



**IMPACTO DEL USO DE LA TIERRA EN LA GENERACION DE
CAUDALES Y SEDIMENTOS: EL CASO DE LAS CUENCAS
TULUA-MORALES, GUABAS, SABALETAS, AMAIME, NIMA,
BOLO, FRAILE, DESBARATADO Y PALO.**

Informe Final

***CONTRATO DE PRESTACION DE SERVICIOS ENTRE THE NATURE
CONSERVANCY-TNC Y EL CENTRO INTERNACIONAL DE
AGRICULTURA TROPICAL -CIAT***

***Natalia Uribe
Rubén Darío Estrada
Andrew Jarvis***

Santiago de Cali, Julio de 2009

TABLA DE CONTENIDO

1. ANTECEDENTES.	5
2. METODOLOGÍA.	6
2.1. MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LAS CUENCAS.	6
2.1.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN BÁSICA:	6
2.1.2 MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LAS CUENCAS.	8
2.1.3 ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN GENERADA EN LAS DIFERENTES URH.	9
3. PRINCIPALES RESULTADOS.	10
3.1 SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN BÁSICA.	10
3.2 AJUSTE DE CAUDALES Y SEDIMENTOS.	20
3.3 PROMEDIO MENSUAL DE CAUDAL SIMULADO Y APOORTE POR HECTÁREA AL CAUDAL.	25
3.4 LOCALIZACIÓN ESPACIAL DE LAS HRU CON PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS Y AGUA.	27
3.5 ÁREAS PRIORITARIAS PARA EVALUAR EL IMPACTO QUE SE TENDRÍA POR CAMBIOS EN EL USO DE LA TIERRA Y EN EL MANEJO.	37
4. ESCENARIOS DE POLITICAS DE CONSERVACION	47
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN CRÍTICA DE LOS RESULTADOS	57
6. PASOS SIGUIENTES EN EL PROCESO DE INVESTIGACIÓN.	58
BIBLIOGRAFÍA.	60

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Delimitación de las cuencas con base en el MDE.</i>	10
<i>Figura 2. Información básica cartográfica de la cuenca Tuluá – Morales.</i>	11
<i>Figura 3. Información básica cartográfica de la cuenca Guabas.</i>	12
<i>Figura 4. Información básica cartográfica de la cuenca Sabaletas.</i>	13
<i>Figura 5. Información básica cartográfica de la cuenca Amaime</i>	14
<i>Figura 6. Información básica cartográfica de la cuenca Nima</i>	15
<i>Figura 7. Información básica cartográfica de la cuenca Bolo</i>	16
<i>Figura 8. Información básica cartográfica de la cuenca Fraile.</i>	17
<i>Figura 9. Información básica cartográfica de la cuenca Desbaratado</i>	18
<i>Figura 10. Información básica cartográfica de la cuenca Palo</i>	19
<i>Figura 11. Ajuste de caudales en la cuenca Tuluá – Morales</i>	20
<i>Figura 12. Curva frecuencia duración de caudales en la cuenca Tuluá – Morales</i>	20
<i>Figura 13. Ajuste de caudales en la cuenca Guabas Alto</i>	21
<i>Figura 14. Curva frecuencia duración de caudales en la cuenca Guabas Alto</i>	21
<i>Figura 15. Ajuste de caudales en la cuenca Amaime</i>	22
<i>Figura 16. Curva frecuencia duración de caudales en la cuenca Amaime</i>	22
<i>Figura 17. Ajuste de caudales en la cuenca Desbaratado Alto</i>	23
<i>Figura 18. Curva frecuencia duración de caudales en la cuenca Desbaratado Alto</i>	23
<i>Figura 19. Ajuste de caudales en la cuenca Palo</i>	24
<i>Figura 20. Curva frecuencia duración de caudales en la cuenca Palo</i>	24
<i>Figura 21. Promedio mensual del caudal simulado</i>	25
<i>Figura 22. Promedio mensual del aporte por hectárea al caudal</i>	26
<i>Figura 23. Áreas de mayor contribución de sedimentos, aporte de agua al acuífero y al caudal cuenca Tuluá.</i>	28
<i>Figura 24. Áreas con mayor contribución de sedimentos, aporte de agua al acuífero y al caudal cuenca Guabas.</i>	29
<i>Figura 25. Áreas con mayor contribución de sedimentos, aporte de agua al acuífero y al caudal cuenca Sabaletas.</i>	30
<i>Figura 26. Áreas con mayor contribución de sedimentos, aporte de agua al acuífero y al caudal cuenca Amaime.</i>	31
<i>Figura 27. Áreas con mayor contribución de sedimentos, aporte de agua al acuífero y al caudal cuenca Nima.</i>	32
<i>Figura 28. Áreas con mayor contribución de sedimentos, aporte de agua al acuífero y al caudal cuenca Bolo.</i>	33
<i>Figura 29. Áreas con mayor contribución de sedimentos, aporte de agua al acuífero y al caudal cuenca Fraile</i>	34

Figura 30. Áreas con mayor contribución de sedimentos, aporte de agua al acuífero y al caudal cuenca Desbaratado	35
Figura 31. Áreas con mayor contribución de sedimentos, aporte de agua al acuífero y al caudal cuenca Palo.	36
Figura 32. Ubicación áreas priorizadas en la cuenca Tuluá.	38
Figura 33. Ubicación áreas priorizadas en la cuenca Guabas.	39
Figura 34. Ubicación áreas priorizadas en la cuenca Sabaletas.	40
Figura 35. Ubicación áreas priorizadas en la cuenca Amaime.	41
Figura 36. Ubicación áreas priorizadas en la cuenca Nima.	42
Figura 37. Ubicación áreas priorizadas en la cuenca Bolo.	43
Figura 38. Ubicación áreas priorizadas en la cuenca Frayle.	44
Figura 39. Ubicación áreas priorizadas en la cuenca Desbaratado.	45
Figura 40. Ubicación áreas priorizadas en la cuenca Palo.	46
Figura 41. Comparación de aportes de agua al caudal y sedimentos entre escenarios-Tuluá.	48
Figura 42. Comparación de aportes de agua al caudal y sedimentos entre escenarios-Guabas.	49
Figura 43. Comparación de aportes de agua al caudal y sedimentos entre escenarios-Sabaletas	50
Figura 44. Comparación de aportes de agua al caudal y sedimentos entre escenarios-Amaime.	51
Figura 45. Comparación de aportes de agua al caudal y sedimentos entre escenarios-Nima.	52
Figura 46. Comparación de aportes de agua al caudal y sedimentos entre escenarios-Bolo.	53
Figura 47. Comparación de aportes de agua al caudal y sedimentos entre escenarios-Frayle.	54
Figura 48. Comparación de aportes de agua al caudal y sedimentos entre escenarios- Desbaratado	55
Figura 49. Comparación de aportes de agua al caudal y sedimentos entre escenarios-Palo.	56

IMPACTO DEL USO DE LA TIERRA EN LA GENERACION DE CAUDALES Y SEDIMENTOS: EL CASO DE LAS CUENCAS TULUA-MORALES, GUABAS, SABALETAS, AMAIME, NIMA, BOLO, FRAILE, DESBARATADO Y PALO.

Natalia Uribe, Rubén Darío Estrada, Andrew Jarvis
a.jarvis@cgiar.org, n.uribe@cgiar.org, r.estrada@cgiar.org

1. ANTECEDENTES.

Uno de los problemas ambientales que enfrenta el mundo actual es la escasez del agua para consumo humano, agrícola, industrial, entre otros, tanto en calidad y cantidad. El estrés hídrico mundial esta proyectándose dentro de 20 años, poniendo en crisis a la humanidad por las consecuencias que pudiera ocasionar este problema. Colombia no es ajeno a este problema; para evitar este inconveniente se esta trabajando actualmente en diversos estudios para la conservación y el buen uso de este recurso.

A pesar de conocer las magnitudes de la problemática, pocas veces se ha realizado un análisis sistemático donde se muestre cuál es el impacto que tiene el uso del suelo, la pendiente, la precipitación y el tipo del suelo en la generación de caudales y sedimentos, elementos fundamentales para asignar prioridades de inversión que repercutan efectivamente en las externalidades sociales y ambientales (sedimentos y disponibilidad de agua) que se generan en toda la cuenca.

The Nature Conservation actualmente se encuentra trabajando en el desarrollo de un programa de conservación para nueve cuencas del franco oriental en el Valle del Cauca; para lo cual CIAT brindan un apoyo en conocimiento en lo que se refiere a modelos hidrológicos para el análisis de cuencas hidrográficas por medio de herramientas de sistemas de información geográfica.

Por esta razón los objetivos de este trabajo han sido: 1. Recopilar, ajustar y sistematizar la información biofísica de estas cuencas para sus análisis hidrológicos, 2- Evaluar el impacto del uso actual de la tierra en generación de caudales picos, llenado de acuíferos superficiales, caudal mínimo en épocas secas y generación de sedimentos.

3- Priorizar las áreas donde existe el potencial de modificar las externalidades ambientales. y 4- Capacitar al personal de TNC en las metodologías y enfoques utilizados.

Los resultados de este trabajo permitirán enfocar las actividades de TNC dirigidas a la conservación de las cuencas, de acuerdo a la cantidad de agua y a prevenir las pérdidas en la capacidad productiva de los suelos debido a su erosión. Además de esto, los resultados del presente proyecto serán de gran utilidad para realizar una comparación de tres modelos empleados para la identificación de áreas prioritarias para la conservación de cuencas hidrográficas (SWAT - FIESTA - INVEST).

2. METODOLOGÍA.

2.1. Modelación hidrológica de las cuencas.

2.1.1 Recolección de Información Básica:

Para el análisis de la cuenca se recolectó la siguiente información básica necesaria para aplicar los modelos hidrológicos.

- Uso de la tierra actual: Para tal fin se utilizaron los resultados obtenidos por CIAT en la clasificación de cobertura basada en imágenes Landsat del año 2.001 a 2.003.

Sin embargo, debido a que en estas imágenes había una proporción importante de nubes, el uso de la tierra en estas áreas fue ajustado. Para esto se utilizó un mapa de uso de la tierra a escala 1:500.000 que sirvió como base para separar topológicamente el área cubierta por nubes en diferentes usos. Posteriormente se asignó, a escala 1:100.000, el uso más factible considerando la utilización de la tierra vecina.

Adicionalmente fue necesario diferenciar las pasturas, por encima de 1000 m.s.n.m, en tres componentes (1. Pasto Kikuyo (*Penisetum clandestinum*), 2. Chopin (*Melinis minutiflora*) y 3. Una mezcla entre Puntero (*Hyparrhenia ruffa*) y Guinea (*Panicum*

maximun)) dadas las diferencias que estas coberturas producen en la infiltración y la generación de sedimentos, como se evaluó en los ensayos a nivel de campo.

- **Modelo Digital del Terreno (MDT):** Para calcular el modelo digital del terreno se utilizó STRM (90 m) aportado por CIAT. Se encuentran diferencias en el área de las cuencas delimitadas con el modelo de elevación y los límites de cuencas establecidos por CVC. Desconociendo la metodología empleada para el cálculo de los límites de CVC se trabajó con los límites generados con el modelo de elevación fuente CIAT.
- **Datos de precipitación diaria:** Para tal fin se utilizaron estaciones de precipitación diaria. Los datos iniciales de cada estación fueron revisados detalladamente para ver la posibilidad de generar datos faltantes sin que se crearan grandes distorsiones en los valores de precipitación.
- En las primeras corridas del modelo se evidenció que en la cuenca Tulua-Morales y Amaime, no existía suficiente precipitación para simular los caudales mínimos medidos. Una revisión espacial de las estaciones mostró que existían muy pocas por encima de 1500 msnm y que en estos sitios la precipitación era superior a las estaciones que estaban en la parte baja, que era con las que se contaba. Con la ayuda del modelo MarkSim¹, de resolución de 1 kilómetro se creó virtualmente una estación necesaria para el ajuste de los caudales mínimos en estas cuencas.
- **Datos climáticos.** Se utilizaron estaciones que tenían datos de temperatura diaria. En ellas existían adicionalmente registros de velocidad del viento, temperatura máxima y mínima diaria, radiación solar y punto de rocío.
- **Información de Suelos:** Se utilizó el estudio de suelos a escala 1:500.000 del IGAC. De este estudio se utilizó la información correspondiente a granulometría, profundidad de los horizontes, y porcentaje de fragmentos de roca en el perfil. A partir de la granulometría se estimaron los parámetros de densidad aparente, agua

¹ Modelo MarkSim. Modelo de simulación que con base en la información de unas 300 estaciones meteorológicas y de precipitación estima las precipitaciones diarias, la radiación solar y las temperaturas promedias, máximas y mínimas con una resolución de 1 kilómetro.

disponible en el suelo y conductividad hidráulica saturada utilizando la herramienta “Soil Characteristics Tool”. Con esta información se determinó el grupo hidrológico de cada unidad de suelo.

Sin embargo, dada la gran diferencia que existe en la materia orgánica del suelo (4 a 30 %) y la incidencia que este parámetro tiene en la densidad aparente y la conductividad hidráulica saturada, se ajustaron los valores teniendo en cuenta los estudios realizados por la CAM y CIAT en la cuenca del río las Ceibas (Estrada et al. 2007). En este estudio se ajustaron los valores de estos parámetros a partir de análisis de muestras de suelo en el laboratorio de física de suelos, y de simulaciones de lluvia efectuadas en campo.

Se hizo una primera corrida con los parámetros de suelo determinados con la información de los suelos reportados por el IGAC y posteriormente se hicieron los ajustes correspondientes siguiendo la experiencia adquirida en la cuenca del río las Ceibas.

- Mediciones de caudales diarios. Para calibrar el modelo se utilizaron los datos promedios diarios de 5 estaciones que tenían mediciones de caudales (Tulua, Guabas, Amaime, Desbaratado y Palo), fuente CVC. No se pudo obtener datos de caudales para las otras tres cuencas del estudio (Fraile, Nima y Sabaletas).
- Mediciones de sedimentos. No se contó con datos de sedimentos para calibrar los aportes de sedimentos generados por las diferentes coberturas.

2.1.2 Modelación hidrológica de las cuencas.

Para el análisis hidrológico de las cuencas se utilizó el software SWAT², que permite relacionar características hidrológicas (caudales, sedimentos, evapotranspiración, escorrentía, flujo lateral, percolación, llenado de agua en el acuífero superficial) con el tipo de coberturas existentes en las cuencas (Ver Anexo 1- relación detallada de las

² Soil and Water Assessment Tool. SWAT

coberturas del uso del suelo y la sigla utilizada en la base de datos de del modelo hídrico SWAT), su topografía y condiciones edáficas. En otras palabras permite analizar la relación entre uso de la tierra, agua y sedimentos.

Por medio de la integración de la información mencionada, se determinaron Unidades de Respuesta Hidrológica (URH), las cuales corresponden a unidades del territorio que presentan condiciones de uso de tierra, suelo, clima y topografía homogéneos y por lo tanto producen un impacto particular sobre la cantidad y calidad del agua de la cuenca. Con la información de las URH, es posible identificar que áreas en la cuenca son las que contribuyen más al aporte de sedimentos y agua al caudal.

El modelo hidrológico fue validado, para las cuencas de Tuluá, Guabas, Amaime, Bolo, Desbaratado y Palo, en forma diaria comparando los datos simulados con los promedios de caudales diarios obtenidos en las estaciones respectivas. En cada uno de los puntos se estima el aporte de agua al caudal y se suma con el caudal del río obtenido en el punto de salida de la subcuenca anterior. Con base en esta información se estimó la curva de duración de caudales para la información aforada y modelada, en cada una de las cuencas.

2.1.3 Estimación de la erosión generada en las diferentes URH.

Con base en los sedimentos transportados en el caudal del río se hizo una primera aproximación para ver el aporte de volumen de sedimentos por hectárea de cada una de las cuencas analizadas, los valores obtenidos no pudieron ser validados, ya que no se contó con información de aforos de sedimentos en ninguna de las cuencas. Con el modelo ajustado en producción de agua, se seleccionaron las URH con mayores aportes de sedimentos, tanto por hectárea como por el total del área de la unidad.

3. PRINCIPALES RESULTADOS.

3.1 Sistematización de la información básica.

En las figuras 1 a 10 se presenta la información básica generada para evaluar el impacto del uso de la tierra en los caudales y sedimentos. En el DVD que se entrega anexo a este informe se encuentran estos mapas y sus bases asociadas, con el fin que puedan ser consultados por TNC.

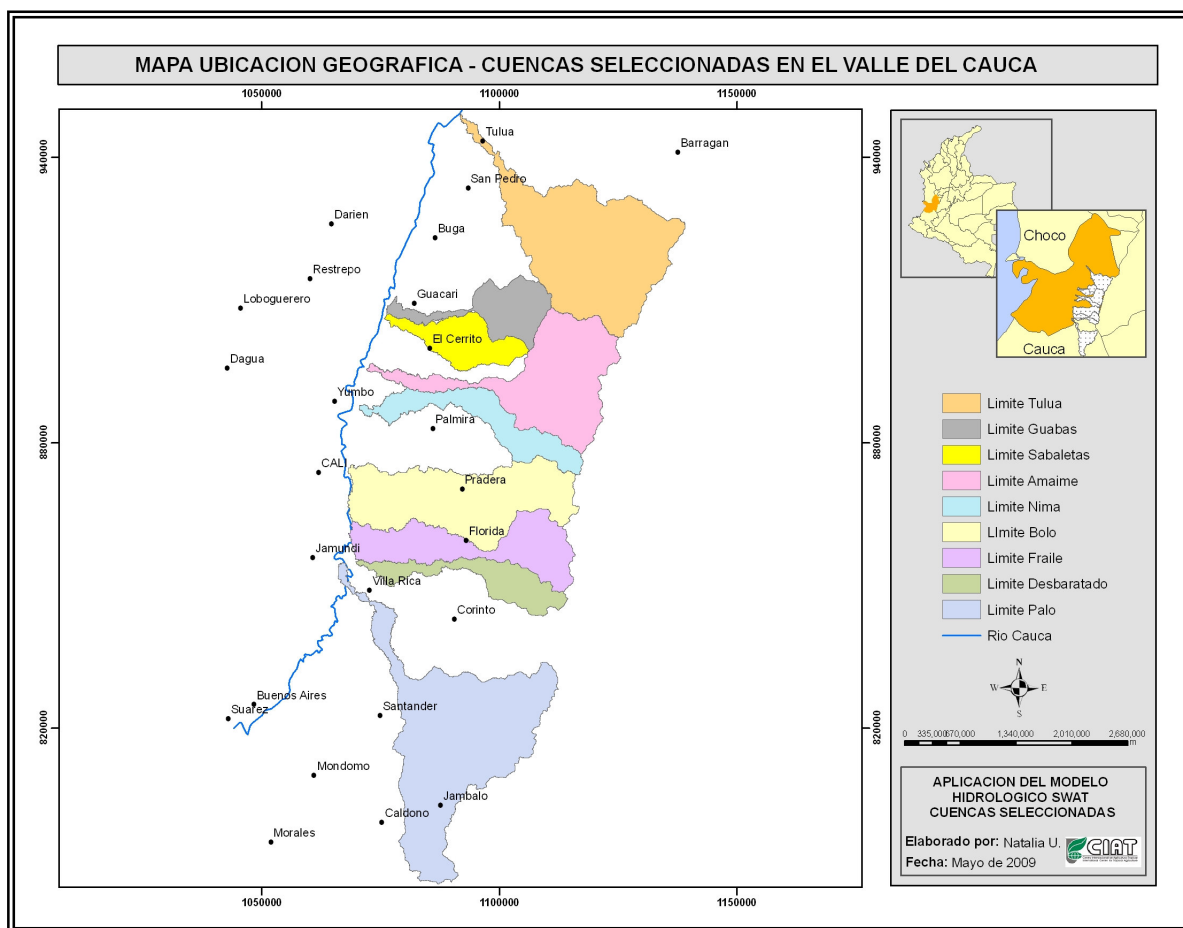


Figura 1. Delimitación de las cuencas con base en el MDE.

Proyecto: Impacto del Uso de la tierra en la generación de Caudales y Sedimentos para 9 cuencas del franco oriental del Valle del Cauca (Colombia)

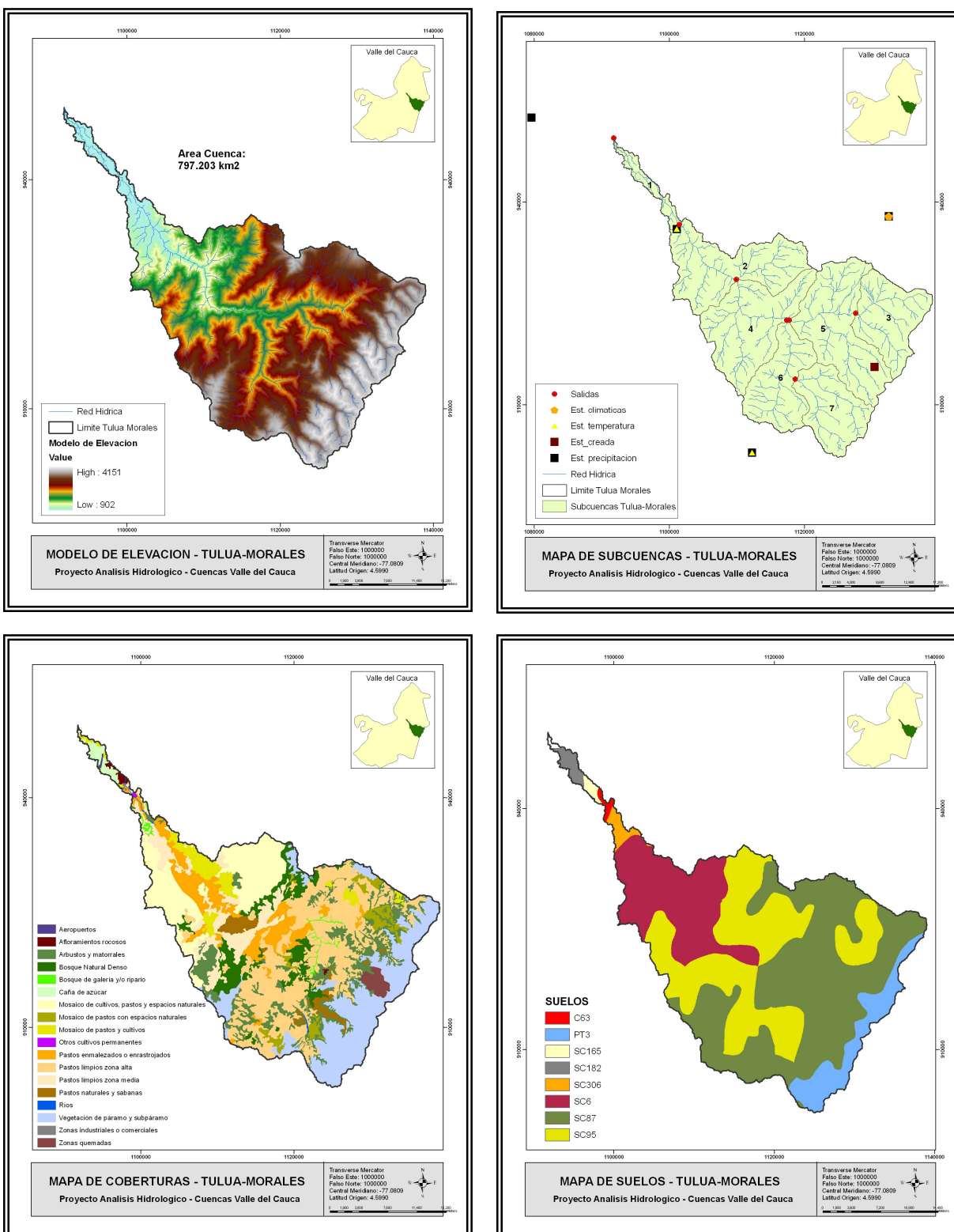


Figura 2. Información básica cartográfica de la cuenca Tulua – Morales.

Proyecto: Impacto del Uso de la tierra en la generación de Caudales y Sedimentos para 9 cuencas del franco oriental del Valle del Cauca (Colombia)

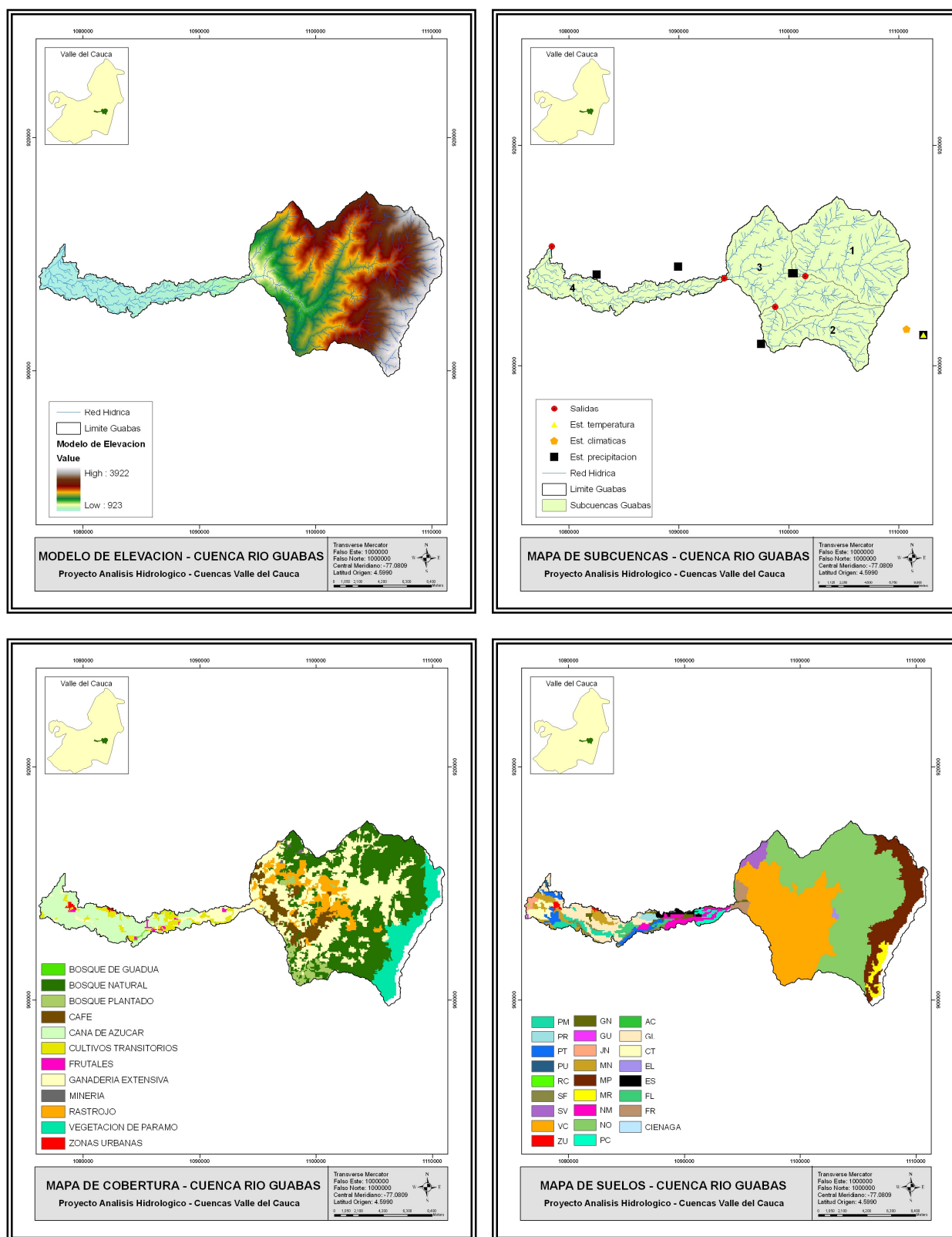


Figura 3. Información básica cartográfica de la cuenca Guabas.

Proyecto: Impacto del Uso de la tierra en la generación de Caudales y Sedimentos para 9 cuencas del franco oriental del Valle del Cauca (Colombia)

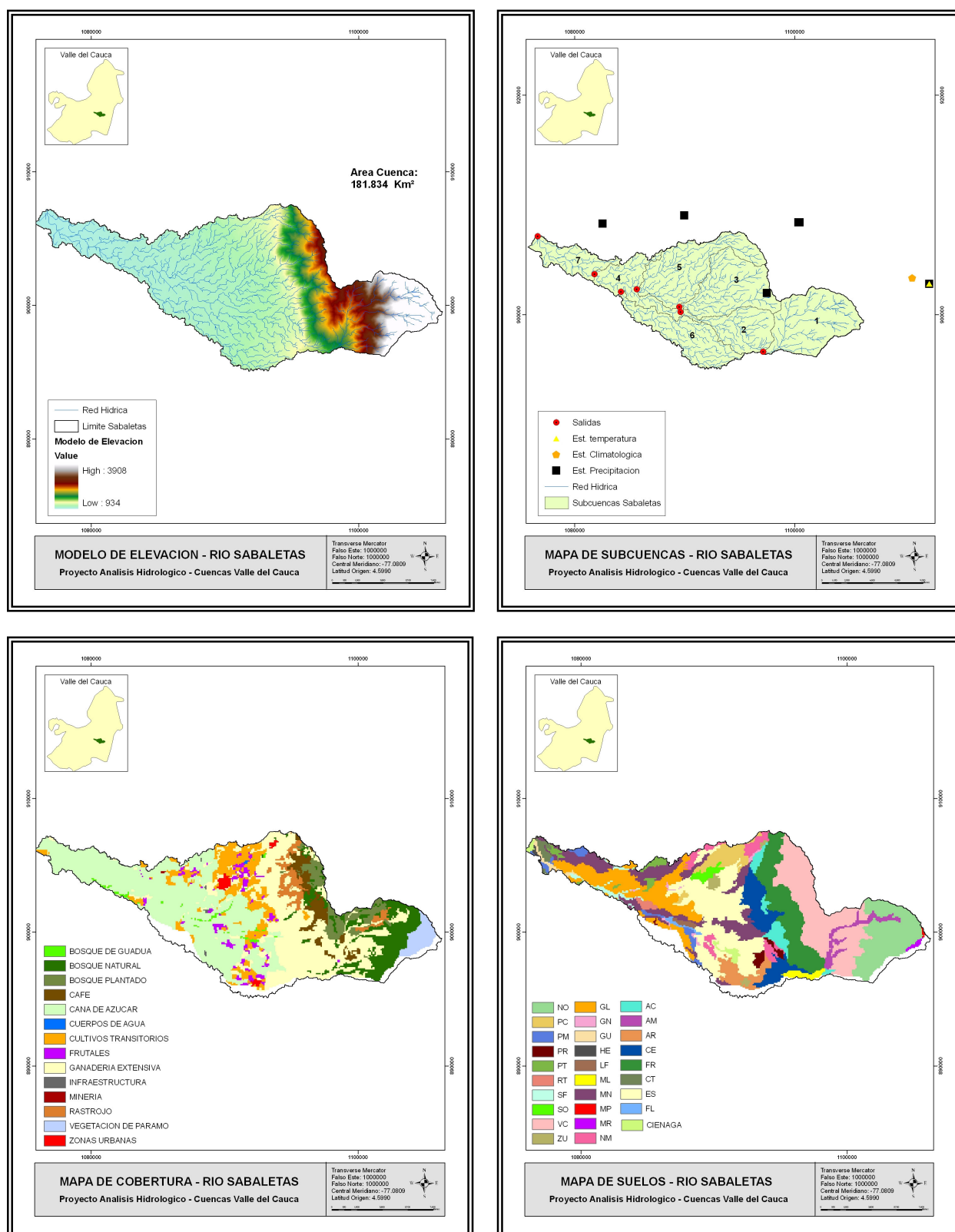


Figura 4. Información básica cartográfica de la cuenca Sabaletas

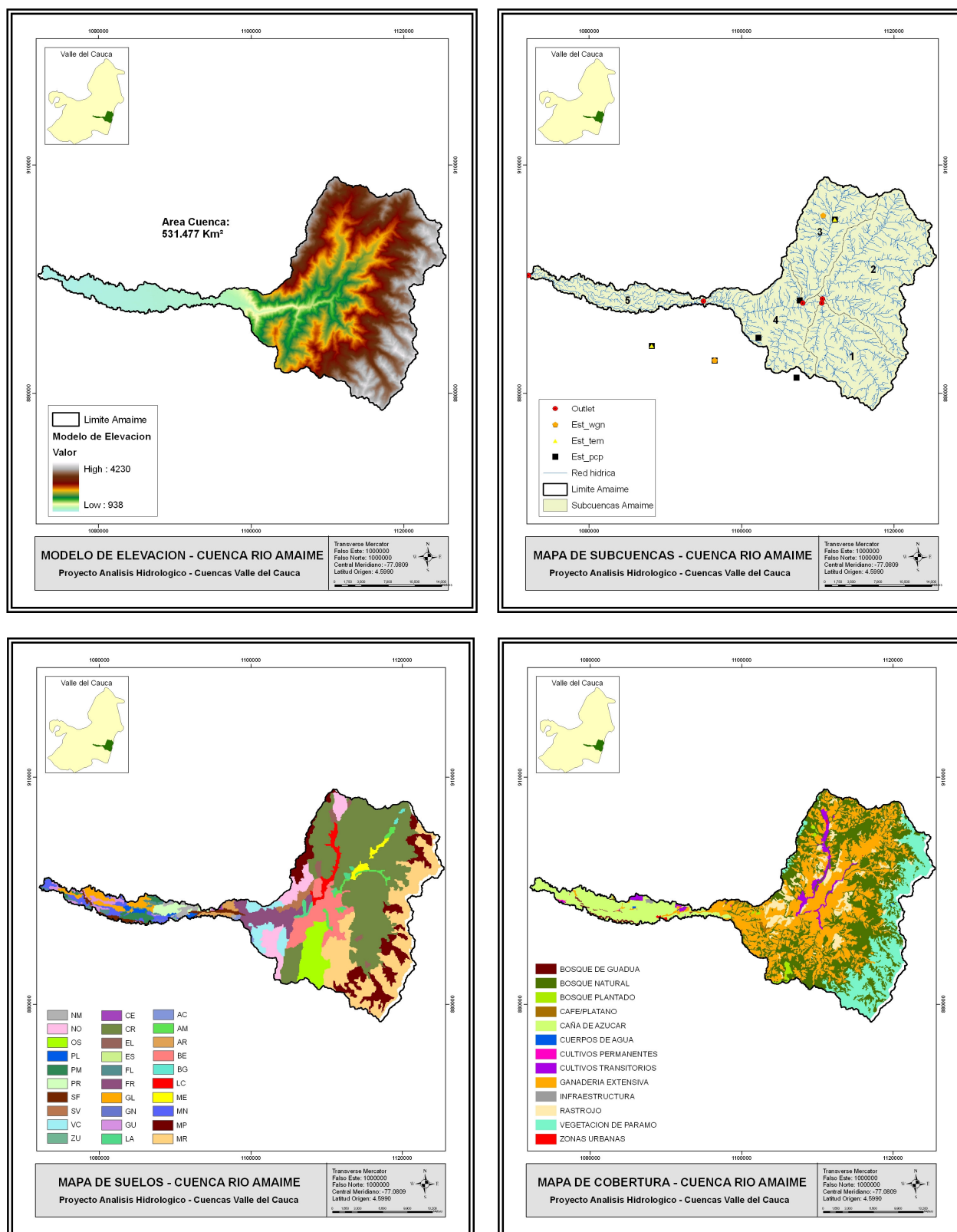


Figura 5. Información básica cartográfica de la cuenca Amaime

Proyecto: Impacto del Uso de la tierra en la generación de Caudales y Sedimentos para 9 cuencas del franco oriental del Valle del Cauca (Colombia)

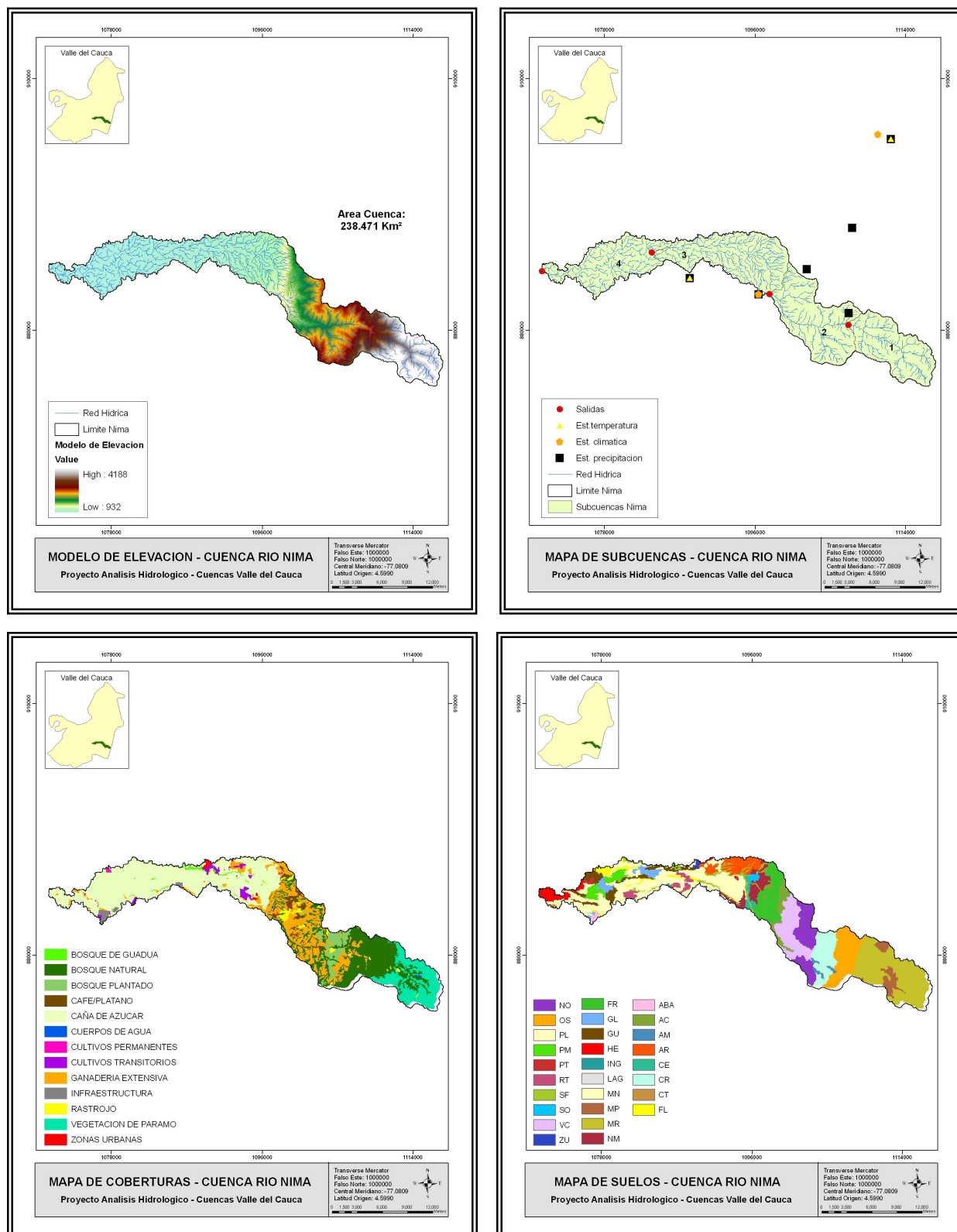


Figura 6. Información básica cartográfica de la cuenca Nima

Proyecto: Impacto del Uso de la tierra en la generación de Caudales y Sedimentos para 9 cuencas del franco oriental del Valle del Cauca (Colombia)

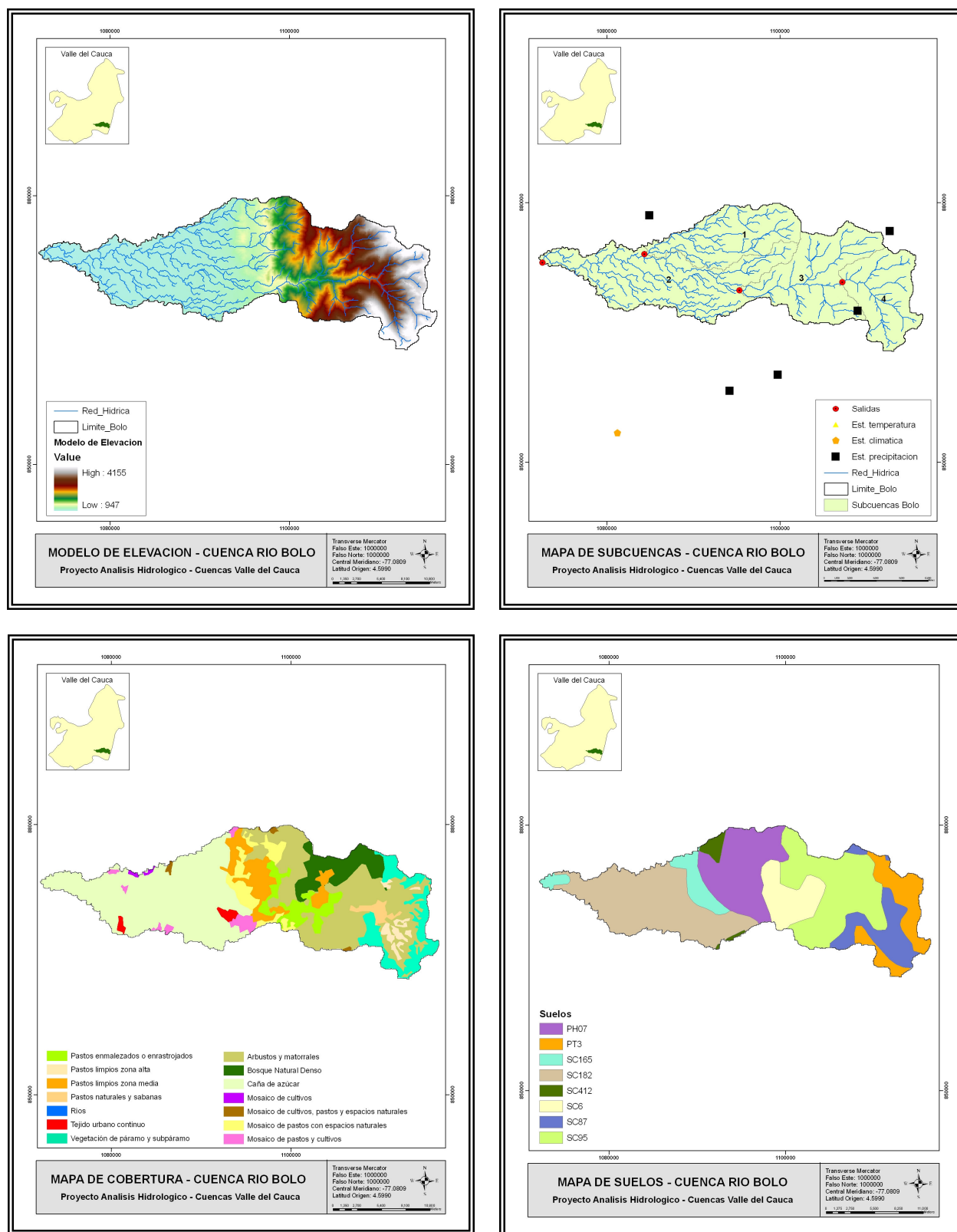


Figura 7. Información básica cartográfica de la cuenca Bolo

Proyecto: Impacto del Uso de la tierra en la generación de Caudales y Sedimentos para 9 cuencas del franco oriental del Valle del Cauca (Colombia)

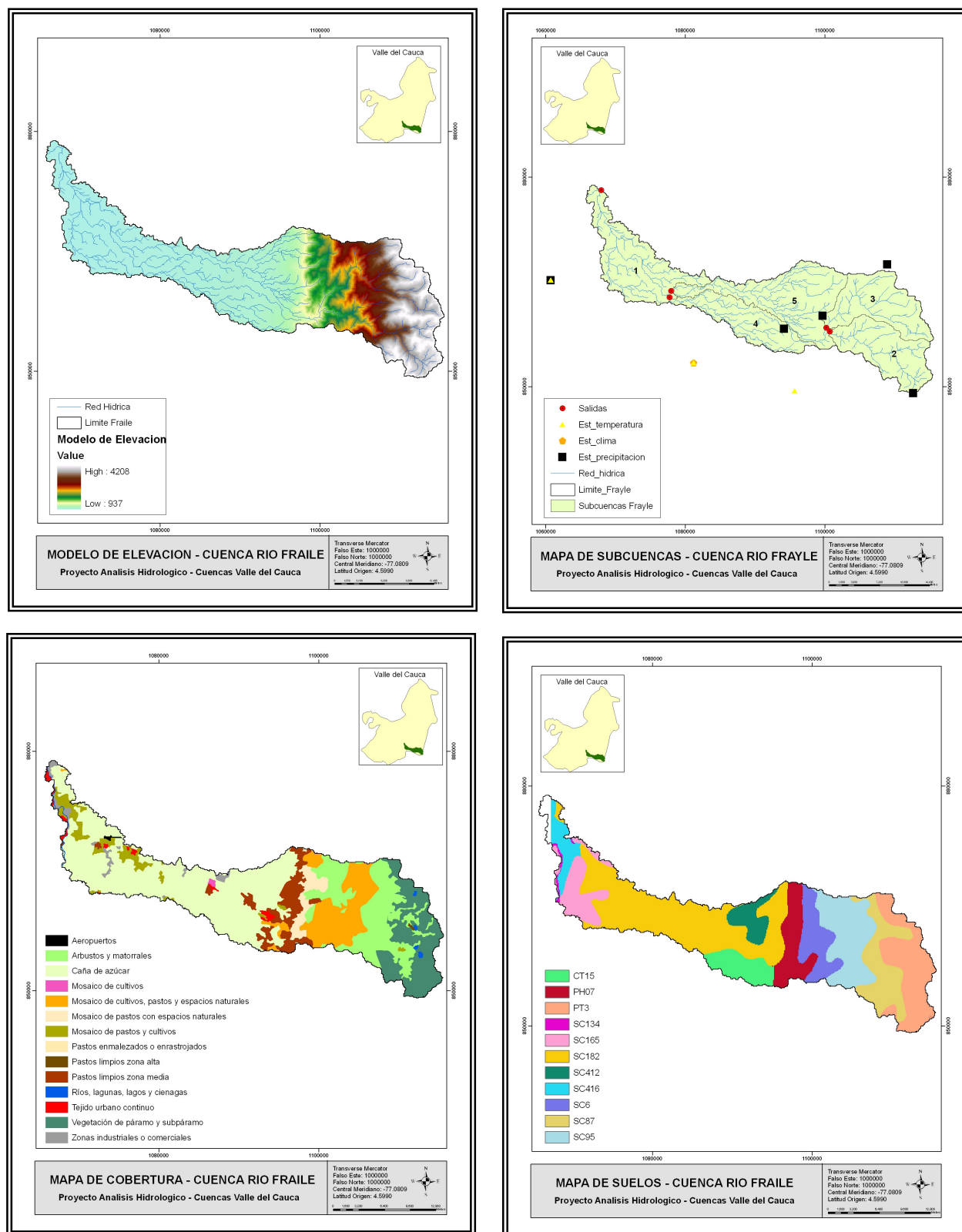


Figura 8. Información básica cartográfica de la cuenca Fraile

Proyecto: Impacto del Uso de la tierra en la generación de Caudales y Sedimentos para 9 cuencas del franco oriental del Valle del Cauca (Colombia)

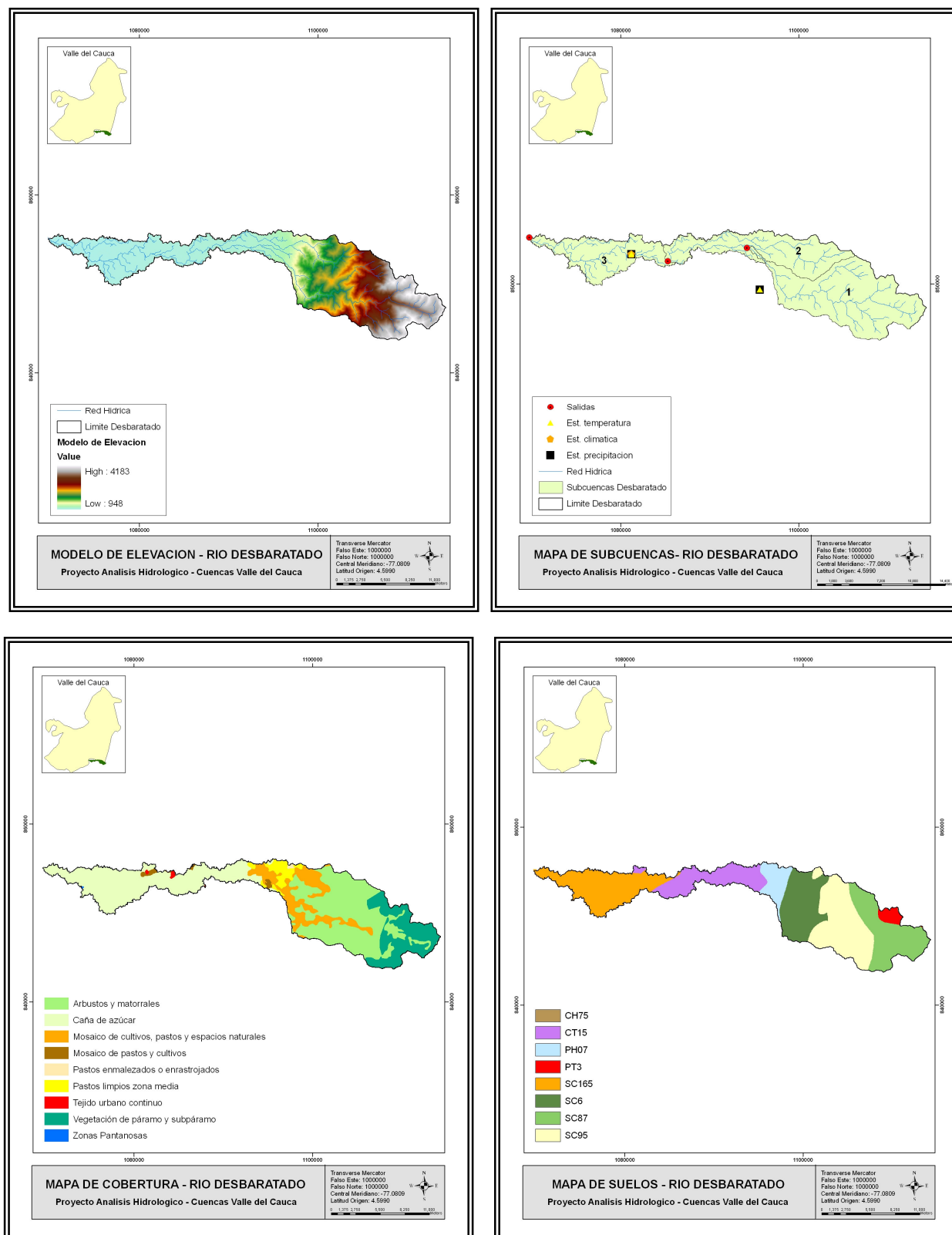


Figura 9. Información básica cartográfica de la cuenca Desbaratado

Proyecto: Impacto del Uso de la tierra en la generación de Caudales y Sedimentos para 9 cuencas del franco oriental del Valle del Cauca (Colombia)

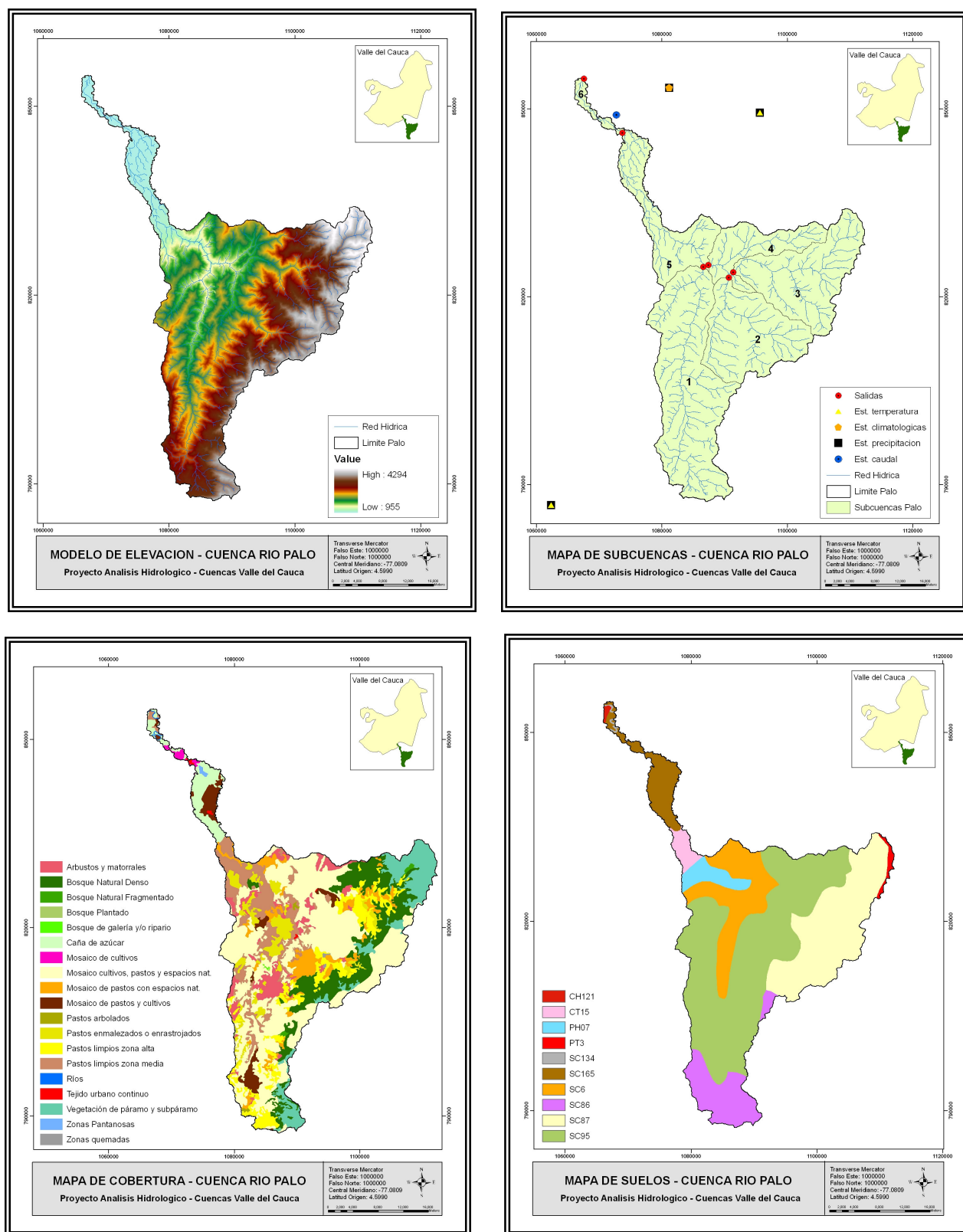


Figura 10. Información básica cartográfica de la cuenca Palo

3.2 Ajuste de caudales y sedimentos.

Para realizar el ajuste de las 9 cuencas trabajadas, es necesario contar con datos aforados (reales) de caudales y sedimentos; que son la base para la calibración del modelo. En este proyecto se contó con datos de estaciones de caudales para 5 de las cuencas trabajadas (**Tulua, Guabas, Amaime, Desbaratado y Palo**) y no se obtuvo datos de sedimentos aforados. En las figuras 11 a 20, se puede observar los ajustes de caudal obtenidos para estas, este ajuste se realiza comparando los valores simulados con valores reales de mediciones de caudales para cada una de las cuencas; Estos ajustes se expresan en series diarias y en la curva de frecuencia duración.

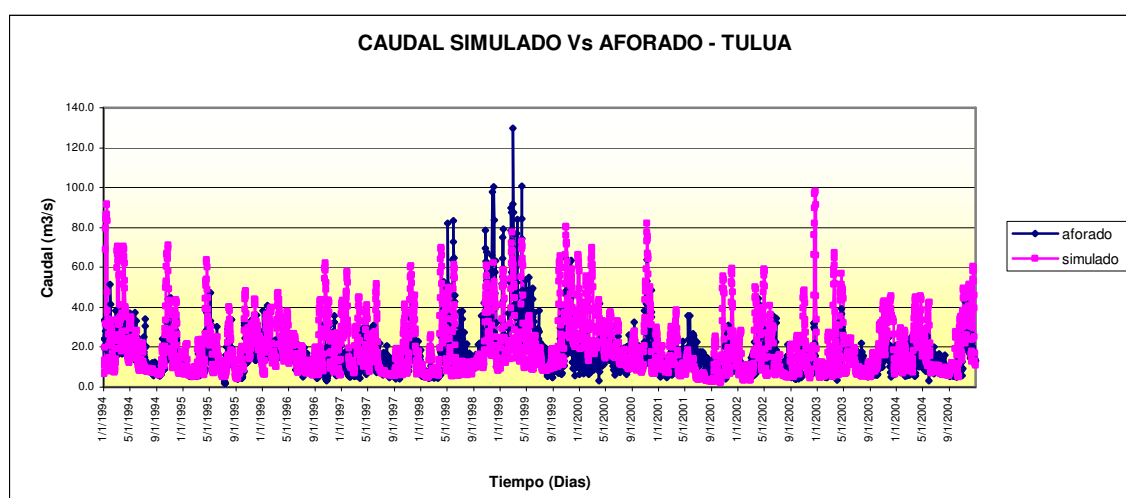


Figura 11. Ajuste de caudales en la cuenca Tulua – Morales

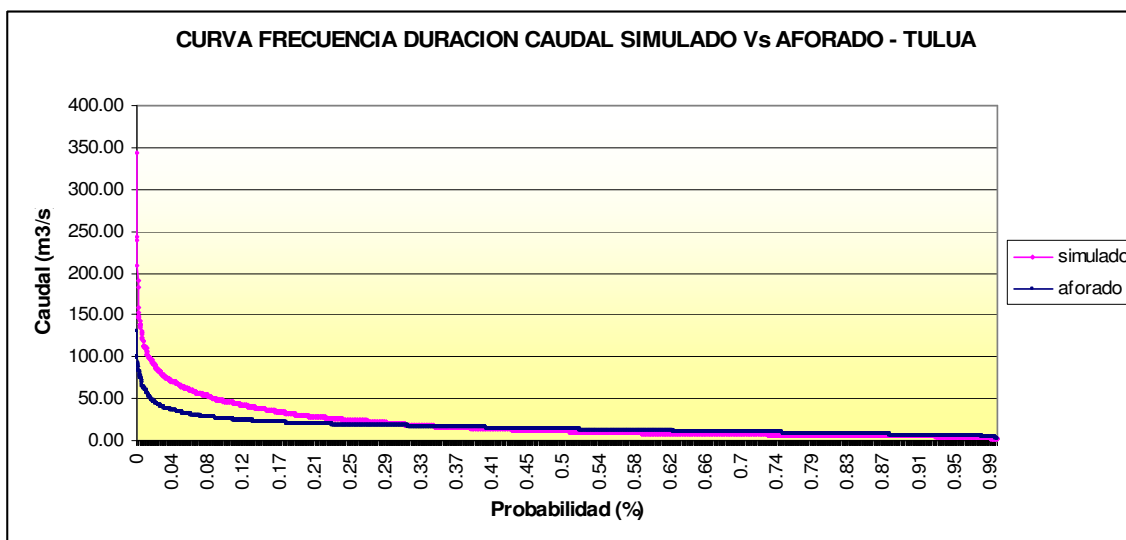


Figura 12. Curva frecuencia duración de caudales en la cuenca Tulua – Morales

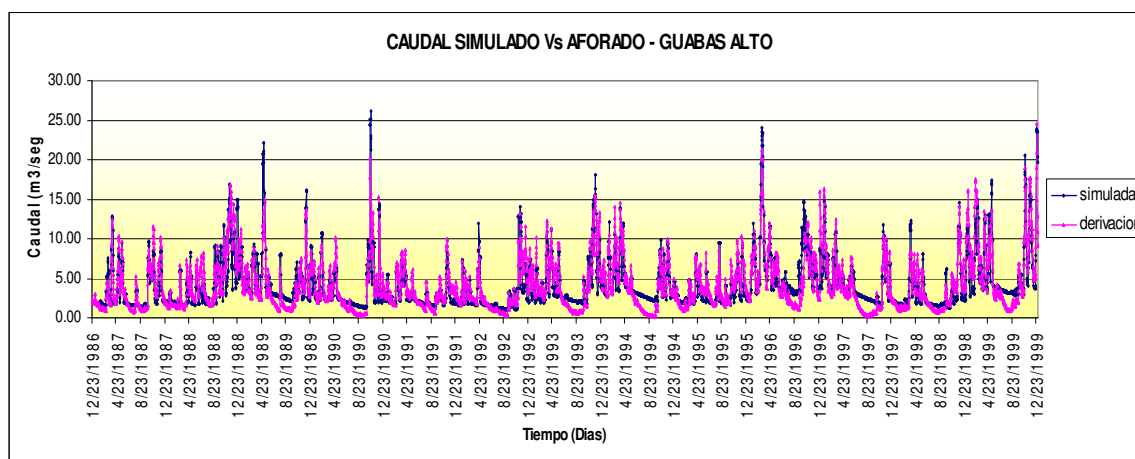


Figura 13. Ajuste de caudales en la cuenca Guabas Alto

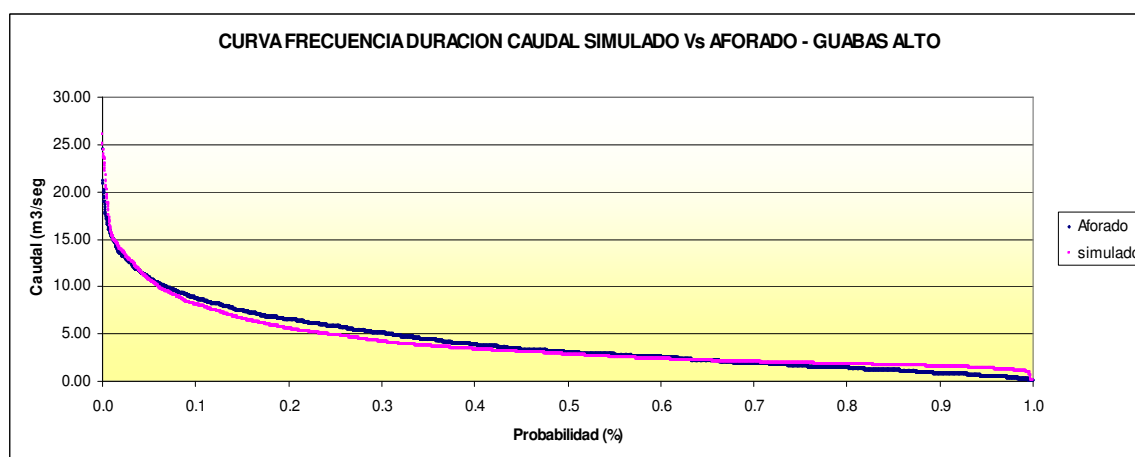


Figura 14. Curva frecuencia duración de caudales en la cuenca Guabas Alto

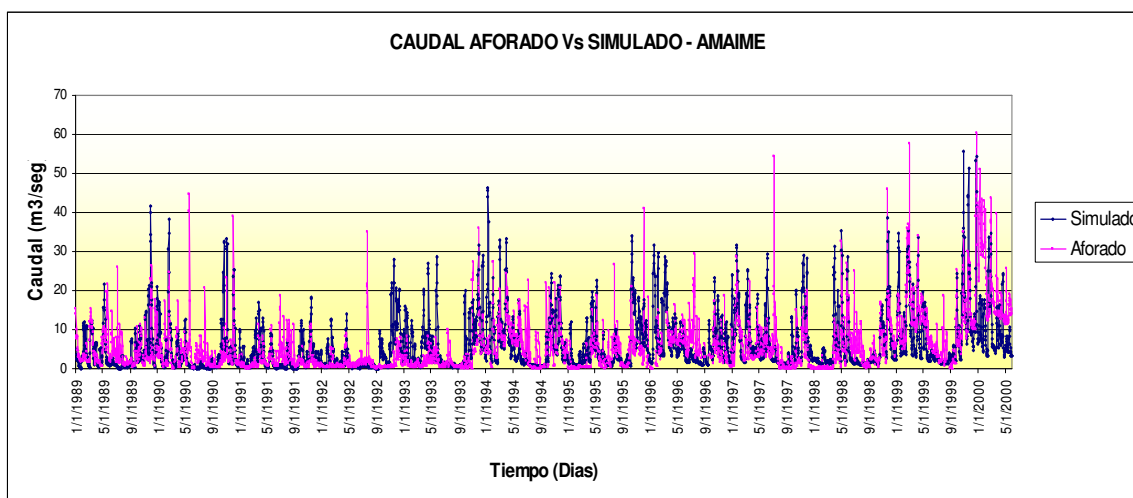


Figura 15. Ajuste de caudales en la cuenca Amaime

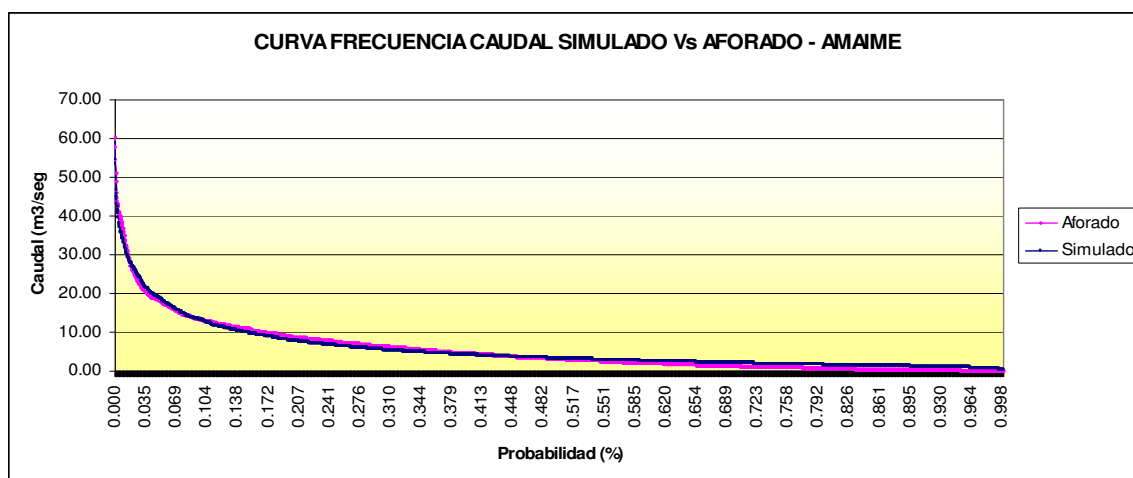


Figura 16. Curva frecuencia duración de caudales en la cuenca Amaime

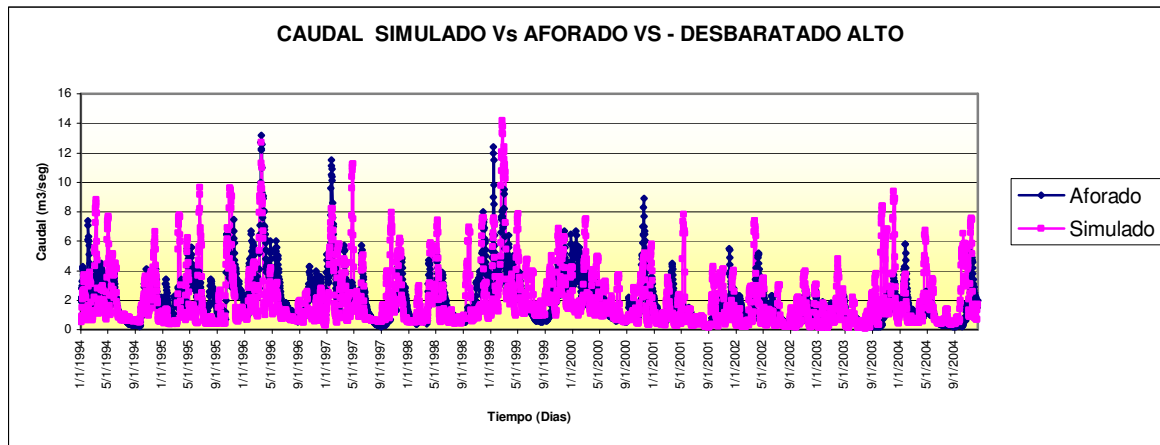


Figura 17. Ajuste de caudales en la cuenca Desbaratado Alto

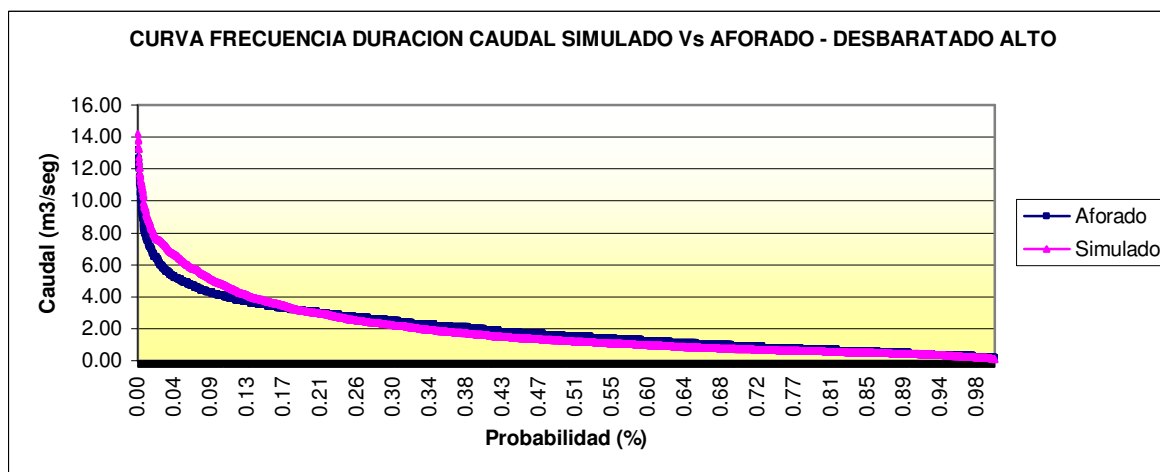


Figura 18. Curva frecuencia duración de caudales en la cuenca Desbaratado Alto

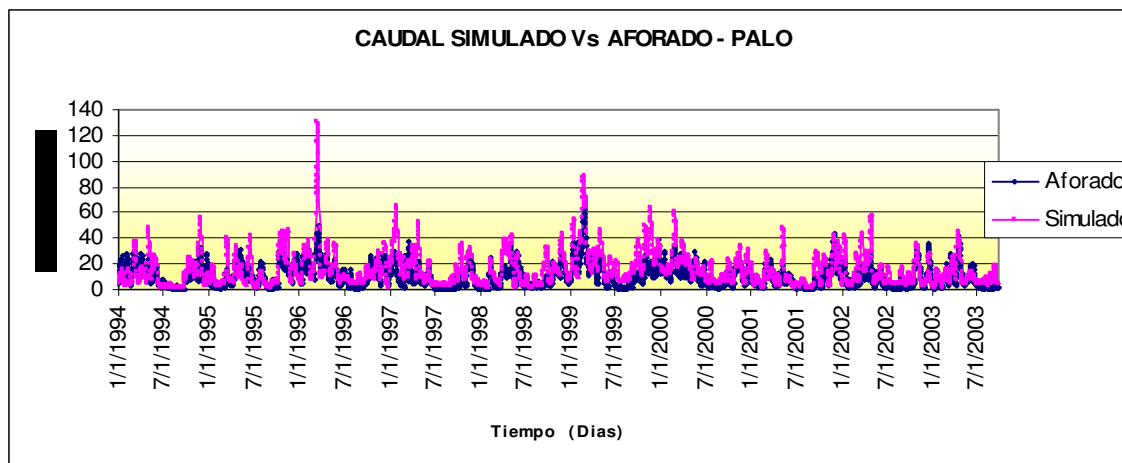


Figura 19. Ajuste de caudales en la cuenca Palo

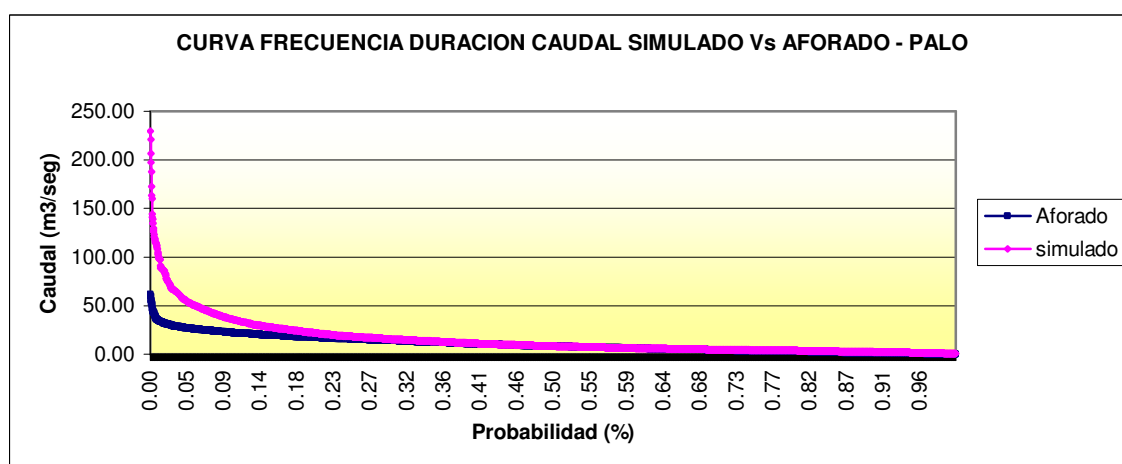


Figura 20. Curva frecuencia duración de caudales en la cuenca Palo

En general los caudales simulados se ajustan bien a los caudales aforados, obteniendo ajustes razonables; de manera general se pueden hacer dos anotaciones:

1. Se puede observar que los caudales mínimos simulados en algunas cuencas son superiores a los caudales mínimos aforados mostrando una diferencia especialmente en los años secos. Esto se debe a que en el caudal simulado no se está descontando la utilización del agua del río para riego adjudicado por la CVC. A medida que el caudal mínimo aforado es más alto se reduce sustancialmente la diferencia entre el caudal aforado y simulado.

2. La principal discrepancia se presenta en los ajustes de los caudales máximos, donde los valores simulados son muy superiores a los caudales aforados. Esto se debe en algunas ocasiones, por que se realiza un solo registro de caudal por día y es posible que no se alcancen a registrar las crecidas que pueden presentarse durante las 24 horas del día; otra justificación es que los instrumentos de medición de caudal en muchas ocasiones tiene un nivel máximo y este es el mayor nivel que registra.

3.3 Promedio mensual de Caudal simulado y aporte por hectárea al caudal.

A continuación se presenta de forma grafica el promedio mensual multianual del caudal obtenido en la simulación con SWAT para cada una de las nueve cuencas.

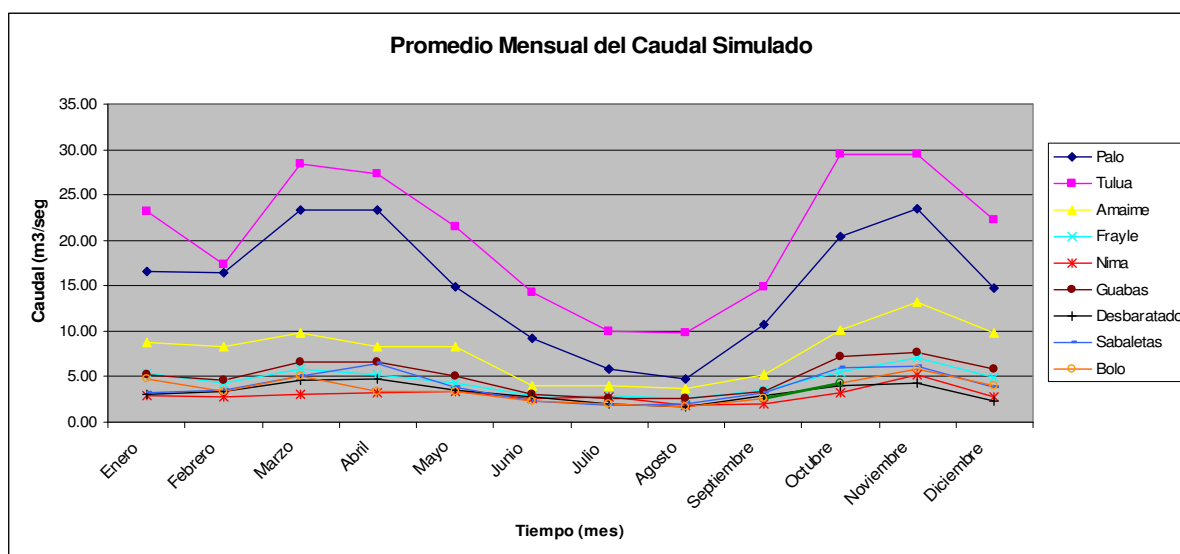


Figura 21. Promedio mensual del caudal simulado

Las cuencas trabajadas se encuentran en una zona con características muy similares en cobertura del suelo, tipos de suelos y climatológicos; siendo el área total de la cuenca, la principal diferencia que se presentan en el caudal obtenido en la figura 21. El área total de cada una de las cuencas se presenta a continuación de forma descendente.

Cuenca	Área (Km2)
Palo	935.07
Tulua	797.20
Amalme	531.48
Frayle	470.48
Bolo	386.73
Nima	238.47
Guabas	198.93
Desbaratado	192.39
Sabaletas	181.83

Para poder observar la contribución por hectárea al caudal, se presenta la figura 22 del aporte por hectárea de cada una de las cuencas en litros/segundo/hectárea.

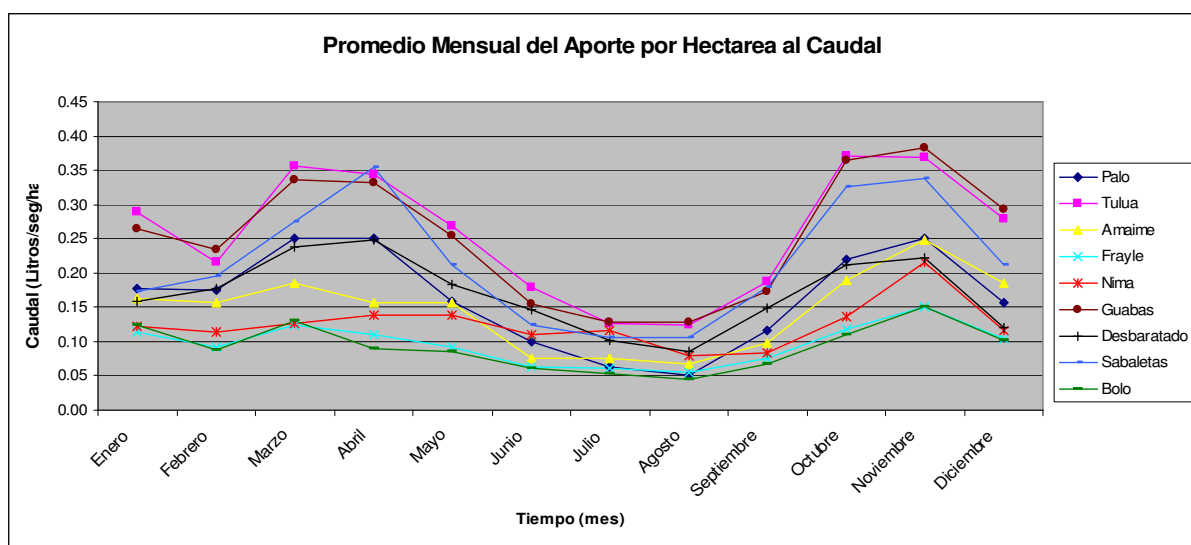


Figura 22. Promedio mensual del aporte por hectárea al caudal

3.4 Localización espacial de las HRU con producción de sedimentos y agua.

En las figuras 23 a 31, se presentan las URH en cada una de las cuencas con su aporte de agua al caudal, al acuífero superficial y sedimentos. Así mismo en la base de datos a entregar se encuentran un archivo en formato Excel para cada una de las cuencas el cual contiene las URH para cada una de las cuencas, con los valores de las demás variables que interfieren en el balance hídrico:

- No. de la URH
- Tipo de cobertura
- Subcuenca donde encuentra localizada
- Área (Km²)
- Precipitación anual (mm)
- Escorrentía (mm)
- Flujo Lateral (mm)
- Producción de agua (mm)
- Evapotranspiración real (mm)
- Producción de sedimentos (t/ha)
- Agua aportada al acuífero superficial (mm)

Para observar en detalle los mapas que aquí se ilustran, sus versiones en shapefile y bases de datos asociadas son entregadas en un DVD para que TNC pueda manejarlos según las inquietudes que quiera contestar.

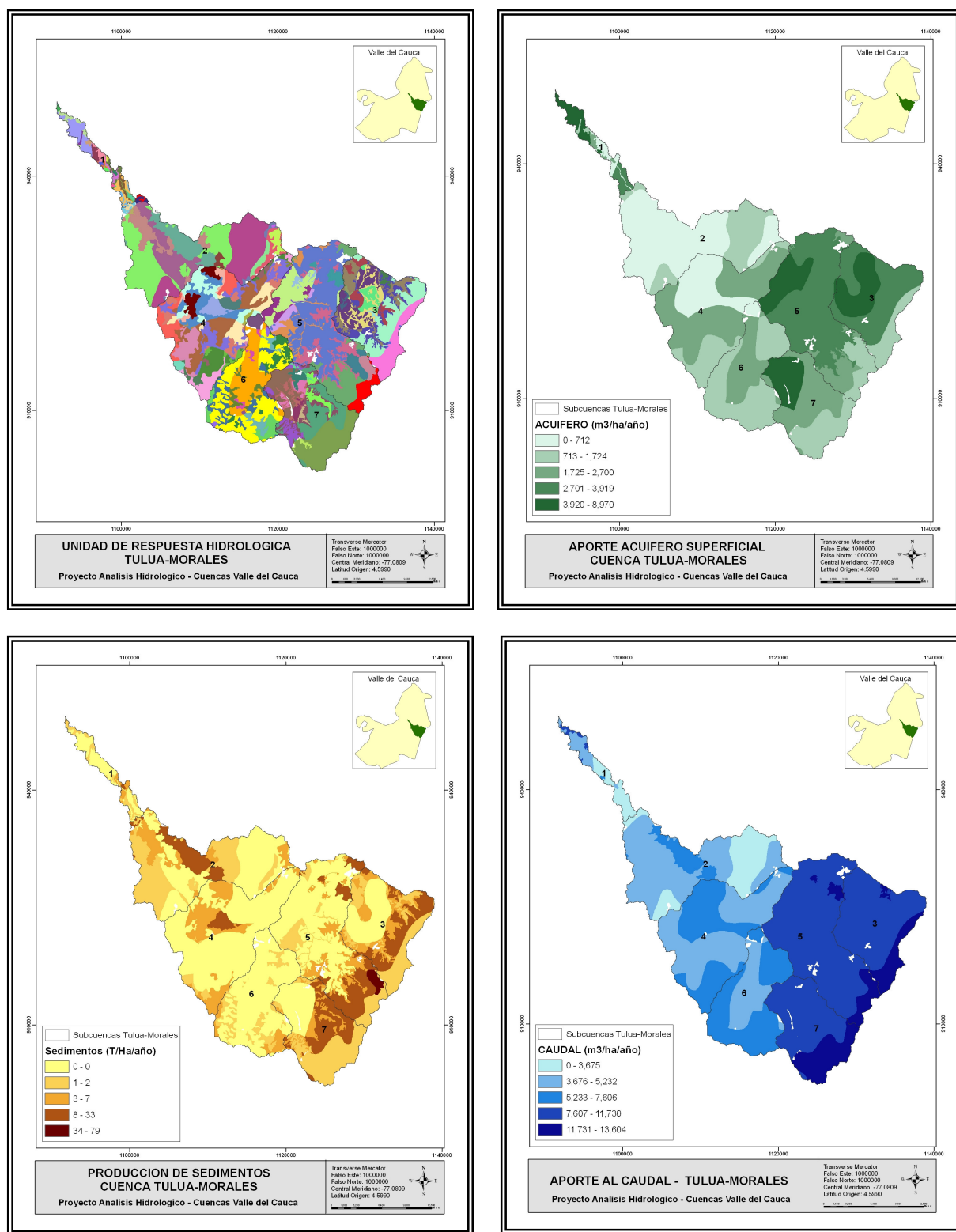


Figura 23. Áreas de mayor contribución de sedimentos, aporte de agua al acuífero y al caudal cuenca Tulua.

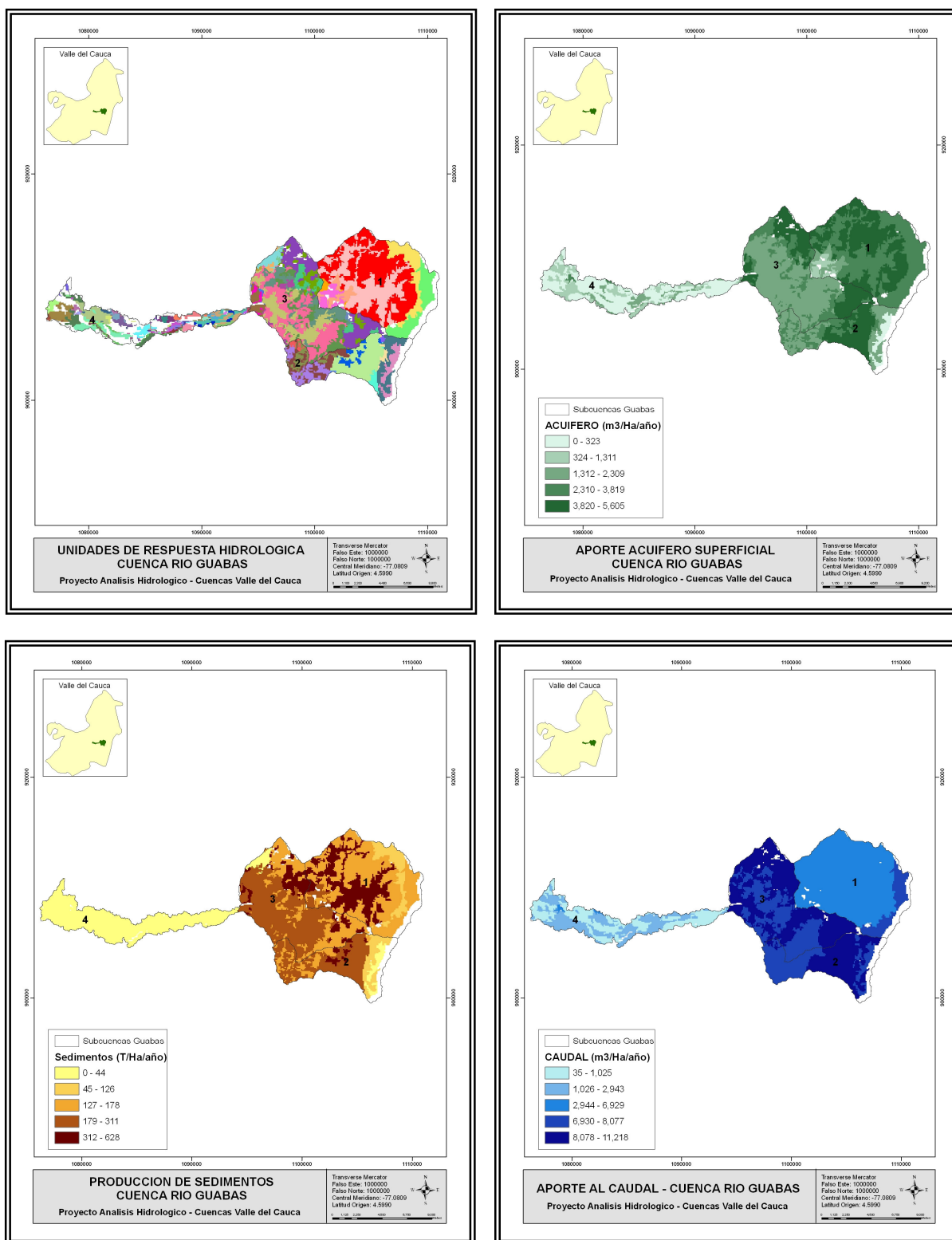


Figura 24. Áreas con mayor contribución de sedimentos, aporte de agua al acuífero y al caudal cuenca Guabas.

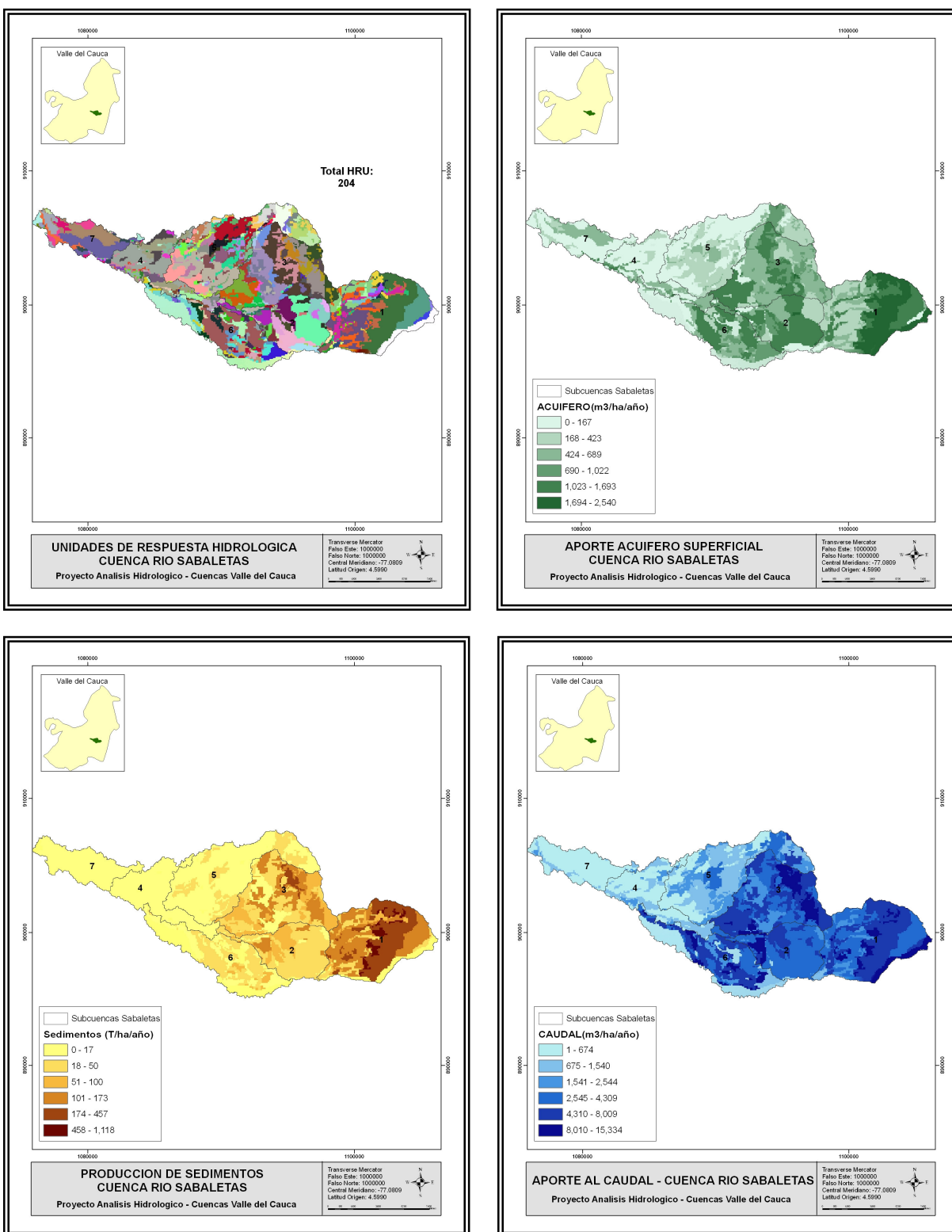


Figura 25. Áreas con mayor contribución de sedimentos, aporte de agua al acuífero y al caudal cuenca Sabaletas.

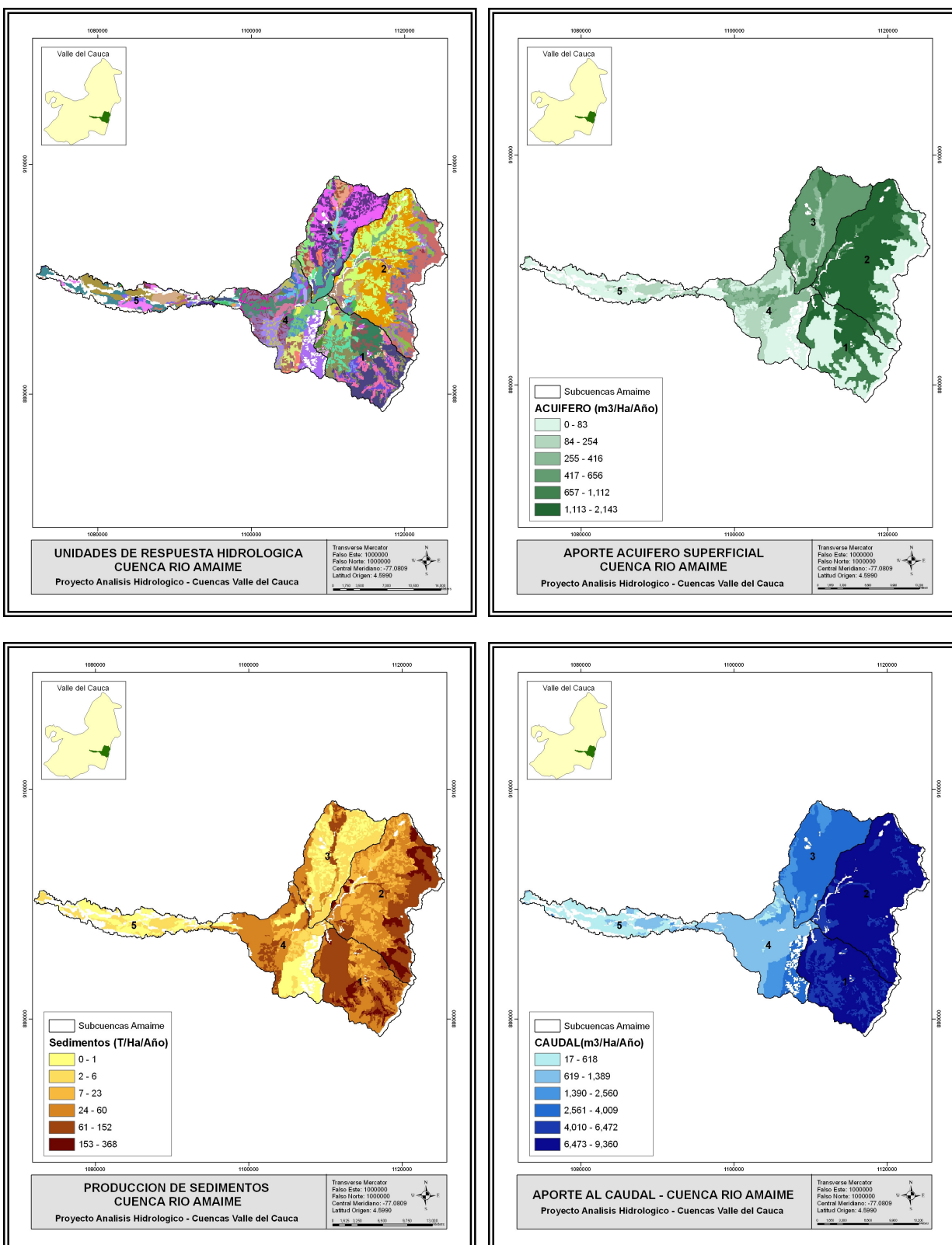


Figura 26. Áreas con mayor contribución de sedimentos, aporte de agua al acuífero y al caudal cuenca Amaime.

Proyecto: Impacto del Uso de la tierra en la generación de Caudales y Sedimentos para 9 cuencas del franco oriental del Valle del Cauca (Colombia)

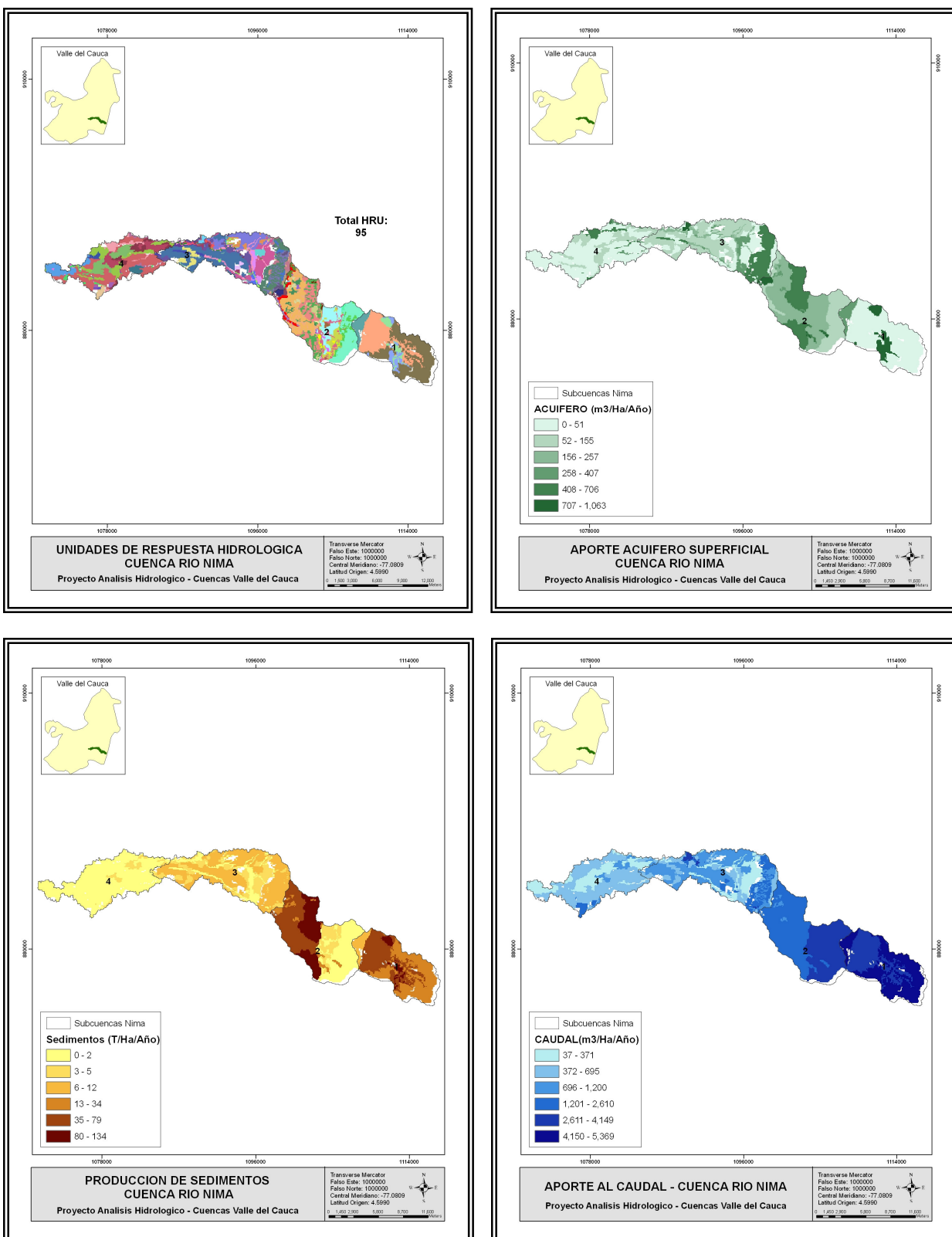


Figura 27. Áreas con mayor contribución de sedimentos, aporte de agua al acuífero y al caudal cuenca Nima.

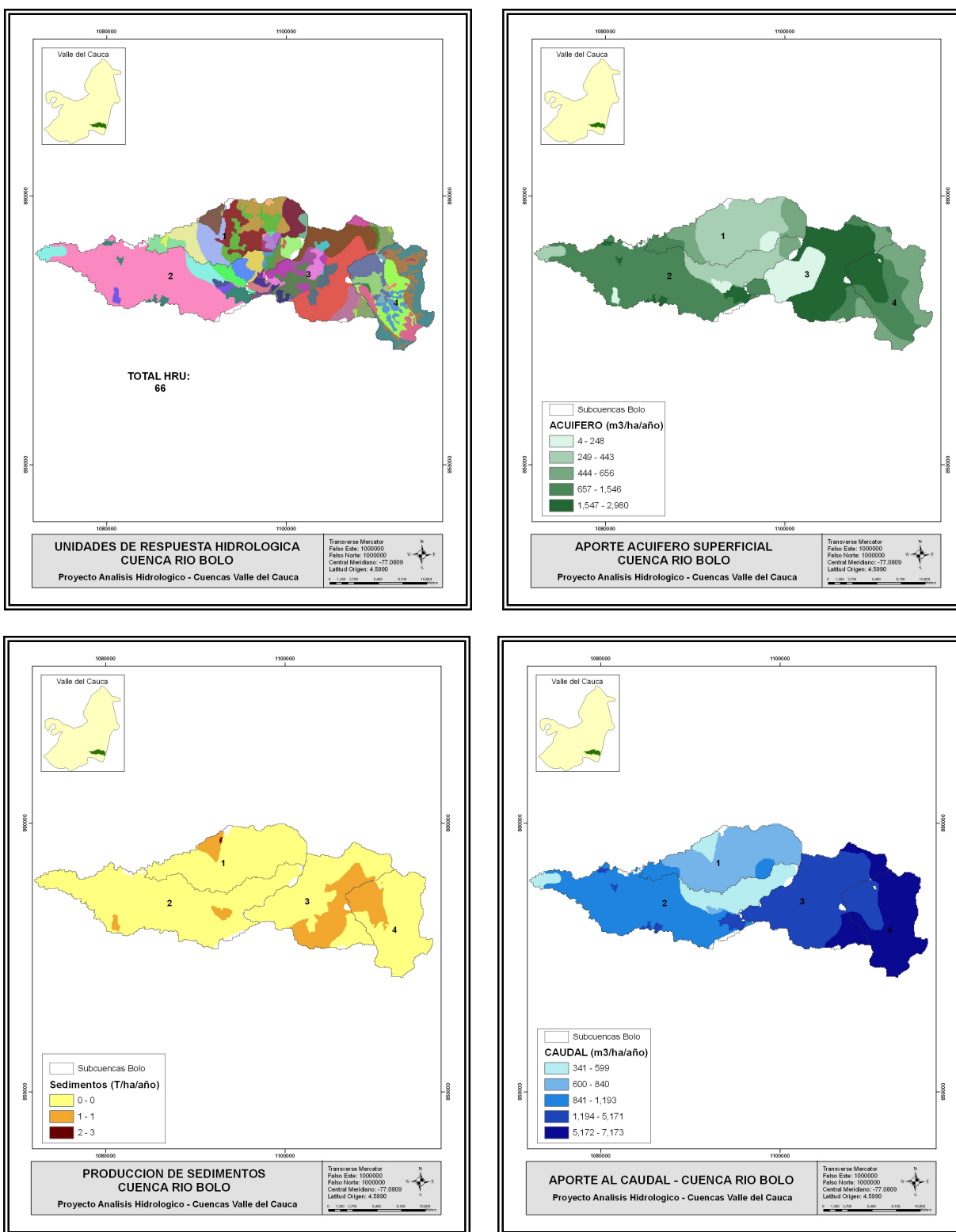


Figura 28. Áreas con mayor contribución de sedimentos, aporte de agua al acuífero y al caudal cuenca Bolo.

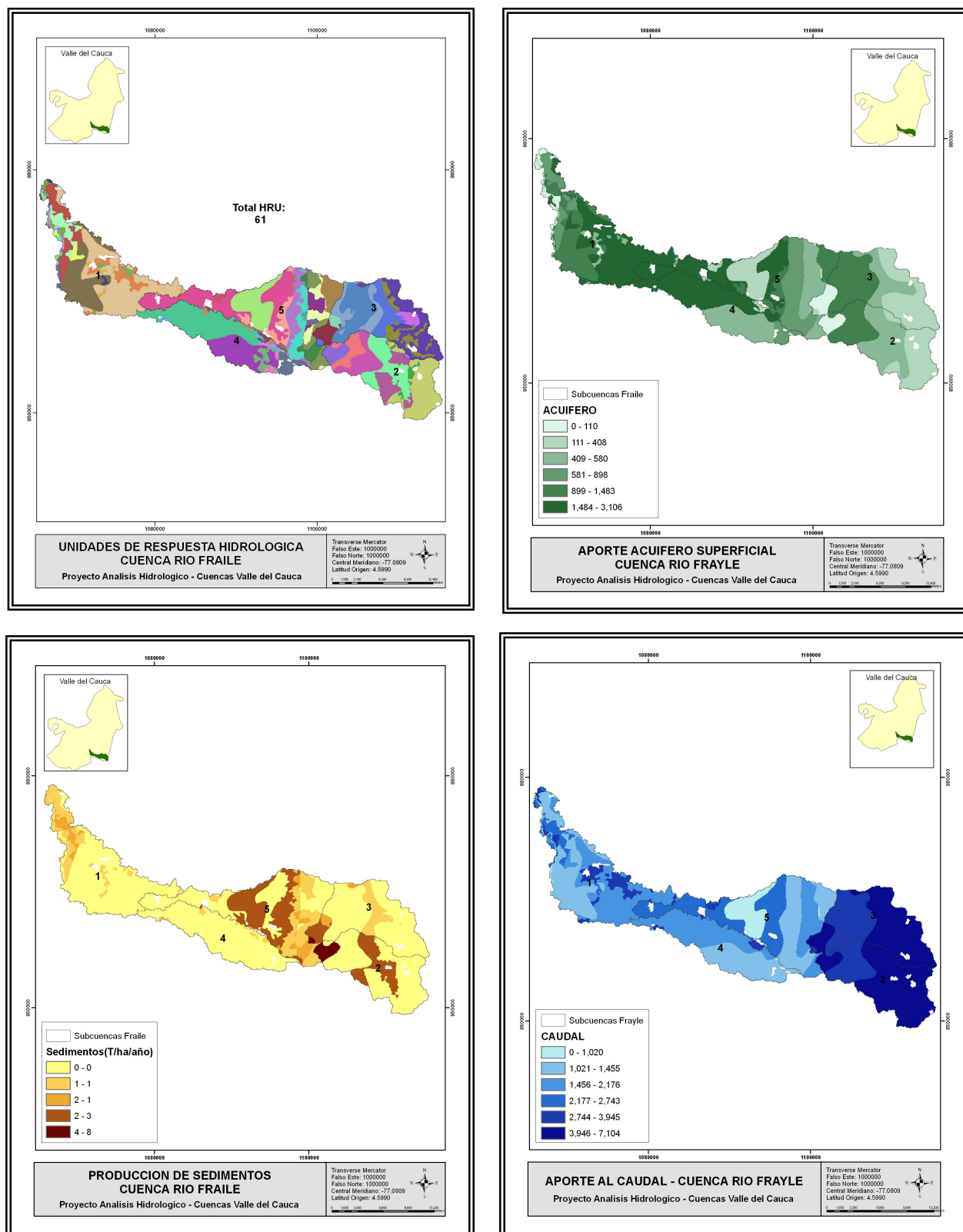


Figura 29. Áreas con mayor contribución de sedimentos, aporte de agua al acuífero y al caudal cuenca Fraile

Proyecto: Impacto del Uso de la tierra en la generación de Caudales y Sedimentos para 9 cuencas del franco oriental del Valle del Cauca (Colombia)

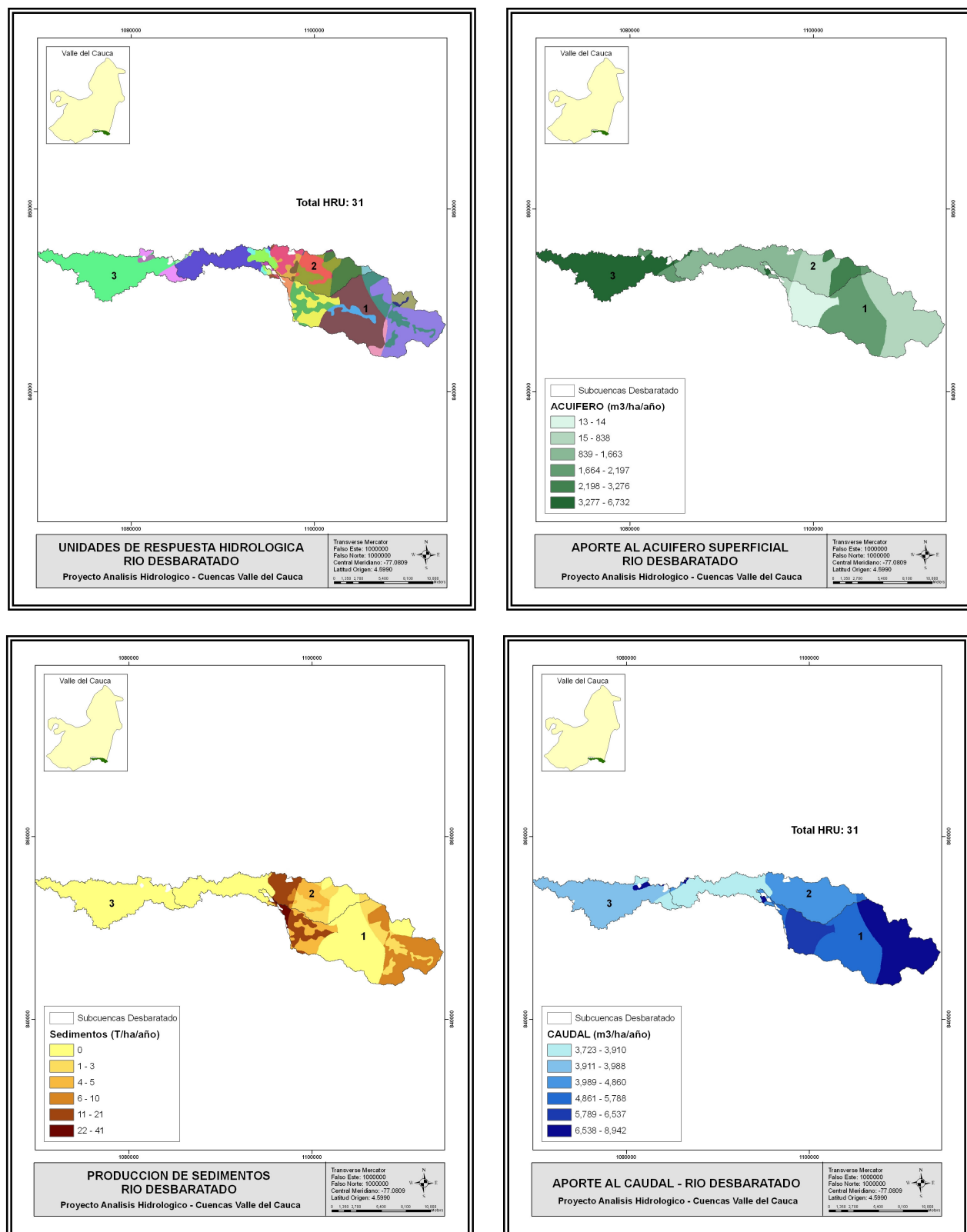


Figura 30. Áreas con mayor contribución de sedimentos, aporte de agua al acuífero y al caudal cuenca Desbaratado

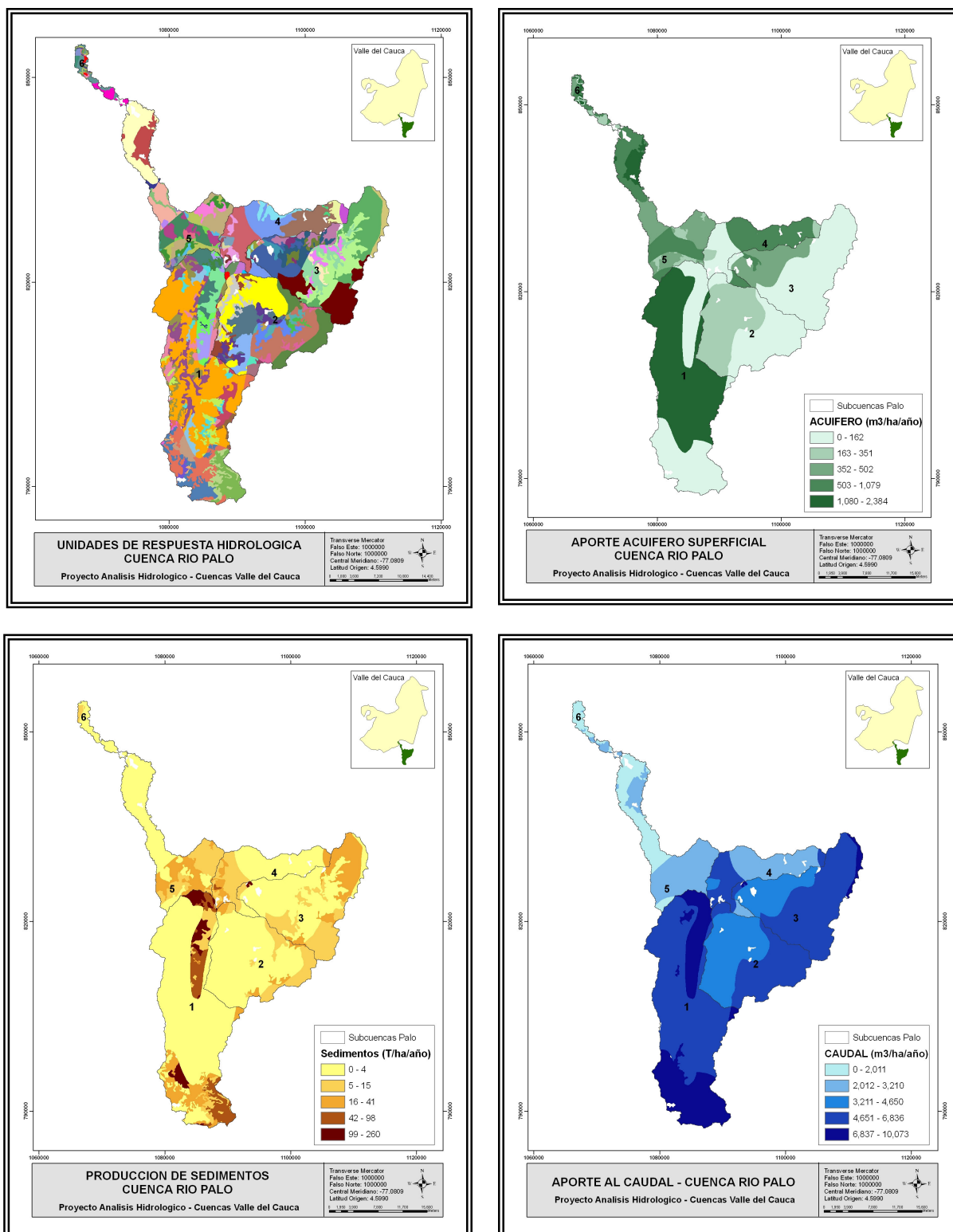


Figura 31. Áreas con mayor contribución de sedimentos, aporte de agua al acuífero y al caudal cuenca Palo.

3.5 Áreas prioritarias para evaluar el impacto que se tendría por cambios en el uso de la tierra y en el manejo.

Para determinar las áreas donde se podría tener mas impacto cambiando el uso de la tierra y el manejo se ha creado el índice de intervención que localiza espacialmente las áreas donde es necesario hacer un cambio, porque actualmente se tiene muy poca contribución al acuífero superficial, se tienen niveles altos de perdida de capa arable y donde el aporte de agua al caudal es alto y hay potencial para modificar su perfil a través del año.

La formula matemática empleada es la siguiente:

$$Indice = \frac{(AcuiferoSuperficial * a) + (Sedimentos * b) + (Caudal * c)}{a + b + c}$$

Donde,

b = 1/ Densidad aparente.

c = 1

$$a = \frac{1}{\frac{\sum AcuiferoSuperficial}{\sum Caudal}}$$

En las figuras 32 a 40, se presentan las áreas priorizadas con este índice.

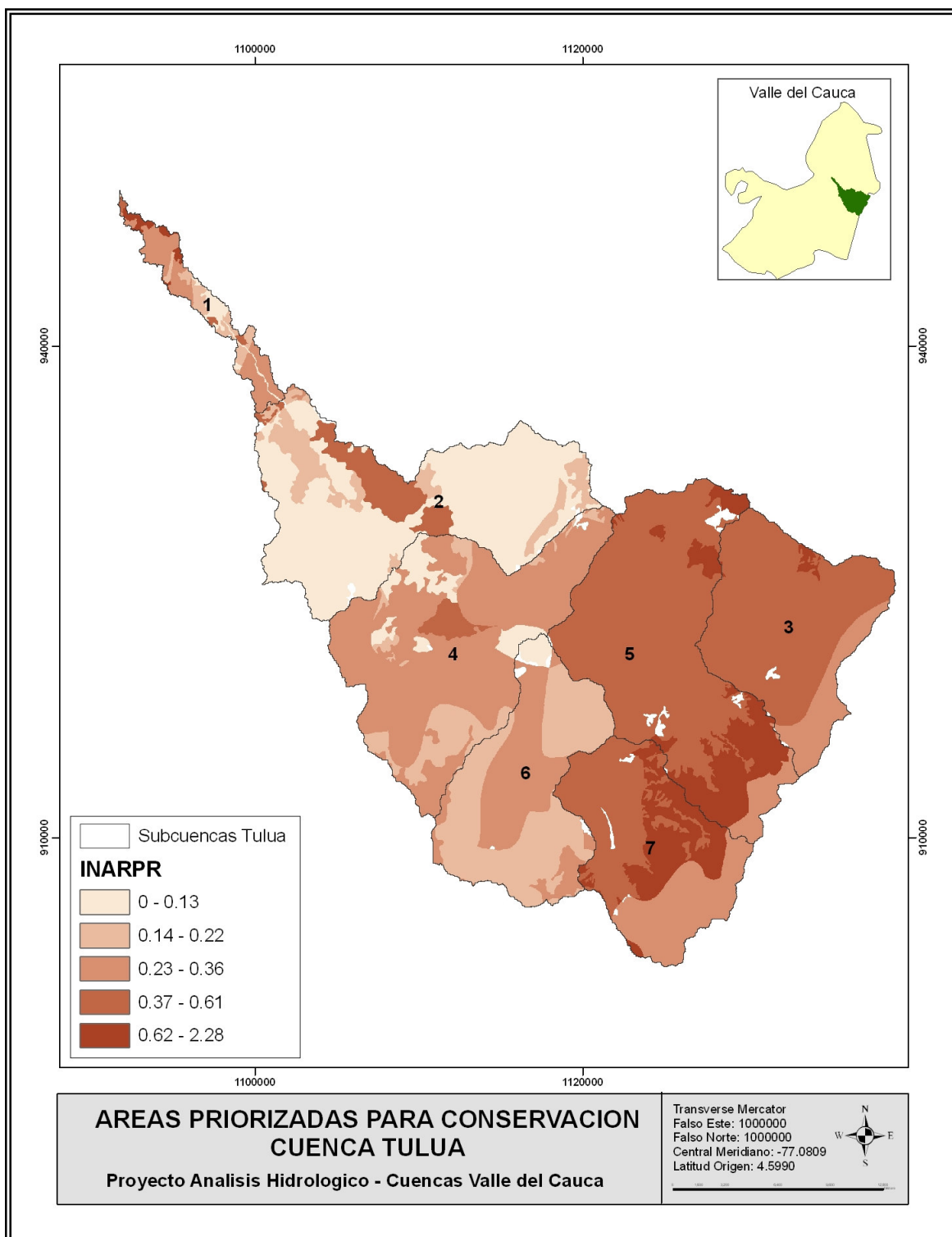


Figura 32. Ubicación áreas priorizadas en la cuenca Tulua.

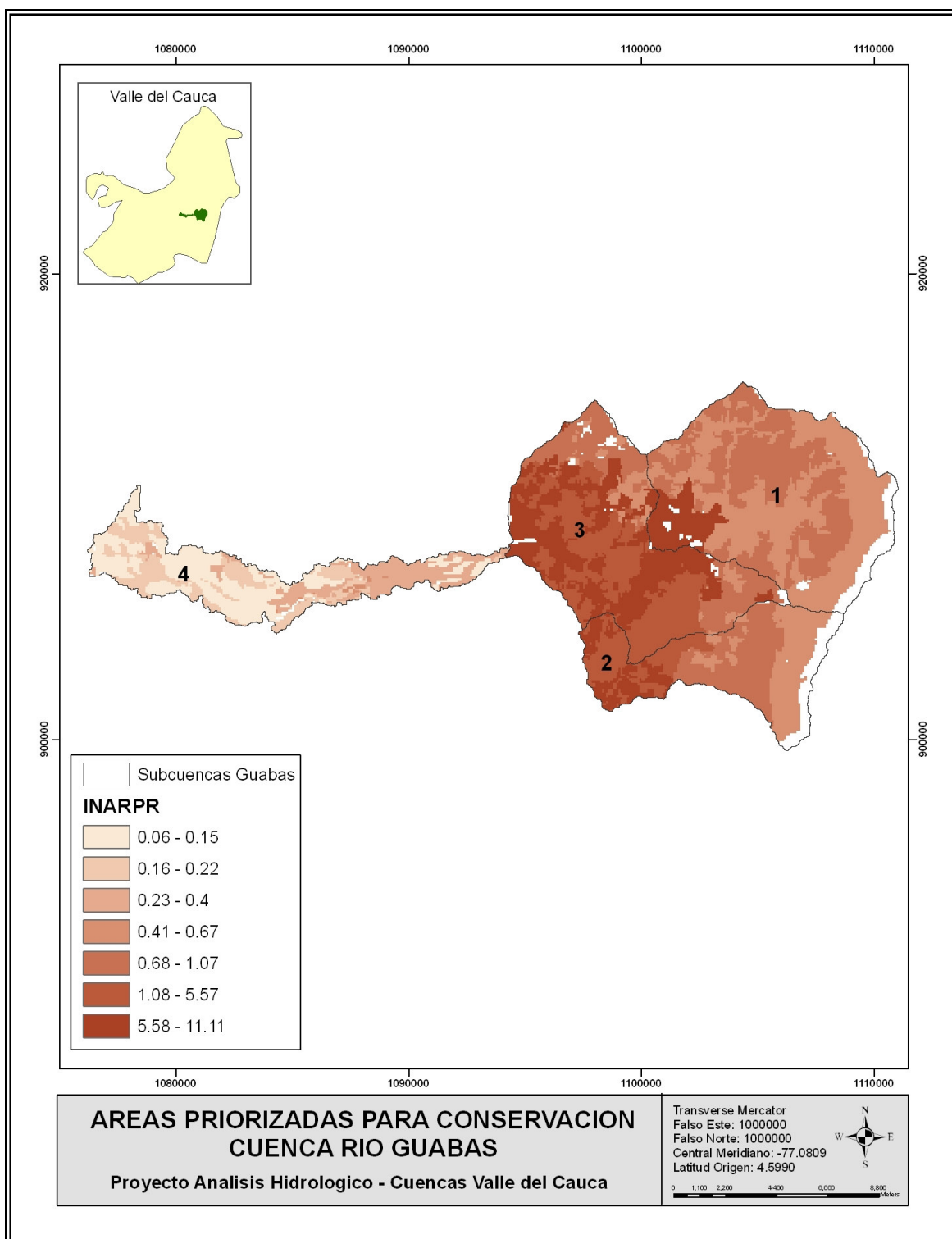


Figura 33. Ubicación áreas priorizadas en la cuenca Guabas.

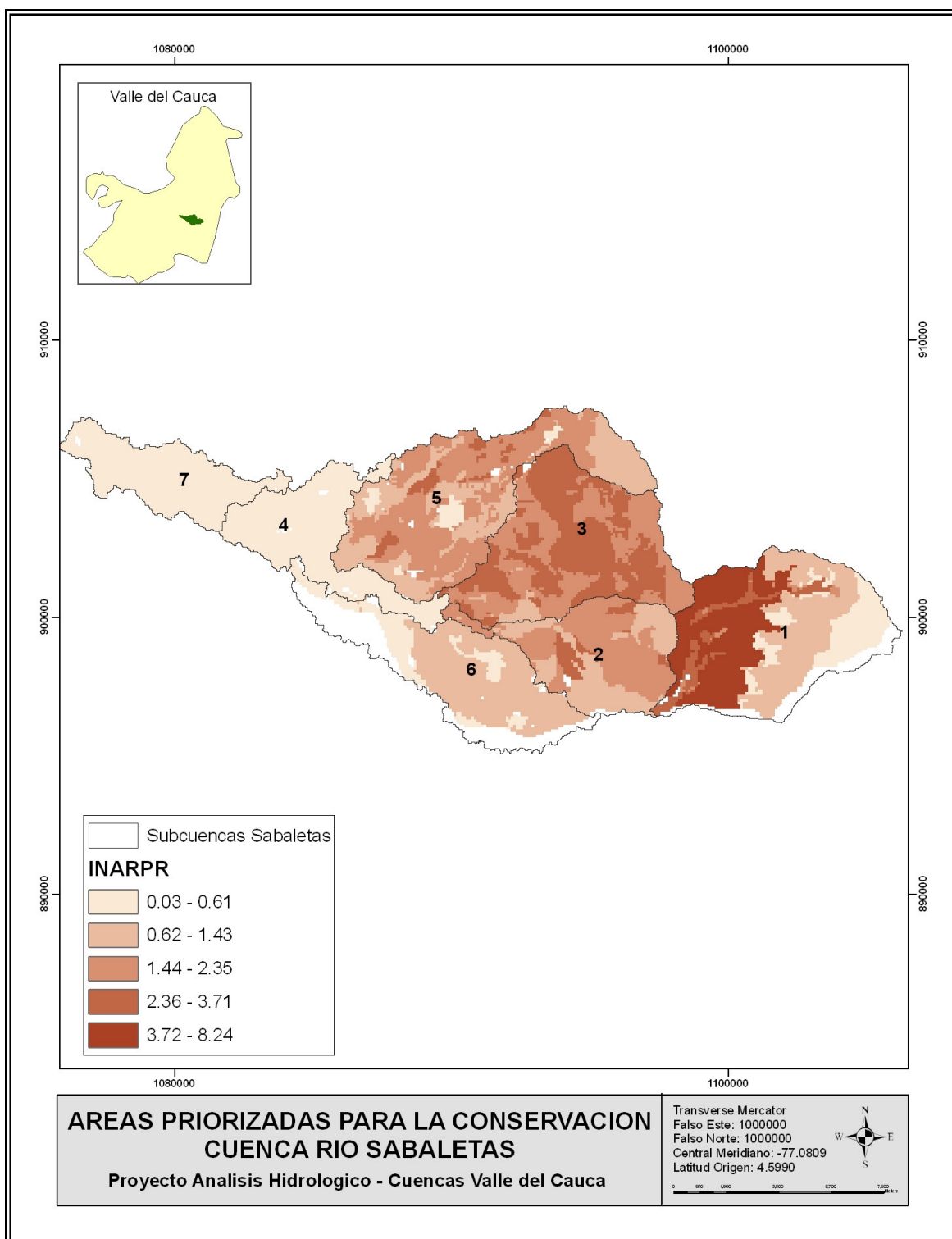


Figura 34. Ubicación áreas priorizadas en la cuenca Sabaletas.

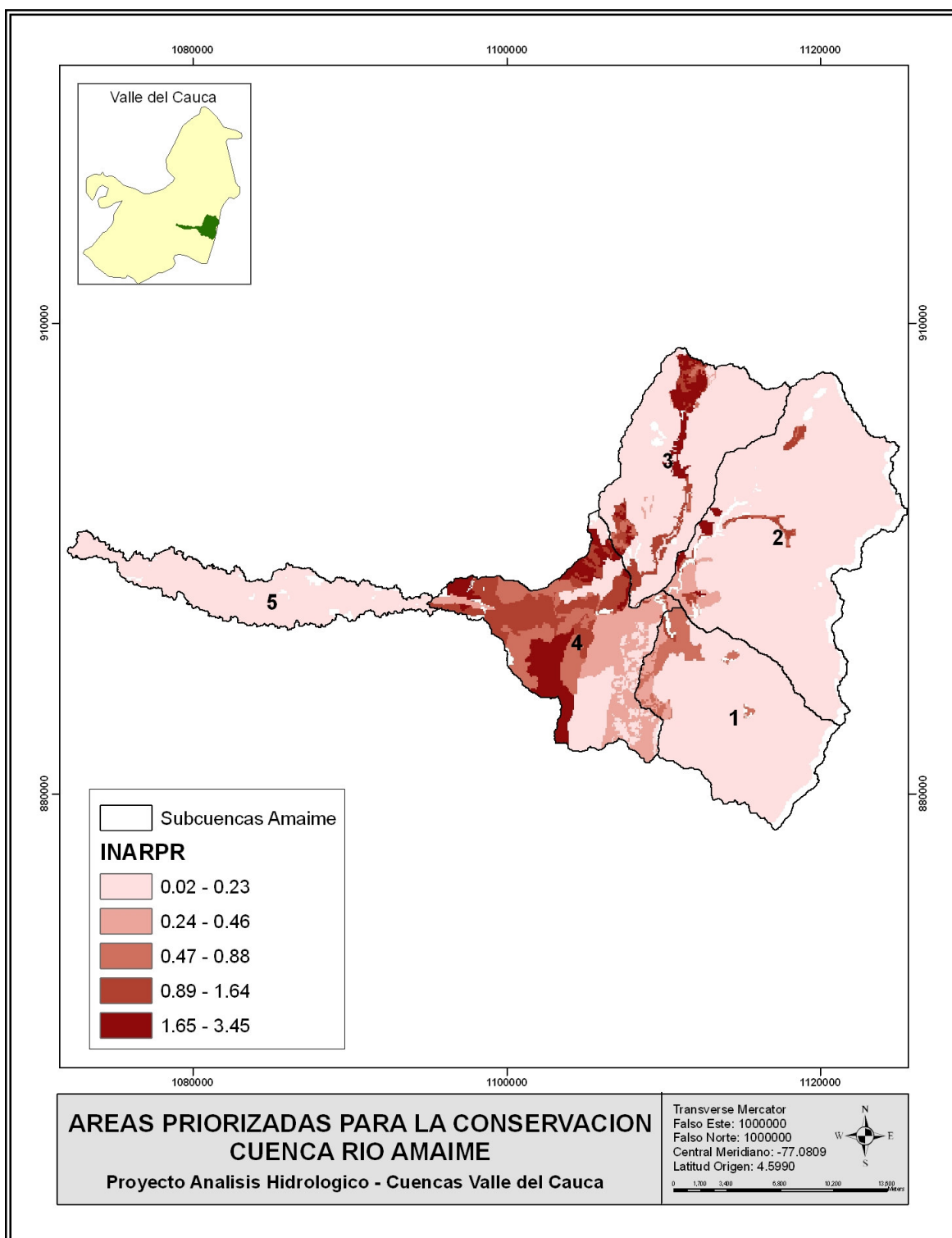


Figura 35. Ubicación áreas priorizadas en la cuenca Amaime.

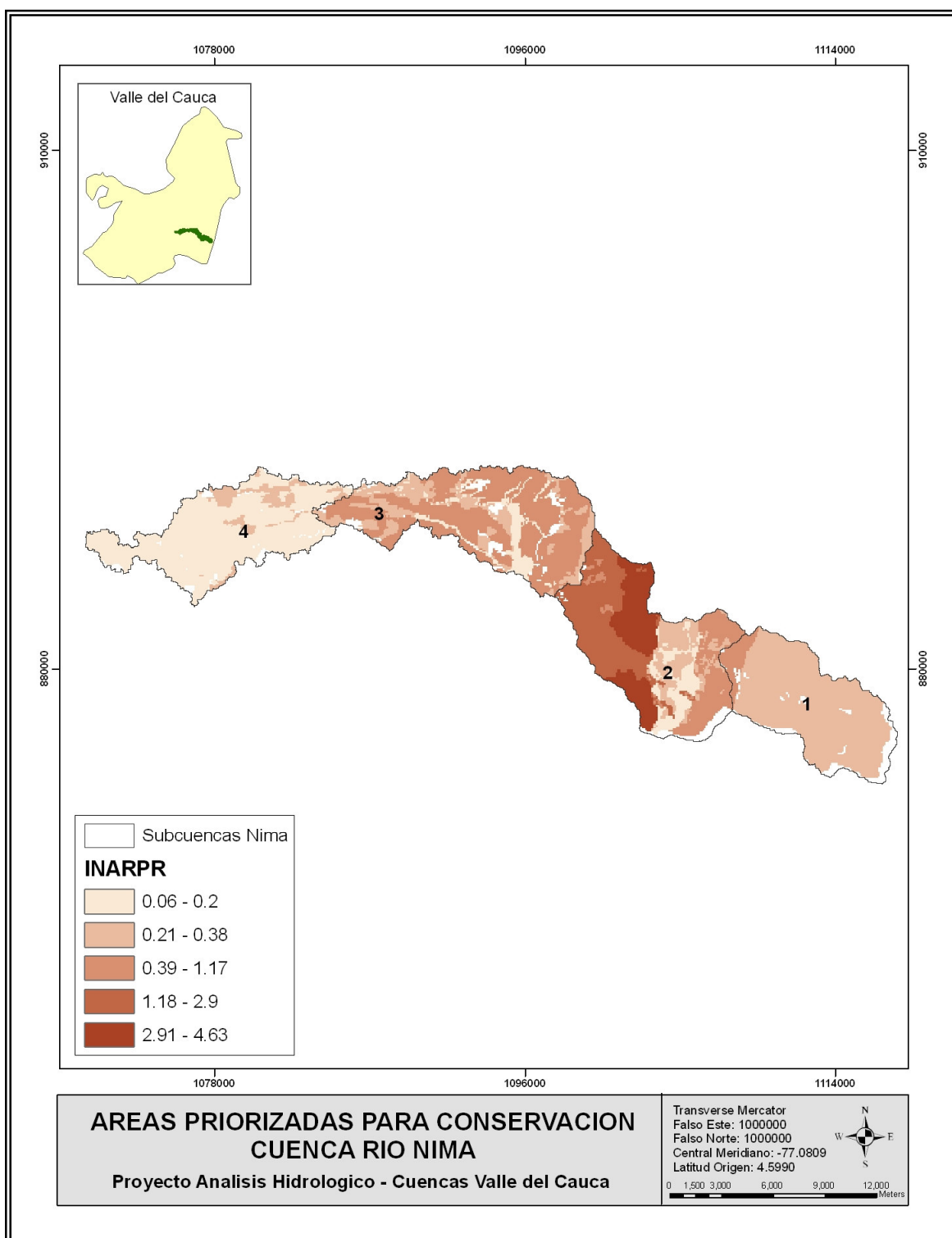


Figura 36. Ubicación áreas priorizadas en la cuenca Nima.

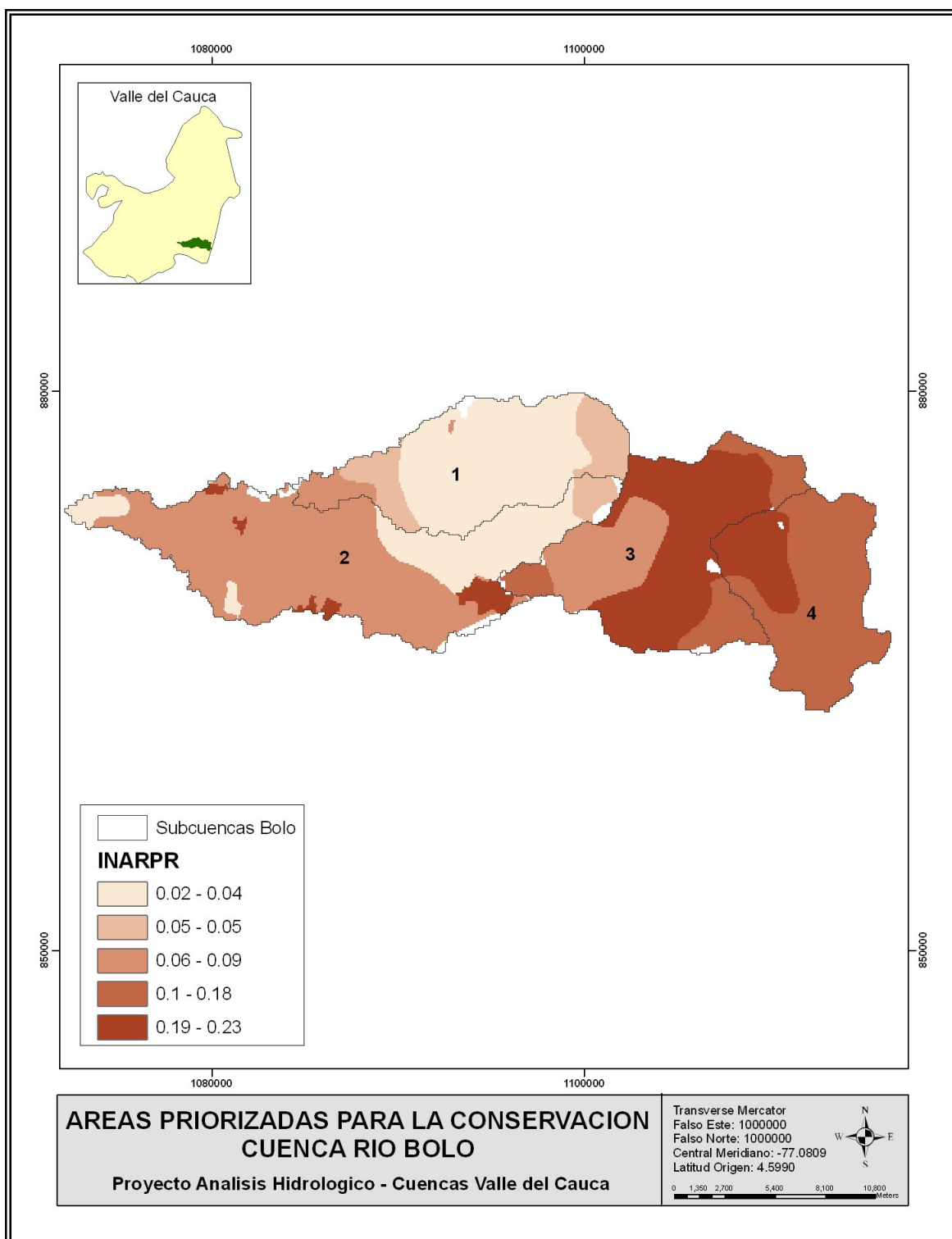


Figura 37. Ubicación áreas priorizadas en la cuenca Bolo.

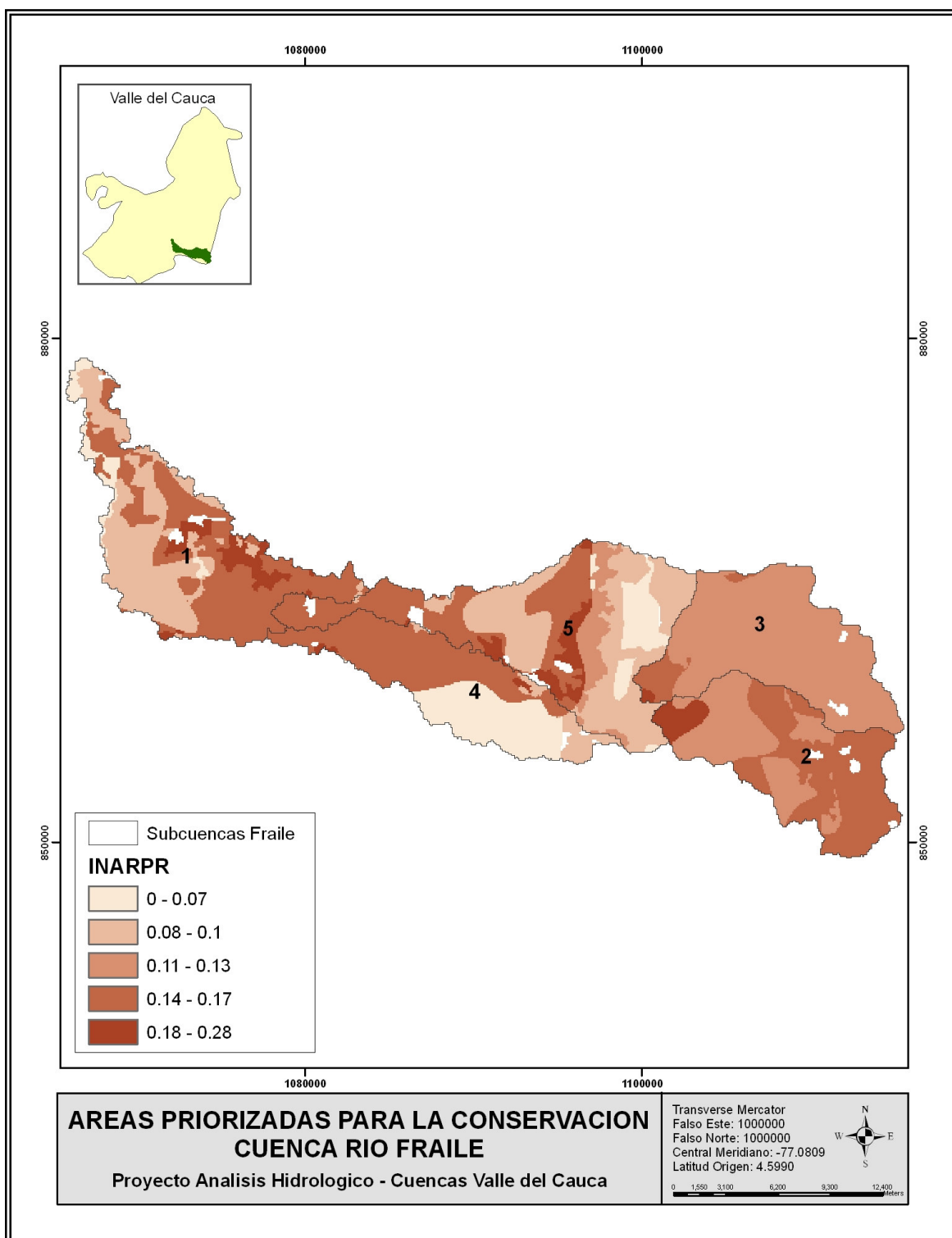


Figura 38. Ubicación áreas priorizadas en la cuenca Frayle.

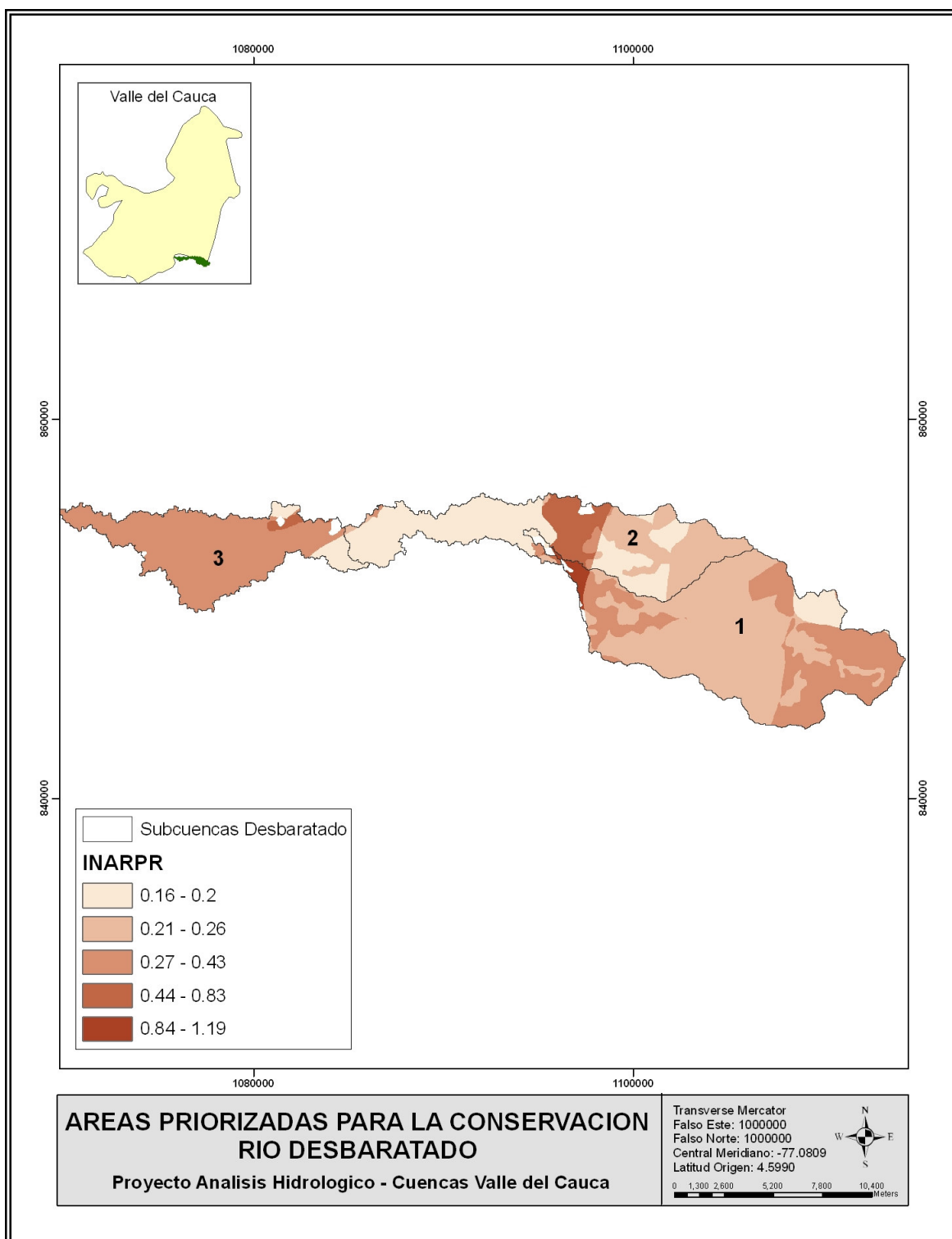


Figura 39. Ubicación áreas priorizadas en la cuenca Desbaratado.

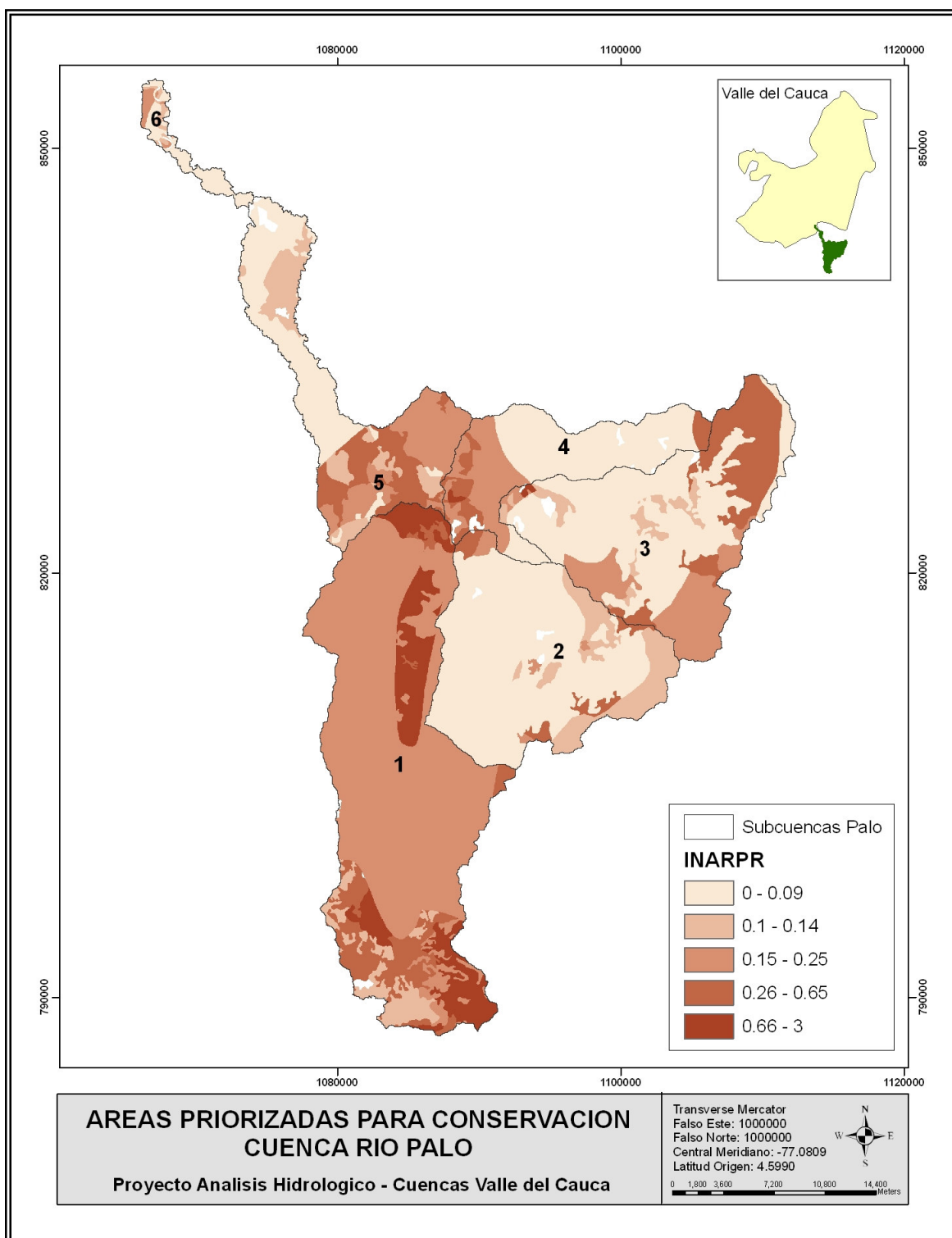
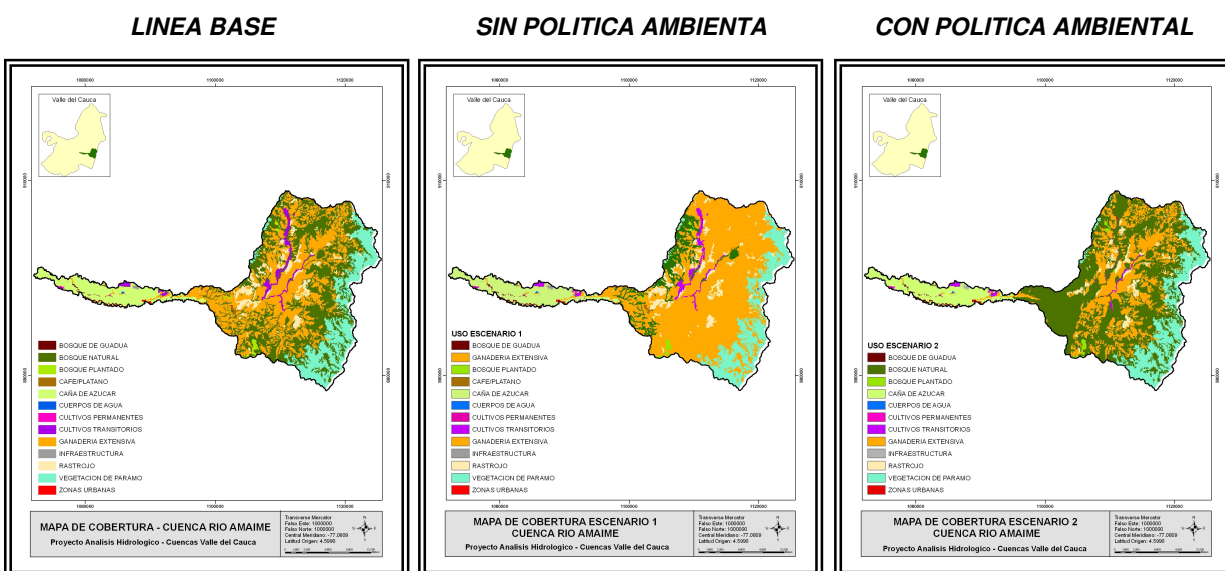


Figura 40. Ubicación áreas priorizadas en la cuenca Palo.

4. ESCENARIOS DE POLITICAS DE CONSERVACION

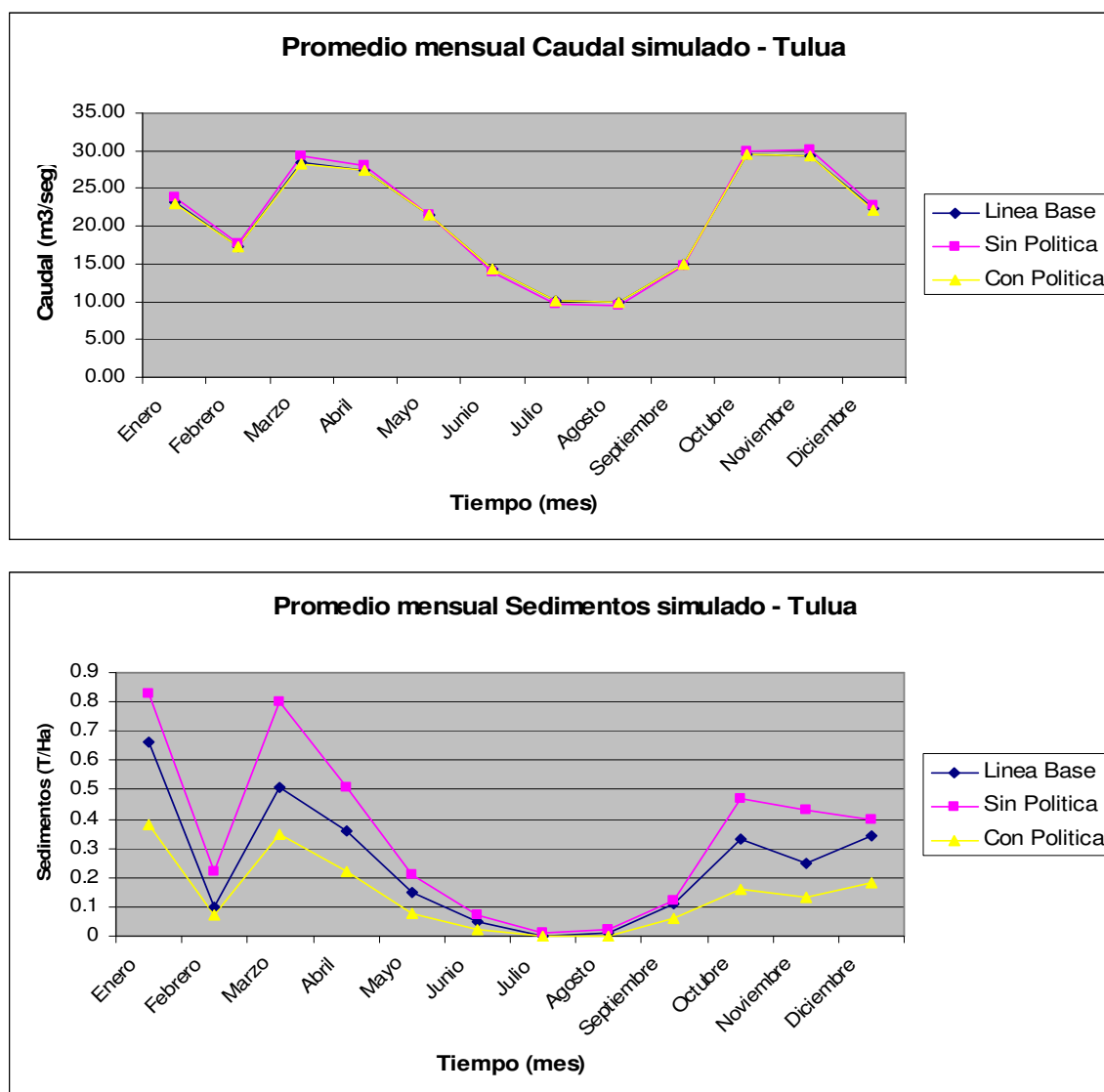
Se evaluaron tres escenarios de uso de la tierra con el fin de analizar cuál es el impacto evitado por el pago de servicios ambientales (PSA) vigente en las nueve cuencas. Los tres escenarios evaluados son los siguientes:

- **Escenario actual:** Línea Base
- **Escenario 1 sin política ambiental**, que corresponde al cambio de uso de la tierra en la cobertura de bosque a mosaico de cultivos - pastos
- **Escenario 2 con Política Ambiental**, que corresponde al cambio de cobertura existente en las URH priorizadas con mayor contribución en caudal y sedimentos a cobertura de Bosque.



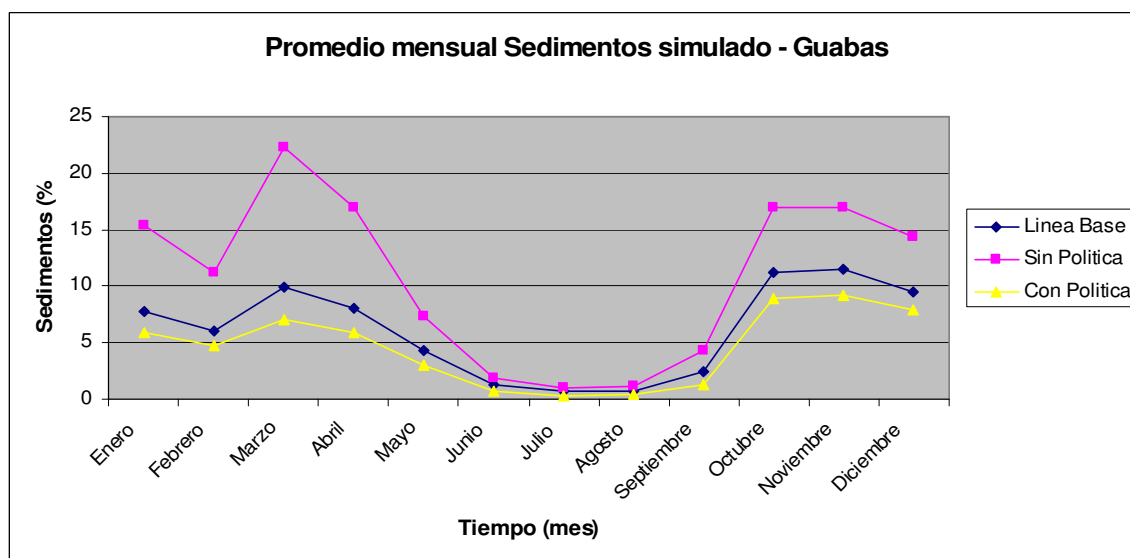
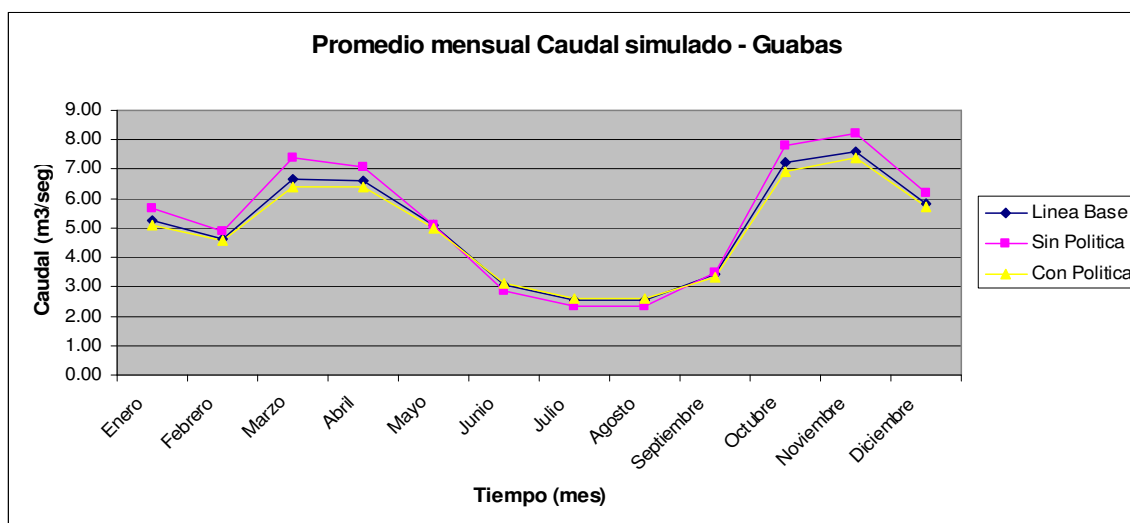
A continuación se presenta de manera grafica el impacto en caudal y sedimentos en promedios mensuales multianuales, obtenidos para los tres escenarios en cada una de las cuencas objeto de estudio y una tabla resumen donde se presenta el porcentaje (%) de cambio de Caudal y Sedimentos entre la Línea base – Escenario 1 (Sin Política) y Línea Base – Escenario 2 (Con Política).

Figura 41. Comparación de aportes de agua al caudal y sedimentos entre escenarios-Tulua



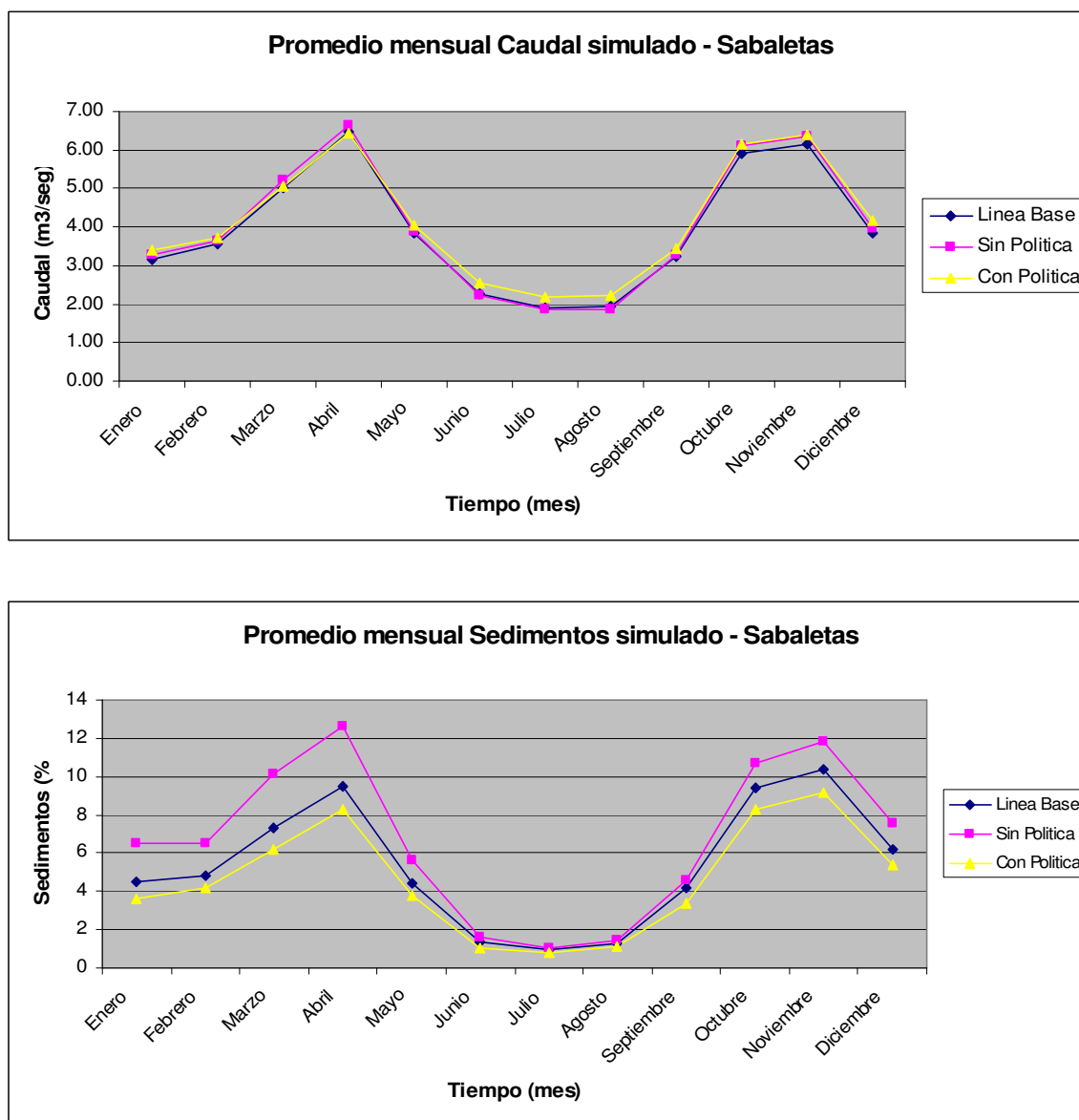
Tiempo (Mes)	CUENCA TULUA									
	Caudal (m3/seg)					Sedimentos (t/ha)				
	Escenario Actual	Escenario 1 Sin politica	Cambio (%)	Escenario 2 Con Politica	Cambio (%)	Escenario Actual	Escenario 1 Sin politica	Cambio (%)	Escenario 2 Con Politica	Cambio (%)
Enero	23.11	23.83	3.1	23.06	-0.2	0.66	0.83	25.8	0.38	-42.4
Febrero	17.28	17.65	2.2	17.29	0.1	0.10	0.22	120.0	0.07	-30.0
Marzo	28.37	29.32	3.4	28.32	-0.2	0.51	0.80	56.9	0.35	-31.4
Abril	27.38	27.96	2.1	27.35	-0.1	0.36	0.51	41.7	0.22	-38.9
Mayo	21.50	21.45	-0.3	21.50	0.0	0.15	0.21	40.0	0.08	-46.7
Junio	14.26	13.95	-2.2	14.30	0.3	0.05	0.07	40.0	0.02	-60.0
Julio	10.02	9.70	-3.2	10.07	0.5	0.00	0.01	0.0	0	
Agosto	9.83	9.52	-3.2	9.87	0.4	0.01	0.02	100.0	0	-100.0
Septiembre	14.94	14.74	-1.3	14.94	0.0	0.11	0.12	9.1	0.06	-45.5
Octubre	29.53	30.02	1.7	29.46	-0.2	0.33	0.47	42.4	0.16	-51.5
Noviembre	29.40	30.10	2.4	29.36	-0.1	0.25	0.43	72.0	0.13	-48.0
Diciembre	22.26	22.75	2.2	22.23	-0.1	0.34	0.40	17.6	0.18	-47.1

Figura 42. Comparación de aportes de agua al caudal y sedimentos entre escenarios-Guabas



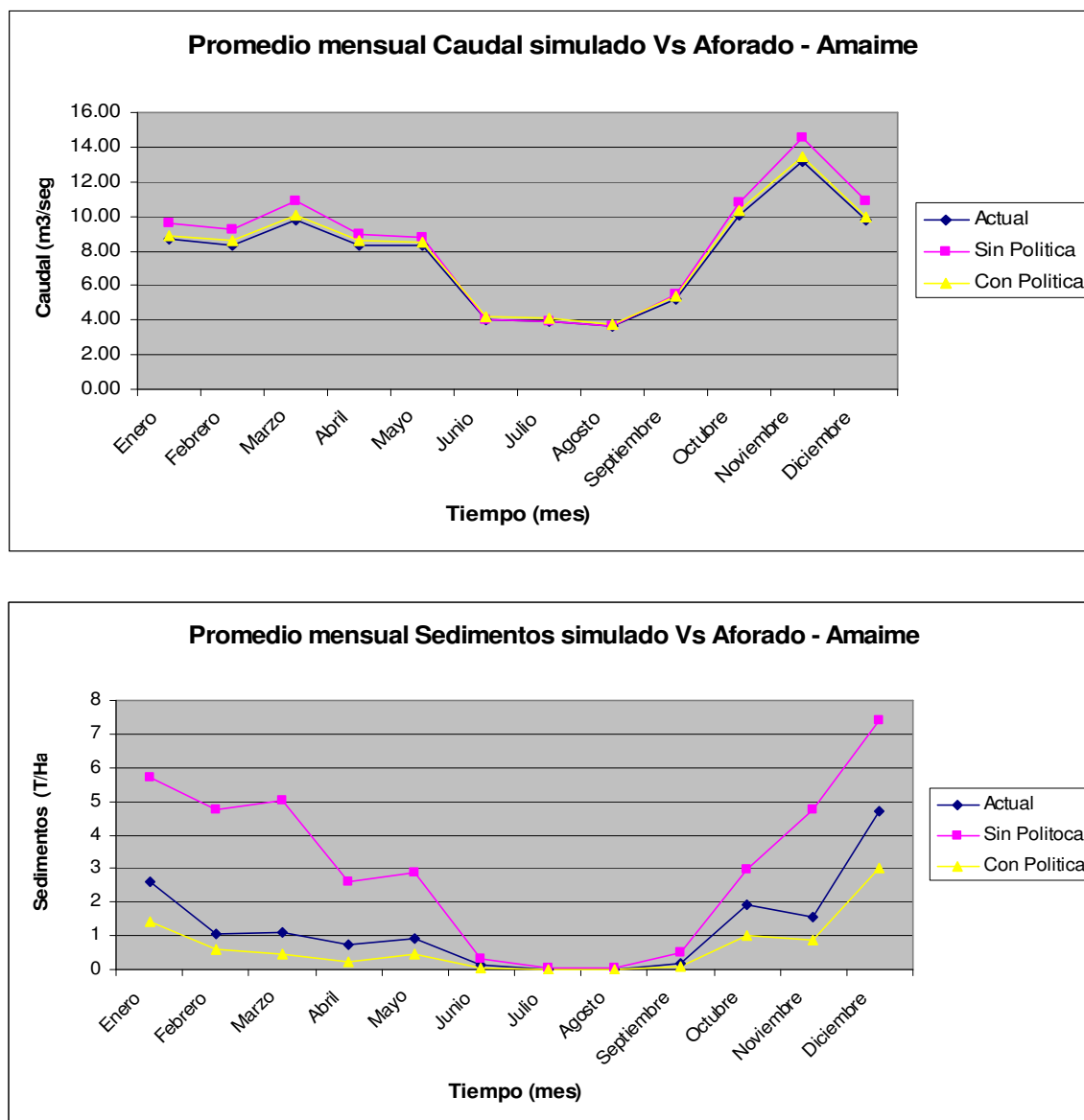
CUENCA GUABAS										
Tiempo (Mes)	Caudal (m3/seg)					Sedimentos (t/ha)				
	Escenario Actual	Escenario 1 Sin politica	Cambio (%)	Escenario 2 Con Política	Cambio (%)	Escenario Actual	Escenario 1 Sin politica	Cambio (%)	Escenario 2 Con Política	Cambio (%)
Enero	5.27	5.68	7.8	5.12	-2.9	7.72	15.41	99.6	5.89	-23.7
Febrero	4.65	4.91	5.5	4.57	-1.8	5.97	11.23	88.1	4.68	-21.6
Marzo	6.67	7.38	10.7	6.41	-3.9	9.91	22.27	124.7	7.05	-28.9
Abril	6.61	7.09	7.3	6.40	-3.1	8.01	16.99	112.1	5.93	-26.0
Mayo	5.07	5.08	0.1	4.99	-1.5	4.27	7.36	72.4	2.95	-30.9
Junio	3.07	2.85	-7.2	3.10	1.2	1.26	1.9	50.8	0.78	-38.1
Julio	2.55	2.33	-8.7	2.60	2.2	0.69	0.97	0.0	0.3	-56.5
Agosto	2.56	2.36	-8.0	2.62	2.2	0.76	1.09	43.4	0.47	-38.2
Septiembre	3.44	3.46	0.4	3.35	-2.9	2.46	4.38	78.0	1.25	-49.2
Octubre	7.24	7.82	7.9	6.94	-4.1	11.19	16.93	51.3	8.94	-20.1
Noviembre	7.62	8.20	7.6	7.38	-3.0	11.53	16.9	46.6	9.19	-20.3
Diciembre	5.82	6.17	5.9	5.70	-2.1	9.54	14.39	50.8	7.97	-16.5

Figura 43. Comparación de aportes de agua al caudal y sedimentos entre escenarios-Sabaletas



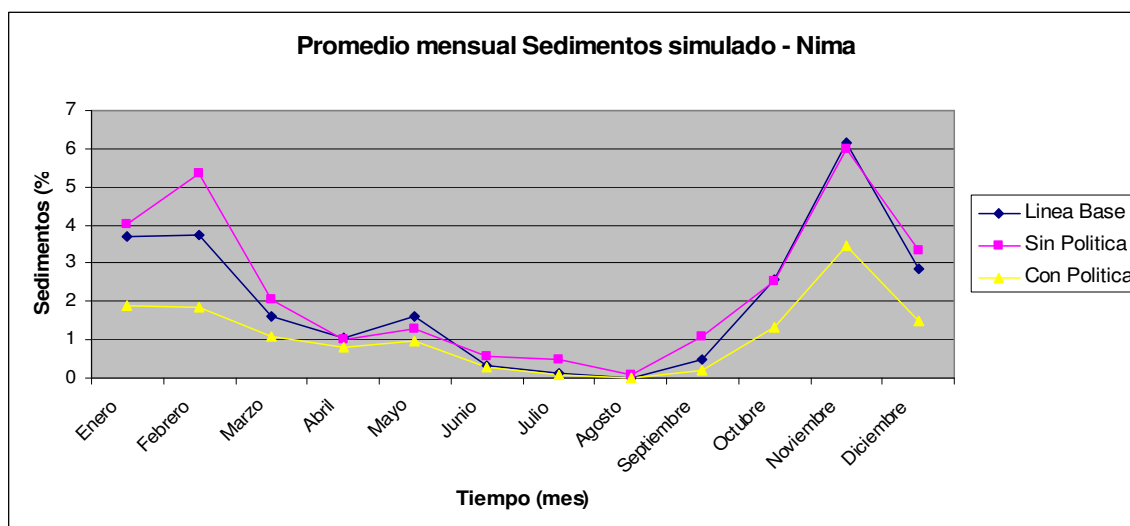
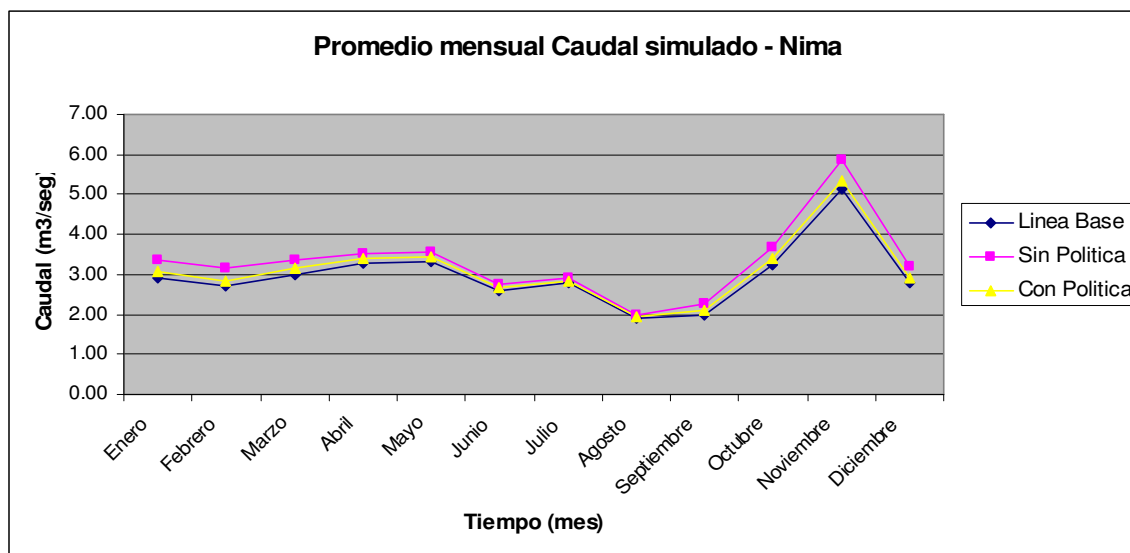
CUENCA SABALETAS										
Tiempo (Mes)	Caudal (m3/seg)					Sedimentos (t/ha)				
	Escenario Actual	Escenario 1 Sin política	Cambio (%)	Escenario 2 Con Política	Cambio (%)	Escenario Actual	Escenario 1 Sin política	Cambio (%)	Escenario 2 Con Política	Cambio (%)
Enero	3.16	3.29	4.1	3.40	7.5	4.53	6.53	44.2	3.63	-19.9
Febrero	3.55	3.64	2.5	3.71	4.5	4.85	6.53	34.6	4.17	-14.0
Marzo	5.01	5.21	3.9	5.06	1.0	7.29	10.14	39.1	6.17	-15.4
Abril	6.45	6.65	3.0	6.42	-0.6	9.51	12.66	33.1	8.3	-12.7
Mayo	3.85	3.89	1.2	4.05	5.2	4.39	5.67	29.2	3.77	-14.1
Junio	2.27	2.22	-2.2	2.54	11.9	1.38	1.57	13.8	1.06	-23.2
Julio	1.91	1.85	-3.1	2.19	14.3	0.96	1.07	11.5	0.77	-19.8
Agosto	1.92	1.88	-2.4	2.22	15.2	1.31	1.42	8.4	1.14	-13.0
Septiembre	3.26	3.29	1.1	3.46	6.2	4.17	4.62	10.8	3.38	-18.9
Octubre	5.92	6.10	3.2	6.16	4.1	9.41	10.73	14.0	8.28	-12.0
Noviembre	6.13	6.36	3.7	6.37	3.9	10.34	11.82	14.3	9.2	-11.0
Diciembre	3.84	3.97	3.4	4.17	8.6	6.19	7.55	22.0	5.37	-13.2

Figura 44. Comparación de aportes de agua al caudal y sedimentos entre escenarios-Amaime.



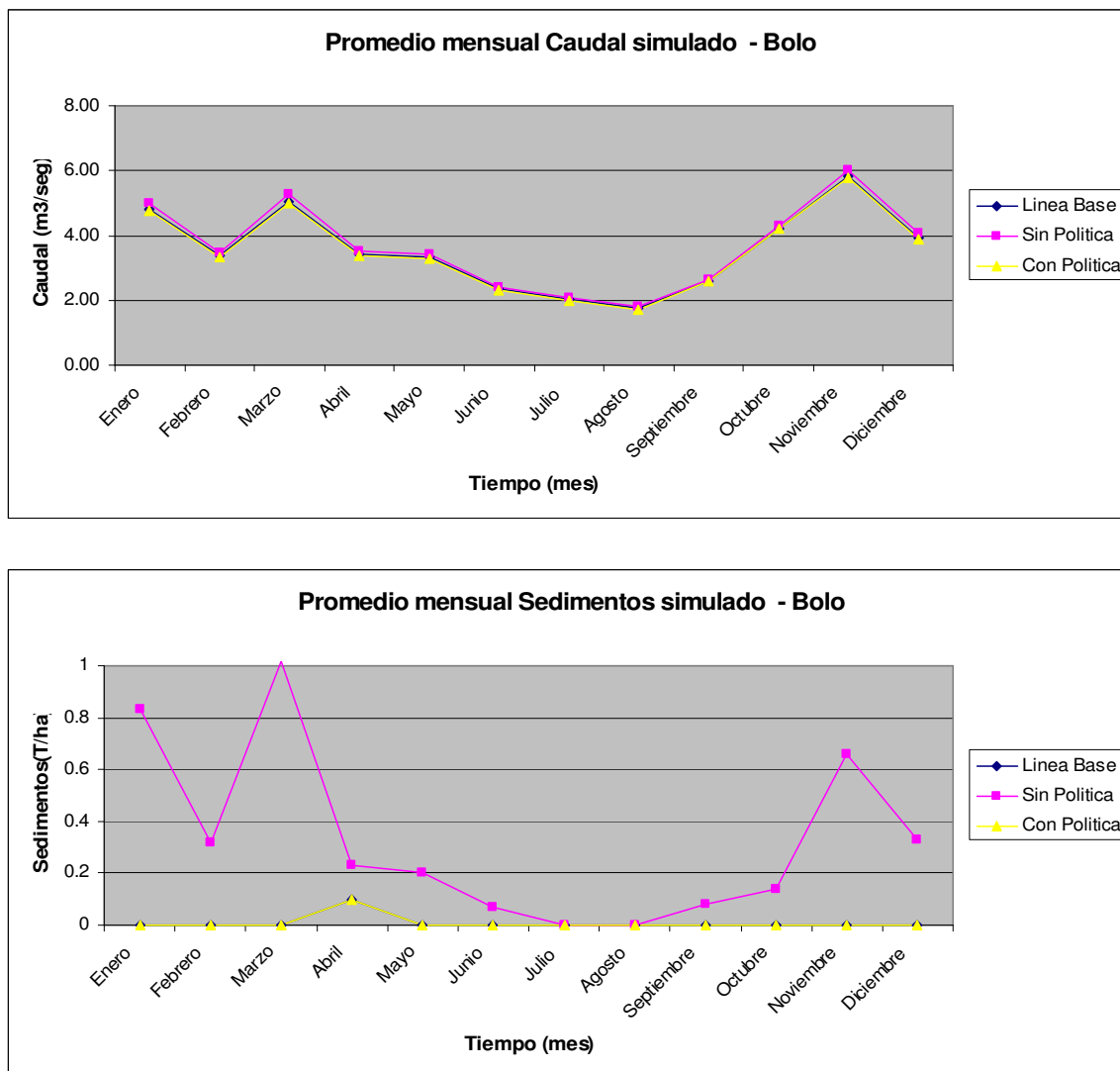
CUENCA AMAIME										
Tiempo (Mes)	Caudal (m3/seg)					Sedimentos (t/ha)				
	Escenario Actual	Escenario 1 Sin politica	Cambio (%)	Escenario 2 Con Politica	Cambio (%)	Escenario Actual	Escenario 1 Sin politica	Cambio (%)	Escenario 2 Con Politica	Cambio (%)
Enero	8.69	9.61	10.5	8.90	2.4	2.6	5.70	119.2	1.42	-45.4
Febrero	8.36	9.27	10.9	8.57	2.6	1.03	4.77	363.1	0.59	-42.7
Marzo	9.83	10.87	10.6	10.07	2.5	1.11	5.02	352.3	0.45	-59.5
Abril	8.35	8.95	7.2	8.59	2.8	0.74	2.59	250.0	0.23	-68.9
Mayo	8.28	8.77	5.8	8.53	2.9	0.91	2.90	218.7	0.46	-49.5
Junio	4.02	4.06	1.1	4.20	4.5	0.16	0.33	106.3	0.06	-62.5
Julio	3.97	3.97	-0.2	4.11	3.5	0.01	0.05	0.0	0	-100.0
Agosto	3.63	3.63	0.0	3.73	3.0	0.02	0.06	200.0	0	-100.0
Septiembre	5.25	5.45	3.8	5.41	3.2	0.2	0.52	160.0	0.08	-60.0
Octubre	10.09	10.79	6.9	10.30	2.1	1.94	2.95	52.1	1.01	-47.9
Noviembre	13.16	14.52	10.3	13.43	2.1	1.54	4.76	209.1	0.88	-42.9
Diciembre	9.81	10.89	11.1	9.94	1.4	4.71	7.41	57.3	3.02	-35.9

Figura 45. Comparación de aportes de agua al caudal y sedimentos entre escenarios-Nima



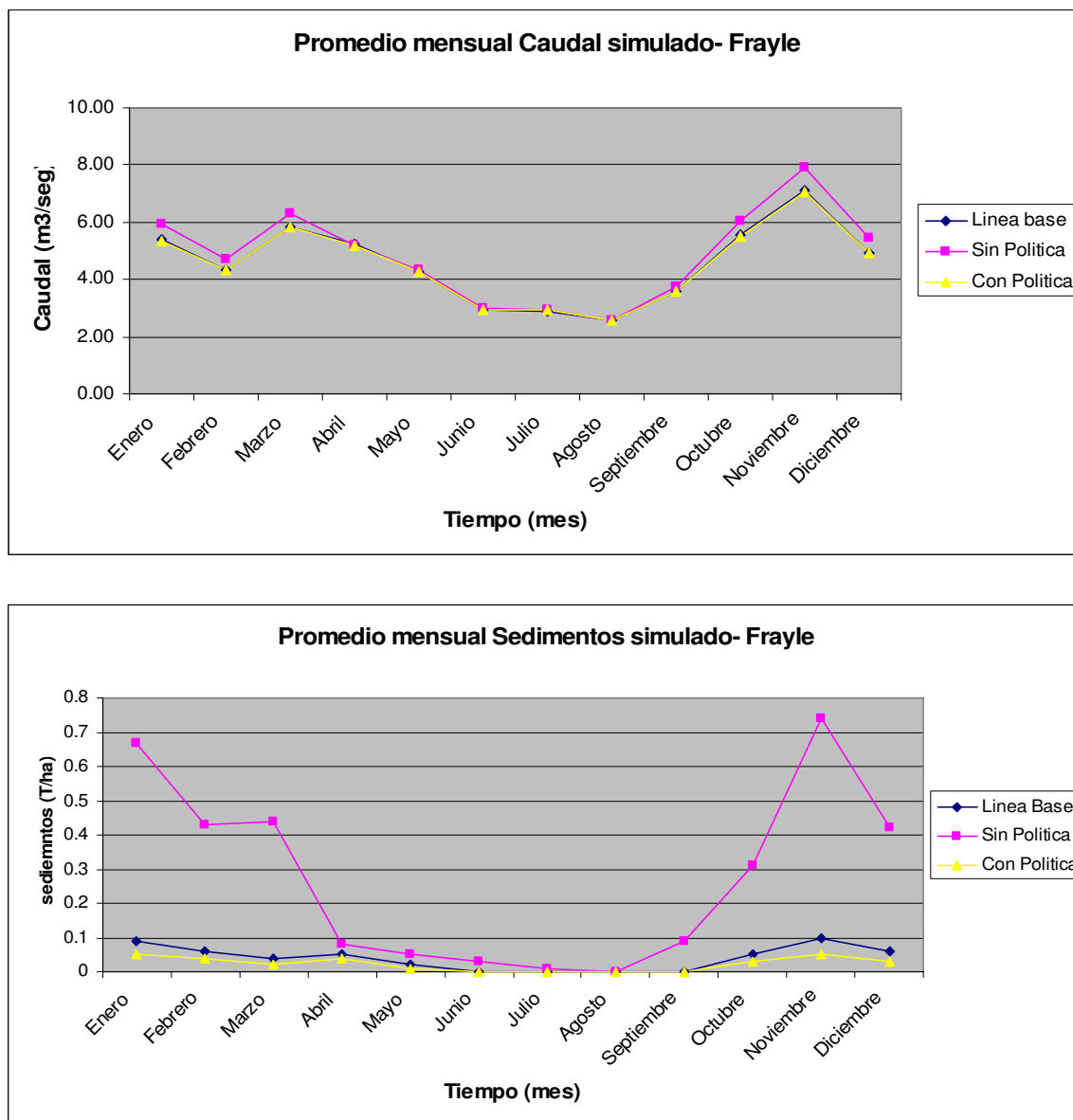
CUENCA NIMA										
Tiempo (Mes)	Caudal (m3/seg)					Sedimentos (t/ha)				
	Escenario Actual	Escenario 1 Sin politica	Cambio (%)	Escenario 2 Con Politica	Cambio (%)	Escenario Actual	Escenario 1 Sin politica	Cambio (%)	Escenario 2 Con Politica	Cambio (%)
Enero	2.93	3.36	14.5	3.08	4.9	3.69	4.01	8.7	1.9	-48.5
Febrero	2.70	3.17	17.3	2.84	4.9	3.74	5.36	43.3	1.84	-50.8
Marzo	3.00	3.34	11.4	3.15	5.0	1.62	2.06	27.2	1.07	-34.0
Abril	3.28	3.50	6.8	3.42	4.2	1.04	1.02	-1.9	0.82	-21.2
Mayo	3.32	3.57	7.6	3.44	3.7	1.59	1.29	-18.9	0.96	-39.6
Junio	2.61	2.77	6.1	2.67	2.4	0.34	0.58	70.6	0.27	-20.6
Julio	2.77	2.92	5.4	2.84	2.4	0.12	0.48	300.0	0.09	-25.0
Agosto	1.90	1.97	3.3	1.96	2.7	0.01	0.08	700.0	0	-100.0
Septiembre	2.00	2.26	13.1	2.09	4.8	0.49	1.08	120.4	0.21	-57.1
Octubre	3.23	3.69	14.1	3.39	4.8	2.57	2.54	-1.2	1.31	-49.0
Noviembre	5.15	5.85	13.6	5.32	3.4	6.16	5.98	-2.9	3.47	-43.7
Diciembre	2.78	3.19	14.9	2.91	5.0	2.86	3.35	17.1	1.48	-48.3

Figura 46. Comparación de aportes de agua al caudal y sedimentos entre escenarios-Bolo



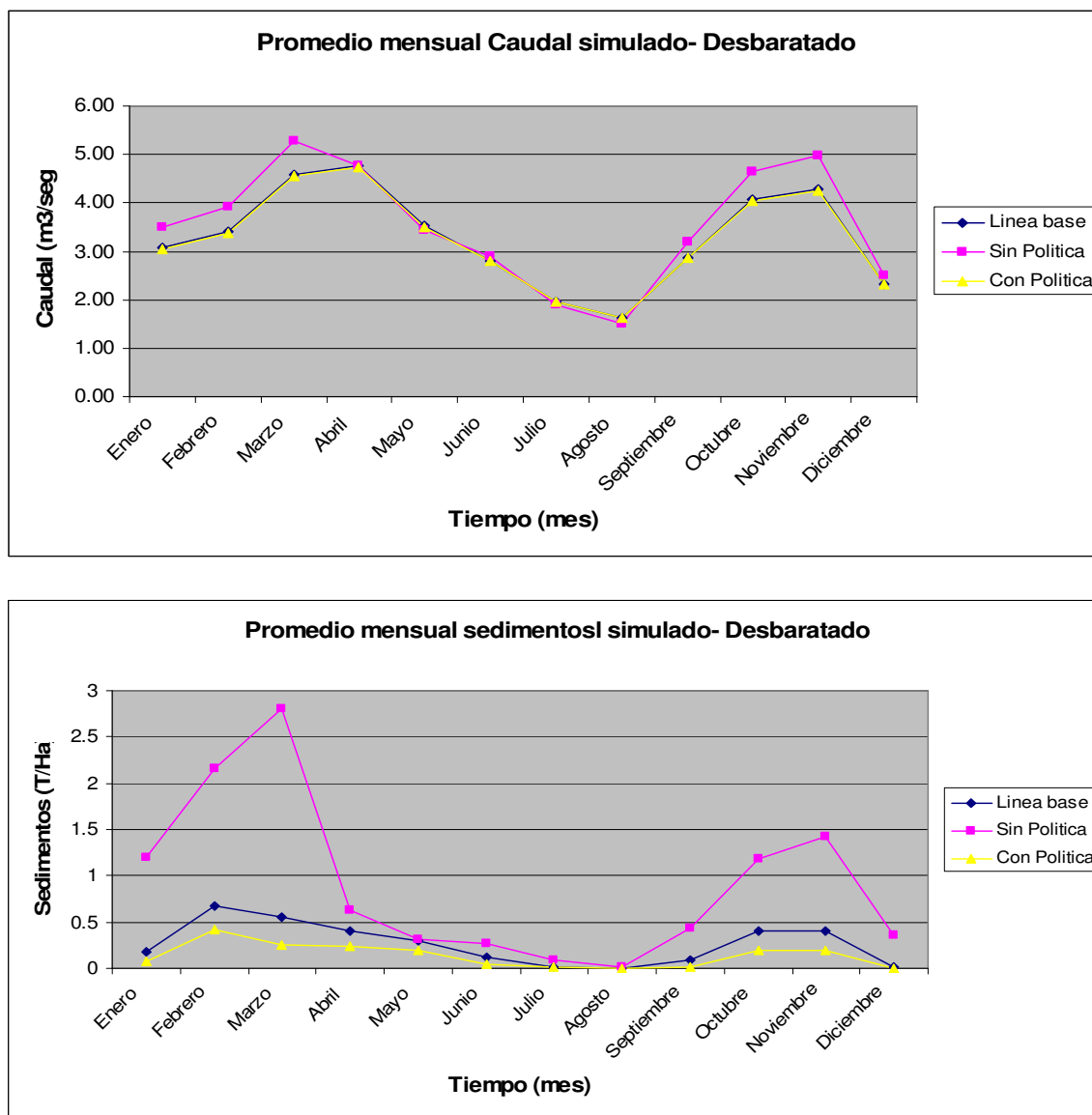
CUENCA BOLO										
Tiempo (Mes)	Caudal (m3/seg)					Sedimentos (t/ha)				
	Escenario Actual	Escenario 1 Sin política	Cambio (%)	Escenario 2 Con Política	Cambio (%)	Escenario Actual	Escenario 1 Sin política	Cambio (%)	Escenario 2 Con Política	Cambio (%)
Enero	4.82	5.00	3.6	4.78	-0.9	0	0.83		0	
Febrero	3.39	3.49	2.9	3.35	-1.1	0	0.32		0	
Marzo	5.06	5.25	3.9	5.01	-0.8	0	1.02		0	
Abril	3.43	3.53	3.0	3.39	-1.2	0.1	0.23	130.0	0.1	0
Mayo	3.33	3.41	2.6	3.28	-1.4	0	0.2		0	
Junio	2.34	2.40	2.4	2.30	-2.0	0	0.07		0	
Julio	2.04	2.08	1.8	1.99	-2.3	0	0		0	
Agosto	1.75	1.79	1.9	1.71	-2.5	0	0		0	
Septiembre	2.61	2.65	1.7	2.57	-1.5	0	0.08		0	
Octubre	4.23	4.31	2.0	4.19	-0.9	0	0.14		0	
Noviembre	5.81	6.01	3.4	5.77	-0.7	0	0.66		0	
Diciembre	3.94	4.07	3.1	3.90	-1.1	0	0.33		0	

Figura 47. Comparación de aportes de agua al caudal y sedimentos entre escenarios-Frayle



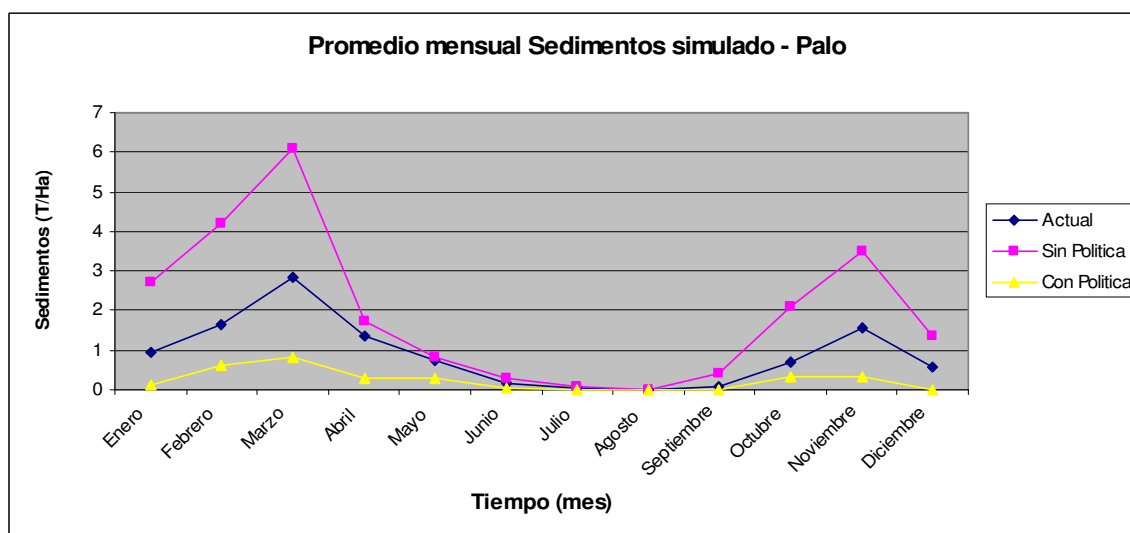
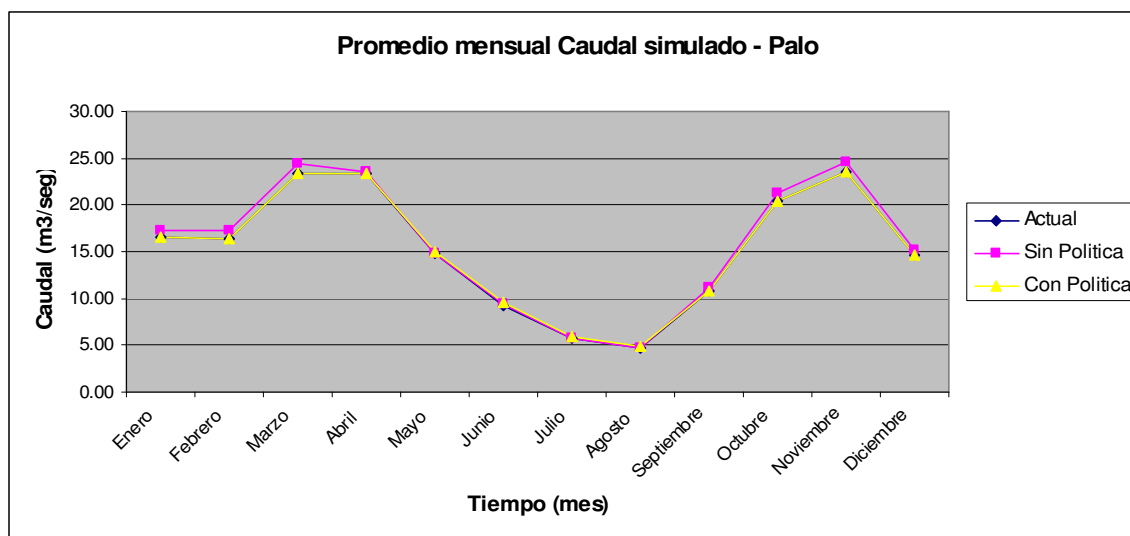
CUENCA FRAYLE										
Tiempo (Mes)	Caudal (m3/seg)					Sedimentos (t/ha)				
	Escenario Actual	Escenario 1 Sin politica	Cambio (%)	Escenario 2 Con Politica	Cambio (%)	Escenario Actual	Escenario 1 Sin politica	Cambio (%)	Escenario 2 Con Politica	Cambio (%)
Enero	5.38	5.93	10.2	5.37	-0.27	0.09	0.67	644.4	0.05	-44.4
Febrero	4.35	4.68	7.6	4.33	-0.33	0.06	0.43	616.7	0.04	-33.3
Marzo	5.85	6.29	7.5	5.84	-0.22	0.04	0.44	1000.0	0.02	-50.0
Abril	5.22	5.19	-0.5	5.20	-0.35	0.05	0.08	60.0	0.04	-20.0
Mayo	4.30	4.33	0.5	4.30	-0.04	0.02	0.05	150.0	0.01	-50.0
Junio	2.93	2.98	2.0	2.93	0.12	0	0.03		0	
Julio	2.91	2.93	0.6	2.92	0.19	0	0.01		0	
Agosto	2.57	2.54	-1.0	2.57	0.14	0	0		0	
Septiembre	3.58	3.74	4.5	3.58	-0.15	0	0.09		0	
Octubre	5.56	6.07	9.1	5.53	-0.46	0.05	0.31	520.0	0.03	-40.0
Noviembre	7.10	7.92	11.6	7.07	-0.38	0.1	0.74	640.0	0.05	-50.0
Diciembre	4.93	5.44	10.3	4.91	-0.33	0.06	0.42	600.0	0.03	-50.0

Figura 48. Comparación de aportes de agua al caudal y sedimentos entre escenarios-Desbaratado



CUENCA DESBARATADO										
Tiempo (Mes)	Caudal (m3/seg)					Sedimentos (t/ha)				
	Escenario Actual	Escenario 1 Sin politica	Cambio (%)	Escenario 2 Con Politica	Cambio (%)	Escenario Actual	Escenario 1 Sin politica	Cambio (%)	Escenario 2 Con Politica	Cambio (%)
Enero	3.07	3.51	14.2	3.06	-0.5	0.18	1.2	566.7	0.08	-55.6
Febrero	3.40	3.93	15.7	3.37	-0.9	0.67	2.16	222.4	0.42	-37.3
Marzo	4.58	5.27	14.9	4.55	-0.8	0.56	2.81	401.8	0.26	-53.6
Abril	4.76	4.76	-0.2	4.74	-0.6	0.41	0.63	53.7	0.24	-41.5
Mayo	3.52	3.45	-2.0	3.50	-0.4	0.3	0.32	6.7	0.2	-33.3
Junio	2.81	2.89	2.6	2.81	-0.3	0.12	0.27	125.0	0.05	-58.3
Julio	1.96	1.90	-2.8	1.96	-0.1	0.01	0.09	800.0	0.01	0.0
Agosto	1.63	1.50	-8.1	1.63	0.0	0	0.02		0	
Septiembre	2.87	3.20	11.5	2.86	-0.4	0.09	0.43	377.8	0.02	-77.8
Octubre	4.07	4.66	14.5	4.04	-0.6	0.41	1.18	187.8	0.19	-53.7
Noviembre	4.27	4.96	16.3	4.24	-0.7	0.41	1.43	248.8	0.2	-51.2
Diciembre	2.32	2.49	7.7	2.31	-0.1	0.01	0.36	3500.0	0	-100.0

Figura 49. Comparación de aportes de agua al caudal y sedimentos entre escenarios-Palo



CUENCA PALO										
Tiempo (Mes)	Caudal (m3/seg)					Sedimentos (t/ha)				
	Escenario Actual	Escenario 1 Sin política	Cambio (%)	Escenario 2 Con Política	Cambio (%)	Escenario Actual	Escenario 1 Sin política	Cambio (%)	Escenario 2 Con Política	Cambio (%)
Enero	16.58	17.26	4.1	16.59	0.1	0.95	2.73	187.4	0.14	-85.3
Febrero	16.40	17.19	4.9	16.41	0.1	1.66	4.19	152.4	0.62	-62.7
Marzo	23.33	24.38	4.5	23.43	0.4	2.86	6.08	112.6	0.83	-71.0
Abril	23.34	23.59	1.1	23.29	-0.2	1.34	1.73	29.1	0.27	-79.9
Mayo	14.82	14.90	0.6	14.98	1.1	0.74	0.83	12.2	0.28	-62.2
Junio	9.29	9.40	1.2	9.51	2.4	0.16	0.28	75.0	0.05	-68.8
Julio	5.83	5.83	0.1	6.01	3.2	0.03	0.09	200.0	0.01	-66.7
Agosto	4.69	4.63	-1.4	4.83	2.8	0	0.01		0	
Septiembre	10.81	11.09	2.6	10.87	0.5	0.08	0.43	437.5	0.02	-75.0
Octubre	20.48	21.35	4.3	20.34	-0.7	0.71	2.12	198.6	0.31	-56.3
Noviembre	23.46	24.55	4.6	23.52	0.3	1.56	3.51	125.0	0.34	-78.2
Diciembre	14.66	15.09	2.9	14.68	0.1	0.59	1.36	130.5	0.02	-96.6

En las figuras 41 a 49 y en la tabla respectiva a cada una, se puede observar que si las zonas agrícolas priorizadas (figuras 30 a 38) son reforestadas, la producción de sedimentos disminuiría en un alto porcentaje. Por el contrario, si en las zonas con bosque es reemplazado por agricultura, los sedimentos se aumentan en más de tres veces. En cuanto al agua que se aporta al caudal, la conversión de bosque a agricultura aumenta la producción de agua aunque muy levemente. Esto se debe a que las tasas de evapotranspiración de los bosques son mayores que la de los cultivos. Sin embargo, en estas zonas de altura, la evapotranspiración es menor, y por tal razón la diferencia en producción en agua, entre bosque y cultivos, no es tan pronunciada.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN CRÍTICA DE LOS RESULTADOS

- A pesar que no se contó con información a detallada de los suelos, ni con datos de sedimentos, el modelo predice, con una buena exactitud, los caudales. Este buen ajuste se debió fundamentalmente a:
 - Una incorporación de información climática en los lugares donde no existen estaciones meteorológicas. Las estaciones existentes en el IDEAM cubre las regiones más productivas pero se quedan cortas cuando es necesario estimar los aportes de caudales en áreas que están localizadas en sitios remotos. Para este fin se hicieron ajustes con el modelo MARKSIM, con resolución de 1 kilómetro, que estima la precipitación y los parámetros (temperatura máxima, temperatura mínima, radiación solar) para que el modelo SWAT estime la evapotranspiración. La incorporación de esta metodología cambia sustancialmente el resultado en las cuencas andinas del sur del país donde la mayoría de las estaciones se encuentran localizadas en los valles interandinos.
 - Los suelos volcánicos de altura tienen un mayor contenido de materia orgánica y difieren en la proporción de poros, la densidad aparente y la retención de agua en el suelo. Los suelos aportados por el IDEAM fueron ajustados en estos

parámetros teniendo en cuenta información previa obtenida por CIAT en subcuencas del Magdalena.

- Los caudales tienen ajustes razonables. En general los caudales simulados se ajustan muy bien a los caudales aforados. La principal discrepancia se presenta en los ajustes de los caudales máximos, donde los valores simulados son muy superiores a los caudales aforados. Esto se debe fundamentalmente, por que se realiza un solo registro de caudal por día y es posible que no se alcancen a registrar las crecidas que pueden presentarse durante las 24 horas del día; otra justificación es que los instrumentos de medición de caudal en muchas ocasiones tiene un nivel máximo y este es el mayor nivel que registra.
- La permanencia de la cobertura de bosque en las cuencas, evita que se produzcan más sedimentos que afectarían la calidad del agua. Si esta cobertura fuera reemplazada por cultivos, los sedimentos en la cuenca serian más de tres veces mayores a los que actualmente se producen. En cuanto a la cantidad total de agua en las cuencas, esta variaría levemente, siendo un poco menor bajo cobertura boscosa. Las diferencias no son grandes posiblemente porque las tasas de evapotranspiración del bosque en estas zonas de altura son bajas. Sin embargo, la perdida del bosque cambiaría los flujos de agua en la cuenca, aumentando el de escorrentía, disminuyendo la recarga de acuíferos y por lo tanto reduciendo los flujos de retorno en época de estiaje.

6. PASOS SIGUIENTES EN EL PROCESO DE INVESTIGACIÓN.

- ***Verificación del aporte de sedimentos.***

Los principales problemas encontrados están relacionados con la calibración de sedimentos. Esto se debe fundamentalmente a tres factores:

- La falta de información sobre la cobertura de pastos y su potencial de erosión. La mayor cobertura en las cuencas esta en pastos y a pesar que utilizan

similares cantidades de agua para la evapotranspiración la producción de sedimentos es muy diferentes. Por encima de 2000 m.s.n.m. se encuentra tradicionalmente el pasto Kykuyo que amarra muy bien el suelo y produce poca erosión aun en los picos más altos de escorrentía. En las partes más bajas los pastos mas comunes son mateados y en ellos se produce una gran erosión cuando se incrementa la carga animal. Con fines de mejorar la modelación hidrológica de las cuencas es necesario calibrar el modelo con datos de sedimentos medidos en estas coberturas. .

- La falta de información sobre los sistemas de producción. Muchas veces la selección de la pastura esta muy relacionada con el sistema de cultivo que se quiere implantar. Los pastos mateados entre 1000 y 2000 msnm como el Chopin se utilizan pues se pueden pasar rápidamente a cultivos con muy pocos costos y posteriormente se regeneran naturalmente sin necesidad de sembrarse. Esto hace que se generen grandes cantidades de erosión cuando se esta en la etapa de cultivo y esto debe considerarse en los análisis.
- Caracterizar mejor el tipo de suelo. La escala utilizada en los mapas de suelo no permite diferenciar en detalles las URH donde se producirían la mayor cantidad de sedimentos. Un mayor detalle podría diferenciar aquellas áreas donde otras prácticas de manejo como curvas a nivel, barreras vivas etc. podrían tener el mismo impacto que el establecimiento de bosques.

BIBLIOGRAFÍA.

IDEAM, CORMAGDALENA, ONF Andina, Fonds Francais pour Environnement Mundial (EFEM). 2006. Nueva medición de la calidad de agua en los ríos Magdalena y Cauca. Reporte Convenio 014-2006. Bogotá, Colombia.

Estrada, R.D. Uribe, N. & Quintero, M. 2007. Potencial de generar un sistema de compensación por servicios ambientales: estudio de caso cuenca río lasCeibas, Departamento del Huila. Convenio Interinstitucional de Investigación CIAT-CAM. Septiembre 2007. 80 p.

ANEXO 1. RELACION DE LAS COBERTURAS DEL USO DEL SUELO CON EL CODIGO ASIGNADO A LA BASE DE DATOS DE SWAT.

USOS DEL SUELO	SWAT
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	
1.1. Zonas urbanizadas	
1.1.1. Tejido urbano	URML
1.1.2. Centros poblados	URML
1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	UIDU
1.2.2. Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	UTRN
1.2.3. Zonas portuarias	URML
1.2.4. Aeropuertos	UINS
1.2.5. Obras hidráulicas	URLD
1.3. Zonas de extracción mineras y escombreras	
1.3.1. Zonas de extracción minera	AGRL
1.3.2. Escombreras y vertederos	AGRL
1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	
1.4.1. Zonas verdes urbanas	URBN
1.4.2. Instalaciones recreativas	RNGE
2. TERRITORIOS AGRICOLAS	
2.1 Cultivos anuales o transitorios	
2.1.1 Otros cultivos anuales o transitorios	TOBC
2.1.2 Algodón	COTP
2.1.3 Arroz	RICE
2.1.4 Papa	POTA
2.2 Cultivos permanentes	
2.2.1 Otros cultivos permanentes	CANT
2.2.2 Caña de azúcar	SUGC
2.2.3 Caña Panelera	SCRN
2.2.4 Plátano y banano	APPL
2.2.5 Café	APPL
2.2.6 Cacao	FRST
2.2.7 Palma de aceite	
2.2.8 Frutales	STRW
2.2.9 Cultivos confinados	CANT
2.3 Pastos	
2.3.1 Pastos limpios zona baja	SPAS
2.3.1.1 Pastos zona media	PAST
2.3.1.2 Pastos zona alta	BERM
2.3.2 Pastos arbolados	SPCL
2.3.3 Pastos enmalezados o en rastrojados	RNGB
2.4 Áreas agrícolas heterogéneas	
2.4.1 Mosaico de cultivos	AGRR
2.4.2 Mosaico de pastos y cultivos	RYEG
2.4.3 Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	SWRN
2.4.4 Mosaico de pastos con espacios naturales	FRSD

3. BOSQUES Y AREAS SEMI NATURALES	
3.1. Bosques	
3.1.1. Bosque natural denso	FRST
3.1.2. Bosque natural fragmentado	FRST
3.1.3. Bosque de galería y/o ripario	FRST
3.1.4. Bosque de mangle	WETF
3.1.5. Bosque Plantado	PINE
3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	
3.2.1. Pastos naturales y sabanas	BROS
3.2.2. Arbustos y matorrales	MESQ
3.2.3. Vegetación esclerófila y/o espinosa	FRSE
3.2.4. Vegetación de páramo y subpáramo	BROM
3.2.5. Vegetación rupícola	FRSE
3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	
3.3.1. Playas, arenales y dunas	WATR
3.3.2. Afloramientos rocosos	URML
3.3.3. Tierras desnudas o degradadas	AGRL
3.3.4. Zonas quemadas	AGRL
3.3.5. Zonas nivales o glaciares	WPAS
4. AREAS HUMEDAS	
4.1. Áreas húmedas continentales	
4.1.1. Zonas Pantanosas	WETL
4.1.2. Turberas	WETN
4.1.3. Esteros	WETN
4.1.4. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	WATR
4.2. Áreas húmedas costeras	
4.2.1. Marismas costeras	WETN
4.2.2. Salinas	WETN
4.2.3. Zonas intermareales	URML
5. SUPERFICIES DE AGUA	
5.1. Aguas continentales	
5.1.1. Ríos (50 m)	WATR
5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas Artificiales	WATR
5.1.3. Canales	WATR
5.1.4. Embalses y cuerpos de agua	WATR
5.2. Aguas marítimas	
5.2.1. Lagunas costeras	WATR
5.2.2. Estuarios	WATR
5.2.3. Mares y océanos	WATR
5.2.4. Arrecifes coralinos	WATR
5.2.5. Estanques piscícolas	WATR