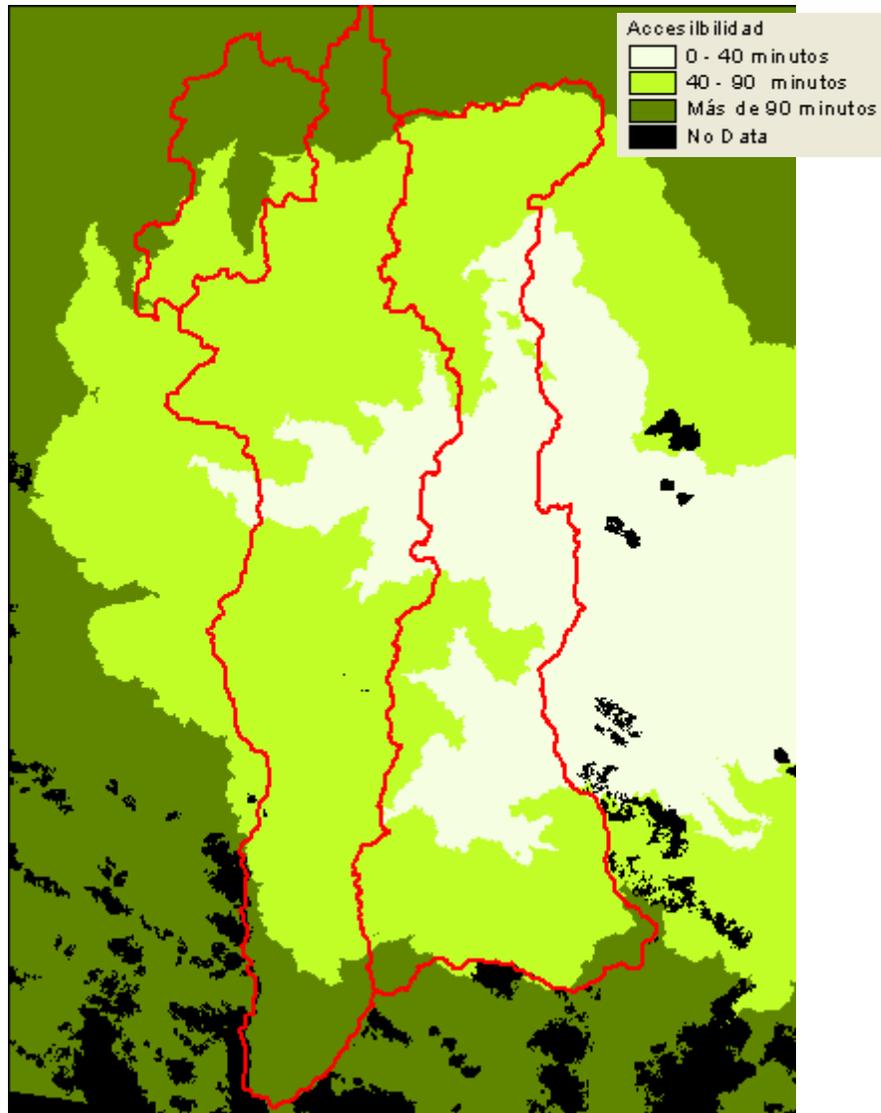
Previo a la elaboración del mapa de zonificación para el ordenamiento territorial fue necesario elaborar una capa intermedia que es la accesibilidad a la zona de estudio. El análisis de accesibilidad se realizó por medio de la extensión “Accessibility Analysis” desarrollada por el Centro Interamericano de Agricultura

Tropical (CIAT) con sede en Cali, Colombia. Para ese análisis se tomó como base para la medida de accesibilidad, los dos puntos que se encuentran sobre las carreteras de acceso a las subcuencas y que coinciden con la orilla del grid del área de estudio (figura 20).



**Figura No. 20.** Puntos de referencia para crear el grid de accesibilidad a las subcuencas de Ciri Grande y Trinidad.

La extensión combina los mapas de pendientes, cobertura del suelo, caminos y otras barreras como los ríos, para generar el grid de accesibilidad, en donde cada uno de los pixeles representa el tiempo de viaje en minutos para llegar de los puntos de acceso a cualquier punto dentro del área de estudio. En la figura 21 se muestra el grid resultante.



**Figura No. 21.** Grid de Accesibilidad a las Subcuencas de los Ríos Ciri Grande y Trinidad

Con las categorías de los mapas de Cobertura del Suelo, Conflictos de uso y Accesibilidad se elaboró una matriz que determina las categorías de ordenamiento territorial de las Subcuencas de los Ríos Ciri Grande y Trinidad. La matriz se muestra en el cuadro 2 y el mapa resultante en la figura 22.

De igual manera que en la matriz anterior, se codificaron las categorías de estos grids de tal manera que la suma de los códigos de cada combinación tenga como resultado un código único. Luego estos códigos se reclasificarán a las diferentes categorías de ordenamiento territorial. Los códigos que no están asignados en la tabla son aquellos que corresponden a combinaciones que no se dieron en el área de estudio.

**Cuadro No. 2.** Matriz para la elaboración del mapa de Zonificación para el ordenamiento territorial.

		Muy accesible 1000							
Cobertura del Suelo		Subuso	100	Uso Adecuado	200	Sobreuso	300	Urbano	400
Nubes y Sombras	0	no aplica	1100	no aplica	1200	no aplica	1300	no aplica	1400
Bosque maduro	1	C/7	1101	C/7	1201		1301	no aplica	1401
Bosque secundario	2	C/7	1102	C/7	1202		1302	no aplica	1402
Matorrales / Rastrojos	3	C/5 a C/4	1103	C/5	1203	C/6	1303	no aplica	1403
Agropecuario	4	B/3	1104	B/3	1204	C/4	1304	no aplica	1404
Agua	5	no aplica	1105	no aplica	1205	no aplica	1305	no aplica	1405
Urbano	6	E/11	1106	E/11	1206	E/11	1306	E/11	1406
Plantaciones Forestales	7	C/5	1107	C/5	1207	C/5	1307	C/5	1407

		Accesibilidad Media 2000							
Cobertura del Suelo		Subuso	100	Uso Adecuado	200	Sobreuso	300	Urbano	400
Nubes y Sombras		no aplica	2100	no aplica	2200	no aplica	2300	no aplica	2400
Bosque maduro		C/7	2101	C/7	2201		2301	no aplica	2401
Bosque secundario		C/7	2102	C/7	2202	C/8	2302	no aplica	2402
Matorrales / Rastrojos		C/5	2103	C/5	2203	C/6	2303	no aplica	2403
Agropecuario		B/3	2104	B/3	2204	C/4	2304	no aplica	2404
Agua		no aplica	2105	no aplica	2205	no aplica	2305	no aplica	2405
Urbano		E/11	2106	E/11	2206	E/11	2306	E/11	2406
Plantaciones Forestales		C/5	2107	C/5	2207	C/5	2307	C/5	2407

		Poco accesible 3000							
Cobertura del Suelo		Subuso	100	Uso Adecuado	200	Sobreuso	300	No aplica	400
Nubes y Sombras		no aplica	3100	no aplica	3200	no aplica	3300	no aplica	3400
Bosque maduro		C/8	3101	C/8	3201	C/8	3301	No aplica	3401
Bosque secundario		C/8	3102	C/8	3202	C/8	3302	no aplica	3402
Matorrales / Rastrojos		C/5	3103	C/6	3203	C/6	3303	no aplica	3403
Agropecuario		C/4	3104	C/4	3204	C/8	3304	no aplica	3404
Agua		no aplica	3105		3205		3305	no aplica	3405
Urbano		E/11	3106	E/11	3206	E/11	3306	No aplica	3406
Plantaciones Forestales		C/5	3107	C/5	3207	C/8	3307	No aplica	3407

**Categorías de Zonificación para el Ordenamiento Territorial**

A)	Zonas de desarrollo potencial agrícola								
1	A/1	Desarrollo potencial para la agroindustria							
2	A/2	Desarrollo potencial para la agricultura con técnicas de conservación de suelos y sistemas agroforestales							
B)	Zonas de desarrollo agropecuario actual								
3	B/3	Desarrollo agropecuario con técnicas de manejo sostenibles							
C)	Zonas de desarrollo forestal y/o agroforestal								
4	C/4	Desarrollo potencial para producción agroforestal/silvopastoril							
5	C/5	Desarrollo de la producción forestal							
6	C/6	Desarrollo de la regeneración natural en zonas no aptas para la producción agropecuaria, agroforestal y forestal.							
7	C/7	Desarrollo del aprovechamiento forestal en bosque intervenido y maduro							
8	C/8	Desarrollo de la conservación del bosque con fines conservación de la biodiversidad y de belleza escénica							
D)	Zonas de conservación de la zona marino-costera								
9	D/9	Desarrollo de la conservación del bosque de mangle							
10	D/10	Desarrollo de la conservación del humedal (vegetación baja inundable)							
E)	Núcleos Urbanos								
11	E/11	Desarrollo urbano en núcleos tradicionales							
12	NA	No aplica							

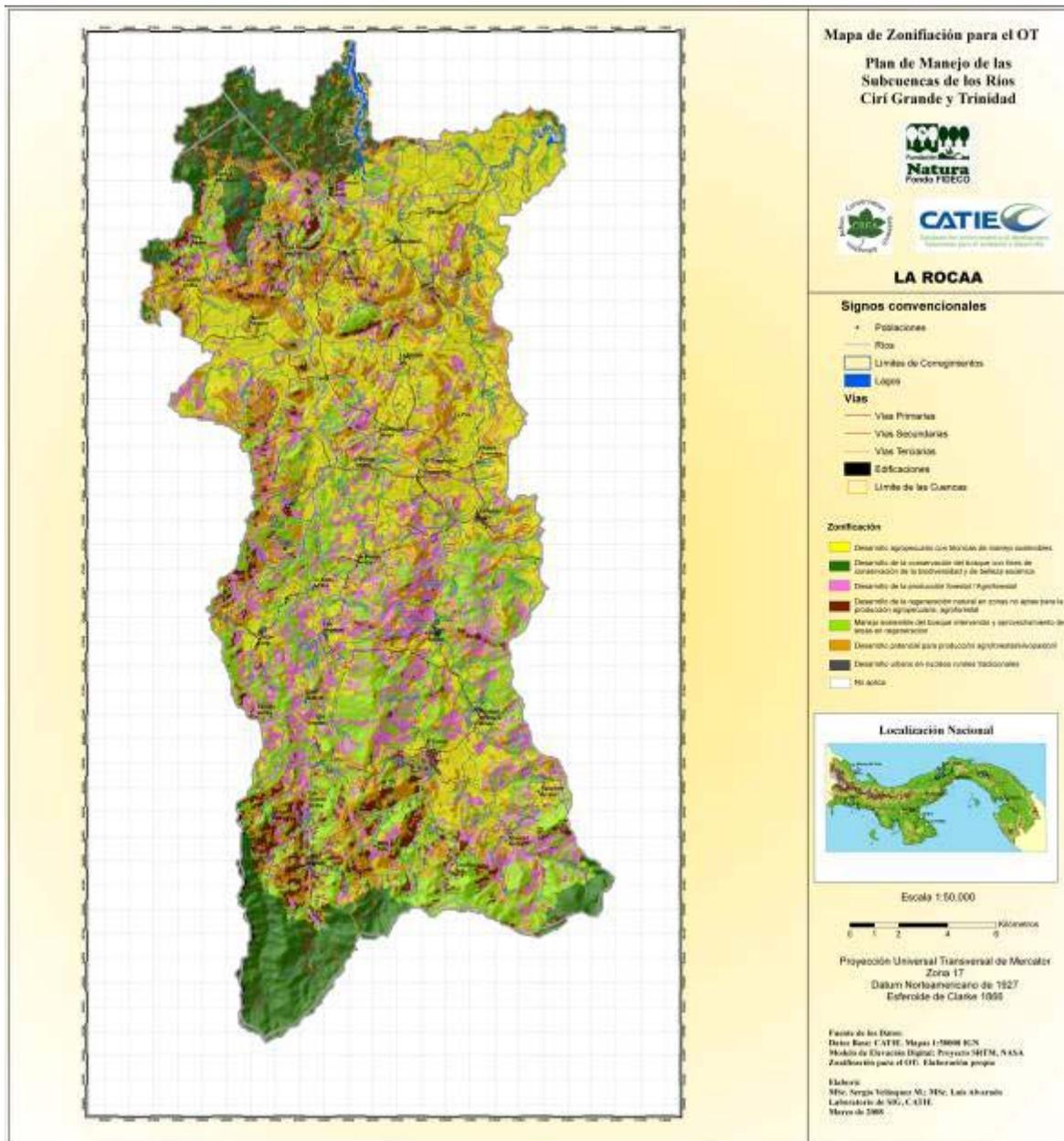


Figura No. 22. Mapa de Zonificación para el Ordenamiento Territorial de las Subcuencas de los Ríos Ciri Grande y Trinidad.

## 2.5. Mapa de erosión actual

El mapa de erosión actual (figura 23) fue calculado por medio de la Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelo (RUSLE), propuesta por Wischmeier y Smith en 1965 y modificada por Renard, et al. en 1997. Este mapa muestra la cantidad estimada en Toneladas/ha/año que se remueven debido al proceso de erosión laminar y en canales.

Los factores que componen la ecuación son los siguientes:

**Factor R (Erosividad anual)**

La erosividad anual (R) expresada en MJ \* mm/ha\*h\*año fue asumida como 100 MJ\* mm/ha\*h\*añ y deducido este valor como intermedio de un grupo de estaciones seleccionadas, del trabajo de César Icaza intitulado: “Consecuencias Negativas de la Erosión de Suelos en la Cuenca Alta del Río Santa María”. Para asumir este valor se tomó como referencia que las estaciones tengan un clima similar al de la Cuenca Ciri Grande y Trinidad y que la cantidad de precipitación total anual también fuera similar.

**Factor K (Erodabilidad del suelo):**

El factor de erodabilidad del suelo se tomó del trabajo de Stone, R. Universal Soil Loss Equation (USLE). Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, y disponible en: <http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/00-001.htm>.

Las unidades de este factor son: MJ\*mm/ha\*h\*año

Se utilizaron los valores para un contenido de materia orgánica promedio y se sustituyeron en el mapa de textura de suelos elaborado en el marco de esta consultoría. Los valores para las texturas de suelo de las Subcuencas Ciri Grande y Trinidad se consignan en el cuadro 3.

**Cuadro No. 3. Facto K de erodabilidad del suelo**

Textura	K
Arenoso franco	0.04
Franco arenoso	0.13
Franco	0.30
Franco arcillo arenoso	0.20
Franco arcilloso	0.30
Arcilla	0.22
Arcillo Arenoso	0.20
Arenoso	0.02
Franco Limoso	0.26

**Factor LS (Longitud de Pendiente)**

El factor LS se calculó de acuerdo a la metodología propuesta por “Moore, I. y Burch, G. 1986a. Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Equation. Soil Science Society of America Journal 50:1294-1298” y que plantea el uso de la siguiente fórmula:

$$LS = (AccFlj * Tc/22.13)^{0.4} * (sen Pend/0.0896) ^{1.3}$$

Donde:

**LS:** Longitud de la pendiente (adimensional)

**AccFlj:** Grid de acumulación de flujo

**Tc:** Tamaño de la celda en el grid

**Pend:** Grid de pendiente en radianes

### Factor C y P (Cobertura y Prácticas agrícolas)

Este factor se tomó del trabajo intitulado “Erosión de suelos en América Latina: USLE en Costa Rica, disponible en: [www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S0h.htm](http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S0h.htm)  
Los valores son adimensionales y se presentan en el siguiente cuadro.

**Cuadro No. 4.** Factor C y P de cobertura del suelo y prácticas agrícolas

Cobertura	C	P
Bosque maduro	0.001	1.00
Bosque secundario	0.001	1.00
Plantación forestal	0.04	1.00
Matorrales/Rastrojos	0.05	1.00
Agropecuario	0.10	1.00
Agua	0.00	0.00
Urbano	0.40	0.00

En el caso del valor C para el área urbana se asignó el valor de suelo desnudo por considerar que la mayoría de áreas urbanas y calles no están asfaltadas y constituyen una fuente muy grande de sedimentos a los ríos.

Estos valores fueron aplicados al mapa de Cobertura del suelo de las Subcuencas de Ciri Grande y Trinidad

### Fórmula de la USLE:

Una vez obtenidos los mapas para todos los factores, se procedió a multiplicarlos de acuerdo a la siguiente fórmula:

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

Donde

**A:** Pérdida de suelo (Ton/Acre/año)

**R:** Erosividad anual (100\*\*pie\*ton\*pulg/acre\*h\*año)

**LS:** Longitud de la pendiente (Adimensional)

**C:** Factor de Cobertura (Adimensional)

**P:** Factor de prácticas agrícolas (Adimensional).

El mapa obtenido se dividió entre 0.4047 para obtener las dimensionales Ton/ha/año. Después de esto se reclasificó el mapa de erosión de acuerdo a los valores de tolerancia y presentados en el mapa final (figura 23).

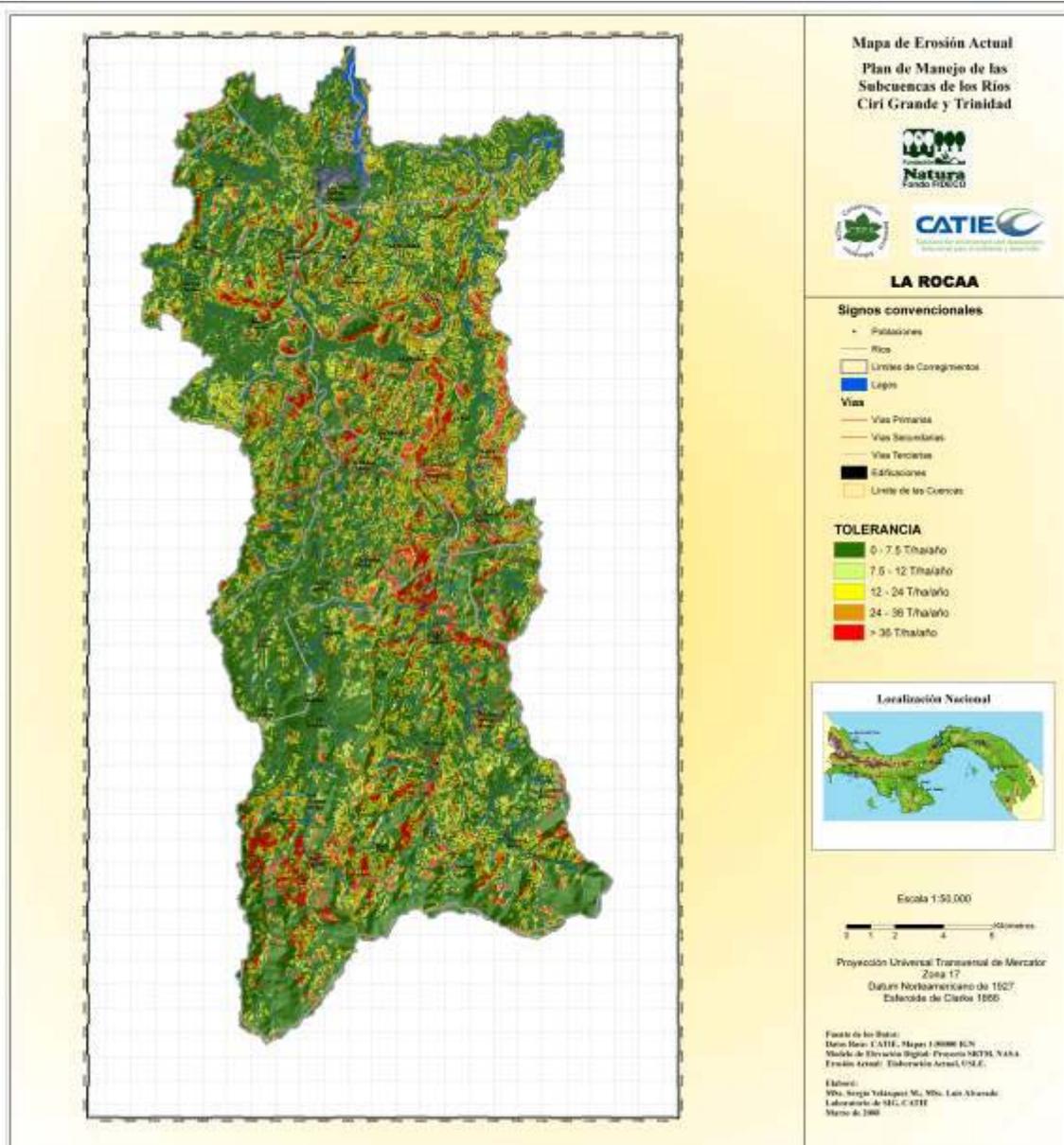


Figura No 23. Mapa de Erosión Actual (RUSLE) de las Subcuencas de los Ríos Ciri Grande y Trinidad.

## 2.6. Mapa de riesgo de erosión

El mapa de riesgo de erosión (figura 24) muestra aquellas zonas que por sus características de clima, topografía, pendiente y características de suelo como pendiente y profundidad, podrían ser susceptibles de erosión (aunque pudieran no estarlo en la actualidad). Para elaborar este mapa se utilizó un análisis multicriterio ponderado, en donde a cada factor de riesgo le fue asignado un número de 1 a 5 (factor de riesgo) y luego cada mapa resultante para cada factor se multiplicó por

un peso que define el grado de influencia que ese factor tiene sobre el riesgo de erosión. Al final el mapa resultante tiene valores de 1 a 5 que denominan el riesgo de erosión (1 el más bajo, 5 el más alto).

Para este mapa se utilizaron 5 factores y sus respectivos pesos a saber:

**Precipitación: (25 %)**

Rangos de precipitación	Factor de riesgo
1762 – 2166	1
2166 – 2570	2
2570 – 2973	3
2973 – 3337	4
3337 - 3780	5

**Pendientes (25%):**

Rangos de pendiente	Factor de riesgo
0-8%	1
8 - 15%	2
15 - 25%	3
25 - 50%	4
Más de 50%	5

**Cobertura del Suelo: (25%)**

Tipos de Cobertura	Factor de riesgo
Bosque Maduro	1
Bosque Secundario	2
Matorrales y Rastrojos	3
Agropecuario	5
Matorrales y Rastrojos	5
Agua y otros usos	NA

**Profundidad de suelo: (13 %)**

Rangos de profundidad	Factor de riesgo
Muy profundo	1
Profundo	2
Moderadamente profundo	3
Poco profundo	4
Muy poco profundo	5

**Textura del suelo: (12 %)**

<b>Texturas</b>	<b>Factor de riesgo</b>
Arcilla	1
Arcilla Arenoso	2
Arena Franco	4
Arenoso	5
Franco	3
Franco Arcillo Arenoso	3
Franco Arcilloso	2
Franco Arenoso	4
Franco Limoso	3

**Riesgo final= (factor precipitación \* 0.25) + (factor pendiente \* 0.25) + (factor cobertura \* 0.25) + (factor profundidad \* 0.13) + (factor textura \* 0.12)**

**Categorías de riesgo final**

<b>Categoría de riesgo</b>	<b>Valor de riesgo final</b>
Erosión potencial muy baja	1
Erosión potencial baja	2
Erosión potencial media	3
Erosión potencial alta	4
Erosión potencial muy alta	5

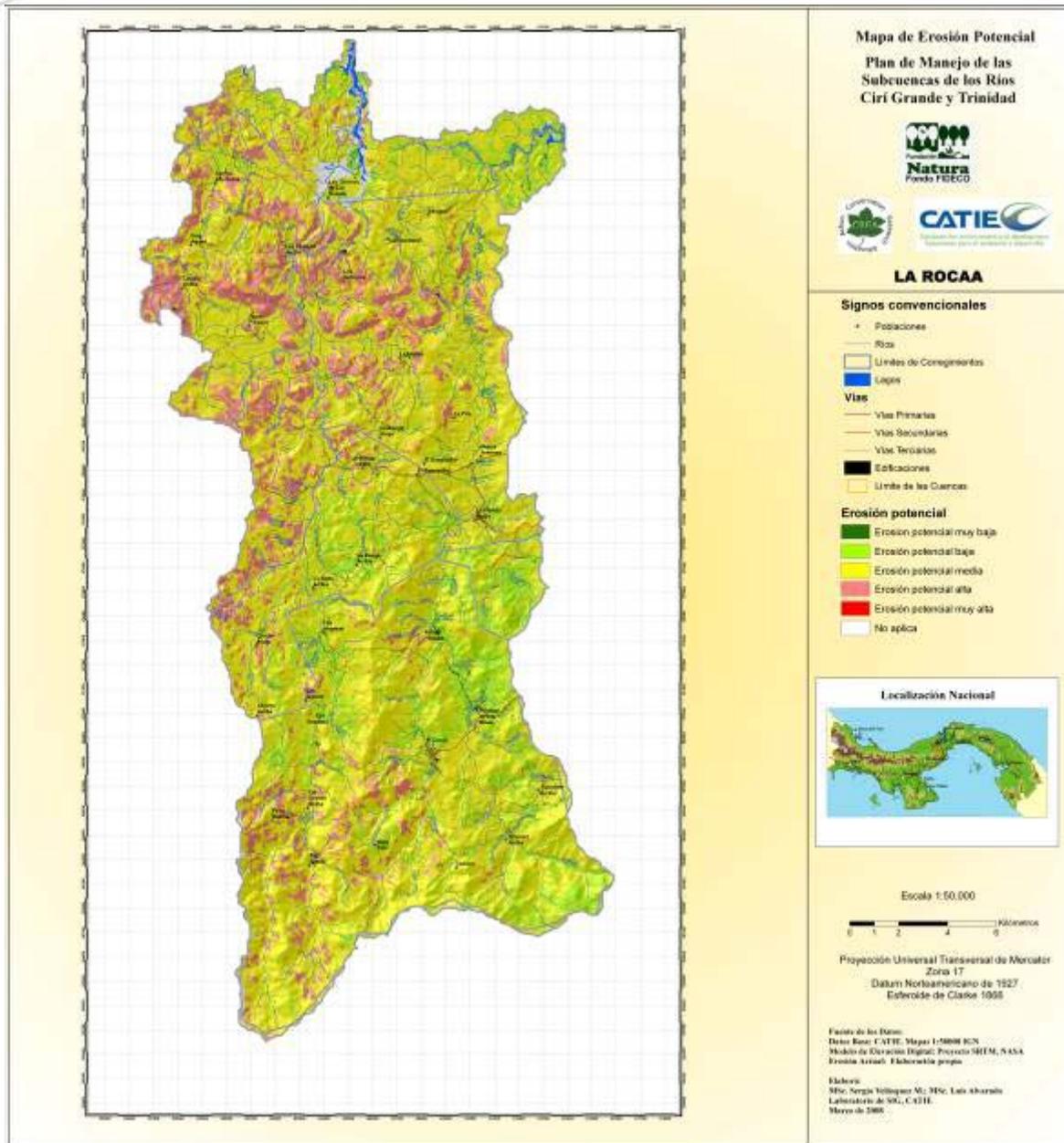


Figura No. 24. Mapa de Erosión Potencial de la Subcuenca de los Ríos Ciri Grande y Trinidad.

## 2.7. Mapa de Recarga Hídrica Potencial

Para elaborar este mapa (figura 25) se utilizó un análisis multicriterio ponderado, en donde a cada factor que propicia la recarga hídrica le fue asignado un número de 1 a 5 y luego cada mapa resultante para cada factor se multiplicó por un peso que define el grado de influencia que ese factor tiene sobre la recarga. Al final el mapa resultante tiene valores que van de 1 a 5, donde el valor menor indica menor

recarga hídrica potencial y el mayor indica mayor recarga hídrica potencial, respectivamente.

Se utilizaron 4 factores para elaborar este mapa, los cuales se presentan con sus respectivos pesos a continuación:

**Precipitación: (10 %)**

Rangos de precipitación	Factor de Recarga
1762 – 2166	1
2166 – 2570	2
2570 – 2973	3
2973 – 3337	4
3337 - 3780	5

**Pendientes (40%):**

Rangos de pendiente	Factor de Recarga
0-8%	5
8 - 15%	4
15 - 25%	3
25 - 50%	2
Más de 50%	1

**Cobertura del Suelo: (25%)**

Tipos de Cobertura	Factor de Recarga
Bosque Maduro	5
Bosque Secundario	4
Matorrales y Rastrojos	3
Agropecuario	2
Matorrales y Rastrojos	5
Urbano	1

**Profundidad de suelo: (13 %)**

Rangos de profundidad	Factor de riesgo
Muy profundo	1
Profundo	2
Moderadamente profundo	3
Poco profundo	4
Muy poco profundo	5

**Textura del suelo: (12 %)**

<b>Texturas</b>	<b>Factor de riesgo</b>
Arcilla	1
Arcilla Arenoso	2
Arena Franco	4
Arenoso	5
Franco	3
Franco Arcillo Arenoso	3
Franco Arcilloso	2
Franco Arenoso	4
Franco Limoso	3

**Recarga hídrica potencial= (factor precipitación \* 0.10) + (factor pendiente \* 0.40) + (factor cobertura \* 0.25) + (factor textura \* 0.25)**

**Categorías de Recarga Hídrica Potencial**

<b>Categoría de riesgo</b>	<b>Valor de riesgo final</b>
Recarga hídrica potencial muy baja	1
Recarga hídrica potencial baja	2
Recarga hídrica potencial media	3
Recarga hídrica potencial alta	4
Recarga hídrica potencial muy alta	5

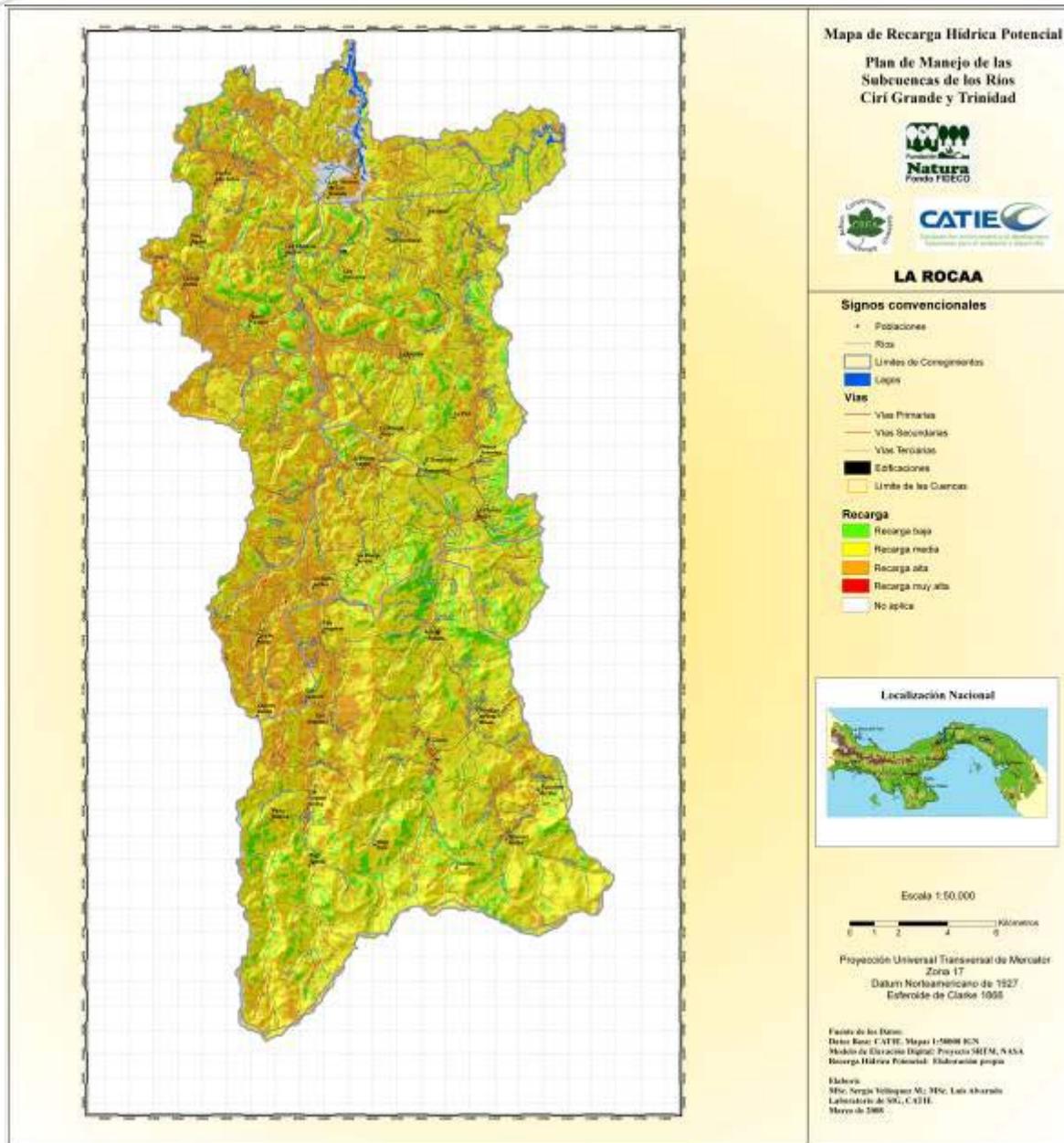


Figura No. 25. Mapa de Recarga hídrica potencial de las Subcuencas de los Ríos Ciri Grande y Trinidad.

### 3. ORGANIZACIÓN DE LA BASE DE DATOS GEOESPACIAL

La base de datos geoespacial engloba entre otros insumos, los shapes y grids principales generados durante el proceso de la consultoría. Esta base de datos geoespacial está organizada para que cada mapa temático individual incluido en el informe final, tanto a nivel de la cuenca completa, como de las subcuencas, pueda ser abierto a través de un proyecto de ArcGIS 9.x (\*.mxd) y la cartografía básica (carreteras, red hidrográfica, etc). observada en cada uno de ellos.

Los mapas contenidos en la base de datos geoespacial están registrados a la proyección oficial de Panamá, la cual es UTM Zona 17, NAD 1927. Una excepción lo constituyen los mapas correspondientes al país completo en donde la proyección es geográfica (latitud/longitud) y que se usaron para elaborar el mapa de ubicación de la cuenca a nivel nacional.

#### 3.1. Contenido de la Base de Datos en el Disco Compacto

Este disco está organizado en un directorio principal llamado BD\_CIRI\_TRIN y un solo directorio de segundo nivel llamado MAPAS. Luego dentro de este directorio se encuentran los siguientes subdirectorios:

- CIRI: Contiene los grids y shapes de los mapas correspondientes a la subcuenca del Río Ciri Grande, incluyendo los shapes del mapa base.
- TRINIDAD: Contiene los grids y shapes de los mapas correspondientes a la subcuenca del Río Trinidad, incluyendo los shapes del mapa base.
- CIRI\_TRINIDAD: Contiene los grids y shapes de los mapas correspondientes a la subcuenca de los Ríos Ciri Grande y Trinidad en conjunto, incluyendo los shapes del mapa base.
- PANAMA: Contiene los grids y shapes de los mapas correspondientes al país completo y utilizados para los mapas de ubicación de las subcuencas.
- MAPAS\_MXD: Que contiene los mapas en formato MXD para ser abiertos con ArcGIS 9.x
- MAPAS\_JPG: Contiene los mapas en formato JPG utilizados.
- SUB\_CUENCAS: Contiene los shapes correspondientes a las subcuencas de los Ríos Ciri Grande, Ciri Chico y Trinidad, tanto en su conjunto como individualmente.
- IMAGEN: Contiene el archivo con la imagen ASTER utilizada en el marco de esta consultoría.

Es de hacer notar que únicamente los mapas finales generados durante el desarrollo de esta consultoría tienen metadatos incluidos. Los mapas que fueron obtenidos de otras fuentes no tienen metadatos, pues los mismos fueron entregados sin ese documento, lo que dificulta poder llenar los campos requeridos.