

MODELAMIENTO HIDROLOGICO DE LA MICROCUENCA LA MAGNOLIA DEL
MUNICIPIO DE MALAGA, SANTANDER, PARA DETERMINAR RIESGO DE
DESBORDAMIENTO Y SOCAVACION.

LEIDY JOHANA ROJAS ROA
HECTOR ORLANDO CACERES RIOS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
INSTITUTO DE PROYECCION REGIONAL Y EDUCACION A DISTANCIA
PROGRAMA DE INGENIERIA FORESTAL
MALAGA
2014

MODELAMIENTO HIDROLOGICO DE LA MICROCUENCA LA MAGNOLIA DEL
MUNICIPIO DE MALAGA, SANTANDER, PARA DETERMINAR RIESGO DE
DESBORDAMIENTO Y SOCAVACION.

LEIDY JOHANA ROJAS ROA
HECTOR ORLANDO CACERES RIOS

Trabajo de Grado para optar el título de
Ingeniera(o) Forestal

Director
ROSA HELENA LOZANO CUEVAS
Ingeniera Forestal

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
INSTITUTO DE PROYECCION REGIONAL Y EDUCACION A DISTANCIA
PROGRAMA DE INGENIERIA FORESTAL
MALAGA
2014

DIDICATORIA

LEIDY JOHANA ROJAS ROA

Doy infinitas gracias a DIOS y a la Virgen por estar ahí Siempre ayudándome para poder realizar todas las metas que me propongo...

A mis padres quienes siempre me brindan todo su amor, confianza y apoyo incondicional, no solo para poder cumplir con el desarrollo del proyecto, sino todas las oportunidades que me brindaron durante toda mi vida, ya que sin ellos no hubiese podido tener la educación que me acompaña en este momento y avanzar hacia el camino del éxito con mi hermosa carrera...

A mis hermanos, sobrinos y sobrinas que siempre me demuestran todo su cariño y confianza...

A una persona muy especial para mí que estuvo acompañándome y mostrándome todo su apoyo, cariño y aprecio...

A mis amigos que constantemente me hacen saber todas las capacidades que tengo...

!!!GRACIAS!!!

AGRADECIMIENTOS

Los autores del proyecto dan infinitos agradecimientos a:

Ing. Forestal, LUIS BERNARDO TORRES PEÑA, doy inmensas gracias por todo el apoyo obtenido durante toda la carrera y por la confianza depositada al sugerir realizar este proyecto tan importante. (Q.E.P.D).

Ing. Civil, L.E.M.T, por su guía, disposición, amabilidad y apoyo incondicional en varias fases del proyecto para lograr cumplir con el objetivo planteado.

Ing. Forestal, ROSA HELENA LOZANO CUEVAS, por ser la directora del proyecto y su constante colaboración en el desarrollo del mismo.

A la Universidad Industrial de Santander sede Málaga por los préstamos de equipos, herramientas y laboratorios.

TABLA DE CONTENIDO

| | Pág. |
|--|------|
| INTRODUCCIÓN | |
| 1.OBJETIVOS | 24 |
| 1.1.OBJETIVO GENERAL | 24 |
| 1.1.1.Objetivos específicos | 24 |
| 2. MARCO REFERENCIAL | 25 |
| 2.1. MARCO TEORICO | 25 |
| 2.1.1. Generalidades del área de estudio | 25 |
| 2.1.2. Descripción general de la zona | 26 |
| 2.1.2.1. Fuentes hídricas presentes en el área | 27 |
| 2.1.3. Características morfométricas de una cuenca | 27 |
| 2.1.4. Curva hipsométrica. | 39 |
| 2.1.5. Métodos de análisis morfométricos de la red de drenaje de una cuenca | 41 |
| 2.1.5.1. Forma | 41 |
| 2.1.5.2. Morfometría Hidrográfica | 41 |
| 2.1.5.3. Calculo práctico de la ley de drenaje | 43 |
| 2.1.5.4. Frecuencias de talwegs de una cuenca | 43 |
| 2.1.5.5. Superficie umbral de escurrimiento | 43 |
| 2.1.6. Métodos descriptivos de sistemas hidrográficos | 44 |
| 2.1.6.1. Rio | 44 |
| 2.1.6.2. Curso del río | 44 |
| 2.1.6.3. Tipos genéticos de los ríos | 44 |
| 2.1.6.4. Grado de Inclinación de un río | 45 |
| 2.1.6.5. Clasificación de las cuencas según el destino final de las aguas | 45 |
| 2.1.7. Sistemas o patrones de drenaje | 46 |
| 2.1.7.1. Patrones de drenaje erosiónales | 46 |
| 2.1.7.2. Patrones de drenaje deposicionales | 46 |
| 2.1.8. Modelos digitales del terreno | 46 |
| 2.1.9. Procesamiento de los MDTs | 47 |
| 2.1.9.1. Representación vectorial mediante redes de triángulos irregulares (TIN) | 48 |
| 2.1.9.2. Valores Básicos que configuran el MDT | 49 |
| 2.1.10. Utilización Software (Modelos de simulación Hidrológica) | 49 |
| 2.1.11. Socavación general | 55 |

| | |
|---|-----|
| 2.1.12. Zonificación de amenaza y riesgo | 58 |
| 2.2. MARCO LEGAL | 60 |
| 2.2.1. Legislación sobre cuencas hidrográficas (Colombia) | 60 |
| 2.2.2. Legislación de aguas | 61 |
| 2.2.3. Legislación sobre flora silvestre y bosques | 67 |
| 2.3. MARCO CONCEPTUAL | 70 |
| | |
| 3. METODOLOGIA | 76 |
| 3.1. LUGAR DE ESTUDIO | 76 |
| 3.1.1. Delimitación espacial | 76 |
| 3.2. Tipo de metodología | 77 |
| 3.2.1. Integración de la muestra y obtención de la información | 77 |
| 3.2.1.1. Población | 77 |
| 3.2.1.2. Muestra | 77 |
| 3.3. DISEÑO METODOLÓGICO | 77 |
| 3.3.1. Instrumentos de recolección de información | 78 |
| 3.3.2. Diagnóstico de campo | 79 |
| 3.3.3. Análisis de suelo | 80 |
| 3.3.4. Análisis morfométrico | 89 |
| 3.3.5. Utilización de los diferentes softwares | 99 |
| 3.3.5.1. Aplicación de SMADA (Stormwater Management and Desing Aid) | 99 |
| 3.3.5.2. Aplicación del HMS 3.4 (Hidrologic Modeling System) | 100 |
| 3.3.5.3. Aplicación del HEC RAS (River Analysis System) | 103 |
| 3.3.6. Determinación de socavación | 105 |
| 3.3.7. Determinación de riesgos y planes de contingencia | 107 |
| 3.3.7.1. Determinación de riesgos | 107 |
| 3.3.7.2. Planes de contingencia | 108 |
| 3.3.8. Encuesta, entrevistas y socialización | 108 |
| | |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 110 |
| 4.1. APLICACIÓN Y TABULACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE CAMPO OBTENIDA | 110 |
| 4.2. ANÁLISIS DEL DIAGNOSTICO DE CAMPO | 110 |
| 4.2.1. Estado de la microcuenca | 111 |
| 4.2.1.1. Coberturas | 111 |
| 4.2.1.2. Uso actual del suelo | 113 |
| 4.2.1.3. Geomorfología | 115 |
| 4.2.1.4. Pendientes | 116 |
| 4.2.1.5. Uso potencial | 117 |
| 4.2.1.6. Conflicto de uso | 118 |
| 4.2.1.7. Flora y Fauna | 119 |
| 4.2.1.8. Agua e interacción hombre-medio ambiente | 122 |
| 4.2.1.9. Problemática ambiental de los residuos líquidos del municipio de Málaga | 122 |
| 4.2.1.10. Intervención individual del hombre | 124 |

| | |
|--|-----|
| 4.3. Determinación del análisis de suelo | 125 |
| 4.4. Determinación del análisis morfométrico | 134 |
| 4.4.1. Cálculos morfométricos generales de la microcuenca | 134 |
| 4.4.2. Características morfométricas | 136 |
| 4.4.3. Estimación parámetros de relieve | 137 |
| 4.4.3.1. Elevaciones o altitud de la cuenca | 137 |
| 4.4.4. Relieve de la cuenca | 143 |
| 4.4.5. Orientación de la cuenca | 144 |
| 4.4.6. Sistemas de drenajes | 144 |
| 4.4.7. Frecuencia de Talwegs de una cuenca | 146 |
| 4.4.8. Superficie umbral de escurrimiento | 146 |
| 4.4.9. Métodos descriptivos de sistemas hidrográficos | 147 |
| 4.5. Utilización diferentes softwares | 147 |
| 4.5.1. Calculo de la precipitación de diseño mediante el uso del SMADA | 147 |
| 4.5.1.1. Calculo del número de curva (NC) | 151 |
| 4.5.1.2. Tiempo de concentración | 153 |
| 4.5.2. Modelamiento hidrológico | 154 |
| 4.5.2.1. Determinación del caudal máximo e hidrogramas de entrada y salida mediante el HEC HMS | 154 |
| 4.5.2.2. Variación espacial por método de polígonos de Thiessen | 154 |
| 4.5.2.3. Curva Huff | 159 |
| 4.5.2.4. Caudal máximo e hidrogramas de avenida | 160 |
| 4.5.2.5. Hidrogramas de crecida obtenidos para la microcuenca | 165 |
| 4.5.3. Modelamiento hidráulico | 183 |
| 4.5.3.1. Perfiles de inundación de la microcuenca mediante la aplicación de HEC RAS | 183 |
| 4.6. Socavación general de la microcuenca | 196 |
| 4.6.1. Riesgo estadístico | 199 |
| 4.6.1.1. Probabilidad de riesgo | 199 |
| 4.7. Riesgos o factores antropicos detectados en la microcuenca | 199 |
| 4.8. Plan de contingencia para áreas potenciales de alto riesgo de desbordamiento para la quebrada la magnolia | 203 |
| 4.9. Porcentajes para encuestas en el sector urbano y rural | 209 |
| 4.10. Información de los resultados obtenidos (socializaciones) | 216 |
| | |
| 5. CONCLUSIONES | 219 |
| | |
| 6. RECOMENDACIONES | 222 |
| | |
| BIBLIOGRAFIA | 225 |
| | |
| ANEXOS | |

LISTA DE CUADROS

| | Pág. |
|---|------|
| Cuadro 1. Escalas apropiadas para el estudio de una cuenca según su área | 28 |
| Cuadro 2. Clasificación de cuencas según su área | 29 |
| Cuadro 3. Clases de forma | 31 |
| Cuadro 4. Clasificación descriptiva de pendientes | 38 |
| Cuadro 5. Clases de textura teniendo en cuenta parámetros | 82 |
| Cuadro 6. Clasificación de tipos de estructura | 83 |
| Cuadro 7. Clasificación de la permeabilidad según el tipo de estructura | 85 |
| Cuadro 8. Calificación muestra de suelo seco | 87 |
| Cuadro 9. Clasificación de la profundidad efectiva | 89 |
| Cuadro 10. Clasificación de la unidad hidrológica | 90 |
| Cuadro 11. Parámetros de clasificación de la forma de la microcuenca | 90 |
| Cuadro 12. Clasificación descriptiva de pendientes | 94 |
| Cuadro 13. Parámetros de clasificación del relieve de la Microcuenca | 94 |
| Cuadro 14. Parámetros de clasificación de los tributarios | 95 |
| Cuadro 15. Valores para calcular el coeficiente de rugosidad de Manning | 104 |
| Cuadro 16. Valores coeficiente de contracción | 106 |
| Cuadro 17. Valores de x para suelos no cohesivos | 107 |
| Cuadro 18. Valores de B en función de la probabilidad de que pueda presentarse el caudal de diseño | 107 |
| Cuadro 19. Tipos de Coberturas, área en Km ² para cada cobertura, % de área y hectáreas (Has | 111 |
| Cuadro 20. Clasificación uso actual del suelo y el área correspondiente a cada tipo. | 113 |
| Cuadro 21. Descripción de las geoformas existentes en la zona de estudio. | 115 |
| Cuadro 22. Clasificación de pendientes en porcentaje y área correspondiente a cada tipo de relieve. | 116 |
| Cuadro 23. Uso potencial para la microcuenca y áreas correspondientes. | 117 |
| Cuadro 24. Áreas y porcentajes de las zonas en conflicto de uso | 118 |
| Cuadro 25. Vegetación y fauna existente en el área de estudio | 122 |
| Cuadro 26. Determinación de las características del suelo (propiedades físicas) | 126 |
| Cuadro 27. Estructura para cada muestra de suelo | 127 |
| Cuadro 28. Densidad aparente para cada muestra de suelo. | 128 |
| Cuadro 29. Pesaje para cada submuestra | 129 |
| Cuadro 30. Porcentaje de volumen de poros para cada submuestra. | 130 |
| Cuadro 31. Registros de temperatura en la parte alta, media y baja. | 132 |
| Cuadro 32. Datos generales de la microcuenca la Magnolia | 134 |
| Cuadro 33. Porcentaje de área correspondiente a las subcuencas (sectores) respecto al área total | 135 |
| Cuadro 34. Cálculos forma de la cuenca | 136 |

| | |
|--|-----|
| Cuadro 35. Altitud media | 137 |
| Cuadro 36. Mediana de altitud | 138 |
| Cuadro 37. Longitud entre curvas de nivel. | 139 |
| Cuadro 38. Cálculos pendiente media | 139 |
| Cuadro 39. Pendiente media correspondiente al Sector 1 | 140 |
| Cuadro 40. Pendiente media correspondiente al Sector 2 | 141 |
| Cuadro 41. Pendiente media correspondiente al Sector 3 | 141 |
| Cuadro 42. Pendiente media correspondiente al Sector 4 | 142 |
| Cuadro 43. Pendiente media correspondiente al Sector 5 | 142 |
| Cuadro 44. Clasificación de los sistemas de drenajes según orden, Ley de Horton. | 142 |
| Cuadro 45. Promedio de longitudes para los Talwegs | 145 |
| Cuadro 46. Relación de longitud | 145 |
| Cuadro 47. Cálculo para determinar la frecuencia de los Talwegs | 146 |
| Cuadro 48. Precipitaciones (mm) máximas esperadas por estación de Málaga para una tormenta de diseño con periodos de retorno de 1000, 500, 333.3, 250, 200, 100, 50 y 25 años. | 148 |
| Cuadro 49. Precipitaciones (mm) máximas esperadas por estación de Molagavita para una tormenta de diseño con periodos de retorno de 1000, 500, 333.3, 250, 200, 100, 50 y 25 años. | 149 |
| Cuadro 50. Numero de curva para el sector 1. | 152 |
| Cuadro 51. Numero de curva para el sector 2. | 152 |
| Cuadro 52. Numero de curva para el sector 3. | 152 |
| Cuadro 53. Numero de curva para el sector 4 | 152 |
| Cuadro 54. Numero de curva para el sector 5. | 153 |
| Cuadro 55. Tiempos de concentración (min) para la microcuenca. | 153 |
| Cuadro 56. Variación espacial (Km ²) de la lluvia por el método de polígonos de Thiessen | 154 |
| Cuadro 57. Variación espacial (%) de la lluvia por el método de polígonos de Thiessen | 155 |
| Cuadro 58. Distribución temporal de la lluvia de 3 Hrs de cada una de las estaciones con periodos de retorno de 250 años. | 156 |
| Cuadro 59. Distribución temporal de la lluvia de 3 Hrs de cada una de las estaciones con periodo de retorno 500 años. | 157 |
| Cuadro 60. Distribución temporal de la lluvia de 4 Hrs de cada una de las estaciones con periodo de retorno 250 años | 157 |
| Cuadro 61. Distribución temporal de la lluvia de 4 Hrs de cada una de las estaciones con periodo de retorno 500 años | 158 |
| Cuadro 62. Resultados de caudales m ³ /s para periodo de retorno de 250 y 500 años con duración de 3 y 4 horas. | 182 |
| Cuadro 63. Cuadro 63. Riesgo estadístico para periodo de retorno de 250 y 500 años. | 199 |
| Cuadro 64. Clasificación de riesgos antropicos y modelo de transformación de las variables negativas encontradas en la microcuenca | 200 |

LISTA DE GRAFICOS

| | Pág. |
|--|------|
| Grafico 1.Representación relieve mediante redes de triángulos irregulares (TIN) | 49 |
| Grafico 2. Porcentaje (%) de Área respecto a los tipos de coberturas, según nomenclatura de la Leyenda Nacional de Tierras adaptada para COLOMBIA | 112 |
| Grafico 3. Porcentaje (%) de Áreas correspondientes respecto al uso actual del suelo. | 114 |
| Grafico 4.Tipos de geoformas con su respectiva área. | 116 |
| Grafico 5.Tipos de relieve respecto al área total en ha | 117 |
| Grafico 6.Porcentaje de área respecto a los usos potenciales | 118 |
| Grafico 7.Porcentaje de área para cada categoría del conflicto de uso. | 119 |
| Grafico 8.Datos porcentaje de área correspondiente a los sectores | 135 |
| Grafico 9.Curva hipsométrica | 138 |
| Grafico 10.Datos de lluvias máximas para la estación de Málaga Sder. | 148 |
| Grafico 11.Distribución de los valores máximos de precipitación (mm) por Gumbel tipo I para la estación de Málaga. | 149 |
| Grafica 12 Datos de lluvias máximas para la estación de Molagavita Sder. | 150 |
| Grafica 13.Distribución de los valores máximos de precipitación (mm) por Gumbel tipo I para la estación de Molagavita. | 150 |
| Grafica 14.Precipitación máxima (mm) esperada para una tormenta de diseño en los diferentes Tr (1000, 500, 333,3, 250, 200, 100 y 50 años).Gumbel tipol. | 151 |
| Grafico 15.Porcentaje del área de influencia por cada estación. | 155 |
| Grafico 16. Curva Huff para la estación de Málaga. | 159 |
| Grafico 17.Parámetros modelamiento hidrológico de la quebrada con HEC HMS | 160 |
| Grafico 18. Esquema de la distribución de los Talwegs con el HEC HMS. | 161 |
| Grafico 19.Distribución de la precipitación con respecto al tiempo para la estación de Málaga con un periodo de retorno de 250 años y una duración de 3 Hr. | 161 |
| Grafico 20.Distribución de la precipitación con respecto al tiempo para la estación de Molagavita con un periodo de retorno de 250 años y una duración de 3Hr. | 162 |
| Grafico 21. Distribución de la precipitación con respecto al tiempo para la estación de Málaga con un periodo de retorno de 250 años y una duración | |

| | |
|--|-----|
| de 4 Hr. | 162 |
| Grafico 22.Distribución de la precipitación con respecto al tiempo para la estación de Molagavita con un periodo de retorno de 250 años y una duración de 4 Hr. | 163 |
| Grafico 23.Distribución de la precipitación con respecto al tiempo para la estación de Málaga con un periodo de retorno de 500 años y una duración de 3 Hr. | 163 |
| Grafico 24.Distribución de la precipitación con respecto al tiempo para la estación de Molagavita con un periodo de retorno de 500 años y una duración de 3 Hr. | 164 |
| Grafico 25. Distribución de la precipitación con respecto al tiempo para la estación de Málaga con un periodo de retorno de 500 años y una duración de 4 Hr. | 164 |
| Grafico 26. Distribución de la precipitación con respecto al tiempo para la estación de Molagavita con un periodo de retorno de 500 años y una duración de 4 Hr. | 165 |
| Grafico 27. Hidrograma de entrada para el Sector 1 con tiempo de retorno de 250 años y una duración de 3 horas. | 166 |
| Grafico 28. Hidrograma de entrada para el Sector 2 con tiempo de retorno de 250 años y una duración de 3 horas. | 166 |
| Grafico 29. Hidrograma de salida para el Sector 1 y Sector 2 en la Junta 1 con tiempo de retorno de 250 años y una duración de 3 horas. | 167 |
| Grafico 30. Hidrograma de entrada para el Sector 3 con tiempo de retorno de 250 años y una duración de 3 horas | 167 |
| Grafico 31. Hidrograma de entrada para el Sector 4 con tiempo de retorno de 250 años y una duración de 3 horas. | 168 |
| Grafico 32. Hidrograma de salida para el Sector 3 y Sector 4 en la Junta 2 con tiempo de retorno de 250 años y una duración de 3 horas. | 168 |
| Grafico 33. Hidrograma de entrada para el Sector 5 con tiempo de retorno de 250 años y una duración de 3 horas. | 169 |
| Grafico 34. Hidrograma de salida en la Junta Rio Servita con tiempo de retorno de 250 años y una duración de 3 horas. | 169 |
| Grafico 35. Hidrograma de entrada para el Sector 1 con tiempo de retorno de 250 años y una duración de 4 horas. | 170 |
| Grafico 36. Hidrograma de entrada para el Sector 2 con tiempo de retorno de 250 años y una duración de 4 horas. | 170 |
| Grafico 37. Hidrograma de salida para el Sector 1 y Sector 2 en la Junta 1 con tiempo de retorno de 250 años y una duración de 4 horas. | 171 |
| Grafico 38. Hidrograma de entrada para el Sector 3 con tiempo de retorno de 250 años y una duración de 4 horas. | 171 |
| Grafico 39. Hidrograma de entrada para el Sector 4 con tiempo de retorno de 250 años y una duración de 4 horas. | 172 |
| Grafico 40. Hidrograma de salida para el Sector 3 y Sector 4 en la Junta 2 con tiempo de retorno de 250 años y una duración de 4 horas. | 172 |
| Grafico 41. Hidrograma de entrada para el Sector 5 con tiempo de retorno | 173 |

| | |
|--|-----|
| de 250 años y una duración de 4 horas | |
| Grafico 42. Hidrograma de salida en la Junta Rio Servita con tiempo de retorno de 250 años y una duración de 4 horas | 173 |
| Grafico 43. Hidrograma de entrada para el Sector 1 con tiempo de retorno de 500 años y una duración de 3 horas. | 174 |
| Grafico 44. Hidrograma de entrada para el Sector 2 con tiempo de retorno de 500 años y una duración de 3 horas. | 174 |
| Grafico 45. Hidrograma de salida para el Sector 1 y Sector 2 en la Junta 1 con tiempo de retorno de 500 años y una duración de 3 horas. | 175 |
| Grafico 46. Hidrograma de entrada para el Sector 3 con tiempo de retorno de 500 años y una duración de 3 horas. | 175 |
| Grafico 47. Hidrograma de entrada para el Sector 4 con tiempo de retorno de 500 años y una duración de 3 horas. | 176 |
| Grafico 48. Hidrograma de salida para el Sector 3 y Sector 4 en la Junta 2 con tiempo de retorno de 500 años y una duración de 3 horas. | 176 |
| Grafico 49. Hidrograma de entrada para el Sector 5 con tiempo de retorno de 500 años y una duración de 3 horas. | 177 |
| Grafico 50. Hidrograma de salida en la Junta Rio Servita con tiempo de retorno de 500 años y una duración de 3 horas | 177 |
| Grafico 51. Hidrograma de entrada para el Sector 1 con tiempo de retorno de 500 años y una duración de 4 horas | 178 |
| Grafico 52. Hidrograma de entrada para el Sector 2 con tiempo de retorno de 500 años y una duración de 4 horas. | 178 |
| Grafico 53. Hidrograma de salida para el Sector 1 y Sector 2 en la Junta 1 con tiempo de retorno de 500 años y una duración de 3 horas. | 179 |
| Grafico 54. Hidrograma de entrada para el Sector 3 con tiempo de retorno de 500 años y una duración de 4 horas. | 179 |
| Grafico 55. Hidrograma de entrada para el Sector 4 con tiempo de retorno de 500 años y una duración de 4 horas. | 180 |
| Grafico 56. Hidrograma de salida para el Sector 3 y Sector 4 en la Junta 2 tiempo de retorno de 500 años y una duración de 4 horas. | 180 |
| Grafico 57. Hidrograma de entrada para el Sector 5 con tiempo de retorno de 500 años y una duración de 4 horas. | 181 |
| Grafico 58. Hidrograma de salida en la Junta Rio Servita con tiempo de retorno de 500 años y una duración de 4 horas | 181 |
| Grafico 59. Perfiles de desbordamiento para periodo de retorno de 250 y 500 años a partir de una lluvia de 3 y 4 horas de duración, ubicación X1148235.2592 Y1232813.2468 | 183 |
| Grafico 60. Perfiles de desbordamiento para periodo de retorno de 250 y 500 años a partir de una lluvia de 3 y 4 horas de duración, ubicación X1148275.4941. Y1232791.3839 | 184 |
| Grafico 61. Perfiles de desbordamiento para periodo de retorno de 250 y 500 años a partir de una lluvia de 3 y 4 horas de duración, ubicación X1148283.0385 Y1232789.4908. | 184 |
| Grafico 62. Perfiles de desbordamiento para periodo de retorno de 250 y | |

| | |
|--|-----|
| 500 años a partir de una lluvia de 3 y 4 horas de duración, ubicación X1148316.7997 Y1232823.3705 | 185 |
| Grafico 63. Perfiles de desbordamiento para periodo de retorno de 250 y 500 años a partir de una lluvia de 3 y 4 horas de duración, ubicación X1148330.6358 Y1232822.8462 | 186 |
| Grafico 64. Perfiles de desbordamiento para periodo de retorno de 250 y 500 años a partir de una lluvia de 3 y 4 horas de duración, ubicación X1148882.2573 Y1232286.016 | 186 |
| Grafico 65. Perfiles de desbordamiento para periodo de retorno de 250 y 500 años a partir de una lluvia de 3 y 4 horas de duración, ubicación X1148897.9474 Y1232186.0136 | 187 |
| Grafico 66. Perfiles de desbordamiento para periodo de retorno de 250 y 500 años a partir de una lluvia de 3 y 4 horas de duración, ubicación X1148915.6218 Y1232118.1063 | 188 |
| Grafico 67. Perfiles de desbordamiento para periodo de retorno de 250 y 500 años a partir de una lluvia de 3 y 4 horas de duración, ubicación X1148932.0165 Y1232096.0319 | 188 |
| Grafico 68. Perfiles de desbordamiento para periodo de retorno de 250 y 500 años a partir de una lluvia de 3 y 4 horas de duración, ubicación X1148959.5305 Y1232061.9927 | 189 |
| Grafico 69. Perfiles de desbordamiento para periodo de retorno de 250 y 500 años a partir de una lluvia de 3 y 4 horas de duración, ubicación X1148966.3533 Y1232044.62011 | 190 |
| Grafico 70. Perfiles de desbordamiento para periodo de retorno de 250 y 500 años a partir de una lluvia de 3 y 4 horas de duración, ubicación X1148983.3248 Y1232012.63281 | 190 |
| Grafico 71. Perfiles de desbordamiento para periodo de retorno de 250 y 500 años a partir de una lluvia de 3 y 4 horas de duración, ubicación X1148969.5573 Y1231970.75411 | 191 |
| Grafico 72. Perfiles de la microcuenca en el cual no se presenta inundación. | 193 |
| Grafico 73. Análisis del perfil para el nuevo diseño de canal para periodo de retorno de 250 y 500 años a partir de una lluvia de 3 y 4 horas de duración, ubicación X1148966.3533 Y1232044.62011 B. Asovipar | 194 |
| Grafico 74. Análisis del perfil para el nuevo diseño de canal para periodo de retorno de 250 y 500 años a partir de una lluvia de 3 y 4 horas de duración, ubicación X1148283.0385 Y1232789.4908 Llanura zona Normal | 194 |
| Grafico 75. Resultado porcentual de la Tenencia de la tierra. | 209 |
| Grafico 76. Resultado porcentual de integrantes de la familia. | 209 |
| Grafico 77. Resultado porcentual de vivienda. | 210 |
| Grafico 78. Resultado porcentual de servicios. | 210 |
| Grafico 79. Resultado porcentual de la Tenencia de la tierra (Rural). | 211 |
| Grafico 80. Resultado porcentual de integrantes de la familia (Rural). | 211 |
| Grafico 81. Resultado porcentual de vivienda (Rural). | 212 |
| Grafico 82. Resultado porcentual de servicios (Rural). | 212 |
| Grafico 83. Resultado porcentual del acceso (Rural). | 213 |

| | |
|--|-----|
| Grafico 84. Resultado porcentual de los cultivos principales (Rural). | 213 |
| Grafico 85. Resultado porcentual de la producción pecuaria (Rural). | 214 |
| Grafico 86. Resultado porcentual de las talas (Rural). | 214 |
| Grafico 87. Resultado porcentual de los aprovechamientos forestales (Rural). | 215 |
| Grafico 88. Resultado porcentual de la mano de obra (Rural). | 215 |

LISTA DE FOTOS

| | Pág. |
|--|------|
| Foto 1. Mosaico diagnostico de campo de la microcuenca | 110 |
| Foto 2. Mosaico tipos de coberturas encontradas en el área de estudio. | 113 |
| Foto 3. Uso actual del suelo. | 115 |
| Foto 4. Mosaico intervención del hombre en el área de la microcuenca. | 125 |
| Foto 5. Mosaico obtención muestras y determinación del análisis de suelos. | 126 |
| Foto 6. Clasificación de los tipos de estructura para cada muestra de suelo | 127 |
| Foto 7. Mosaico determinación de la densidad en laboratorio. | 129 |
| Foto 8. Registro de pesos de las submuestras. | 131 |
| Foto 9. Tonalidades de las muestras de suelos y su respectiva identificación. | 132 |
| Foto 10. Determinación de la temperatura con termómetro. | 133 |
| Foto 11. Perfiles de suelo característicos. | 134 |
| Foto 12. Mosaico levantamiento batimétrico de la microcuenca. | 195 |
| Foto 13. Socavación lateral característica de la zona. | 198 |
| Foto 14. Obtención de encuestas con la comunidad del área de estudio. | 216 |
| Foto 15. Mosaico socialización del proyecto con comunidad afectada por los eventos repentinos y autoridades municipales. | 217 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|------|
| Figura 1.Delimitacion del área de una cuenca | 30 |
| Figura 2.Índice de homogeneidad | 36 |
| Figura 3.Curva hipsométrica característica | 39 |
| Figura 4. Relieve de la cuenca | 40 |
| Figura 5.clasificación de los tributarios de una cuenca | 42 |

LISTA DE ANEXOS

- Anexo A. Mapa Base. Delimitación general de la microcuenca y drenajes.
- Anexo B. Mapa subdivisión de drenajes
- Anexo C. Coordenadas del levantamiento planimétrico de la microcuenca.
- Anexo D. Mapa de coberturas
- Anexo E. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra, adaptada para Colombia.
- Anexo F. Mapa uso actual del suelo
- Anexo G. Mapa geomorfología
- Anexo H. Mapa de pendientes
- Anexo I. Mapa uso potencial
- Anexo J. Mapa de suelos.
- Anexo K. Mapa conflicto de uso.
- Anexo L. Coordenadas y alturas para las muestras de suelos
- Anexo M. Granulometría por tamices y gráficas semilogarítmicas.
- Anexo N. Análisis morfométrico con el Software Arcgis.
- Anexo O. MDE (Modelo Digital de Elevación - TIN) mediante Software Arcgis.
- Anexo P. Dirección y acumulación de flujo de la red de Drenajes. (TIN to Raster).
- Anexo Q. Valores máximos de precipitación (mm) en 24 hrs
- Anexo R. Clasificación los diferentes tipos de suelo según su comportamiento hidrológico, mediante el método de la SCS.
- Anexo S. Números de curva para las diferentes condiciones suelo-vegetación (Condición II de humedad precedente)
- Anexo T. Mapa variación espacial por método de polígonos de Thiessen
- Anexo U. Mapa puntos críticos de desbordamiento
- Anexo V. Modelo encuesta socioeconómica

RESUMEN

TÍTULO: MODELAMIENTO HIDROLOGICO DE LA MICROCUENCA LA MAGNOLIA DEL MUNICIPIO DE MALAGA, SANTANDER, PARA DETERMINAR RIESGO DE DESBORDAMIENTO Y SOCAVACION.*

AUTORES: LEIDY JOHANA ROJAS ROA**

HECTOR ORLANDO CACERES RIOS

PALABRAS CLAVES: DESBORDAMIENTO, INUNDACIÓN, ANÁLISIS MORFOMETRICO, HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA, SUELOS, SOFTWARE, SIMULACIÓN DE LLUVIA, PRECIPITACIÓN, TIEMPO DE RETORNO.

DESCRIPCION

Este trabajo se realizó por la necesidad de obtener un estudio técnico que permita conocer la Morfometría de la microcuenca y el comportamiento hidrológico. Para esto se usaron sistemas de información y datos obtenidos de precipitaciones máximas que han sido registradas a través del tiempo en las estaciones meteorológicas que tienen influencia sobre esta quebrada. Esta información fue de vital importancia para realizar la simulación de las precipitaciones con diferentes periodos de retorno con ayuda de los software SMADA, HEC HMS y el HEC RAS. Ellos brindaron datos variados y precisos de gasto hidráulico, escorrentía e hidrogramas de entrada y salida que están ligados de acuerdo a los tipos de coberturas, suelos, usos, pendientes, drenajes entre otros factores de influencia.

Este documento contempla las siguientes fases (1. Instrumentos de recolección de información, 2. Diagnostico de campo, 3. Análsis de suelos, 4. Análisis morfométrico, 5. Utilización de los diferentes Softwares, 6. Determinación de la socavación general, 7. Determinación de riesgos y planes de contingencia, 8. Encuestas, entrevistas y socializaciones).

Se sintetiza aquí un proceso detallado de las labores realizadas en cada una de las fases anteriormente descritas y los resultados obtenidos con un completo análisis. Por esta razón tomar, se deben tomar las medidas correspondientes que permitan mitigar y dar solución a los posibles eventos (desbordamientos). Al mismo tiempo se definen los puntos críticos y se ejecutan recomendaciones acerca de cómo enfrentar estos eventos repentinos.

*Trabajo de grado

**Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia. Programa de Ingeniería Forestal.
Director: Rosa Helena Lozano Cuevas, Ing. Forestal.

ABSTRACT

TITLE: HYDROLOGICAL MODELING OF THE “LA MAGNOLIA” MICROBASIN IN MALAGA, SANTANDER, TO DETERMINE DE RISK OF OVERFLOWING AND UNDERMINING.*

AUTHORS: LEIDY JOHANA ROJAS ROA**

HECTOR ORLANDO CACERES RIOS

KEY WORDS: OVERFLOWING, FLOODING, MORPHOMETRIC ANALYSIS, HYDROLOGY, HYDRAULICS, SOILS, SOFTWARE, RAIN SIMULATION, PRECIPITATION, RETURN TIME.

DESCRIPTION

This work was carried out because of the need to obtain a technical study. It lets to know the microbasin morphometry and the hydrological behavior. For this reason, information systems and obtained data of maximum precipitations registers through time in the metherecological stations were used because they have influence over this brook. This information was very important to carry out the precipitation simulation with different periods of return based on SMADA, HEC HMS and HEC RAS softwares. They gave varied and precise data of input and output which are related according to the cover types, soils, uses, slopes, drainages among other influence factors.

This document takes into account the following stages: 1. Instruments of data collection, 2. Camp Diagnostic, 3. Soil Analysis, 4. Morphometric Analysis, 5. Use of different softwares, 6. Determination of risks and contingency plans, 8. Surveys, interviews and socializations.

It is synthesized a detailed process of the works carried out in each one of the stages above mentioned and the obtain results with a complete analysis. For this reason, some actions must be taken in order to mitigate and give solution to the possible events (overflowings). At the same time, the critical points were defined and some recommendations about how to face the sudden events were described.

*Bachelor Thesis

** Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia. Programa de Ingeniería Forestal. Director: Rosa Helena Lozano Cuevas, Ing. Forestal.

INTRODUCCION

Las crecidas o inundaciones repentinas pueden ocurrir en casi cualquier parte del mundo. Una inundación repentina inducida por un episodio de lluvia es un verdadero evento hidrometeorológico que depende tanto de las condiciones hidrológicas como de las condiciones meteorológicas, con frecuencia producen una pared peligrosa de aguas turbulentas que llevan rocas, barro y desechos. La habilidad de pronosticar las inundaciones repentinas requiere conocimientos detallados de las características hidrológicas locales y un seguimiento continuo de la situación meteorológica del momento.

El conocimiento de la hidrología de la microcuenca la Magnolia facilita la toma de decisiones en la prevención de desastres; el presente estudio modela la microcuenca hidrológicamente e hidráulicamente desde su afloramiento en la vereda San Luis y Buenavista hasta su desembocadura en el río Servita, para establecer los puntos susceptibles a riesgo de desbordamiento tratando características físicas, culturales y socioeconómicas haciendo énfasis en aquellas que están directamente ligadas con el comportamiento hidrológico de la quebrada y que en un momento dado puede presentar grandes perjuicios como consecuencia directa de la influencia de estos factores.

Este estudio hidrológico contempló la utilización de diferentes software's para el cálculo de parámetros morfométricos, tiempos de concentración, duración e intensidad de la lluvia y cálculo de caudales con el sistema de modelaje hidrológico desarrollado por el centro de ingeniería hidrológica de los Estados Unidos (HEC-HMS). HEC-HMS está diseñado para simular el proceso de precipitación-escurrimiento en diferentes partes de la microcuenca con diferentes periodos de retorno; en esta misma familia de Software, modela hidráulicamente la red de drenajes natural con el HEC RAS, combinando flujos y condiciones de fronteras en las juntas o uniones o Reach, generando los perfiles (niveles que toma el agua) para las condiciones físicas del cauce; situación ideal para el análisis de riesgos y planes de contingencia.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Modelar hidrológicamente la microcuenca quebrada La Magnolia del municipio de Málaga para cuantificar el riesgo por desbordamiento y socavación utilizando el software computacional SMADA, HEC-HMS, y HEC-RAS.

1.1.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS

Realizar el análisis morfométrico para la microcuenca.

Recoger información para determinar las precipitaciones máximas y mínimas mediante los registros del IDEAM.

Realizar la mapificación de las zonas de amenaza y riesgo de desbordamiento que se presenta en la microcuenca.

Establecer un análisis paralelo entre el método utilizado por los software (HEC – HMS Y SMADA) y el hidrograma unitario e investigar las condiciones de flujo de avenida mediante el programa HEC –RAS.

Realizar un diagnóstico socio-económico del área de estudio, mediante la aplicación de encuestas, entrevistas y socializaciones a la comunidad aledaña a este sector y autoridades municipales.

Elaborar un diagnóstico biofísico de clasificación y tipos de suelos existentes en la zona y determinar el uso actual del mismo.

Proponer un plan de contingencia, en el desarrollo de la evaluación de riesgo en los puntos críticos encontrados en el área de estudio.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO

La microcuenca la Magnolia nace en la parte alta de las veredas san Luis y Buenavista, con afloramientos importantes como son: el reventón, gritadero y capellanía; presentan problemas de cobertura vegetal, producto de la deforestación en épocas pasadas, que dieron origen al establecimiento de praderas de kikuyo, falsapoa, carretones, gramas nativas, sin tener en cuenta planes de manejo de microcuencas.

La microcuenca cuenta con unos 25 nacimientos de agua, son usados para el consumo humano, bebederos para ganadería y una mínima parte para regadío.

El caudal es muy variable siendo influenciado directamente por épocas de lluvia con un rango de un litro por segundo en febrero a 100 Lt/seg en épocas de lluvia en octubre, caudal medio aproximado de 20 Lt/ seg.

Esta quebrada se caracteriza por tener una pendiente superior al 30%, lo que origina en épocas de lluvias el arrastre de grandes cantidades de suelo y subsuelo en las orillas agravando el problema de la erosión.¹

Esta microcuenca se forma de la unión de las Quebrada La Magnolia y La Seca,

¹ MARTINEZ, Y. 2005. Modelamiento de las Microcuencas la Magnolia, Laureano Gómez, y la Malagueña para captación de agua en los embalses 1 y 2 del Municipio de Málaga.

ambas quebradas nacen al occidente del municipio, a 3000 m.s.n.m en las veredas Buenavista y San Luis respectivamente; La Magnolia corre en dirección sureste y La Seca en dirección Oeste – Este, uniéndose en territorio del casco urbano sobre los 2170 m.s.n.m., la quebrada continua con dirección al oriente hasta el río Servitá, donde desemboca a 1550 m.s.n.m. La quebrada La Magnolia atraviesa el sector sur del casco urbano, donde recibe el nombre de quebrada Chorrerón o Malagueña, uniéndose a la quebrada Seca en la margen izquierda de la vía a Capitanejo (carrera 6B). La microcuenca tiene una extensión de 1.345,67 Hectáreas que ocupan un 23,66% del territorio municipal, abarcando tierras de las veredas Buenavista, San Luis, Guásimo (sector Guásimo bajo y pequeño sector de Guásimo), Pescaderito (pequeñas áreas de los sectores Pescaderito y Pantano Hondo) y el casco urbano; la microcuenca abastece los acueductos veredales de Agua Fria, Morario y Las Flores; tiene un patrón de drenaje lineal subparalelo.²

2.1.2. Descripción general de la zona

El municipio de Málaga, corresponde a la gran cuenca del río Chicamocha, la cual se ubica en la cordillera oriental, ocupando áreas del departamento de Santander y Boyacá, con una superficie aproximada de 9606 Km² y alberga la cabecera de 72 municipios, 53 de ellos en el departamento de Boyacá y 19 en el departamento de Santander.

El cauce principal del río Chicamocha tiene una longitud aproximada de 270 km y su red hidrográfica sobrepasa los 1000 km de longitud, cuenta entre sus afluentes con los ríos Tuta, Pesca, Mongui, Guamo, Nevado, Onzaga, Negro y Servita. A la

² EOT, Municipio de malaga.2003

subcuenca del río servita pertenece el territorio de Malaga, junto con otros municipios de la provincia de García Rovira.

2.1.2.1.Fuentes hídricas presentes en el área: Pertenece a la subcuenca del río servita, que es el principal río que recorre el municipio de Málaga y la provincia de García Rovira, presenta varios afluentes de bastante importancia en el sistema hídrico, como son las quebradas del Termino, Agua Blanca, Pescadero, Tajamar, Chorreron, la Magnolia y Laureano Gómez.³

2.1.3. CARACTERÍSTICAS MORFÓMETRICAS DE UNA CUENCA

Se denomina cuenca hidrográfica o cuenca de drenaje de un río o corriente de agua en consideración, el área topográfica limitada por un contorno, al interior del cual las aguas lluvias que caen drenan hacia el mismo punto, ya sea de salida o de interés particular.

En muchos casos, para la aplicación de los diferentes modelos hidrológicos es necesario dividir la cuenca de estudio en una serie de unidades de menor área y de comportamiento homogéneo según los criterios de la orografía, los usos mayoritarios del suelo, la intensidad de las precipitaciones, etc., a estas subdivisiones se les denomina unidades hidrológicas. Estas unidades hidrológicas pueden ser subcuencas, o bien tramos intermedios entre estas vertientes directas al propio cauce a un embalse o al mar.

³ MARTINEZ, Y. 2005. Modelamiento de las Microcuencas la Magnolia, Laureano Gómez, y la Malagueña para captación de agua en los embalses 1 y 2 del Municipio de Málaga.

El movimiento del agua dentro de la cuenca es una función compleja que está condicionada a las características fisiográficas de la cuenca. El área, el tipo y uso del suelo, la posición y orientación, la forma, pendiente, la elevación y la red de drenaje son las principales características fisiográficas de una cuenca. Para la determinación de estas características es necesario el uso de un plano topográfico en una escala adecuada, dependiendo del área de estudio. Según Jiménez (1986) se pueden emplear las siguientes escalas. ⁴

Cuadro 1. Escalas apropiadas para el estudio de una cuenca según su área.

| AREA (Km ²) | ESCALA |
|-------------------------|----------|
| 1 | 1:5000 |
| 100 | 1:10000 |
| 1000 | 1:25000 |
| 5000 | 1:50000 |
| 10000 | 1:100000 |
| 25000 | 1:200000 |

Nombre de la fuente: MARTINEZ, 2005

ÁREA DE LA CUENCA

El área de la cuenca es el área plana (proyección horizontal limitada por la línea imaginaria llamada divisoria de aguas), esta línea separa la precipitación de la cuenca de estudio de las cuencas vecinas. La línea divisoria de aguas no debe cortar ninguna corriente de agua, salvo en el punto de salida y uno de los puntos de máxima altura entre cuencas, lo que no impide que en el interior de una cuenca existan picos aislados con una cota superior a cualquier cota de la divisoria. El área es una de las características más importantes de las cuencas, debido a que esta área determina la cantidad de agua recogida por la cuenca.

⁴ GAVILAN, G. Curso Hidrológica ambiental. Especialización ingeniería ambiental, Uis.

El área de la cuenca está conformada por las vertientes que son las áreas receptoras que se extienden a lado y lado del río principal. Para uniformizar la terminología dada a las diferentes sub áreas que conforman una cuenca hidrológica, las áreas según su extensión se clasifican como se muestra en el cuadro.

Cuadro 2. Clasificación de cuencas según su área ⁵

| | |
|--------------------|------------------------------|
| unidad hidrológica | menos a 5.0 km ² |
| Sector hidrológico | 5.0 a 20.0 Km ² |
| microcuenca | 20.0 a 100.0 Km ² |
| Subcuencas | 100.0 a 300 Km ² |
| Cuenca | Mayor 300 Km ² |

Nombre de la fuente: MARTINEZ, 2005

El área de una cuenca tiene gran influencia en el régimen hidrológico, más específicamente en la magnitud del caudal que va a drenar, pues dependiendo del tamaño, los caudales resultantes serán mayores o menores. Normalmente a medida que crece el área de la cuenca, así mismo lo harán los caudales promedios mínimos y los máximos instantáneos.

Los gradientes de crecimiento del caudal promedio con el área de la cuenca no son constantes ni homogéneos en una región; si no que varían dependiendo de las características hidrometeorológico y fisiográfico de la región.⁶

El área de la cuenca influye también en la atenuación de crecientes; es así como en cuencas de poca extensión la avenida se presenta en un corto lapso de tiempo

⁵ GAVILAN. Op. Cit., p. 14.

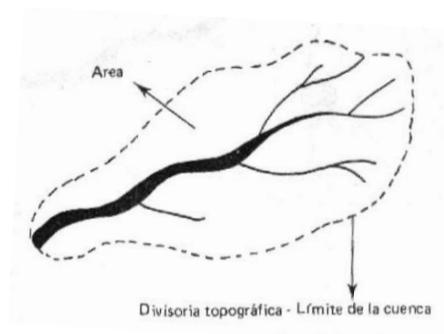
⁶ Ibid., p. 14

que puede ser de algunos minutos u horas, mientras que para grandes zonas la creciente se presentara al cabo de algunos días o semanas debido al que el área precipitada debe recorrer una mayor distancia para llegar al punto de drenaje. La presencia de zonas inundables y bajas también atenúa las crecientes que se pueden presentar aguas debajo de estas zonas, por que sirven como colectores retardadores del tránsito de agua.⁷ En una cuenca se distinguen los siguientes elementos:

DIVISORIA DE AGUAS

La divisoria de aguas o *divortium aquarum* es una línea imaginaria que delimita la cuenca hidrográfica. Una divisoria de aguas marca el límite entre una cuenca hidrográfica y las cuencas vecinas. El agua precipitada a cada lado de la divisoria desemboca generalmente en ríos distintos. También llamado *Divortium aquarum*. Otro término utilizado para esta línea se denomina parte aguas. El *divortium aquarum* o línea divisoria de vertientes, es la línea que separa a dos o más cuencas vecinas. Es la divisoria de aguas, utilizada como límite entre dos espacios geográficos o cuencas hidrográficas.

Figura 1. Delimitación del área de una cuenca



Nombre de la fuente: HENAO, 2003.

⁷ GAVILAN. Op. Cit., p. 16

Funciones de una Cuenca

Los procesos de los ecosistemas que describen el intercambio de materia y flujo de energía a través de la vinculación de los elementos estructurales del ecosistema pueden ser vistos como un sistema: Dentro de la cuenca, se tienen los componentes hidrológicos, ecológicos, ambientales y socioeconómicos.

1. Captación de agua de las diferentes fuentes de precipitación para formar el escurrimiento de manantiales, ríos y arroyos.
2. Almacenamiento del agua en sus diferentes formas y tiempos de duración.
3. Descarga del agua como escurrimiento.

Función Ecológica.

1. Provee diversidad de sitios y rutas a lo largo de la cual se lleva a cabo interacciones entre las características de calidad física y química del agua.
2. Provee de hábitat para la flora y fauna que constituye los elementos biológicos del ecosistema y tienen interacciones entre las características físicas y biológicas del agua.

Función Ambiental.

1. Constituyen sumideros de CO²
2. Alberga bancos de germoplasma
3. Regula la carga hídrica y los ciclos biogeoquímicos.
4. Conserva la biodiversidad
5. Mantiene la integridad y la diversidad de los suelos.⁸

⁸ Cuencas Hidrográficas. [Citado 08 de abril de 2011; 22:00]. disponible en internet: <http://educasitios.educ.ar/grupo068/?q=node/98>

PERIMETRO

Es la medición de la línea envolvente del área.

LONGITUD DE LA CUENCA

Se define usualmente, como la distancia medida a lo largo del canal principal de drenaje desde la salida de la cuenca hasta la divisoria de aguas en el extremo superior de la cuenca. El canal principal debe seguir la línea de mayores caudales. La longitud se toma a lo largo de los canales y no en línea recta. La longitud de la cuenca va a determinar un parámetro tiempo, que es la medida del tiempo de transporte del agua desde la divisoria de aguas hasta la salida de la cuenca.

SUELO Y VEGETACIÓN

La respuesta de una cuenca a un evento de precipitación dado esta bastante condicionada por la cobertura vegetal y la clase de suelo de la misma porque estos factores alteran el régimen de escorrentía natural.

El tipo de suelo afecta de varias formas el régimen de un cauce; su naturaleza y temperatura intervienen en el balance térmico. Por su relación directa con el desarrollo y naturaleza de la vegetación intervienen indirectamente en la evapotranspiración.

Las propiedades mecánicas del suelo también afectan el régimen hidrológico, su naturaleza y nivel de compactación determinan el grado de infiltración y retención de agua proveniente de la precipitación lo que a su vez determina el potencial de escurrimiento que posee la cuenca.

La cobertura vegetal cumple una función reguladora del ciclo hidrológico. Las gotas de lluvia son retenidas por el follaje y son soltadas poco a poco, demorando la acumulación de agua disponible para la escorrentía. Un bosque denso retrasa varias horas la ocurrencia de las avenidas y hace que a intensidad de estas sea menor. Alta densidad de árboles, implica retardo y disminución de crecientes; vegetación escasa en arboles sugiere que el subsuelo es pobre; el suelo impermeable, grandes crecientes y erosión.

Con buena cobertura vegetal y contenido de materia orgánica del suelo es relativamente alto lo cual favorece la infiltración; debido al alto grado de cobertura vegetal las velocidades del flujo en la ladera se reducen.

Al deforestar se elimina la regulación y el efecto de la lluvia sobre las avenidas de las corrientes es inmediato, produciendo avenidas más rápidamente y de mayor intensidad. El efecto es una mayor rata de erosión del fondo y la rivera de los cauces.

Las actividades humanas cambian las características de la superficie de la cuenca y por lo tanto su respuesta hidrológica. El tipo y porcentaje de la cobertura vegetal, las zonas de los cultivos, las zonas de potreros, las zonas urbanas o áreas pavimentadas determina la magnitud y características de los caudales y la forma del hidrograma de las crecientes.

ANCHO PROMEDIO

Se encuentra dividiendo el área de la cuenca por su longitud axial, así:

$$\text{Ancho promedio} = \frac{\text{area}}{\text{longitud axial}}$$

FORMA DE LA CUENCA

La forma de la cuenca controla la velocidad con que el cauce principal, cuando sigue su curso, desde el origen hasta la desembocadura. se ha propuesto varios coeficientes que enseñan gran parte de la organización del drenaje dentro de la cuenca y otros factores que afectan la hidrológica de la corriente.

✿ Factor forma

$$Ff = \frac{\text{ancho promedio}}{\text{longitud axial}}$$

✿ Coeficiente de compacidad

Está relacionado estrechamente con el tiempo de concentración, es decir con el tiempo que tarda una gota de lluvia en moverse desde la parte más lejana de la cuenca hasta el desagüe.

Si el kc tiende a 1 o tiende a ser redonda, aumenta la peligrosidad de la cuenca a las crecidas.

Cuadro 3. Clases de forma

| CLASE DE FORMA | RANGOS DE CLASE | FORMA DE LA CUENCA |
|----------------|-----------------|---------------------------------------|
| Clase Kc 1 | De 1.0 a 1.25 | Casi redonda a oval- redonda |
| Clase Kc 2 | De 1.25 a 1.50 | Oval redonda a oval- oblonga |
| Clase Kc 3 | De 1.50 a 1.75 | Oval- oblonga a rectangular – oblonga |

Nombre de la fuente: HENAO, 2003

✿ Otros índices de forma

Índice de alargamiento

Índice de homogeneidad

Índice asimétrico

a) Índice de alargamiento

Se obtiene relacionando la longitud más grande de la cuenca con el ancho mayor, medido perpendicularmente.

$$I_a = \frac{L}{1}$$

L: longitud máxima de la cuenca

1: Ancho máximo (tomado perpendicularmente a la dirección anterior).⁹

b) Índice de homogeneidad

Se obtiene relacionando el área de la cuenca con la de un rectángulo que tiene por eje mayor la longitud máxima de la cuenca y por eje o lado menor el ancho máximo de la cuenca.

$$I_h = \frac{S}{S_z}$$

Ih: índice de homogeneidad

S: área de la cuenca

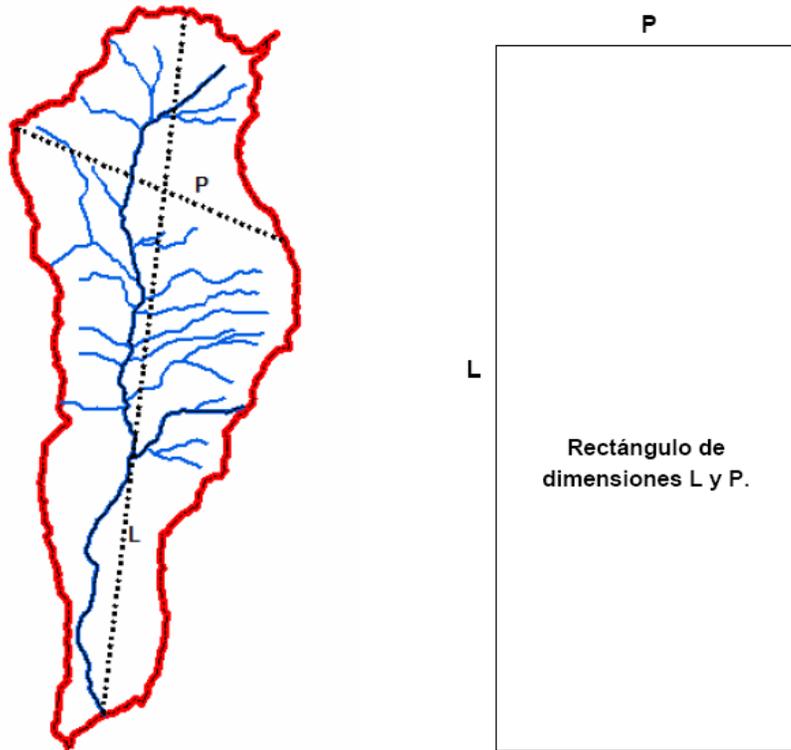
Sz: superficie del rectángulo con dimensiones L y P

L: longitud máxima de la cuenca

P: ancho máximo de la cuenca.¹⁰

⁹ HENAO, J.2003.Introducción al manejo de cuencas hidrográficas.

Figura 2. Índice de homogeneidad



Nombre de la fuente: HENAO, 2003.

c) Índice asimétrico

Se obtiene comparando la relación de superficies entre la vertiente más extensa y la menos extensa.

$$Ad = \frac{A_{v \max}}{A_{v \min}}$$

Si el Ad se acerca a 1, el drenaje se considera homogéneo de una vertiente a otra. Si el Ad es mayor a 1, el talweg principal no se encuentra en el centro de la

¹⁰ HENAO, J.2003. Introducción al manejo de cuencas hidrográficas.

cuenca, presumiéndose un recargo de la red de drenaje hacia una de las vertientes.¹¹

PROFUNDIDAD DE LA CUENCA

Es aquella comprendida entre el dosel de la cubierta vegetal, exteriormente y los estratos geológicos que delimitan la cuenca hacia abajo.

ELEVACIÓN O ALTITUD DE LA CUENCA

Es uno de los factores físicos que facilita el análisis del movimiento del agua en una cuenca. Están directamente relacionados con la precipitación y temperatura.

-Altitud media: Existen dos métodos:

Intersección: La altitud media de la cuenca se toma como el promedio de altitud de todas las intersecciones. Se usa principalmente para cuencas extensas.

Se determina el área entre una curva de nivel y la siguiente. Luego se aplica la fórmula:

$$Ad = \frac{\Sigma a * e}{A}$$

E: elevación media

a: área entre un par de curvas de nivel

e: altitud media (rango entre curvas de nivel)

A: área de la cuenca.¹²

¹¹ HENAO. Op. Cit., p. 62

¹² Ibid. p. 63

PENDIENTE DE LA CUENCA

Se obtiene relacionando las diferentes alturas por donde pasa el río (curvas de nivel) con las distancias recorridas en metros. Para efectos prácticos se utiliza siempre la pendiente media. Existen dos métodos:

-Determinación de la pendiente del terreno.

$$S = \frac{NZ}{1}$$

N: número total de curvas de nivel atravesadas por líneas en esa dirección

Z: Intervalo entre curvas de nivel

1: Longitud total de líneas en esa dirección

- Mediante un mapa topográfico.

$$P_m = \frac{D * L}{S}$$

D: longitud total de las curvas de nivel

L: distancia vertical entre curvas de nivel

S: área de la cuenca.¹³

Cuadro 4. Clasificación descriptiva de pendientes

| PENDIENTES MEDIAS (%) | RELIEVE |
|-----------------------|---------------|
| 0-3 | Plano |
| 3-7 | Suave |
| 7-12 | Mediano |
| 12-20 | Accidentado |
| 20-35 | Fuerte |
| 35-50 | Muy fuerte |
| 50-75 | Escarpado |
| Mayor de 75 | Muy escarpado |

Nombre de la fuente: HENAO, 2003

¹³ HENAO. Op. Cit., p. 66

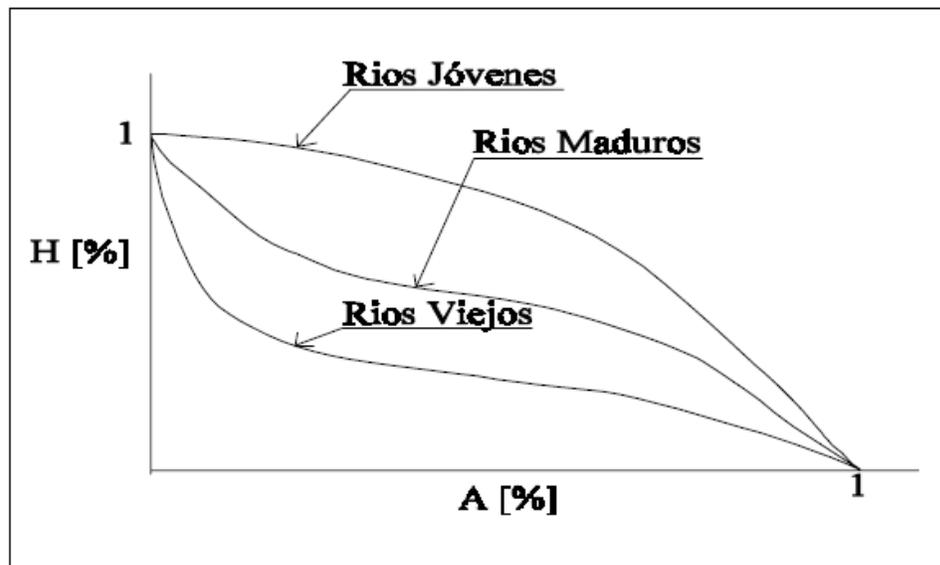
2.1.4. Curva hipsométrica.

Esta curva representa el área drenada variando con la altura de la superficie de la cuenca. También podría verse como la variación media del relieve de la hoya.

La curva hipsométrica se construye llevando al eje de las abscisas los valores de la superficie drenada proyectada en km^2 o en porcentaje, obtenida hasta un determinado nivel, el cual se lleva al eje de las ordenadas, generalmente en metros. Normalmente se puede decir que los dos extremos de la curva tienen variaciones abruptas.

La función hipsométrica es una forma conveniente y objetiva de describir la relación entre la propiedad altimétrica de la cuenca en un plano y su elevación.¹⁴

Figura 3. Curva hipsométrica característica



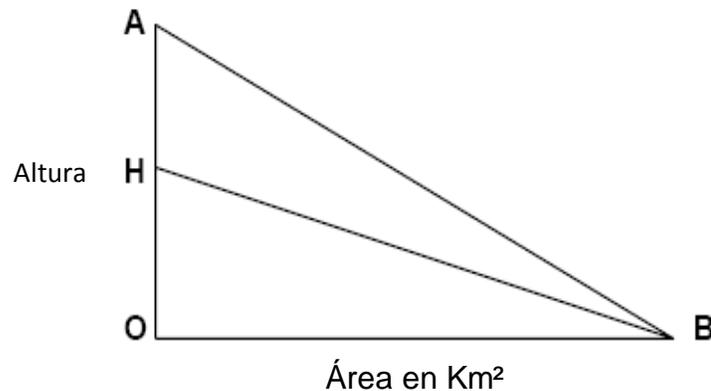
Nombre de la fuente: Geomorfología de cuencas. Capítulo 1

¹⁴ Geomorfología de cuencas. Capítulo .4. [Citado 05 de abril de 2011; 15:00]. disponible en internet: http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/oguerre/4_Geomorfologia.pdf

RELIEVE DE LA CUENCA

- ☀ Coeficiente de Masividad de Martonne: Es el coeficiente de la división de la altura media del relieve por su superficie proyectada.

Figura 4. Relieve de la cuenca



Nombre de la fuente: HENAO, 2003.

- ☀ Coeficiente Orográfico: Es la combinación que se efectúa entre la altura media de las cuencas y su coeficiente de Masividad.
- ☀ Índice de Masividad de Strahler: Establecido la construcción de un tipo especial de curvas hipsográficas relacionando dos variables: El porcentaje de superficie de curva situado por encima de una altitud dada y el porcentaje de altitud situado por encima de un nivel de base escogido.

Orientación de la cuenca: Determina la cantidad de sol que recibe la cuenca durante el día y el ángulo de los rayos solares sobre la misma. N – S: no reciben insolación uniforme en las dos vertientes durante todo el día. E – W: Reciben insolación durante todo el día. ¹⁵

¹⁵ HENAO. Op. Cit., p. 69

2.1.5. MÉTODOS DE ANALISIS MORFOMETRICOS DE LA RED DE DRENAJE DE UNA CUENCA

2.1.5.1. Forma: Es la distribución o arreglo geométrico de los tributarios que integran la red hidrográfica.

2.1.5.2. Morfometría Hidrográfica: Es el estudio de las disposición de los cauces de las corrientes fluviales y de las redes de drenaje, mediante índices numéricos que lo definen.

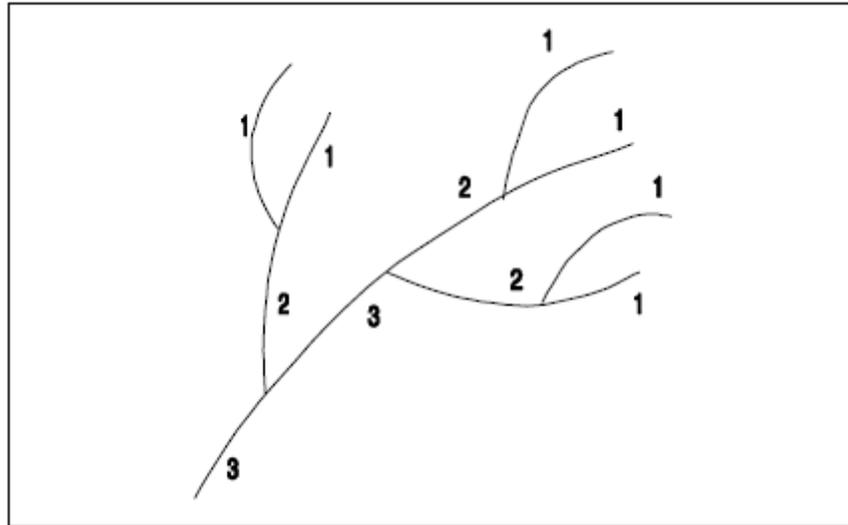
✿ **Sistemas de Drenaje:**

- ✓ Según Schumm: Da el orden numero 1, al escurrimiento menor, o sea, aquel que no pasa de ser tributario o talweg elemental, el río de segundo orden se forma de la unión de dos afluentes de primer orden. A la confluencia de dos cursos de segundo orden, comienza un río de tercer orden, que puede, el mismo tener otros afluentes de segundo y tercer orden, etc. El río principal de la cuenca tiene el orden más elevado.

- ✓ Según Horton: El escurrimiento de primer orden es aquel que carece de tributarios, el talweg de segundo orden es el que recibe al menos uno, o varios tributarios, del primer orden; talweg de tercer orden, es el que lo confluyen uno o varios afluentes de segundo orden, pero él puede recibir directamente afluentes de primer orden y así sucesivamente hasta la corriente principal de la cuenca considerada que posee, el orden más elevado.¹⁶

¹⁶ HENAO. Op. Cit., p. 70

Figura 5. clasificación de los tributarios de una cuenca



Nombre de la fuente: Geomorfología de cuencas. Capítulo 1

Ley de Horton del número de ríos:

$$N = \frac{Rb * (S - 1)}{Rb - 1}$$

N: Número total de ríos

rb: Relación de confluencias

S: Orden talweg principal

Ley de longitudes medias de los ríos:

$$rL = \frac{Lx}{Lx - 1}$$

Lx: Longitud media de los ríos de orden X

rL: relación de su longitud

Tercera ley de Horton, cálculo de la densidad de drenaje:

$$Dd = \frac{Lx}{A}$$

Dd: densidad de drenaje

A: área de la cuenca

2.1.5.3. Calculo práctico de la ley de drenaje.

$$Dd = \frac{L1 + L2 + \dots Ls}{A}$$

L1: longitud media del primer orden.¹⁷

2.1.5.4. Frecuencias de talwegs de una cuenca

Esta dada por la relación entre el número de ríos de un orden dado y el área de la cuenca. Se utiliza la siguiente formula:

$$F_x = \frac{N_x}{A}$$

N_x: número de ríos de un orden dado

A: área de la cuenca

2.1.5.5. Superficie umbral de escurrimiento

Es el área mínima necesaria para que haya un gasto total que produzca escurrimiento concentrado.

$$A_o = A^{1/s}$$

A_o: superficie umbral de escurrimiento concentrado

A: área de la cuenca

S: orden talweg superior.

¹⁷ HENAO. Op. Cit., p. 75

2.1.6. METODOS DESCRIPTIVOS DE SISTEMAS HIDROGRAFICOS

2.1.6.1. Río: Corriente de agua continua más o menos caudalosa que va a desembocar a otra en el mar.

2.1.6.2. Curso del río: Se distinguen según su longitud e importancia en: ríos, arroyos o quebradas. Respecto al régimen de caudales los ríos pueden ser: de alta montaña, de mediana altura y de llanura.

2.1.6.3. Tipos genéticos de los ríos

- ✿ Río consecuente: cuando la localización de este es el resultado de la pendiente original del terreno.
- ✿ Río subsecuente: es aquel que ha desarrollado su valle a lo largo de un cinturón de rocas relativamente erodables.
- ✿ Río obsecuente: estos ríos son usualmente pequeños y su flujo es opuesto a la pendiente de la forma original del terreno. Son generalmente tributarios al río subsecuente.
- ✿ Río resecaente: es un río que fluye en la misma dirección del consecuente, pero a un nivel más bajo sobre una superficie desnuda.
- ✿ Río insecuente: es aquel que no ha tenido un control geológico; gran número de los ríos más pequeños, son propiamente clasificados como insecuente.
- ✿ Río súperimpuesto: aquel río que desarrolla su curso sobre roca en un depósito aluvial.
- ✿ Río antecedente: aquel que ha mantenido su curso a través de un elevado subsecuente.

- ☀ Rio reverso: es un rio que ha extendido su curso contrario, por la elevación o la inclinación de una región.

2.1.6.4. Grado de Inclinación de un río

El grado de inclinación que presenta una corriente de agua ofrece ayuda para la deducción de la velocidad alcanzada por la corriente de agua. Para calcular este dato generalmente se divide el desnivel entre el punto de desagüe y el de su nacimiento, sobre la distancia recorrida.

$$Pm = \frac{H}{L}$$

Pm: pendiente media

H: altura nueva

L: longitud del río

2.1.6.5. Clasificación de las cuencas según el destino final de las aguas.

- ☀ Exorreica: Cuando las aguas de la cuenca llegan al mar directamente por vía subsuperficial o subterránea
- ☀ Endorreica: También llamada cuenca lacustre o de evaporación. Es un territorio sin desagüe aparente, en que las aguas drenan hacia un lago y se pierden por evaporación
- ☀ Arreica: Es la cuenca que no desemboca ni en el mar ni en un depósito interior, sino que sus aguas se pierden en el camino por evaporación o infiltración, sin que en este último caso se conviertan en corrientes subterráneas.¹⁸

2.1.7. SISTEMAS O PATRONES DE DRENAJE

2.1.7.1. Patrones de drenaje erosionales:

Dendrítico

Subdendrítico

Paralelo

Subparalelo

Radial

Anular

Enrejado, trellis o rastrillado

Rectangular o angular

2.1.7.2. Patrones de drenaje deposicionales:

Trenzados

Rectos

Dicotómicos o distributarios

Multibasinal

Meandricos.¹⁹

2.1.8. MODELOS DIGITALES DEL TERRENO

La utilización de cartografía de elevaciones de corte clásico, con representaciones del terreno basadas en sistemas de representación más o menos habituales (el más extendido, con diferencia, el sistema acotado habitual en los mapas de curvas de nivel), ha venido siendo la constante en el desarrollo habitual de actividades que requirieran de uno u otro modo una cierta representación del terreno, bien

¹⁸ HENAO. Op. Cit., p. 78

¹⁹ Ibid., p. 79

como elemento primigenio para la realización de análisis diversos o como formato para la presentación de los resultados de estos u otros análisis realizados sobre los distintos elementos del medio.²⁰

Si la cartografía de curvas de nivel constituía la base para el estudio de los componentes de un entorno hidrológico, ahora es los Modelos Digitales de Terreno (MDT) quien, bajo los conceptos y formulaciones existentes hoy en día para la generalidad de la cartografía en soporte digital, se encargara de proporcionar la información altitudinal detallada que servirá de base a la práctica totalidad de análisis posteriores.

El registro de la realidad físico de una zona mediante elementos gráficos (curvas de nivel) llevado a cabo en los medios cartográficos clásicos, se sustituye ahora en los MDTs por un almacenamiento de la información de tipo puramente numérico mediante el cual es posible, además de la lógica restitución de las representaciones clásicas cuya vigencia actual no debe cuestionarse, el desarrollo de un análisis más detallado y profundo del relieve y sus consecuencias en cada ámbito de estudio.²¹

2.1.9. PROCESAMIENTO DE LOS MDTs

El procesamiento de un MDT consiste en estimar la dirección de flujo del agua sobre la superficie del terreno que el MDT representa. En HidroSIG v.3.1 están incorporados algoritmos que realizan esta estimación usando el modelo D8. Describe detalladamente el procedimiento de corrección de los Modelos Digitales

²⁰ OLAYA, V.2004. Hidróloga Computacional y Modelos Digitales del Terreno.

²¹ OLAYA. Op. Cit., p. 44

de elevación. Después de la corrección de sumideros y zonas planas, HydroSIG v.3.1 comienza la construcción automática de diez mapas de variables geomorfológicas del terreno y su red de drenaje. Estos mapas se clasifican en mapas asociados al terreno (pendientes máximas, modelo digital de terreno corregido, direcciones de drenaje y áreas acumuladas) y mapas asociados a la red de drenaje (red de drenaje Ráster, orden de Horton, longitud del canal principal, longitud total de canales, magnitud y diámetro topológico).²²

La corrección de los modelos digitales del terreno es muy importante para el acople del modelo de estabilidad, pues le permite conocer la dirección de flujo entre las celdas del MDT ráster, además proporciona la pendiente máxima entre una celda cualquiera y sus ocho celdas adyacentes.²³

2.1.9.1. Representación vectorial mediante redes de triángulos irregulares (TIN)

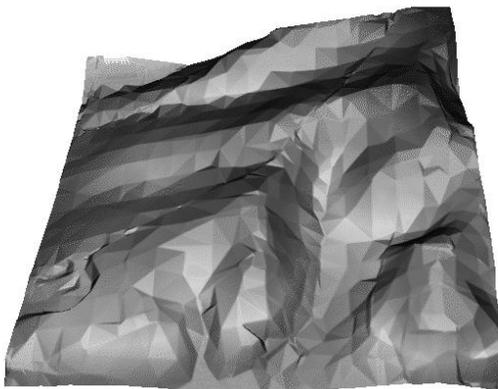
Representa una alternativa moderna y notablemente eficiente para el almacenamiento de datos de elevaciones. Básicamente, el terreno se caracteriza mediante la definición de una serie de puntos de interés o representativos del mismo, los cuales se conectan formando una red de triángulos con mayor densidad en las zonas abruptas (donde son necesarios más puntos representativos para su caracterización) y menor en las zonas llanas. El terreno queda así dividido en triángulos los cuales definen planos con unas características propias de pendiente y orientación espacial que caracterizan el relieve dentro de dicho triángulo, y en base a los cuales, y en relación con los triángulos adyacentes, pueden derivarse sucesivos parámetros.²⁴

²² RAMÍREZ, J. M. 2002 Extracción automática de redes de drenaje a partir de Modelos Digitales de Terreno

²³ RAMÍREZ, Op. Cit., p. 2.

²⁴ OLAYA. Op. Cit., p. 47

Grafico 1. Representación relieve mediante redes de triángulos irregulares (TIN)



Nombre de la Fuente: Hidrología Computacional y Modelos Digitales del Terreno

2.1.9.2. Valores Básicos que configuran el MDT

Cinco son los elementos principales que resultan necesarios para una definición completa de la entidad anterior, a saber:

- ✿ Una referenciación espacial de las celdas de acuerdo con algún sistema habitual de coordenadas.
- ✿ Una definición de la orientación de la zona estudiada, de cara a conocer la variación de dichas coordenadas a lo largo de las diversas celdas de la malla.
- ✿ Una dimensión dada de las celdas.
- ✿ Una matriz con los valores de altitud correspondientes a las celdas.
- ✿ Un valor arbitrario para las celdas cuya información se desconoce.²⁵

2.1.10. UTILIZACIÓN SOFTWARE (Modelos de simulación Hidrológica)

Hasta el momento se han desarrollado una gran cantidad de paquetes de software

²⁵ OLAYA. Op. Cit., p. 51

para el análisis hidrológico de corrientes. Estos programas de computador permiten utilizar varios métodos, los cuales deben escogerse de acuerdo a la aplicabilidad del modelo a la disponibilidad de la información requerida. Algunos de estos programas se pueden obtener gratuitamente en el internet.

No se ha realizado la calibración de la mayoría de estos modelos en cuencas de montañas tropicales, por lo tanto se desconoce el nivel de precisión para su utilización confiable; sin embargo la experiencia va a determinar su utilización.²⁶

Lo esencial es que no se diseñe obra alguna de control de erosión sin conocer de antemano los caudales y velocidades que se requiere manejar.

SMADA

El concepto de aplicar la estadística en hidrología tiene por objeto la búsqueda de información de fenómenos hidrológicos en el pasado y la realización de inferencias acerca de lo que se espera en el futuro.

El software SMADA es un paquete estadístico hidrológico para la solución de problemas, el cual desarrolla diferentes distribuciones: Normal, Log Normal, Pearson tipo III, Log Pearson tipo III Y Gumbel tipo I.²⁷

HEC-HMS (Hidrologic Modeling System)

Un modelo hidrológico comprende un conjunto de abstracciones matemáticas que describen fases relevantes del ciclo hidrológico, con el objetivo de simular numéricamente los procesos identificados en el estudio. Los resultados de la modelación son muy útiles en el apoyo, planificación y diseño de obras hidráulicas, como también para tener un mejor conocimiento de los procesos que intervienen en la transformación de lluvia en escurrimiento. Los modelos de

²⁶ MARTINEZ, L.Y.2005. Modelamiento de las microcuenca la Magnolia, Laureano Gómez y la malagueña para captación de agua en los embalses 1 y 2 del municipio de Málaga.

²⁷ Ibid., p. 32

transformación de lluvia en caudal son aplicables básicamente en el cálculo de crecidas particularmente en los casos en que el flujo superficial es el principal proveedor de caudal en la formación de crecidas. Los modelos hidrológicos pretenden reproducir matemáticamente el fenómeno de transformación de lluvia en caudal. Tienen la ventaja de poder simular aceptablemente el proceso hidrológico de la generación de la avenida, si se estiman satisfactoriamente los parámetros necesarios. Su principal limitación es precisamente la elección adecuada de los parámetros, errores en esta etapa, inducen a obtener resultados que no corresponden a la realidad.²⁸

HEC-HMS (Hidrologic Modeling System), fue diseñado por el centro de ingeniería hidrológica del cuerpo de ingenieros del ejército de los Estados Unidos, es uno de los programas mas difundido y principalmente es de libre disponibilidad, este no se ha calibrado para la mayoría de las cuencas de montañas tropicales, por lo tanto se desconoce el nivel de precisión para su utilización, sin embargo la experiencia va a determinar su confiabilidad en estudio de cuencas ubicadas en áreas tropicales.

Este software provee una variedad de opciones para simular procesos de precipitación-escorrimento y también tránsito de caudales entre otros comprende una interfase grafica para el usuario, componentes de análisis hidrológicos, capacidades para manejo y almacenamiento de datos, y facilidades para expresar los resultados mediante gráficas y reportes tabulados.

El programa puede ser utilizado para determinar el Hidrograma de creciente en

²⁸ MARTINEZ.Op. Cit., p. 50

sitios específicos de la cuenca, basándose en el concepto de Hidrograma unitario a partir de la información de la subcuencas de acuerdo a la metodología, es decir la obtención del Hidrograma unitario a partir de un hietograma de exceso de lluvia dada y un hidrograma de escorrentía directa por medio de la ecuación siguiente:

$$Q_n = S \sum_{m=1}^n P_m U_{n-m+1}$$

La sumatoria se realiza desde $m= 1$ hasta $n \leq M$

Dónde:

M: Numero de pulsos de exceso de lluvia

n : número de pulso de escorrentía directa

Q_n : escorrentía directa

P_m : exceso de lluvia

U_{n-m+1} : hidrograma unitario.²⁹

Esta ecuación permite la obtención de la escorrentía directa dado un exceso de lluvia y el hidrograma unitario. Para obtener el hidrograma unitario se realiza despejando el valor de hidrograma unitario en la ecuación anterior. Se debe comprobar que la profundidad de escorrentía directa en el hidrograma unitario obtenido debe ser igual a 1 cm.

Los hidrograma unitarios sintéticos utilizados con los cuales trabaja son: hidrograma unitario de Clark, Hidrograma Unitario de Snyder, e Hidrograma unitario adimensional del SCS, el método de hidrograma adimensional SCS,

²⁹ MARTINEZ.Op. Cit., p. 51

depende únicamente de un parámetro, denominado TLAG (tiempo de retardo) que es igual al lapso, en horas, entre el centro de masas de la precipitación efectiva y el pico del hidrograma unitario. El caudal pico y el tiempo pico se determinan mediante las siguientes ecuaciones:

$$T_p = 0.5 D_t + TLAG$$

$$Q_p = 2.08 * A/T_p \text{ (para unidades métricas)}$$

Donde:

T_p : tiempo pico

D_t : duración de la precipitación efectiva

Q_p : Caudal pico en horas

A : área de la cuenca

La ejecución de una simulación en el HEC-HMS (Hidrologic Modeling System), requiere las siguientes especificaciones:

El primer conjunto, llamado Modelo de la cuenca (Basin Model), contiene parámetros y datos conectados para elementos hidrológicos.

Los tipos de elementos son: Subcuenca, tránsito de avenidas, empalme o cruce, reservorio, fuente, retención (sink) y distribución.³⁰

El segundo conjunto llamado Modelo Meteorológico, consiste en datos meteorológicos e información requerida para procesarlos.

El tercer conjunto, llamado especificaciones de control, con el cual se especifica información para efectuar la simulación.

HEC RAS (River Analysis System)

El HEC-RAS pertenece a un grupo de software que han sido desarrollados por el Centro de Ingeniería Hidrológica del cuerpo de ingenieros de la armada de Estados Unidos. Realiza simulaciones de áreas inundables y afectadas por deslizamientos, detecta zonas de desborde, realiza cálculos hidráulicos de estructuras (puentes, alcantarillas, canales, reservorios), identifica zonas amenazadas, permite definir de la geometría de la planicie de inundación, etc. Además, permite simular varios eventos de inundación cada vez que se corre el modelo.³¹

Características

El sistema HEC-RAS realiza cálculos en una sólo dimensión y analiza 3 componentes hidráulicos:

-  El perfil de la superficie del agua en condiciones de flujo constante
-  El perfil bajo condiciones de flujo inestable
-  El transporte de los sedimentos

³⁰ MARTINEZ.Op. Cit., p. 52

³¹ Modelos de simulación "Hec Ras".[citado 10 de Mayo de 2012; 12:00].disponible en internet:
<http://redesdegestionderiesgo.com/Tecnologia.php?id=MZA=>

La visualización gráfica de datos y resultados simplifica la interpretación de los resultados. Estos pueden ser editados gráficamente.³²

Función

La información obtenida sirve para la efectiva administración de los recursos hídricos así como para identificar áreas amenazadas y para mitigar los efectos de los desastres en zonas vulnerables. El programa facilita la investigación en entidades científicas y tecnológicas, permite simular escenarios y tomar decisiones oportunas para prevenir eventos extremos. Además, al calcular detalladamente los impactos que ocasionan las variaciones de caudal en los ecosistemas y en las estructuras. También ayuda a la preparación y respuesta a emergencias, así como a implementar los sistemas de alerta temprana.³³

2.1.11. SOCAVACION GENERAL

La socavación general actúa como resultado una disminución en el nivel del fondo del cauce y los niveles de agua.

La socavación general como el descenso del fondo de un río cuando se presenta una avenida, debido a la mayor capacidad que tiene la corriente de transportar partículas en suspensión; partículas que toma del fondo del cauce. Al aumentar la velocidad de la corriente, aumenta su capacidad de transporte por lo que erosiona el fondo, al erosionar aumenta el área de la sección y disminuye la velocidad hasta que ya no es capaz de erosionar más.³⁴

³² Modelos de simulación "Hec Ras". Op. Cit., p. 1

³³ Ibid., p. 2

³⁴ RICHARDSON E; LAGASSE Cálculo de la Socavación. capítulo 4. Google [citado 28 de Mayo de 2012; 11:00:]. Disponible en Internet: <http://www.erosion.com.co/presentaciones/category/9-control-de-erosion-en-zonas-tropicales.html?download=54:263-capitulo4-calculodesocavacion>.

La socavación puede ocurrir a todo lo largo y ancho del cauce durante el paso de una avenida. Los niveles de socavación general varían de acuerdo a los caudales y la profundidad de socavación no es la misma en todas las secciones.

Socavación no recuperable

Es el cambio en el nivel del fondo del cauce con el tiempo, a 10, 50, 100 ó 500 años. Esta profundización o degradación del cauce ocurren longitudes importantes de la corriente en un proceso que obedece a los fenómenos geomorfológicos los cuales pueden ser acelerados por la intervención antrópica de la cuenca ó el cauce. La degradación no recuperable en ocasiones es ignorada en los últimos cálculos de socavación por los ajustes del fondo del canal a lo largo de todo su sistema no son detectados o se asume que son insignificantes. Sin embargo, el conocimiento de esta degradación puede permitir detectar grandes profundizaciones del cauce durante la vida útil de una estructura. Los ríos y corrientes son detalles dinámicos del paisaje que se ajustan naturalmente al alterarse sus condiciones ambientales. Esta habilidad para ajustarse implica que cualquier cambio natural o antrópico necesariamente cauce ajuste en la morfología del canal, en las cargas de sedimento, y en las características hidráulicas aguas arriba y aguas abajo en un intento del río por adaptarse a la alteración. Si el balance equivale a que la energía del flujo aumenta el canal se ajustara a buscar un nivel menor de energía dejándose aguas arriba, ampliándose y sedimentándose aguas abajo. La degradación puede ocurrir durante un periodo grande de años y puede afectar longitudes grandes del canal ríos completos o sistemas completos de cuencas.³⁵

³⁵ RICHARDSON E; LAGASSE. Op. Cit., p. 60

Socavación por aumento del caudal

Al aumentar el caudal la velocidad aumenta y se produce erosión en el fondo de la corriente. Al bajar nuevamente el nivel de la corriente, comúnmente esta socavación se recupera nuevamente por sedimentos. La socavación ocurre en periodos de horas o días, afectando prácticamente todo el cauce.

Socavación en confluencias

Cuando dos ríos se unen, o dos canales bifurcados se reunifican, el resultado de los movimientos espirales que se producen, generan niveles de socavación significativos.

Socavación en la curvas

Es un fenómeno muy difícil de analizar, en razón de los flujos secundarios y la degradación de los sedimentos. Ni el nivel de agua ni la profundidad del cauce son constantes a lo largo de la curva y ambos son difíciles de predecir. La superficie del agua aumenta hacia el estrado de la curva y el cauce tiende a profundizarse por acción de los flujos secundarios.

Socavación en roca

Las rocas fracturadas son extraordinariamente propensas a la socavación. Los bloques producto de la fracturación son fácilmente erosionados por las corrientes de agua. Las rocas solubles son susceptibles a la socavación no recuperable.³⁶

³⁶ RICHARDSON E; LAGASSE. Op. Cit., p. 62

2.1.12. ZONIFICACION DE AMENAZA Y RIESGO

La zonificación de amenaza y riesgo y es una herramienta muy útil para la toma de decisiones, especialmente en las primeras etapas de planeación de un proyecto. La zonificación consiste en la división del terreno en áreas homogéneas y la calificación de cada una de estas áreas de acuerdo al grado real o potencial de amenaza ó de riesgo.

El riesgo se mide en vidas humanas y propiedades en riesgo, siendo un riesgo aceptable cuando se está dispuesto a aceptar esta tal como es, sin preocuparnos de su manejo, en esta clase de riesgo la sociedad no considera justificable gastos para reducirlos, un riesgo tolerable es cuando se tiene la voluntad de vivir con él, con la confianza de que está apropiadamente controlado hasta donde es posible, un riesgo individual, es cuando un individuo conoce el riesgo de la fatalidad o lesión al cual se deje se expone y sin embargo se expone a sus consecuencias, el riesgo social es el riesgo de secciones múltiples o muerte a una sociedad como un todo.

La susceptibilidad expresa la facilidad con la que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones sociales del terreno. Existen dos formas de evaluar las susceptibilidad uno de ellos es por medio de la experiencia donde se utiliza la observación directa de la mayor cantidad de ocurrencia del fenómeno en el área de estudio y se evalúa la relación entre estos fenómenos y la geomorfología del terreno, el otro es el sistema teórico, realizando mediante mapeo del mayor número de factores que se consideran pueden afectar la ocurrencia del fenómeno y luego se analiza la posible contribución de cada uno de los factores.³⁷

³⁷ SUAREZ, J. Manual de ingeniería para el control de erosión. Corporación de Defensa de la Meseta de Bucaramanga.

En estos mapas se zonifica las unidades de terreno de una actividad de fenómenos similares o de igual potencial de susceptibilidad, el cual es obtenido de un análisis multivariable entre los factores que pueden producir el fenómeno y el mapa de inventarios de fenómeno. Para estos mapas existe mucha libertad en la determinación de pasos a seguir, sin embargo se tienen en cuenta tres elementos que son el inventario del fenómeno ocurridos en el pasado, topografía y mapa de pendientes y características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas del suelo.

La amenaza natural es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente destructor en una área específica dentro de un determinado periodo de tiempo. La zonificación de amenazas requiere tener en cuenta varios elementos: un inventario detallado de los fenómenos ocurridos, un conocimiento detallado de los procesos y factores que lo producen, análisis de la susceptibilidad de ocurrencia de esos fenómenos, relacionados con las condiciones ambientales existentes.

La probabilidad de ocurrencia de un evento se puede calcular por medio de datos históricos en el área de estudio o áreas de características similares; por métodos empíricos basado en correlaciones de acuerdos con sistemas de clasificación; mediante el uso de evidencias geomorfológicos junto con datos históricos o basados en criterios de los profesionales; por medio de la relación frecuencia e intensidad de los eventos detonantes, por ejemplo lluvias por valoración directa basada en criterios de un experto; por modelación; y mediante la aplicación de métodos formales probabilísticos.³⁸

³⁸SUAREZ. Op. Cit., p. 64

2.1. MARCO LEGAL

2.2.1. LEGISLACIÓN SOBRE CUENCAS HIDROGRÁFICAS (COLOMBIA)

Decreto 2811 de 1974: Código Nacional de Recursos Naturales Renovables.

Decreto 1449 de 1977: Por el cual se reglamentan parcialmente el (Inciso 1 de Numeral 5 del Artículo 56 de la Ley 135 de 1961) y el (Decreto Ley No. 2811 de 1974).

Decreto 2858 de 1981: Por el cual se reglamenta parcialmente el artículo 56 del Decreto - Ley 2811 de 1974 y se modifica el Decreto 1541 de 1978.

Ley 79 de 1986: por la cual se provee a la conservación del agua y se dictan otras disposiciones.

Ley 357 de 1997: Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas, suscrita en Ramsar, Irán, el dos (2) de febrero de mil novecientos setenta y uno (1971)

Ley 408 de 1997: Por la cual se aprueba el Convenio relativo a la Organización Hidrográfica Internacional, OHI, suscrito en Mónaco el 3 de mayo de 1967

Ley 99/93: Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente

Decreto 1729 de 2002: por el cual se reglamenta la parte xiii, título 2, capítulo iii del decreto-ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas, parcialmente el el numeral 12 del artículo 5° de la ley 99 de 1993 y se dictan otras disposiciones.³⁹

2.2.2. LEGISLACION DE AGUAS

Leyes y Decretos:

Ley 99 de 1993. Fundamentada en la concepción del desarrollo sostenible y apoyado en los conceptos de la Cumbre de Río de Janeiro, la gestión ambiental sufrió un vuelco radical, quedando estructurada de la siguiente manera: Principios ambientales; Sistema Nacional Ambiental –SINA; Planificación y Gestión (Instrumentos económicos–Tasas, Instrumentos de gestión, Licencias); Licencias Ambientales (Estudios de Impacto Ambiental y Planes de Manejo Ambiental); Participación ciudadana (Derecho de intervención, Audiencias Públicas, Consultas obligatorias); Control y Vigilancia.

Ella establece como competencia de las autoridades ambientales y de los organismos fiscalizadores, de vigilar que toda actividad se desarrolle bajo el concepto del Desarrollo Sostenible, haciendo indispensable que en todo proceso de planeación de actividades se tenga en cuenta medidas o acciones contempladas en los respectivos: Estudios de Impacto Ambiental - EIA, Planes de

³⁹ Legislación sobre Cuencas Hidrográficas (Colombia). [Citado 05 de Mayo de 2012; 9:15].disponible en internet: <http://es.scribd.com/doc/54227973/Legislacion-sobre-Cuencas-Hidrograficas>.

Manejo Ambiental - PMA, Requerimientos Ambientales y Planes de Gestión Ambiental Institucional.

Ley 9 de 1979. Código Sanitario Nacional. El Art. 69 establece que toda agua para consumo humano debe ser potable cualquiera que sea su procedencia.

Decreto 1594 de 1984. Reglamenta la Ley 9 de 1979 y el Decreto 2811 de 1974, con relación a los criterios de calidad del recurso hídrico de acuerdo con su destinación (Art. 38 y 39); criterios de calidad de vertimientos líquidos a un cuerpo de agua (Art. 72) y de vertimiento a un alcantarillado público (Art 73). Además establece que las personas naturales o jurídicas que recolecten, transporten y dispongan residuos líquidos provenientes de terceros, deberán cumplir con las normas de vertimientos y obtener el permiso correspondiente (Art. 113).⁴⁰

Ley 373 de 1997. Establece el Programa de Uso Eficiente y Ahorro de Agua.

Decreto 3100 de 2003. Reglamenta las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y deroga el Decreto 901 de 1997. Dentro de sus artículos destacables se tienen, los relacionados con: Parámetros establecidos por el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial -MAVDT sobre los cuales se cobrara la tarifa mínima de la tasa retributivas (Art 5); la obligatoriedad en el pago de la tasa retributiva de todos los usuarios que realicen vertimientos puntuales y que generan consecuencia nociva,

⁴⁰ ESG.Normatividad Ambiental Colombiana.Environmental Solutions Group SA. [Citado 09 de Mayo de 2012; 5:25].disponible en internet: <http://www.esg.com.co/index-3.html>

de acuerdo a lo establecido en el Decreto 3100 de 2003 (Art. 18); es de anotar que cuando el usuario vierte a una red de alcantarillado, la autoridad Ambiental competente cobrará la tasa únicamente a la entidad que presta dicho servicio, sin perjuicio de lo consagrado en el artículo 113 del decreto 1594 de 1984.

Decreto 155 de 2004. Reglamenta el artículo 43 de la ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas, define el Sujeto pasivo, establece la base gravable y la fijación de la Tarifa mínima (TM) y el Factor regional (FR) (Artículos: 4, 6, 7 y 9).

Resolución MAVDT 240 de 2004. Establecen las bases para el cálculo de la depreciación y la determinación de la tarifa mínima por uso del agua y el ajuste anual acorde con IPC anual (Artículos: 1, 2, 4 y 5).⁴¹

Acuerdo No. 0027 del 20 de noviembre de 1970, Por el cual se establece el servicio de vigilancia y se crean Grupos de Control y Vigilancia de Aguas en corrientes reglamentadas en los Departamentos del Huila, Tolima, Cundinamarca, Meta, Santander, Magdalena, Cesar y Guajira, y se les adscriben funciones.⁴²

Decreto No. 2190 de 1995, Por el cual se ordena la elaboración del Plan Nacional de Contingencias contra derrames de Hidrocarburos, Derivados y sustancias nocivas en aguas marinas, fluviales y lacustres.

⁴¹ ESG. Normatividad Ambiental Colombiana.Op. Cit., p. 2

⁴² Legislación sobre el agua en Colombia. [Citado 09 de Mayo de 2012; 6:05].disponible en internet: http://www.rds.org.co/norma_resultado.htm

DECRETO No. 1905 DE 2000, por el cual se modifican los estatutos y el reglamento de funcionamiento de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico.

- ✓ Decreto no. 1541 del 26 de julio de 1978, Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto - Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973.
- ✓ Ley no. 141 de 1994., Por la cual se crean el Fondo Nacional de Regalías, la Comisión Nacional de Regalías, se regula el derecho del Estado a percibir regalías por la explotación de recursos naturales no renovables, se establecen las reglas para su liquidación y distribución y se dictan otras disposiciones.⁴³

Uso y consumo de recursos hídricos

Ley 373 de 1997 Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.

Resolución 0866 de 2004. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Por la cual se adopta el formulario de información relacionada con el cobro de las tasas por utilización y el estado de los recursos hídricos, a que se refiere el Decreto 155 de 2004 y se adoptan otras disposiciones.⁴⁴

⁴³ Legislación sobre el agua en Colombia. Op. Cit., p. 1

⁴⁴ Segundo dialogo internacional sobre la crisis mundial del agua. La gestión de aguas en empresas públicas de Medellín y la Sostenibilidad del recurso hídrico. Dialogo agua. [Citado 09 de Mayo de 2012; 5:05].disponible en internet:http://www.dialogosagua.es/index_files/doc/Piedrahita%20DOC.pdf >

Vertimientos

Resolución 1596 de 2001. Por la cual se modifica la resolución 1074 de 1997.

Resolución 339 de 1999. Por la cual se implementa las unidades de contaminación hídrica UCH1 y UCH2.

Resolución 1074 de 1997. Por la cual el DAMA establece estándares ambientales en materia de vertimientos.

Ley 373 de 1997. Por la cual se establece el programa para uso eficiente y ahorro de agua.

Decreto 901 de 1997. Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas, por la utilización directa o indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se establecen las tarifas de éstas.

Decreto 1594 de 1984. Reglamenta los usos del agua y el manejo de los residuos líquidos.

Decreto 3440 de 2004. Por el cual se cobrará la tasa retributiva por los vertimientos puntuales realizados a los cuerpos de agua en el área de su jurisdicción.

Resolución 273 de 1997, Por la cual se fijan las tarifas mínimas de las tasas retributivas por vertimientos líquidos para los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST).

Aguas subterráneas

Resolución 1219 de 1998. Por la cual se reglamenta el pago de las tasas de aprovechamiento de aguas subterráneas a partir del 30 de septiembre de 1998. ⁴⁵

Ley 373 de 1997. Por la cual se establece el programa para uso eficiente y ahorro del agua.

Resolución 815 de 1997. Por la cual se fija un término a la implementación de medidores en los pozos de extracción de aguas subterráneas.

Resolución 250 de 1997. Por la cual se fijan tasas para el aprovechamiento de aguas subterráneas.

Resolución 251 de 1995. Por la cual se fija un lazo para la inscripción de pozos en la jurisdicción del DAMA.

⁴⁵ Segundo dialogo internacional sobre la crisis mundial del agua. Op. Cit., p. 3

Decreto 1541 de 1978. Por el cual se fijan los procedimientos para otorgar concesiones, exploración de aguas subterráneas entre otras disposiciones.

Aguas Superficiales

Resolución 0865 de 2004. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Por la cual se adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales a que se refiere el decreto 155 de 2004 y de adoptan otras disposiciones.⁴⁶

1.2.3. LEGISLACIÓN SOBRE FLORA SILVESTRE Y BOSQUES

LEY 2 DE 1959. Reserva forestal y protección de suelos y agua.

Decreto 2811 de 1974 Libro II, Parte VIII. De los bosques, de las áreas de reserva forestal, de los aprovechamientos forestales, de la reforestación. Art. 194 Ámbito de aplicación; Art. 195-199 Definiciones; Art. 196, 197, 200 y 241 Medidas de protección y conservación; Art. 202 a 205 Áreas forestales.⁴⁷

 Art. 206 a 210 Áreas de reserva forestal; Art. 211 a 224 Aprovechamiento forestal

⁴⁶ Segundo dialogo internacional sobre la crisis mundial del agua. Op. Cit., p. 4

⁴⁷ MINAMBIENTE, Legislación.[Citado 11 de Mayo de 2012; 2:30].disponible en internet:<http://www.minambiente.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=991&conID=4490>

Decreto 877 de 1976. Usos del recurso forestal. Áreas de reservas forestales

Decreto 622 de 1977. Sobre Parques Nacionales Naturales PNN

Decreto 2787 de 1980. Reglamenta parcialmente el Decreto Ley 2811 de 1974

Ley 29 de 1986. Regula áreas de reserva forestal protectora

Resolución 868 de 1983. Sobre tasas de aprovechamiento forestal

Ley 139 de 1994. Crea el Certificado de Incentivo Forestal CIF

Ley 299 de 1995. Por la cual se protege la flora Colombiana.

Decreto 1791 de 1996. Régimen de aprovechamiento forestal y acuerdos regionales con este fin.⁴⁸

Documento Conpes 2834 de 1996. Política de bosques.

Decreto 900 de 1997. Reglamenta el Certificado de Incentivo Forestal CIF

Resoluciones del Ministerio del Medio Ambiente (INDERENA) y Corporaciones Autónomas Regionales. Establecen vedas de varias especies vegetales, a nivel nacional (INDERENA o Ministerio del Medio Ambiente), o regional (Corporaciones Autónomas Regionales).

Resolución 0316 de 1974-Resolución 213 de 1977. Veda indefinida de las especies vegetales: pino colombiano, hojarasco, molinillo, caparrapí y roble.⁴⁹

⁴⁸ Legislación. Minambiente. Op. Cit., p. 2

⁴⁹ Legislación. Minambiente. Op. Cit., p. 4

2.3. MARCO CONCEPTUAL

Amenaza: es la condición con el potencial de causar una consecuencia indeseable. Una descripción de la amenaza debe incluir las características de esta incluyendo su probabilidad de ocurrencia. Alternativamente la amenaza de probabilidad de que ocurra el evento en particular en un determinado tiempo.

Área de drenaje: En el área plana incluida entre su divisoria topográfica.

Cauce natural: es la faja de terreno que ocupa las aguas de esa corriente al alcanzar sus niveles máximos por efecto de las crecientes ordinarias y por lecho de los depósitos naturales.

Caudal: cantidad de agua que lleva una corriente.

Clima: abarca, entre otros, los valores meteorológicos sobre temperatura, humedad, presión, viento y precipitaciones en la atmosfera. Estos valores se obtienen con la recopilación de forma sistemática y homogénea de la información meteorológica, durante periodos que se consideran suficientemente representativos, de 30 años o más.

Cuenca: Una cuenca puede ser un accidente geográfico que supone una depresión en la superficie terrestre, un valle rodeado de alturas o un territorio cuyas aguas fluyen hacia un mismo mar, río o lago.

Densidad de drenaje: Relación entre la longitud total de los cursos de agua de la hoya y su área total.⁵⁰

Elementos de riesgo: Se incluye la población, edificios, obras de infraestructura, actividad económica, servicios públicos en el área potencialmente afectada por el evento.

Escorrentía: Parte del agua de precipitación que discurre por la superficie de la tierra hacia corrientes u otras aguas superficiales.

Forma de la hoya: Se relaciona con el tiempo de concentración, el cual es el tiempo necesario, desde el inicio de la precipitación, para que toda la hoya contribuya a la selección de la corriente en estudio.

Hidrograma: es un gráfico que muestra la variación en el tiempo de alguna información hidrológica tal como: nivel de agua, caudal, carga de sedimentos, etc. para un río, arroyo o canal, si bien típicamente representa el caudal frente al tiempo; esto es equivalente a decir que es el gráfico de la descarga (L^3/T) de un flujo en función del tiempo.

Inundación repentina: Es una inundación de corta duración que alcanza un caudal máximo.

⁵⁰ SUAREZ, N; CABRERA, J.2005. Modelamiento hidrológico para determinar riesgo de desbordamiento y socavación en la cuenca del río servita en el recorrido comprendido entre el municipio de Concepción y el puente Francisco Villamizar municipio de Enciso.

Lluvia de diseño: En el estudio de avenidas representa a la lluvia que genera un caudal extremo con determinado periodo de retorno. Es un patrón de precipitación definido que se utiliza en el sistema de un diseño hidrológico, este se define mediante un valor de altura de precipitación en un punto dado.⁵¹

Modelos hidrológicos: Son herramientas para el análisis de la precipitación, escorrentía, erosión, caudales y sedimentos. Los cuales por las características de vulnerabilidad de la cuenca, son necesarios para tomar decisiones y acciones.⁵²

Modelos de elevación digital (MED): El modelo de elevación digital consiste en una representación digital de altitudes, como las de la superficie terrestre, esta información según su origen puede ser almacenada en formato raster o vector para su posterior utilización. Los MED son mapas de entrada que se usan con mayor frecuencia en un SIG, sus aplicaciones más importantes son: despliegues tridimensionales de mapas, selección de perfiles, cálculo de pendientes, patrón de drenaje, a partir de fotografías aéreas o imágenes satelitales.

Morfometría: Forma de la cuenca que influye sobre los escurrimientos y sobre la marcha del hidrograma resultante de una precipitación dada. Está definida por tres tipos de parámetros: la forma del relieve y por los relativos a la red hidrográfica.

Numero de curva: Este método fue elaborado por la Soil conservation service y

⁵¹ SUAREZ, N; CABRERA, J.2005. Op. Cit., p. 28

⁵² Modelamiento Hidrológico. [Citado 12 de Mayo de 2012; 10:00].disponible en internet:http://www.portalcuencas.net/Virtual_Library/Files/Cuenca_Piura.pdf

se basa en la estimación directa de la escorrentía superficial de una lluvia aislada a partir de las características del suelo uso del mismo y de su cubierta vegetal.

Pendiente de la hoya: Controla la velocidad con que se da la escorrentía superficial y afecta, por tanto el tiempo que lleva el agua de la lluvia para concentrarse en los lechos fluviales que constituyen la red de drenaje de las hoyas.

Periodo de retorno (TR): Es tiempo transcurrido entre dos eventos consecutivos es decir entre dos observaciones de la muestra con un valor de ocurrencia X_i mayor o menor a valor dado. Un TR es un evento con X_i mayor o igual a X dado es el intervalo de recurrencia promedio entre eventos es decir, el tiempo promedio entre observación con X_i mayor a X dado.

Precipitación: Es resultado del enfriamiento de las masas de agua caliente saturadas de agua, las cuales, al perder temperatura por el ascenso a niveles superiores, se condensa formando pequeñas gotas, que se precipitan a la tierra en forma de lluvia; la precipitación es un fenómeno muy variable en el espacio y en tiempo.

Probabilidad de ocurrencia: Evento que se puede calcular por medio de datos históricos en el área de estudio o en áreas de características similares; por métodos empíricos basados en correlaciones de acuerdo con sistemas de clasificación.

Riesgo: es la ante un vulnerabilidad de "bienes jurídicos protegidos" posible o potencial perjuicio o daño para las personas y cosas, particularmente, para el medio ambiente.

Socavación: Es el descenso del fondo de un río cuando se presenta una avenida, debido a la mayor capacidad que tiene la corriente de transportar partículas en suspensión, partículas que toma del fondo del cauce.

Susceptibilidad: Expresa la facilidad con que el fenómeno puede ocurrir.

Talweg: Línea imaginaria formada por el conjunto de todos los puntos más bajos de un valle.

Tiempo de concentración (Tc): Tiempo transcurrido desde que una precipitación cae sobre el punto hidráulicamente más alejado de la salida de la cuenca hasta que dicha precipitación sale de la misma.

Tiempo de retorno (Tr): Es el tiempo entre el centro del hietograma y el flujo pico del hidrograma. Generalmente es el 60% del tiempo de concentración.⁵³

Tiempo base (Tb): Es el tiempo trascurrido desde el inicio hasta el final de la avenida en el hidrograma.

⁵³ SUAREZ, N; CABRERA, J.2005. Op. Cit., p. 35

Tiempo pico (Tp): Tiempo comprendido desde el comienzo de la avenida hasta el punto máximo.⁵⁴

Valores extremos: Son valores máximos o mínimos que se extraen de un conjunto de datos.

Sistema de información geográfica (SIG): Es la herramienta base del sistema de gestión, en ella se encuentra y se actualiza periódicamente la base de datos georeferenciados de la cuenca, la cual está a disposición de todos los actores, y se utiliza para tomar decisiones de ordenamiento territorial.

SISTEMA DE DRENAJE: Está constituido por el río principal y sus tributarios

SUELOS: Van a influir en el fenómeno de la escorrentía. Son importantes su naturaleza, su color y su tipo de vegetación. Entre más impermeable es el suelo más rápida es la escorrentía.⁵⁵

⁵⁴ SUAREZ, N; CABRERA, J.2005. Op. Cit., p. 40

⁵⁵ SALAZAR, D; CACERES, E.2005. Modelamiento hidrológico para determinar riesgo de desbordamiento en la cuenca del río Servita en el recorrido comprendido entre los municipios de Cerrito y Concepción en el departamento de Santander.

3. METODOLOGIA

El trabajo planteado se desarrollo teniendo la aplicación de una metodología que permitiera dar cuenta de manera sistemática y ordenada todos los datos recolectados a través de diversas herramientas metodológicas que se emplearon para el logro de los objetivos propuestos, utilizando para el desarrollo del proyecto como eje central la evaluación de la microcuenca.

3.1. LUGAR DE ESTUDIO

3.1.1. Delimitación espacial

El área donde se encuentra localizado el proyecto pertenece al departamento de Santander, provincia de García Rovira, municipio de Málaga. Este trabajo se desarrollo desde su afloramiento en la vereda Buenavista con coordenadas X1146452, Y1233159 hasta su desembocadura en el rio Servita con coordenadas X1151723, Y1230007.

La microcuenca de la Magnolia está ubicada en la zona media alta conectándose así: al Occidente con el Municipio de Molagavita, al Norte con la vereda de Pescadero, al sur con el Municipio de San José de Miranda y al Oriente con las Veredas del Guásimo y el Barzal.

Esta microcuenca se forma de la unión de las Quebrada La Magnolia y La Seca, ambas quebradas nacen al occidente del municipio, a 3050 m.s.n.m en las

veredas Buenavista y San Luis respectivamente; La Magnolia corre Sur-Este y La Seca en dirección Oeste – Este, uniéndose en territorio del casco urbano sobre los 2170 m.s.n.m., la quebrada continua con dirección al oriente hasta el río Servitá, donde desemboca a 1550 m.s.n.m. La quebrada La Magnolia atraviesa el sector sur del casco urbano, donde recibe el nombre de quebrada Chorrerón o Malagueña, uniéndose a la quebrada Seca en la margen izquierda de la vía a Capitanejo (carrera 6B). Abarcando tierras de las veredas Buenavista, San Luis, Guásimo (sector bajo), Pescaderito (pequeñas áreas de los sectores Pescaderito y Pantano Hondo) y el casco urbano.

3.2. TIPO DE METODOLOGIA

La investigación desarrollada en este proyecto se enmarca en una investigación de tipo descriptivo-analítico; donde se tienen presentes datos cualitativos y cuantitativos.

3.2.1. INTEGRACIÓN DE LA MUESTRA Y OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN

3.2.1.1. Población: la población objeto de estudio la constituye la microcuenca la Magnolia en la cual se realizo el análisis morfométrico y determinación de riesgos.

3.2.1.2. Muestra: la muestra objeto de estudio está representada por el tramo comprendido desde la vereda Buenavista hasta la desembocadura de la quebrada (Rio Servita) en el municipio de Málaga, Santander.

3.3. DISEÑO METODOLOGICO

El trabajo se ejecuto en fases, donde la comunidad aledaña al sector de la microcuenca tuvo una acción participativa con un enfoque descriptivo. Para este proyecto se requirió los siguientes ítems:

Fase 1. Instrumentos de recolección de información

Fase 2. Diagnostico de campo.

Fase 3. Analisis de suelos.

Fase 4. Análisis morfométrico.

Fase 5. Utilización de los diferentes software´s.

Fase 6. determinacion de socavación general.

Fase 7. Determinación de riesgos y planes de contingencia.

Fase 8. Encuesta, entrevistas y socializaciones.

3.3.1. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para la aplicación de la metodología se diseño por etapas teniendo en cuenta las técnicas investigativas requeridas para lograr el cumplimiento de los objetivos planteados para la realización de este estudio.

Para obtener información general de la zona objeto de estudio se acudió a la información cartográfica existente (cartas preliminares numero 136 - I - B, 136 – I - D; 136 – II - A y 136 – II - C del año 1962, Biblioteca Uis sede Málaga) con escala 1: 25000 y recopilación bibliografía que permitió determinar características generales de la microcuenca la Magnolia.

La obtención de información de campo se realizó con los siguientes implementos como: GPS, Estación total, kit de bastón con prisma reflector, Estacas (deltas), clavos, barra metálica, cronometro, cinta métrica, machete, paladraga, bolsa para muestra de suelo, juego de tamices, horno, lazos, cámara fotográfica, formulario de encuesta, planilla de campo, programas, computador entre otros.

Para efectos del procesamiento de la información de los datos de campo se utilizaron los siguientes software's: Map Source, Autocad 2010 y 2014, Civil CAD 2013, Arcgis 9.3, Excel 2010, SMADA, HEC- HMS y HEC RAS. Se tuvo en cuenta los datos pluviométricos basados en los valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas de las estaciones de Málaga y Molagavita, tomando en cuenta registros de con un rango de antigüedad desde la conformación de las misma hasta los últimos datos registrados en el IDEAM.

3.3.2. DIAGNÓSTICO DE CAMPO

Etapa 1. Una vez ya ubicados en el campo y apoyados en la cartografía se procedió al levantamiento topográfico de la microcuenca se realizó por medio de la del GPS teniendo en cuenta un PDOP igual a 3 para mayor exactitud, con el fin obtener coordenadas geográficas del área de estudio tomando lecturas cada 50 m aproximadamente en el recorrido desde su a posteriormente procesarlas en trabajo de oficina.

Etapa 2. Se realizó la inspección ocular de la microcuenca para analizar el estado en que se encuentra en aspectos como cobertura (vegetación representativa existente), fauna, uso actual del suelo, agua e interacción hombre y medio ambiente donde se efectuó la toma de datos para identificar la problemática que

se presenta. Esta descripción del lugar se realizó junto con evidencia fotográfica registrando las viviendas de la población aledañas y sitios de interés que están cerca del cauce principal. Complementando con imagen Landsat de Málaga obtenida de Google Earth (imagen actualizada en febrero de 2013) e imagen Spot 5m, las cuales permitieron corroborar la información obtenida.

Durante la etapa de diagnóstico de campo se interactuó con la comunidad donde comentaron algunos antecedentes sobre el comportamiento de esta quebrada.

3.3.3. ANÁLISIS DE SUELO

Etapa 1. Determinación de las características del suelo (propiedades físicas)

Se tomaron muestras de suelo de la microcuenca en puntos críticos de erosión con el fin de analizar las propiedades físicas como son: textura, tamaño de las partículas del suelo, clases de textura, estructura, densidad aparente, porosidad, consistencia, color, temperatura, drenaje natural, profundidad efectiva; para plantear alternativas de protección de las zonas susceptibles.

Análisis granulométrico por Mallas o tamices

En el laboratorio de suelos de la Universidad Industrial de Santander sede Málaga se procedió a tomar 500 g de suelo que posteriormente fue secado al horno a una temperatura de 103 ° C durante 24 h. Luego de ensamblados la serie de tamices número 8, 10, 30, 80, 100 y 200, se pulverizó y se pasó a través del tamiz N° 200 se colocaron en un agitador mecánico y se tamizó aproximadamente 10 minutos.

Enseguida, se retiraron la serie de tamices del agitador mecánico y se obtuvo el peso en gramos retenido en cada tamiz. Esto permitió calcular el porcentaje en cada tamiz dividiendo el peso retenido en cada uno de ellos por el peso de la muestra original (500 g).

Posteriormente se calculó el porcentaje que pasa (o el porcentaje más fino) comenzando por 100 % y se sustrajo el porcentaje retenido en cada tamiz como un proceso acumulativo.

Finalmente, se realizó una gráfica semi-logarítmica del tamaño de la partícula contra el porcentaje más fino; y se estableció un análisis para la curva de granulometría del suelo.

Este procedimiento se realizó para cada una de las muestras de suelos tomadas a lo largo de la microcuenca.

Tamaño de las partículas

La clasificación granulométrica de cada muestra se realizó por el método de mallas ordenadas de mayor a menor de diámetro de abertura, con estos datos se graficó escala semi-logarítmica en el eje de las x el tamaño de las aberturas de cada una de las mallas en mm y en el eje de las y el porcentaje de suelo que pasa en peso.

La identificación se realizó mediante el resultado obtenido del análisis granulométrico teniendo en cuenta los diámetros (D) característicos tales como D₁₀, D₃₀ y D₆₀. Las formulas que se emplearon son las siguientes:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} * D_{10}}$$

C_u= coeficiente de uniformidad

C_c= coeficiente de curvatura

D₆₀= tamaño tal que el 60% en peso, del suelo, sea igual o menor.

D₁₀= tamaño tal que sea igual o mayor, que el 10%, en peso, del suelo.

D₃₀= se define análogamente que los D₆₀ y D₁₀ anteriores.

✿ Clases de textura

Las clases de textura permitieron identificar grupos de suelos; mediante la clasificación del triangulo de textura de los suelos; los datos se obtuvieron de los resultados del análisis granulométrico por mallas o tamices.

En la determinación de clases de textura se tuvo en cuenta con relaciones lógicas entre textura y el comportamiento del suelo como se observa en el siguiente cuadro:

Cuadro 5. Clases de textura teniendo en cuenta parámetros.

| | | | | | |
|-----------|--------------------|-------------------|------------------|---|----------------------|
| ATRIBUTOS | SUELOS ARENOSOS | SUELOS DE TEXTURA | | | SUELOS ARCILLOSOS |
| | | FRANCA | FRANCO LIMOSA | - | |

Cuadro 5. (Continuación)

| | | | | |
|---|-------|--------------|----------|--------------|
| Capacidad de almacenamiento de nutrientes | Baja | Media | Media | Alta |
| Dificultad para el laboreo | Media | Baja | Moderada | Alta |
| Energía de retención de agua | Baja | | Media | Alta |
| Potencial de escorrentía | Bajo | Bajo a medio | Alto | Media a alto |
| Erosionabilidad por el viento | alta | media | baja | Baja |

Nombre de la fuente: PORTA, 2009

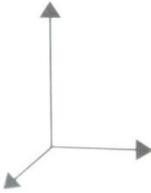
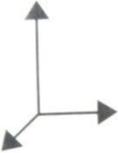
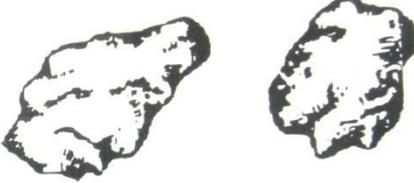
✿ Estructura

Para determinar la estructura se realizó el análisis de una muestra de suelo agrupada en forma de terrón para de este modo observar la forma como se unen y se ordenan estas partículas; una vez hecha dicha observación se definió el tipo de estructura a la que pertenece.

Cuadro 6. Clasificación de tipos de estructura

| TIPO DE ESTRUCTURA | DESCRIPCIÓN |
|--|---|
| <p>Laminar</p>  | <p>Heredada de materiales originarios depositados bajo el agua. También puede ser debido al impacto de las gotas lluvia (natural o procedente de aspersor) en suelos desnudos susceptibles a formar sello y su costra superficial por su estructura inestable. Impide la entrada de agua en el suelo (infiltración) y el movimiento vertical del agua, el aire y de las raíces. Dificulta la emergencia de las plántulas. Aumenta el volumen de agua de escorrentía superficial y, con ello, el riesgo de la erosión.</p> |

Cuadro 6. (Continuación)

| | |
|--|---|
| <p>Prismática</p>   | <p>Es debida a grietas de retracción verticales que aparecen en suelos con elevado contenido de arcilla (ya que al secarse desde la parte superior se genera este modelo de grietas que se van desarrollando en profundidad). Los prismas pueden presentar gran dureza cuando están secos, lo que impide que las raíces consigan entra a su interior, creciendo únicamente a favor de los espacios que dejan los prismas entre ellos. Típica de horizontes B.</p> |
| <p>Columnar</p>   | <p>Prismas rematados en la parte superior por una cúpula. Típica se suelos alcalinos.</p> |
| <p>Bloques angulares</p>   | <p>Aristas rectas y caras rectangulares. Frecuente en endopediones cambicos. Intersecciones curvas.</p> |
| <p>Bloques subangulares</p>  | <p>Aristas agudas y caras curvas. Típico de suelos de zonas semiáridas ya áridas pobres en materia orgánica. Frecuentemente en epipediones ocios y endopediones cambico y cálcico.</p> |
| <p>Granular compuesta</p> | <p>Es la estructura más favorable, por su estabilidad y el tamaño de sus huecos, que dejan circular el agua y el aire con facilidad. Típica de medios biológicamente activos ricos en cationes basificantes y materia orgánica.</p> |

Cuadro 6. (Continuación)

| | |
|---|---------------------------------------|
| <p>Migajosa</p>  | <p>Granular compuesta muy porosa.</p> |
|---|---------------------------------------|

Nombre de la fuente: PORTA, 2009

✿ Permeabilidad

Al obtener la estructura del suelo se determinó la permeabilidad del mismo, basados en el siguiente cuadro:

Cuadro 7. Clasificación de la permeabilidad según el tipo de estructura.

| ESTRUCTURA | PERMEABILIDAD |
|------------|----------------------|
| Prismática | Rápida |
| Columnar | Rápida |
| Bloque | Moderadamente rápida |
| granular | Moderada |
| laminar | Muy lenta |
| Migajosa | Muy rápida |

Nombre de la fuente: PORTA, 2009

✿ Densidad aparente (DA) del suelo

Se determinó por medio del método del terrón parafinado, en el cual se tomó un terrón de suelo indisturbado, se sujetó con un hilo delgado y se pesó el conjunto (A).

Luego se sumergió por varios segundos varias veces el terrón en una capsula de porcelana que contenía parafina liquida a 60 °C. (El terrón debe quedar impermeabilizado).

Se peso nuevamente el conjunto cuando estuvo frio (B). Luego se peso nuevamente el terrón parafinado sumergido en agua destilada (C).

Finalmente se determino la densidad aparente del suelo mediante el cálculo:

$$DA = \frac{A}{(B-C) - (B-A/F)}$$

F= Densidad de la parafina 0.899 g/cc.

✿ Porosidad

La porosidad permitió determinar el volumen del suelo que está ocupado por los espacios intersticiales o espacios porosos. Se calculo mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ VOLUMEN POROS} = 100 - \frac{\text{DENSIDAD APARENTE}}{\text{DENSIDAD REAL}} \times 100$$

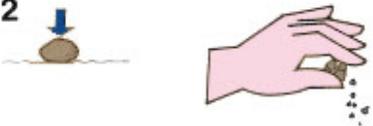
✿ Consistencia

Se realizo mediante un ensayo de campo para determinar la consistencia del

suelo seco:

El ensayo se efectuó cuando el suelo se seco al aire. Luego se trato de romper una pequeña cantidad de suelo seco, presionándola entre el pulgar y el índice o apretándola en la palma de la mano. Este procedimiento califico la consistencia del suelo seco de la siguiente manera:

Cuadro 8. Calificación muestra de suelo seco

| | |
|--|--|
| <p>0 Suelto: si el suelo no tiene coherencia (estructura de grano suelto)</p> |  |
| <p>1 Blando: si el suelo tiene débil coherencia y friabilidad, se deshace en polvo o granos sueltos bajo muy ligera presión</p> |  |
| <p>2 Ligeramente duro: si el suelo resiste una presión ligera, pero se puede romper fácilmente entre el pulgar y el índice;</p> |  |
| <p>3 Duro si el suelo resiste una presión moderada, apenas se puede romper entre el pulgar y el índice, pero se puede romper en las manos sin dificultad;</p> |  |
| <p>4 Muy duro: si el suelo resiste una gran presión, no se puede romper entre el pulgar y el índice, pero se puede romper en las manos con dificultad.</p> |  |
| <p>5 Extremadamente duro, si el suelo resiste una presión extrema y no se puede romper en las manos.</p> |  |

Nombre de la fuente: PORTA, 2009

✿ Color

El color del suelo sirvió como indicador de varias características; se

clasificación de acuerdo a los siguientes colores: colores oscuros, colores rojizos a pardos, y colores blancuzcos.

Temperatura

Para determinar la temperatura del suelo se introdujo un termómetro de 100 °C a escasos centímetros (5cm de profundidad aprox.) del suelo, se dejó durante un lapso de tiempo de 1 min para una estabilización del instrumento y permitir una lectura adecuada.

Las mediciones de temperatura se realizaron en la parte alta, media y baja de la microcuenca; en cada lugar establecido se obtuvieron 3 lecturas en un horario de 7 am, 12 pm y 5:30 Pm durante un día.

Drenaje natural

Con la información obtenida acerca de la textura, estructura, permeabilidad y perfil del suelo se determinaron los dos tipos de drenajes (interno y externo).

Profundidad efectiva

Se determinó la profundidad efectiva directamente en campo mediante observación transversal del terreno, utilizando cinta métrica e interpretando detalles del relieve. Las clases de profundidad se establecieron mediante el siguiente cuadro:

Cuadro 9. Clasificación de la profundidad efectiva

| DISTANCIA DESDE LA SUPERFICE | CALIFICATIVO |
|------------------------------|---------------------------|
| 0 a 50 cm | Superficial |
| 50 a 90 cm | Moderadamente superficial |
| >de 90 cm | Profundo |

Nombre de la fuente: TORRES, 2005.

3.3.4. ANÁLISIS MORFOMETRICO

Con ayuda del software Arc Map (Arcgis) se analizaron las diferentes características morfométricas:

Etapa 1. Analisis morfometrico por medio de sistemas de información geográfico (SIG).

Se hizo bajo los parámetros y características para el análisis de una microcuenca en cuanto a forma y relieve utilizando las formulas que a continuación se describen:

METODOS DE ANALISIS MORFOMETRICOS DEL AREA DE CAPTACION DE UNA CUENCA

Área: el área total de la microcuenca y las vertientes se calculo haciendo uso del software Arcgis 9.3 sobre el mapa base digitalizado; la microcuenca se clasifico según su área de acuerdo a los siguientes parámetros:

Cuadro 10. Clasificación de la unidad hidrológica.

| | |
|--------------------|------------------------------|
| Unidad hidrológica | menos a 5.0 km ² |
| Sector hidrológico | 5.0 a 20.0 Km ² |
| Microcuenca | 20.0 a 100.0 Km ² |
| Subcuencas | 100.0 a 300 Km ² |
| Cuenca | Mayor 300 Km ² |

Nombre de la fuente: HENAO, 2003

Perímetro y Longitud Axial: el perímetro o la línea envolvente del área de la microcuenca y la longitud axial se calcularon utilizando el software Arcgis 9.3 sobre el mapa base.

Ancho promedio: se determino dividiendo el área de la microcuenca por su longitud axial.

$$Ap = \frac{\text{area}}{\text{longitud axial}}$$

FORMA DE LA CUENCA

Cuadro 11. Parámetros de clasificación de la forma de la microcuenca.

| PARAMETRO | ECUACION | SIGNIFICADO |
|---------------------------|-------------------------------------|--|
| Factor forma | $Ff = \frac{Ap}{\text{Long axial}}$ | <p>Ff >1 cuenca achatada, tendencia a ocurrencia de avenidas.</p> <p>Ff <1 cuenca alargada, baja susceptibilidad a las avenidas</p> |
| Coeficiente de Compacidad | $Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$ | <p>Kc1: de 1 a 1.25 casi redonda a oval- redonda. Cuenca torrencial peligrosa.</p> <p>Kc2: de 1.25 a 1.50 oval redonda a oval – oblonga. Presenta peligros torrenciales, pero no</p> |

| | | |
|--|-----------------------------------|--|
| | | igual a la anterior. Kc3: de 1.50 a 1.75 oval – oblonga a rectangular-oblonga. Las cuencas que menos problemas de torrencialidad presentan. |
| Ancho máximo | | Tomado perpendicularmente a la longitud axial. |
| Índice de alargamiento | $I_a = \frac{L}{1}$ | <i>Ia</i> Pequeño: la cuenca es poco alargada, y su forma se asemeja a la de un cuadrado. Su red de drenaje se presenta en forma de abanico, bien conformada en talwegs elementales, el tramo de la red de drenaje constituido por el colector principal es corto. <i>Ia</i> Elevado: la forma tiende a buscar una forma rectangular. Le corresponde una red de afluentes cuya dirección de escurrimiento forma un ángulo pequeño con la del río principal. |
| Índice de homogeneidad | $I_h = \frac{S}{sz}$ | Complementa el resultado de la análisis que se deduce por el índice de alargamiento, de esta manera se puede definir si la cuenca tiene más o menos la forma de un cuadrado o rectángulo. |
| Índice Asimétrico | $A_d = \frac{A v \max}{A v \min}$ | Si A_d se acerca a la unidad, el drenaje se considera homogéneo de una vertiente a otra, pero si A_d es claramente mayor que la unidad, el talweg principal no se encuentra en el centro de la cuenca. |
| <p>Donde:</p> <p>A_p= ancho promedio</p> <p>Long axial= Longitud axial</p> <p>P= Perímetro</p> <p>A= Área</p> | | |

L= Longitud máxima de la cuenca = Longitud axial

l= Ancho máximo

S=Área de la cuenca

Sz= Superficie del rectángulo

A v máx.= Área vertiente mayor

A v min= Área vertiente menor

Cuadro 11. (Continuación)

Nombre de la fuente: TRAGSA, 1986.

PARAMETROS DE RELIEVE

Se determino elevación media, pendiente media de la microcuenca, pendiente media (método Horton), la curva hipsométrica, pendiente media de los cauces (método de Taylor- Schwarz).

Elevaciones o altitud de la cuenca

La elevación media se calculo mediante software en el plano del mapa base a escala 1:25000 con cada curva de nivel.

El procedimiento inicio con la medición de cada área entre curva y curva de nivel, para este estudio se tomaron las mediciones entre las cotas de 200 m, utilizándose la siguiente fórmula:

$$E = \frac{\sum ae}{A}$$

Donde:

E: elevación media

a: área entre un par de curvas de nivel

e: altitud media (rango entre curvas de nivel)

A: área de la cuenca

Curva hipsométrica

Se realizo de la siguiente forma: en un sistema de coordenadas, en el eje de las abscisas se coloco el porcentaje de área acumulada en cada isohipsa (curva de nivel), o las longitudes proporcionales a las superficies acumuladas proyectadas entre las isohipsas consecutivas y en las ordenadas, se coloco la altitud de cada una de las isohipsas o fajas altitudinales.

En la mitad del eje de las abscisas se levanto una perpendicular para cortar la línea del perfil de la cuenca en un punto x, a partir de ese punto se trazo una línea paralela al eje de las abscisas que corto el eje coordenado en el punto Y; el valor que se lee en el punto Y es la mediana de altitud.

Pendiente media

Se determino según dos métodos: el primero consiste en la Determinación de la pendiente del terreno se estimo bajo la siguiente fórmula:

$$S = \frac{NZ}{1}$$

N: número total de curvas de nivel atravesadas por líneas en esa dirección

Z: Intervalo entre curvas de nivel

1: Longitud total de líneas en esa dirección

El segundo método mediante la siguiente ecuación:

$$P_m = \frac{(P_1 * S_1) + (P_2 * S_2) + (P_3 * S_3) + (P_n * S_n)}{S_1 + S_2 + S_3 + \dots S_n}$$

P_m= pendiente media de la cuenca

P₁, P₂, etc = pendientes medias que caracterizan a las superficies S₁, S₂,etc, comprendidas entre curvas de nivel.

S₁, S₂= superficie entre curvas de nivel

La clasificación de la pendiente media se realizo teniendo encuentra los parámetros que aparecen en el siguiente cuadro:

Cuadro 12. Clasificación descriptiva de pendientes

| CLASIFICACION DE PENDIENTES | | |
|-----------------------------|------------|----------------------|
| Relieve | %Pendiente | Simbología de Clases |
| Plano | 0-8% | I |
| Ondulado | 8-16% | II |
| Levemente inclinado | 16-25% | III |
| Inclinado | 25-35% | IV |
| Abrupto | >35% | V |

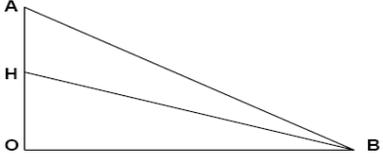
Nombre de la fuente: TRAGSA, 1986.

RELIEVE DE LA MICROCUENCA

Cuadro 13. Parámetros de clasificación del relieve de la Microcuenca

| Coeficiente de masividad de De Martonne | Coeficiente Orográfico |
|--|-------------------------------------|
| $Cm = \frac{\text{altura media}}{\text{área}}$ | $CO = H \times \text{tang } \alpha$ |

Cuadro 13. (Continuación)

| | |
|---|--|
| <p>Es el coeficiente de la división de la altura media del relieve por su superficie proyectada.</p> | <p>Donde: H: altura media Tang α: coeficiente de masividad</p> |
| <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="margin-right: 20px;">Altura</div>  <div style="margin-left: 20px;">Donde: $OH = \frac{OAB}{OB}$</div> </div> <p style="text-align: center;">Área en Km²</p> | |

Nombre de la fuente: TRAGSA, 1986.

METODOS DE ANALISIS MORFOMETRICOS DE LA RED DE DRENAJE DE UNA CUENCA

Clasificación de los tributarios

Se realizo mediante la clasificación de los tributarios según Horton, llamando escurrimiento de primer orden aquel que carece de tributarios; uno se segundo orden si el recibe al menos uno, o varios tributarios, del primer orden. Horton llama de tercer orden al talweg de tercer orden, al curso de agua que lo confluyen uno o varios afluentes segundo orden, pero él puede recibir directamente afluentes de primer orden y así sucesivamente hasta la corriente principal.

Se determino mediante las siguientes formulas:

Cuadro 14. Parámetros de clasificación de los tributarios

| PARAM ETRO | ECUACION | SIGNIFICADO |
|---------------|--------------------------|---|
| Ley de Horton | $rb = \frac{Nx}{Nx - 1}$ | $2 > rb < 5.9$ Presenta crecidas, picos elevados en el hidrograma, rapida recepción y elevado |

| | | |
|---|--------------------------------|--|
| | $N = \frac{rb(S - 1)}{rb - 1}$ | <p>arrastre de sólidos.</p> <p>$6 > rb < 8.9$ Menos propenso a crecidas, hidrograma menos pronunciado, arrastre de sólidos en suspensión y daños asociados al desbordamiento del caudal.</p> <p>$rb \geq 9$ crecidas en zonas planas, afectando grandes extensiones.</p> |
| Ley de longitudes medias de los ríos | $rl = \frac{lx}{lx - 1}$ | Se determino mediante la existente entre la longitud media de los ríos de un orden dado y la de los ríos del orden inmediatamente anterior. |
| Tercera ley de Horton. Densidad de drenaje | $Dd = \frac{Lx}{A}$ | <p>$Dd \leq 1$ Baja densidad. Zonas de alta resistencia a la erosión, alta permeabilidad del suelo, densa vegetación, relieve del 12 al 13%.</p> <p>$Dd = 1-3$ Media densidad. Se presenta en zonas de resistencia media a la erosión, baja permeabilidad, susceptible a erosión por cobertura vegetal escasa, material de arrastre solido, relieve ligeramente inclinado</p> <p>$Dd > 3$ Alta densidad. Se presenta en suelos de baja resistencia a ala erosión, baja capacidad de infiltración, poca permeabilidad, arrastre de material solido, baja capacidad de almacenamiento e infiltración, relieve abrupto, escasa cobertura vegetal y rápida concentración de escurrimiento.</p> |
| Frecuencia de talwegs de | $Fx = \frac{Nx}{A}$ | Ayuda a determinar el drenaje de la microcuenca. |

| | | |
|---|-----------------|---|
| una cuenca | | |
| Superficie umbral de escurrimiento | $A_0 = A^{1/S}$ | Es el área total mínima necesaria para que haya un gasto total que produzca un escurrimiento concentrado. |
| <p>Donde:</p> <p>Rb=relación de confluencias</p> <p>N=número total de ríos</p> <p>S=orden talweg principal</p> <p>Lx= longitud media de los ríos de orden X</p> <p>rL= relación de su longitud</p> <p>Dd: densidad de drenaje</p> <p>Nx= numero de ríos de orden x</p> <p>A=Área de la cuenca</p> | | |

Cuadro 14. (Continuación)

Nombre de la fuente: HENAO, 1998; RONDON 2000

METODOS DESCRIPTIVOS DE SISTEMAS HIDROGRAFICOS

Se determinaron bajos los siguientes parámetros:

Tipos genéticos de los ríos

- ✿ Río consecuente: cuando la localización de un río es el resultado de la pendiente original del terreno.
- ✿ Río subsecuente: es aquel que ha desarrollado su valle a lo largo del cinturón de rocas relativamente erodables.
- ✿ Río obsecuente: estos ríos son usualmente pequeños y su flujo es opuesto pendiente de la forma original del terreo. Son generalmente tributarios a la río subsecuente.

- ✿ Río resecaente: es un río que fluye en la misma dirección del consecuente, pero a un nivel más bajo, sobre una superficie desnuda.
- ✿ Río insecuente: es aquel que no ha tenido un control geológico; gran número de los ríos más pequeños, son propiamente clasificados como insecuente.
- ✿ Río súperimpuesto: aquel río que desarrolla su curso sobre roca en un depósito aluvial.
- ✿ Río antecedente: aquel que ha mantenido su curso a través de un elevado subsecuente.
- ✿ Río reverso: es un río que ha extendido su curso contrario, por la elevación o la inclinación de una región.

Grado de inclinación de un río

$$P_m = \frac{H}{L}$$

Donde:

P_m= Pendiente media

H= altura nueva

L=Long del río

Clasificación de las cuencas según el destino final de las aguas

Se clasifico teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- ✿ Exorreica: Cuando las aguas de la cuenca llegan al mar directamente por vía subsuperficial o subterránea
- ✿ Endorreica: También llamada cuenca lacustre o de evaporación. Es un territorio sin desagüe aparente, en que las aguas drenan hacia un lago y se pierden por evaporación.

- ✿ Arreica: Es la cuenca que no desemboca ni en el mar ni en un depósito interior, sino que sus aguas se pierden en el camino por evaporación o infiltración, sin que en este último caso se conviertan en corrientes subterráneas.

3.3.5. UTILIZACION DE LOS DIFERENTES SOFTWARE´S

3.3.5.1. Aplicacion de SMADA (Stormwater Managenement and Desing Aid)

La lluvia de diseño se determinó mediante el software SMADA al cual se le introdujeron los datos de precipitación máxima anual en 24 Hrs y los valores medios mensuales de precipitación en 24 Hrs de las estaciones que tiene influencia sobre la microcuenca (estación de Málaga y Molagavita), utilizando periodos de retorno de 25, 50, 100, 200, 250, 333.3, 500, 1000 años que son los propuestos para este estudio. Las tablas con los valores máximos y medios de precipitación.

Se analizaron estadísticamente mediante las funciones de probabilidad de Pearson Type III, Log Pearson Type III, y Gumbel Type I Extremal para los diferentes periodos de retorno mediante el Software Smada; el programa da representación gráfica de los resultados obtenidos por los tres(3) métodos seleccionados, luego se escogieron los datos arrojados por Gumbel Type I ya que estos tuvieron la menor dispersión. Con los datos obtenidos del SMADA influenciadas por cada una de las estaciones se obtuvo la precipitación máxima probable.

Se utilizó el método elaborado por U.S. Soil Conservation Service bajo un parámetro llamado número de curva (NC) que permite la estimación directa de la escorrentía superficial de una lluvia, a partir de la relación que existe entre la humedad antecedente y el complejo sistema de suelo-vegetación. El mapa de suelos se clasificó según tipo de suelo (A, B, C o D), se superpuso con el de coberturas e hidrológico para y posteriormente hallar el número de curva para cada sector. Estos valores están estipulados para la condición de tipo II.

En cuanto al Tiempo de Concentración (T_c) se calculó en minutos para cada uno de los sectores mediante las fórmulas propuestas por Bransby Williams, Kirpich's y Kerby's, seleccionando parámetros establecidos por el programa Tc Calculator para determinar coeficiente de rugosidad de cada uno de los sectores. Los datos obtenidos sirven para introducir en un parámetro que requiere el software HEC HMS en el modelo de la microcuenca.

3.3.5.2. Aplicación del HMS 3.4 (Hidrologic Modeling System)

Se determinó el caudal máximo con HEC HMS 3.4, teniendo en cuenta tres parámetros como lo son modelo de la cuenca, modelo meteorológico, control de especificaciones e hidrograma.

Modelo de la cuenca

Para el Modelo de la microcuenca fue necesario establecer gráficamente la distribución de los elementos hidrológicos dentro de los cuales están los drenajes, tramos comprendidos, juntas (sistema que recibe flujo de aguas de los drenajes anteriores a ellas), uniones y salidas, generando una representación de la microcuenca principal y los tributarios que fueron analizadas.

En cada uno de los elementos hidrológicos a establecer se introdujeron parámetros y atributos, los cuales fueron necesarios para el cálculo de la tasa de pérdida, transformación de la lluvia en escurrimiento y flujo base ya que son elementos fundamentales para modelar adecuadamente la microcuenca.

Tasa de pérdida: respecto al cálculo de las pérdidas se utilizó el método de la SCS (Soil Conservation Service), el cual requirió los parámetros del número de curva (condiciones) y el área (Km²).

Transformación: se utilizó el método de la SCS; que requiere cálculo del tiempo de concentración (Tc) en Min.

Flujo base: en este caso no se empleó, es decir se trabajó sin flujo base “No Base Flow”, debido a que su tamaño no es representativo, características de la microcuenca entre otros factores. Para el modelamiento de los cambios de flujo “Routing Method” se seleccionó el de Muskingum; el cual es útil este método para el seguimiento de avenidas.

Modelo meteorológico

Para simular la parte meteorológica, se tuvo en cuenta el porcentaje (%) de área de influencia de las estaciones (Málaga y Molagavita) para cada una de las subcuencas. Esto fue determinado mediante los polígonos de Thiessen, también interrelacionara la lluvia de diseño para la estación y diferente tiempo de retorno, los cuales se distribuirán según la curva de Huff (precipitación acumulada) durante

intervalos de tiempo especificados y las diferentes duraciones simuladas para una tormenta, además se incluyó la ubicación de las estaciones meteorológicas.

Respecto a los datos para la variación espacial se procedió a ubicar las estaciones meteorológicas que tienen influencia en el área de estudio (Málaga y Molagavita) por medio de coordenadas planas; esto se hizo mediante la triangulación por el método de polígonos de Thiessen, consiste en conectar las estaciones entre sí por medio de triangulación y luego levantarse perpendicularmente (mediatrices) en un punto medio de los catetos de cada uno de los triángulos que encierran el área de influencia hidrológica para cada estación en Km², estos datos del área se obtuvieron mediante el software Arcgis para cada sector (Sector 1, Sector 2, Sector 3, Sector 4 y Sector 5).

Control de especificaciones

En el control de especificaciones para el modelo se simuló una tormenta mediante intervalos de tiempo. La fecha seleccionada fue "01 May de 2014". Se fijó la hora de inicio (00:00) y finalización de la lluvia (12:00) del mismo día con intervalos de tiempo de 15 Min.

El modelamiento de la microcuenca fue creado para tres (3) y cuatro (4) horas con un periodo de retorno de 250 y 500 años (3Hr/Tr250 - 4Hr/Tr500 y 4Hr/Tr250 - 4Hr/Tr500); que son propuestos para este estudio.

Para la introducción de datos a este software HMS 3.4, se debe tener previamente los siguientes datos y cálculos:

Para la red de drenaje se obtuvieron bajando los datos del GPS mediante el programa Map Source con ayuda de cartas preliminares e imágenes satelitales y

con el modelamiento hidrológico el cual indica la cantidad de drenajes que contiene esta microcuenca; generando de esta manera un grafico o mapa indicando el área exacta en la cual se trabajo.

Los hidrogramas que arroja el software HEC HMS 3.4 muestra la tasa de caudal de agua en una función del tiempo y lugar determinado de la corriente describiendo unas características fisiográficas y climáticas relacionando factores como escorrentía, precipitación teniendo en cuenta la variación que se presenta en cuanto al tipo de suelo en la delimitación de los sectores, siendo un indicador de cobertura vegetal y capacidad de infiltración.

3.3.5.3. Aplicación del HEC RAS (River Analysis System)

Para realizar el levantamiento batimétrico del cauce como primera medida se obtuvo una detallada planificación y documentación previa, posteriormente se llevo la estación (equipo) a campo, se programo para obtener coordenadas con calidad y precisión para determinar profundidades y características del fondo; generando así secciones transversales cada 50 m a lo largo de la microcuenca; teniendo en cuanta llanuras de inundación a lado y lado del cauce.

Para el funcionamiento del HEC RAS se aportaron dos tipos de datos: geométricos y de caudales; el software permitió obtener los perfiles de inundación, pasando los datos batimétricos al programa, teniendo en cuenta el coeficiente de rugosidad el cual cambia dentro del área de la sección transversal. El HEC RAS prueba la aplicabilidad de la subdivisión según la rugosidad dentro de cada sección transversal del canal. El coeficiente de rugosidad o número de Manning de cada sección se obtuvo mediante la observación directa..

Cuadro 15. Valores para calcular el coeficiente de rugosidad de Manning

| FACTOR | DESCRIPCION DEL FACTOR | VALOR RECOMENDADO DE n | VALOR DETERMINADO |
|--|------------------------------------|------------------------|-------------------|
| Material del fondo del cauce | Suelo fino | 0.020 | n ₁ |
| | Roca | 0.025 | |
| | Arena o grava fina | 0.024 | |
| | Grava gruesa | 0.028 | |
| Irregularidad de secciones transversales | No hay irregularidades | 0.000 | n ₂ |
| | Irregularidades menores | 0.005 | |
| | Irregularidades moderadas | 0.010 | |
| | Irregularidades severas | 0.020 | |
| Cambio de secciones transversales | Gradual | 0.000 | n ₃ |
| | Ocasional | 0.005 | |
| | Muchos cambios | 0.010 a 0.015 | |
| Obstrucciones de grandes bloques en el cauce | Ninguno | 0.000 | n ₄ |
| | Menores | 0.010 a 0.015 | |
| | Apreciables | 0.020 a 0.030 | |
| | Severos | 0.040 a 0.060 | |
| Vegetación en el cauce | Baja | 0.005 a 0.010 | n ₅ |
| | Media | 0.010 a 0.020 | |
| | Alta | 0.025 a 0.050 | |
| | Muy alta | 0.050 a 0.100 | |
| n cauce recto= n ₁ + n ₂ + n ₃ + n ₄ + n ₅ | | | |
| Meandros y trenzas | Menores(sinuosidad 1 a 1.2) | 0.000 | n ₆ |
| | Apreciables (sinuosidad 1.2 a 1.5) | 0.15 x n cauce recto | |
| | Severas(sinuosidad de 1.5) | 0.30 x n cauce recto | |
| n total del cauce= n ₁ + n ₂ + n ₃ + n ₄ + n ₅ + n ₆ | | | |

Nombre de la fuente: Suarez, 2001.

3.3.6. DETERMINACIÓN DE SOCAVACIÓN

La socavación general de la quebrada se realizo para determinar el descenso del material del fondo del cauce cuando se presentan avenidas, debido a la capacidad que tiene la corriente de transportar partículas en suspensión que toma del cauce. La socavación puede ocurrir a todo lo largo y ancho durante el trayecto de una avenida.

El cálculo de la profundidad de la socavación se determina en puntos críticos de la microcuenca mediante la fórmula dada para suelos formados por materiales no cohesivos.

$$H_s = \left[\frac{\infty H_o^{5/3}}{0.68 dm^{0.28} B \varphi} \right]^{1/1+X} \quad \infty = \left[\frac{Qd}{Hm^{5/3} Be \mu} \right] \quad Hm \left[\frac{Area \text{ avenida}}{Be} \right]$$

Donde:

Hs: desnivel entre la superficie del agua(al pasar la avenida) y el fondo erosionado.

Ho: desnivel entre la superficie del agua al pasar la avenida y el nivel original del fondo del cauce medido antes de la avenida.

Hm: tirante medio medido entre la superficie del agua al pasar la avenida y el fondo original.

Be: ancho libre de la superficie al presentarse la avenida.

Qd: gasto de diseño

dm: diámetro medido si el material del fondo es friccionante.

ϕ : coeficiente que depende de la concentración del material transportado en suspensión.

X: es un exponente variable que está en función del peso volumétrico del dm del material seco en toneladas, el cual se encuentra considera en la cuadro, donde se indica el valor de la expresión $1/1+x$.

μ : Coeficiente que depende de la contracción del cauce.(cuadro)

Cuadro 16. Valores coeficiente de contracción

| Velocidad media en m/seg | LUZ LIBRE ENTRE DOS PILAS EN METROS | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 10 | 13 | 16 | 18 | 21 | 25 | 30 | 42 | 52 | 63 | 106 | 124 | 200 |
| Menor de 1 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 1.00 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 1.50 | 0.94 | 0.96 | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 1.00 | 1.00 |
| 2.00 | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.97 | 0.97 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 1.00 |
| 2.50 | 0.90 | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 1.00 |
| 3.00 | 0.89 | 0.91 | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.99 |
| 3.50 | 0.87 | 0.90 | 0.92 | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.99 |
| 4.00 o mayor | 0.85 | 0.89 | 0.91 | 0.92 | 0.93 | 0.95 | 0.95 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.99 |

Nombre de la fuente: Maza, 1967

Cuadro17. Valores de x para suelos no cohesivos.

| SUELOS NO COHESIVOS | | | | | |
|---------------------|------|-----------|---------|------|-----------|
| d(mm) | x | $1/(1+X)$ | d(mm) | x | $1/(1+X)$ |
| 0.05 | 0.43 | 0.70 | 40.000 | 0.30 | 0.77 |
| 0.15 | 0.42 | 0.70 | 60.000 | 0.29 | 0.78 |
| 0.50 | 0.41 | 0.71 | 90.000 | 0.28 | 0.78 |
| 1.00 | 0.40 | 0.71 | 140.000 | 0.27 | 0.79 |

Cuadro 17. (Continuación)

| | | | | | |
|-------|------|------|----------|------|------|
| 1.50 | 0.39 | 0.72 | 190.000 | 0.26 | 0.79 |
| 2.50 | 0.38 | 0.72 | 250.000 | 0.25 | 0.80 |
| 4.00 | 0.37 | 0.73 | 310.000 | 0.24 | 0.81 |
| 6.00 | 0.35 | 0.74 | 370.000 | 0.23 | 0.81 |
| 8.00 | 0.35 | 0.74 | 450.000 | 0.22 | 0.83 |
| 10.00 | 0.34 | 0.75 | 570.000 | 0.21 | 0.83 |
| 15.00 | 0.33 | 0.75 | 750.000 | 0.20 | 0.83 |
| 20.00 | 0.32 | 0.76 | 1000.000 | 0.19 | 0.84 |
| 25.00 | 0.31 | 0.76 | | | |

Nombre de la fuente: Maza, 1967

Cuadro 18. Valores de B en función de la probabilidad de que pueda presentarse el caudal de diseño.

| PROBABILIDAD (en % de que se presente el caudal de diseño) | COEFICIENTE |
|--|-------------|
| 100 | 0.77 |
| 50 | 0.82 |
| 20 | 0.86 |
| 10 | 0.90 |
| 5 | 0.94 |
| 2 | 0.97 |
| 1 | 1.00 |
| 0.3 | 1.03 |
| 0.2 | 1.05 |
| 0.1 | 1.07 |

Nombre de la fuente: Maza, 1967

3.3.7. DETERMINACIÓN DE RIESGOS Y PLANES DE CONTINGENCIA.

3.3.7.1. Determinación de riesgos

Con la información de campo que se extrajo durante los recorridos permitió identificar una serie de variables negativas que factores antropicos están ocasionando sobre coberturas, prácticas agrícolas, uso del suelo, manejo de residuos, deforestación, alteración de hábitats, sobrepastoreo entre otras, que como conjunto pueden llegar a alterar el comportamiento hidráulico de la microcuenca; una vez detectadas se procedió a plantear alternativas de solución para mitigar todos los efectos negativos que están presentando a través del tiempo.

Una vez obtenidos los perfiles de inundación mediante el programa HEC RAS se procedió a elaborar el mapa de zonificación de áreas susceptibles a riesgo por desbordamiento causados por avenidas, calificando estas zonas o áreas de acuerdo al grado real o potencial.

3.3.7.2. Planes de contingencia

Basados en esta información se formularon planes de contingencia para estos tipos de eventos (desbordamientos) teniendo en cuenta la población vulnerable. Aquí se describen acciones de mitigación para dar medidas a la problemática que actualmente se presenta.

3.3.8. ENCUESTA, ENTREVISTAS Y SOCIALIZACION

La elaboración y ejecución de la encuesta tuvo como fin determinar las pérdidas económicas, el uso actual de suelo y la ocurrencia en que se presentan estos

riegos a los habitantes aledaños a la zona y los que se ven afectados por estos desastres naturales (Habitantes del municipio).

La Entrevista se realizo para obtener una comunicación interpersonal establecida entre los investigadores y el sujeto de estudio a fin de conseguir respuestas verbales a los interrogantes planteados sobre el tema propuesto.

Posteriormente se realizaron los respectivos análisis en trabajo de oficina para obtener los datos arrojados por estas encuestas y entrevistas.

Las socializaciones se ejecutaron a las diferentes autoridades municipales y comunidad malagueña afectada por la microcuenca, se realizo con el fin de dar a conocer los resultados obtenidos en este estudio para determinar los riesgos y los planes de contingencia que se deben aplicar.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. APLICACIÓN Y TABULACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE CAMPO OBTENIDA

Con la información primaria y secundaria previamente obtenida se procedió a elaborar el respectivo mapa base (Anexo A) de la zona en donde se observa la delimitación general de la microcuenca la Magnolia sus respectivos drenajes y la subdivisión de los talwegs en cinco sectores (S1, S2, S3, S4 y S5) como se muestra en los (Anexo B); este se empleo para el desarrollo de las directrices enunciadas en el trabajo.

4.2. ANALISIS DEL DIAGNOSTICO DE CAMPO

Se obtuvo el levantamiento topográfico planimetrico mediante el equipo (Gps) para determinar representaciones graficas del terreno o mapas (Anexo C). Estos planos sirven como referencia en la ejecución del proyecto.

Foto 1. Mosaico diagnostico de campo de la microcuenca





4.2.1. Estado de la microcuenca

4.2.1.1. Coberturas

La elaboración de este mapa (Anexo D) permitió determinar el inventario de la cubierta biofísica (tipos de cobertura) de la superficie en estudio a partir de la interpretación visual de imágenes de satélite asistida por computador, apoyando con la información obtenida en las salidas de campo para la generación de una base del sitio. Los tipos de cobertura se estimaron bajo los parámetros establecidos por Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra, adaptado para Colombia (Anexo E); determinando lo siguiente:

Cuadro 19 .Tipos de Coberturas, área en Km² para cada cobertura, % de área y hectáreas (Has).

| TIPOS DE COBERTURAS | | | | |
|---|----------------------|-------------------------|-----------|-------|
| Descripción de Coberturas | Código de Coberturas | Área (km ²) | % de Área | Has |
| Tejido urbano continuo | 111 | 0.624 | 4.521 | 62.4 |
| Pastos limpios | 231 | 9.188 | 65.380 | 918.8 |
| Bosque denso alto de tierra firme | 31111 | 0.361 | 2.541 | 36.1 |
| Bosques fragmentados con bosques y cultivos | 3131 | 0.124 | 0.884 | 12.4 |

Cuadro 19. (Continuación)

| | | | | |
|---|-------|---------------|------------|---------------|
| Bosque de galería y ripario | 314 | 0.460 | 3.276 | 46 |
| Herbazal denso de tierra firme | 32111 | 0.327 | 2.331 | 32.7 |
| Mosaico cultivos, pastos y espacios naturales | 243 | 0.356 | 2.535 | 35.6 |
| Pastos enmalezados | 233 | 1.657 | 11.714 | 165.7 |
| Mosaico de pastos y cultivos | 242 | 0.353 | 2.517 | 35.3 |
| Cultivos y árboles plantados | 2242 | 0.113 | 0.809 | 11.3 |
| Mosaico de cultivos y espacios naturales | 245 | 0.189 | 1.346 | 18.9 |
| Laguna | 512 | 0.017 | 0.232 | 1.7 |
| Embalse | 5141 | 0.030 | 0.212 | 3 |
| Tabaco | 2214 | 0.068 | 0.475 | 6.8 |
| Maíz | 2122 | 0.162 | 1.225 | 16.2 |
| TOTAL | | 14.028 | 100 | 1402.8 |

Grafico 2. Porcentaje (%) de Área respecto a los tipos de coberturas, según nomenclatura de la Leyenda Nacional de Tierras adaptada para COLOMBIA



Foto 2. Mosaico tipos de coberturas encontradas en el área de estudio.



4.2.1.2. Uso actual del suelo

De acuerdo a los resultados arrojados por el tipo de cobertura y el apoyo de las evidencias fotográficas se determino el mapa del uso actual del suelo (Anexo F) mediante la interpretación visual asignando una clasificación de acuerdo a sus condiciones, dando como resultado los datos que se describen a continuación:

Cuadro 20. Clasificación uso actual del suelo y el área correspondiente a cada tipo.

| USO ACTUAL | | | | |
|---------------------|---------|-------------------------|-----------|---------|
| Clases | Símbolo | Área (Km ²) | % de Área | Has |
| Protección forestal | PT | 1.272 | 9.069 | 127.218 |
| Agrosilvopastoril | ASP | 0.964 | 6.873 | 96.420 |

Cuadro 20. (Continuación)

| | | | | |
|------------------------|-----|---------------|------------|---------------|
| Pecuario | PG | 7.834 | 55.844 | 783.381 |
| Silvopastoril | SP | 3.173 | 22.622 | 317.338 |
| Silvoagropecuaria | SA | 0.113 | 0.809 | 11.344 |
| Tejido urbano continuo | TUC | 0.624 | 4.45 | 62.420 |
| Embalse | E | 0.030 | 0.212 | 2.979 |
| Laguna | L | 0.017 | 0.121 | 1.700 |
| TOTAL | | 14.028 | 100 | 1402.8 |

Zonas de pastizales naturales o mejorados con pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), poa (*Poa pratensis*), falsa poa (*Holcus lanatus*) y carretón rojo (*Trifolium pratense*) permitiendo ganadería de tipo semi-extensiva y extensiva.

Grafico 3. Porcentaje (%) de Áreas correspondientes respecto al uso actual del suelo.

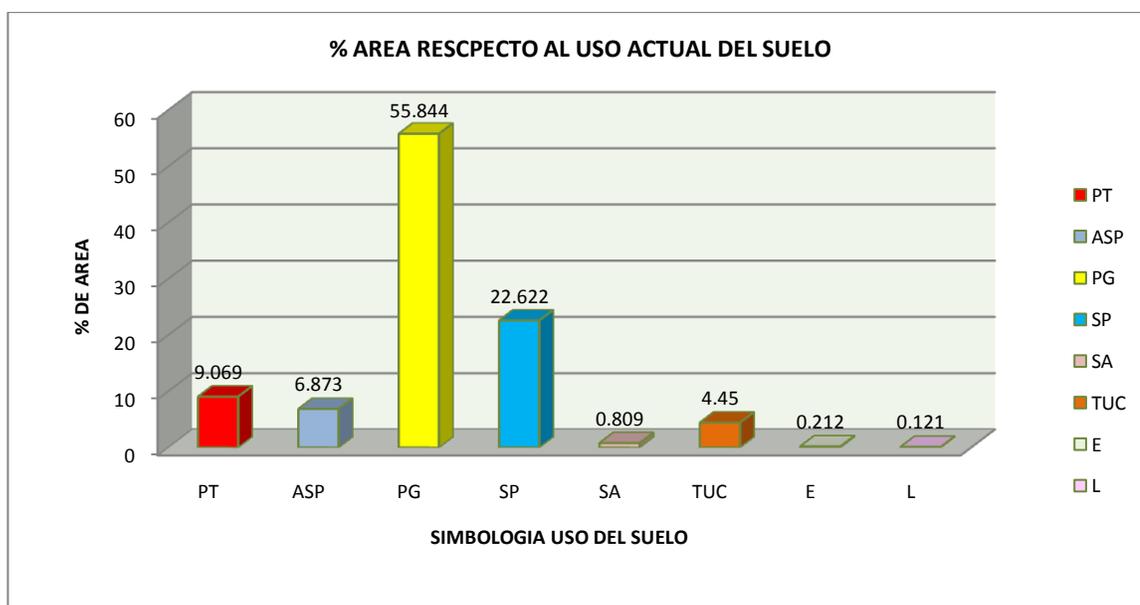


Foto 3. Uso actual del suelo.



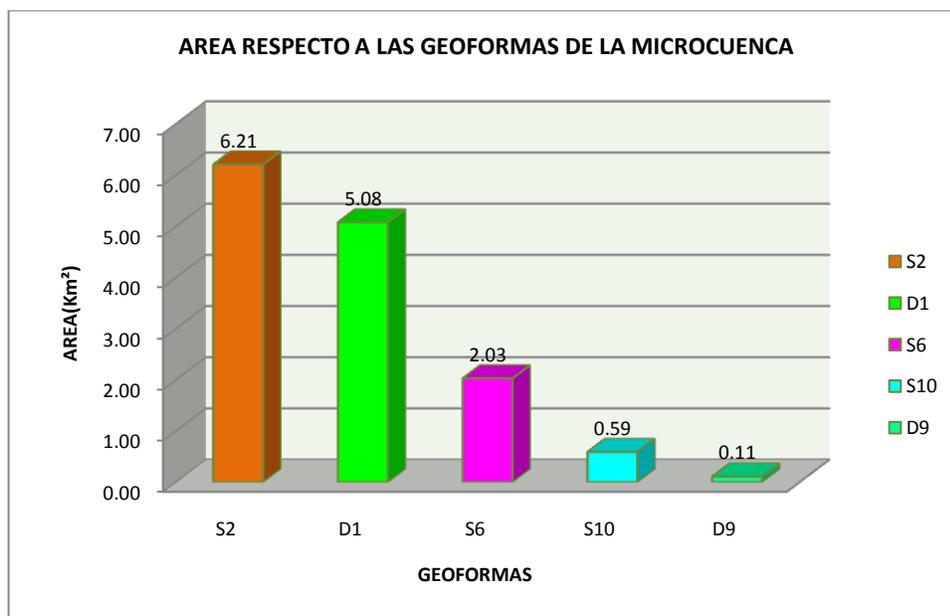
4.2.1.3. Geomorfología

Se estableció que la principal geoforma del área de estudio está constituida por topografía de lomas y vertientes onduladas y rizadas en la parte alta, seguido de colinas y pendientes en la parte media y baja de la microcuenca (cercano a la margen del río servita), cuestas, domos/ colinas residuales y una área pequeña de escarpes en la parte alta (Anexo G). La descripción de las geoformas se observa a continuación como se muestra en el cuadro y en el gráfico.

Cuadro 21. Descripción de las geoformas existentes en la zona de estudio.

| GEOMORFOLOGIA | | |
|--|-----------|-------------------------|
| Morfología-Morfodinamica | Geoformas | Área (Km ²) |
| Topografía de lomas y vertientes onduladas y rizadas | S2 | 6.21 |
| Colinas y pendientes | D1 | 5.08 |
| Cuestas | S6 | 2.03 |
| Domos/Colinas residuales | S10 | 0.59 |
| Escarpes | D9 | 0.11 |
| TOTAL | | 14.02 |

Grafico 4. Tipos de geoformas con su respectiva área.



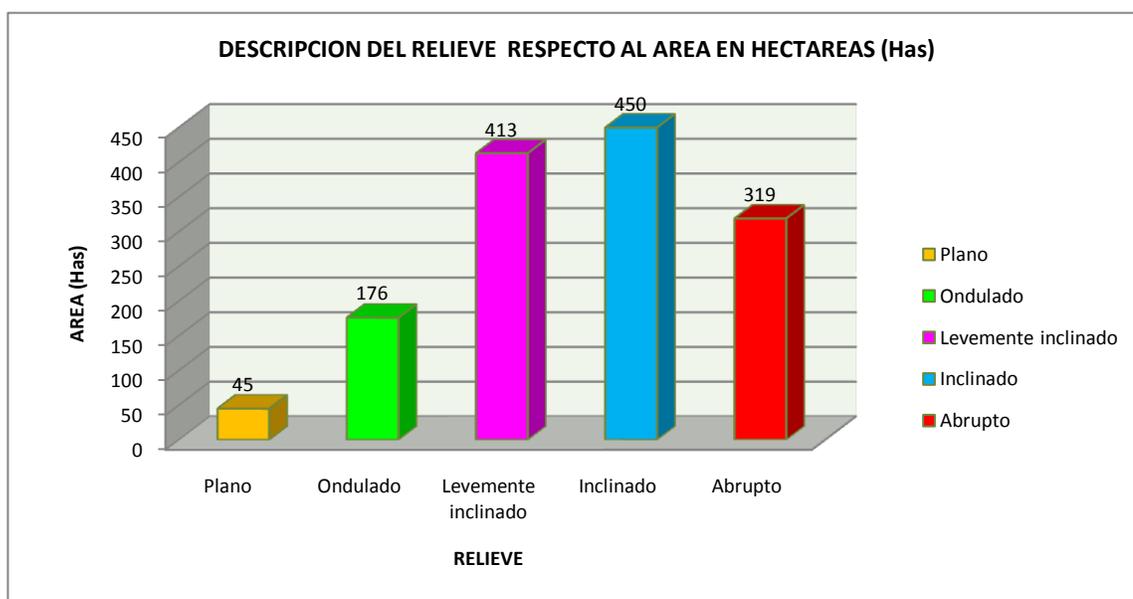
4.2.1.4. Pendientes

Los resultados obtenidos del mapa de pendiente (Anexo H) permiten observar claramente el tipo de relieve al que pertenece según la clasificación de pendientes en porcentaje (%), ubicando en el área de estudio las zonas donde se presentan pendientes que van desde las más bajas hasta las fuertes.

Cuadro 22. Clasificación de pendientes en porcentaje y área correspondiente a cada tipo de relieve.

| RELIEVE | % PENDIENTE | CODIGOS | AREA(Km²) | AREA (Has) |
|---------------------|-------------|---------|--------------|-------------|
| Plano | 0-8% | 1 | 0.45 | 45 |
| Ondulado | 8-16% | 2 | 1.76 | 176 |
| Levemente inclinado | 16-25% | 3 | 4.13 | 413 |
| Inclinado | 25-35% | 4 | 4.5 | 450 |
| Abrupto | >35% | 5 | 3.19 | 319 |
| TOTAL | | | 14.03 | 1403 |

Grafico 5. Tipos de relieve respecto al área total en ha



4.2.1.5. Uso potencial

Este mapa (Anexo I) representa las actividades que se pueden realizar según sean las condiciones y limitaciones naturales como el relieve, clima y suelos entre otras. Lo que se propone es el uso que la zona debería presentar y sumado con la información que proporciona el mapa de suelos (Anexo J), actual y pendiente determinan el uso real; los resultados del uso potencial se describen a continuación:

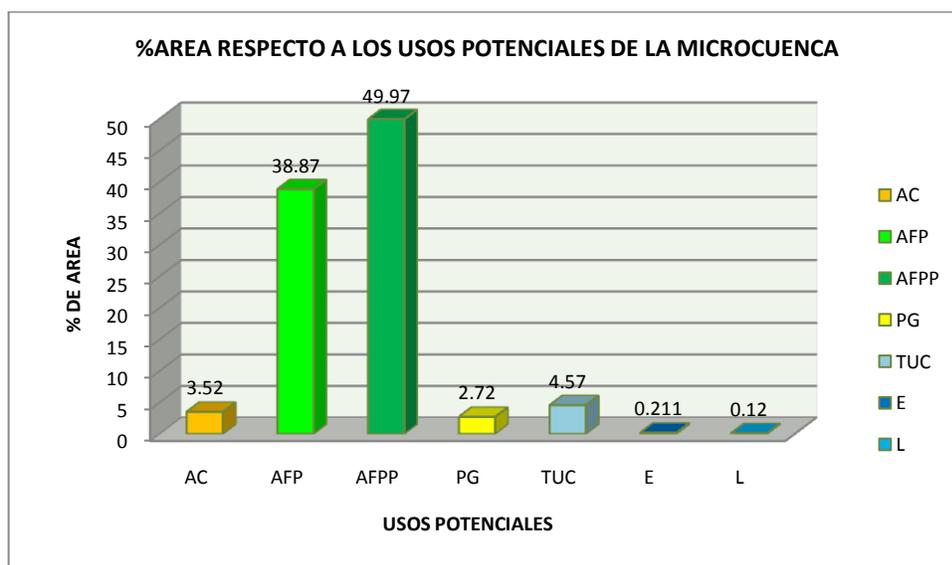
Cuadro 23. Uso potencial para la microcuenca y áreas correspondientes.

| USO POTENCIAL | CODIGO | AREA(Km ²) | Has | %AREA |
|-------------------------------------|--------|------------------------|--------|-------|
| Agrícola | AC | 0.494 | 49.4 | 3.52 |
| Área Forestal Protectora | AFP | 5.453 | 545.31 | 38.87 |
| Área Forestal Protectora-Productora | AFPP | 7.010 | 701.03 | 49.97 |

Cuadro 23. (Continuación)

| | | | | |
|------------------------|-----|---------------|-------------|------------|
| Pecuario | PG | 0.382 | 38.25 | 2.72 |
| Tejido Urbano Continuo | TUC | 0.642 | 62.42 | 4.57 |
| Embalse | E | 0.0297 | 2.97 | 0.211 |
| Laguna | L | 0.017 | 1.7 | 0.12 |
| TOTAL | | 14.028 | 1403 | 100 |

Grafico 6. Porcentaje de área respecto a los usos potenciales.



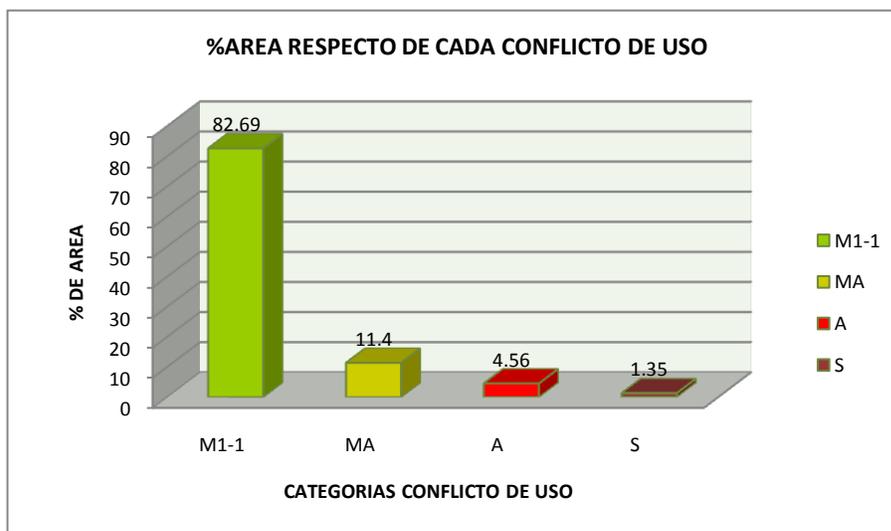
4.2.1.6. Conflicto de uso

Este resultado permitió analizar las relaciones mutuas entre las vocaciones de uso del suelo y el uso actual de las mismas. Cuando existe discrepancia entre los usos actuales y potenciales se presenta desequilibrio debido a que el uso actual no es el más adecuado, causando erosión y degradación del suelo, evidenciando los conflictos de uso. (Anexo K).

Cuadro 24. Áreas y porcentajes de las zonas en conflicto de uso.

| CARACTERISTICA | CATEGORIAS | AREA (km ²) | Has | %AREA |
|----------------|------------|-------------------------|-------------|------------|
| Muy Inadecuado | M1-1 | 11.6 | 1160 | 82.69 |
| Muy Adecuado | MA | 1.6 | 160 | 11.4 |
| Adecuado | A | 0.64 | 64 | 4.56 |
| Subutilizado | S | 0.19 | 19 | 1.35 |
| TOTAL | | 14.03 | 1403 | 100 |

Grafico 7. Porcentaje de área para cada categoría del conflicto de uso.



El área de conflicto de uso de la quebrada la Magnolia corresponde a 84.046% con respecto al área total de la microcuenca.

4.2.1.7. Flora y Fauna

Se identificaron especies vegetales y animales por sectores (parte alta, media y baja).

Cuadro 25. Vegetación y fauna existente en el área de estudio.

| SECTOR DE LA MICROCUENCA: PARTE ALTA COTA (3350-2400) | | |
|--|--------------------------------|------------------|
| VEGETACION | | |
| NOMBRE COMUN | NOMBRE CIENTIFICO | FAMILIA |
| Sauco | <i>Sambucus peruviana</i> | CAPRIFILOACEAE |
| Cedro | <i>Cedrela montana</i> | MELIACEAE |
| Roble | <i>Quercus humboldtii</i> | FAGACEAE |
| Alcaparro | <i>Adipera tomentosa</i> | CAESALPINIACEAE |
| Urapan | <i>Fraxinus chinensis</i> | OLEACEAE |
| Sauce | <i>Salix humboldtiana</i> | SALICACEAE |
| Cucharo | <i>Rapanea guianensis</i> | MYRSINACEAE |
| Pino patula | <i>pinus patula</i> | PINACEAE |
| Mortiño | <i>Hesperomeles goudotiana</i> | ROSACEAE |
| Loqueto | <i>Escallonia pendula</i> | ESCALLONIACEAE |
| Eucalipto comun | <i>Eucalyptus globulus</i> | MYRTACEAE |
| Cipres | <i>Cupressus lusitánica</i> | CUPRESSACEAE |
| Nogal | <i>Juglans neotropica</i> | JUGLANDACEAE |
| cordoncillo | <i>Piper sp</i> | PIPERACEAE |
| Aliso | <i>Alnus jorullensis</i> | BETULIACEAE |
| Eucalipto | <i>Eucalyptus grandis</i> | MYRTACEAE |
| Gaque | <i>Clusia multiflora</i> | CLUSIACEAE |
| Garrocho | <i>Viburnum triphyllum</i> | CAPRIFILOACEAE |
| Tobo | <i>Escallonia paniculata</i> | ESCALLONIACEAE |
| Laurel | <i>Myrica pubescens</i> | MYRICACEAE |
| Carbon | <i>Befaria resinosa</i> | ERICACEAE |
| Siete cueros | <i>Tibouchina lepidota</i> | MELASTOMATACEAE |
| Tuno | <i>Miconia squamulosa</i> | MELASTOMATACEAE |
| Palo santo | <i>Vochysra jefensis</i> | VOCHYSIACEAE |
| Uvo | <i>Ficus soatensis</i> | MORACEAE |
| Helecho marranero | <i>Pteridium aquilinum</i> | DENNSTAEDTIACEAE |
| Mora | <i>Rubus floribundus</i> | ROSACEAE |
| FAUNA | | |
| Siote | <i>Turdus fuscater</i> | THURDIDAE |
| Copetón | <i>Zonotrichia capensis</i> | EMBERIZIDAE |
| Toche | <i>Icterus crysater</i> | ICTERIDAE |
| Mirla | <i>Turdus merula</i> | TURDIDAE |
| Azulejo | <i>Thraupis episcopus</i> | THRAUPIDAE |
| Carpintero | <i>Campephilus rubricolis</i> | PSCITACIDAE |
| Ardilla | <i>Sciurus vulgaris</i> | ESCIURIDAE |
| Armadillo | <i>Dasyopus hovemcitus</i> | DASYPOIDEAE |
| Tinajo | <i>Agoutii paca</i> | DASYPROCTIDAE |
| Comadreja | <i>mustela nivalis</i> | MUSTELIDAE |
| Ratón de campo | <i>Apodemus sylvaticus</i> | MURIDAE |

| SECTOR DE LA MICROCUENCA: PARTE MEDIA COTA (2400-2100) | | |
|---|---------------------------|----------------|
| VEGETACION | | |
| NOMBRE COMUN | NOMBRE CIENTIFICO | FAMILIA |
| Loqueto | <i>Scallonia pendula</i> | ESCALLONIACEAE |
| Eucalipto | <i>Eucalyptus grandis</i> | MYRTACEAE |

Cuadro 25. (Continuación)

| | | |
|----------------|------------------------------|-----------------|
| Cordoncillo | <i>Piper sp</i> | PIPERACEAE |
| Sauce | <i>Salix humboldtiana</i> | SALICACEAE |
| Urapan | <i>Fraxinus chinensis</i> | OLEACEAE |
| Gaque | <i>Clusia multiflora</i> | CLUSIACEAE |
| Pino patula | <i>pinus patula</i> | PINACEAE |
| Tuno esmeraldo | <i>Miconia sp</i> | MELASTOMATACEAE |
| Chocho | <i>Erythina rubrinervia</i> | FABACEAE |
| Aliso | <i>Alnus jorullensis</i> | BETULIACEAE |
| Chusque | <i>Chusquea scundes</i> | POACEAE |
| Laurel | <i>Myrcia parvifolia</i> | MYRICACEAE |
| Garrocho | <i>Viburnum triphyllum</i> | CAPRIFOLIACEAE |
| Chilca | <i>Baccharis sp</i> | COMPOSITACEAE |
| Guayabo | <i>Psidium guajava</i> | MIRTÁCEAE |
| FAUNA | | |
| Siote | <i>Turdus fuscater</i> | THURDIDAE |
| Copetón | <i>Zonotrichia capensis</i> | PASSERIFORMES |
| Chulo | <i>Coragyps atratus</i> | CATHARTIDAE |
| Colibrí | <i>Colibri coruscans</i> | TROCHILIDAE |
| Toche | <i>Icterus crysater</i> | ICTERIDAE |
| Paloma torcaza | <i>Columba palumbus</i> | COLUMBIDAE |
| Pava | <i>Opisthocomus sp.</i> | OPISTHOCOMIDAE |
| Cernícalo | <i>Falco sparverius</i> | FALCONIDAE |
| Ardilla | <i>Sciurus vulgaris</i> | ESCIURIDAE |
| Armadillo | <i>Dasyopus hovemcitus</i> | DASYPOIDEAE |
| Conejo | <i>Oryctolagus cuniculus</i> | LEPORIDAE |

| SECTOR DE LA MICROCUENCA: PARTE BAJA COTA (2100-1550) | | |
|--|------------------------------|----------------|
| VEGETACION | | |
| NOMBRE COMUN | NOMBRE CIENTIFICO | FAMILIA |
| Loqueto | <i>Escallonia pendula</i> | ESCALLONIACEAE |
| Urapan | <i>Fraxinus chinensis</i> | OLEACEAE |
| Yatago | <i>Trichanthera gigantea</i> | ACANTHACEAE |
| Pino patula | <i>pinus patula</i> | PINACEAE |
| Eucalipto común | <i>Eucalyptus globulus</i> | MYRTACEAE |
| Borrachero | <i>Brugmansia sp</i> | SOLANACEAE |
| Sauce | <i>Salix humboldtiana</i> | SALICACEAE |
| Cordoncillo | <i>Piper sp</i> | PIPERACEAE |
| Ciprés | <i>Cupressus lusitánica</i> | CUPRESSACEAE |
| Cují | <i>Prosopis juriflora</i> | MIMOSACEAE |
| Chilca | <i>Baccharis sp</i> | COMPOSITACEAE |
| Caña brava | <i>Arundo donax</i> | GRAMINEAE |
| Caña flecha | <i>Gynerium sagittatum</i> | GRAMINEAE |
| Guayabo | <i>psidium guajava</i> | MYRTACEAE |
| Mamon | <i>Melicoccus bijugatus</i> | SAPINDACEAE |
| Higuerillo | <i>Ricinus communis</i> | EUPHORBIACEAE |
| Guayabo | <i>Psidium guajava</i> | MIRTÁCEAE |
| FAUNA | | |
| Conejo de monte | <i>Oryctolagus cuniculus</i> | LEPORIDAE |
| Fara | <i>Didelphis marsupialis</i> | DIDELPIDAE |

Cuadro 25. (Continuación)

| | | |
|----------------|------------------------------|---------------|
| Armadillo | <i>Dasyopus hovemcitus</i> | DASYPOIDEAE |
| Ardilla | <i>Sciurus vulgaris</i> | ESCIURIDAE |
| Zorro | <i>Chrysocyon brachyurus</i> | CANIDAE |
| Murciélago | <i>Pipistrellus Kuhlii</i> | CHIROPTERA |
| Lagartija | <i>Podarcis sp</i> | LACERTIDAE |
| Toche | <i>Icterus crysater</i> | ICTERIDAE |
| Copetón | <i>Zonotrichia capensis</i> | PASSERIFORMES |
| Paloma torcaza | <i>Columba palumbus</i> | COLUMBIDAE |
| Cucarachero | <i>Troglodytes musculus</i> | TROGLODYTIDAE |

4.2.1.8. Agua e interacción hombre-medio ambiente

La microcuenca la Magnolia en la parte alta es fuente hídrica que abastece los acueductos de la zona, otra parte es recolectada para el embalse que abastece a los habitantes del municipio de Málaga, el cual es administrado por la Empresas Públicas Municipales de Málaga, suministrando el recurso a un alto número de población.

Algunos sectores rurales se abastecen por medio de mangueras de polietileno captando aguas de regular o mala calidad en los diferentes afloramientos presentes en la zona para satisfacer algunas necesidades básicas, generando en muchas ocasiones problemas de salud.

4.2.1.9. Problemática ambiental de los residuos líquidos del municipio de Málaga

El municipio de Málaga produce residuos líquidos procedentes esencialmente del agua suministrada por la comunidad después de haber sido contaminada por los diversos usos a que han sido sometidas, son la combinación de líquidos o aguas portadoras de residuos procedentes de zonas residenciales, instituciones públicas. Así como de centros comerciales y pequeñas industrias, a las que eventualmente,

pueden agregarse aguas subterráneas, superficiales, pluviales e infiltraciones; Generando así una contaminación directa a la red hídrica debido al vertimiento de este tipo de residuos líquidos y sólidos. Los vertimientos de aguas negras o servidas por parte del municipio para este estudio se describen así:

Quebrada la Magnolia

Atraviesa en su recorrido la ciudad de occidente a sur y recibe todas las aguas de la parte occidental desde la línea parte aguas que pasa por el parque principal, atravesando el casco urbano y recibe las últimas descargas de aguas negras frente al barrio los Naranjitos.

Canalización Magnolia (Naranjitos)

Situada en el camino que comunica a Málaga con las veredas Guásimo y Barzal, esta canalización recibe las aguas de los barrios la Salle y Popular Modelo.

El Total de descarga o de vertimientos de aguas residuales del Municipio de Málaga es 1.18 lit /seg. Información suministrada por Empresas Públicas Municipales de Málaga. Los vertimientos domésticos, industriales y pluviales provienen de los siguientes sitios:

Quebrada Magnolia: Este vertimiento lo efectúan los habitantes que se encuentran entre las carreras 6A y 10 con las calles 1 y 12A.

Canalización Magnolia (Naranjitos): Este vertimiento lo realizan los habitantes ubicados entre las carreras 3 y 6A con calles 5A y 13A.

También es importante resaltar que en época de verano una parte del flujo es utilizada para labores pecuarias (consumo animal) y para sistemas de regadío en algunas fincas de las veredas Guasimo y Barzal destacando que lleva altos niveles de contaminación exponiéndose los productos agrícolas que se consumen.

4.2.1.10. Intervención individual del hombre

Las actividades del hombre en la microcuenca que conduce al aprovechamiento de los recursos naturales, afectan en diverso grado el sistema el sistema físico natural.

Este sistema tiene un margen de tolerancia a las alteraciones, dentro del cual no cambia su funcionamiento normal, sin embargo, existen actividades que producen alteraciones que no pueden ser eliminadas o compensadas con los medios del sistema físico natural.

Hay actividades que perturban de tal manera la acción natural reguladora del flujo que no pueden ser compensadas con respuestas naturales.

La destrucción de la vegetación arbórea (tala indiscriminada de especies), arbustiva y herbácea para la utilización agropecuaria afecta la cantidad de agua interceptada por el follaje, elimina la capa esponjosa superficial, limita el almacenamiento de agua en el suelo y subsuelo, facilita el escurrimiento superficial y la erosión, aumenta las crecidas en la época de lluvia y disminuye los volúmenes de agua en la época de sequía. Esta cadena de efecto constituye una perturbación irreversible si la utilización es prolongada. Si se abandona la actividad, la naturaleza tarda mucho tiempo en recuperar su funcionamiento normal, o se estabiliza el funcionamiento entorno a otra normalidad, o no se recupera y se produce un proceso de degradación ambiental en el área de influencia de la microcuenca.

Foto 4. Mosaico intervención del hombre en el área de la microcuenca.



4.3. DETERMINACION DEL ANÁLISIS DE SUELO

- Análisis granulométrico por Mallas o tamices (Textura). Anexo L.

Cuadro 26. Determinación de las características del suelo (propiedades físicas)

| CLASIFICACION GRANULOMETRICA | | | | | |
|------------------------------|------|------|------|--------------|----------------------|
| Muestra | D60 | D30 | D10 | $Cu=D60/D10$ | $Cc=D30^2/(D10*D60)$ |
| 1 | 1,5 | 0,31 | 0,06 | 25,00 | 1,06 |
| 2 | 0,38 | 0,25 | 0,06 | 6,33 | 2,74 |
| 3 | 0,8 | 0,18 | 0,06 | 13,33 | 0,68 |
| 4 | 0,19 | 0,09 | 0,05 | 3,80 | 0,85 |
| 5 | 0,3 | 0,14 | 0,06 | 5,00 | 1,08 |
| 6 | 0,4 | 0,13 | 0,05 | 8,00 | 0,84 |
| 7 | 1,2 | 0,2 | 0,06 | 20,00 | 0,55 |
| 8 | 2,28 | 0,7 | 0,18 | 12,66 | 1,19 |
| 9 | 1,5 | 0,3 | 0,05 | 30,00 | 1,20 |

Los resultados indican que los suelos son poco uniformes ya que todos presentan un Cu mayor que tres (3); la relación Cc es de cero (0) a tres (3) lo cual significa que estos suelos son bien graduados con un amplio margen de tamaños de partículas y cantidades apreciables de cada tamaño intermedio. Ver graficas semi-logaritmicas (Anexo M).

Foto 5. Mosaico obtención muestras y determinación del análisis de suelos.



☀ Textura

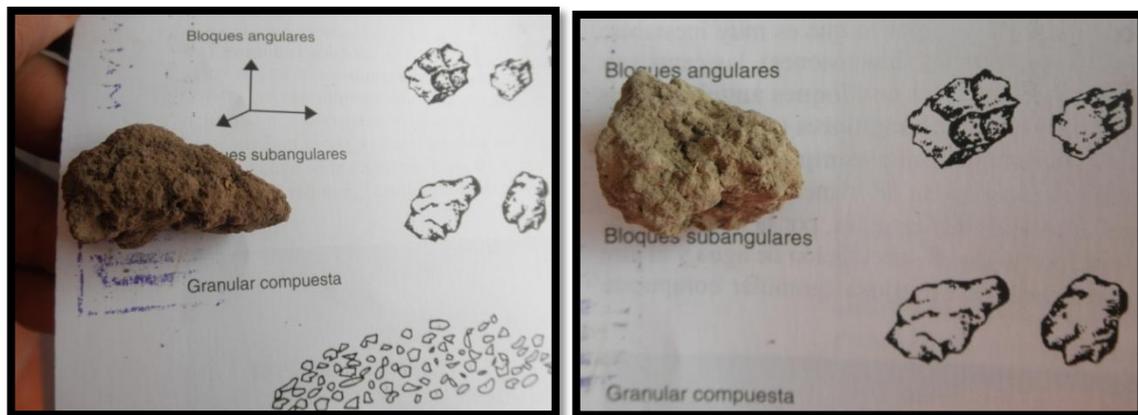
Según los datos obtenidos por el análisis granulométrico se pudo determinar que los suelos en su gran mayoría poseen una textura Franco-Arenoso y Franco arcilloso en menor proporción; por tanto se puede decir que estos suelos presentan una capacidad de almacenamiento media, dificultad para el laboreo baja, potencial de escorrentía de bajo a medio y una erosionalidad por el viento media.

☀ Estructura

Cuadro 27. Estructura para cada muestra de suelo

| MUESTRAS | TIPOS DE ESTRUCTURAS |
|-----------|----------------------|
| Muestra 1 | Granular Compuesta |
| Muestra 2 | Granular Compuesta |
| Muestra 3 | Bloques Angulares |
| Muestra 4 | Columnar |
| Muestra 5 | Bloques Subangulares |
| Muestra 6 | Bloques Subangulares |
| Muestra 7 | Bloques Subangulares |
| Muestra 8 | Bloques Subangulares |
| Muestra 9 | Migajosa |

Foto 6. Clasificación de los tipos de estructura para cada muestra de suelo.



✿ Permeabilidad

Determinada la estructura del suelo se puede decir que estos suelos presentan una permeabilidad rápida en estructura columnar, moderadamente rápida en bloques, moderada en granular y muy rápida en estructura migajosa.

✿ Densidad aparente (DA) del suelo

Para determinar la densidad aparente se utilizo la siguiente ecuación:

$$DA = \frac{A}{(B-C) - (B-A/F)}$$

Cuadro 28. Densidad aparente para cada muestra de suelo.

| MUESTRAS DE SUELO | | | | |
|--|---------|--------|--------|------------|
| N° MUESTRA | A | B | C | DA |
| Muestra 1 | 12.2 g | 12.5 g | 2.5 g | 1.262 g/cc |
| Muestra 2 | 16.7 g | 17.9 g | 2.5 g | 1.187 g/cc |
| Muestra 3 | 6.2 g | 7 g | 1.4 g | 1.316 g/cc |
| Muestra 4 | 6.5 g | 7.35 g | 2.4 g | 1.345 g/cc |
| Muestra 5 | 19.55 g | 21.5 g | 3 g | 1.197 g/cc |
| Muestra 6 | 6 g | 6.3 g | 1.41 g | 1.316 g/cc |
| Muestra 7 | 6.25 g | 6.8 g | 1.37 g | 1.297 g/cc |
| Muestra 8 | 7.7 g | 8.1 g | 2.1 g | 1.386 g/cc |
| Muestra 9 | 6.5 g | 6.9 g | 1.47 g | 1.303 g/cc |
| F(Densidad de la parafina) =0.899 g/cc | | | | |

La densidad aparente del suelo es la relación entre la masa (secada al horno) de las partículas del suelo y el volumen total incluyendo el espacio poroso que ocupan; refleja el contenido total de porosidad en un suelo y es importante para el manejo del suelo (revelando la compactación y facilidad de circulación de agua y aire). Estos suelos indican que son de textura franca ya que los valores que arrojan

en los resultados oscilan entre 1.0 y 1.3 los cuales son propios de esta clase textura.

Foto 7. Mosaico determinación de la densidad en laboratorio.



✿ Porosidad

Cuadro 29. Pesaje para cada submuestra.

| | SubM1 (g) | SubM2 (g) | SubM3 (g) | SubM4 (g) | SubM5 (g) | SubM6 (g) | SubM7 (g) | SubM8 (g) | SubM9 (g) |
|-------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| Payss1 | 106.2 | 100.9 | 94.6 | 98.4 | 97.7 | 91.5 | 94.4 | 106.7 | 132 |
| Payss2 | 102.3 | 109.4 | 96.6 | 100 | 94.7 | 93 | 97.3 | 102 | 137.3 |
| PROM | 104.25 | 105.15 | 95.6 | 99.2 | 96.2 | 92.25 | 95.85 | 104.35 | 134.65 |

Cuadro 30. Porcentaje de volumen de poros para cada submuestra.

| SUBMUESTRAS | PSS (g) | DR(g/cc) | %V POROS |
|-------------|---------|----------|----------|
| SubM1 | 72.25 | 3.836 | 67.109 |
| SubM2 | 73.15 | 3.884 | 69.444 |
| SubM3 | 63.6 | 3.377 | 61.037 |
| SubM4 | 67.2 | 3.568 | 62.311 |
| SubM5 | 64.2 | 3.409 | 64.891 |
| SubM6 | 60.25 | 3.199 | 58.870 |
| SubM7 | 63.85 | 3.390 | 61.750 |
| SubM8 | 72.35 | 3.842 | 63.927 |
| SubM9 | 102.65 | 5.451 | 76.097 |

$Va = \pi * r^2 * h$
 Va=18.83 g
 r²=1.905 cm
 h=5 cm
 Va=volumen del anillo en g (Pvc)
PSS=Payss-Pa
 PSS=Peso del suelo seco
 Payss=Peso del anillo y peso seco en g
 Pa=Peso del anillo
 Pa(Pvc)= 32 g
DR=PSS/Pa
 DR= Densidad real g/cc

La porosidad varía con la textura del suelo, la estructura del suelo, la cantidad de materia orgánica y la variación. Estos suelos muestran que la granulación y el espacio poroso total son elevados debido a los espacios entre las partículas individuales; estos valores elevados indican la presencia de materia orgánica y suelos de tierras de pastoreo.

Foto 8. Registro de pesos de las submuestras.



✿ Consistencia

Estos suelos se clasifican en ligeramente duro y duro al aplicarles una presión ligera; indicando que para el caso de suelos de grano grueso la textura y la forma de ubicación de las partículas dentro la masa de suelo determina la consistencia, mientras que en los suelos finos el contenido de humedad el agua contribuye a la cohesión. En general, con un contenido de humedad decreciente los suelos pierden su adherencia y plasticidad y se vuelven desmenuzables, blandos y, cuando se secan se hacen duros y coherentes.

✿ Color

El color del suelo refleja varias características así como condiciones pasadas y presentes. Estos suelos están determinados generalmente por un revestimiento de partículas muy finas de materia orgánica humificada observándose una coloración oscura y colores amarillos, pardos y rojizo

Foto 9. Tonalidades de las muestras de suelos y su respectiva identificación.



☀ Temperatura

Cuadro 31. Registros de temperatura en la parte alta, media y baja.

| PARTE ALTA Altura:2850 m.s.n.m Coordenada: X1145809.067 Y1233537.99 | | PARTE MEDIA Altura:2260 m.s.n.m Coordenada: X1148074.96 Y1232806.052 | | PARTE BAJA Altura:1750 m.s.n.m Coordenada: X1150706.822 Y1231256.524 | |
|---|---------------------|--|---------------------|--|---------------------|
| Hora | Temperatura (°C) | Hora | Temperatura (°C) | Hora | Temperatura (°C) |
| 7:00 am | 10 | 7:00 am | 12 | 7:00 am | 15 |
| 12:00 pm | 22 | 12:00 pm | 27 | 12:00 pm | 28 |
| 5:30 pm | 17 | 5:30 pm | 19 | 5:30 pm | 20 |

Foto 10. Determinación de la temperatura con termómetro.



☀ Drenaje natural

Este se clasifico en interno y externo. El drenaje interno varía entre medio y rápido, lo cual se pudo establecer con los parámetros anteriormente mencionados (textura, estructura, permeabilidad y pendiente), en cuanto al drenaje externo este es rápido debido a que el agua escurre rápidamente al momento de llegar al suelo; el otro se mueve a través de perfiles de esta zona, ya que su topografía es ondulada y zonas de colinas y pendientes generando un alto grado de peligro de erosión.

☀ Profundidad efectiva

Después de observar los diferentes perfiles que se analizaron se pudo distinguir con facilidad las diferentes capas de suelos a diferente profundidad, estas capas u horizontes difieren unas de otras en forma más o menos notable.

En las fotografías que a continuación se muestran con perfiles característicos de la zona de estudio, vale la pena anotar también que estos perfiles varían por tal razón no se pueden generalizar, ya que las profundidades de la capa orgánica del suelo y la profundidad efectiva cambia notablemente de un sitio a otro lo cual va desde moderadamente superficial en zonas altas y una pequeña proporción de zona media, hasta profundo en la parte baja de la microcuenca ya que los valores mediciones dan mayores de 90 cm.

Foto 11. Perfiles de suelo característicos.



4.4. DETERMINACION DEL ANALISIS MORFOMETRICO

4.4.1. CALCULOS MORFOMETRICOS GENERALES DE LA MICROCUENCA

Cuadro 32. Datos generales de la microcuenca la Magnolia

| PARAMETRO | RESULTADO |
|----------------------|--------------------|
| Ubicación nacimiento | X1146452 Y 1233159 |

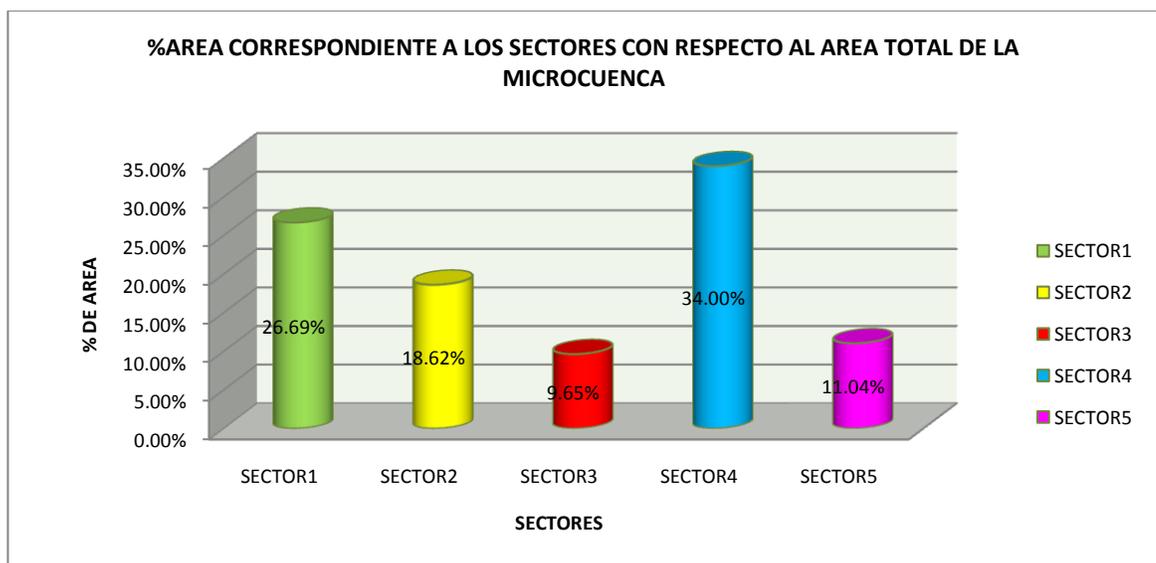
Cuadro 32. (Continuación)

| | |
|------------------------------|------------------------|
| Ubicación desembocadura | X1151723 Y 1230007 |
| Orientación | W – E (Oeste – Este) |
| Área | 14.028 km ² |
| Perímetro | 19 km |
| Longitud axial | 7.265 Km |
| Longitud del cauce principal | 8.522 Km |
| Ancho máximo | 3.814 km |
| Área vertiente mayor | 7,605 km ² |
| Área vertiente menor | 6.433 km ² |

Cuadro33. % área correspondiente a las subcuencas (sectores) respecto al área total

| SECTORES | AREA(Km) ² | % DEL AREA TOTAL |
|--------------|-----------------------|------------------|
| Sector 1 | 3.743 | 26.687 |
| Sector 2 | 2.612 | 18.621 |
| Sector 3 | 1.353 | 9.646 |
| Sector 4 | 4.771 | 34 |
| Sector 5 | 1.549 | 11.043 |
| TOTAL | 14.028 | 100 |

Grafico 8. Datos porcentaje de área correspondiente a los sectores



4.4.2. Características morfométricas

Cuadro 34. Cálculos forma de la cuenca

| PARAMETRO | ECUACION | RESULTADO |
|---------------------------------|---|------------|
| Factor Forma (Ff) | $Ff = \frac{1,93 \text{ km}}{7,265 \text{ km}}$ | Ff = 0,265 |
| Coefficiente de Compacidad (Kc) | $Kc = \frac{19 \text{ km}}{2 \sqrt{\pi(14,028 \text{ km}^2)}}$ | Kc = 1,43 |
| Índice de alargamiento (Ia) | $Ia = \frac{7,265 \text{ km}}{3,814 \text{ km}}$ | Ia = 1.90 |
| Índice de homogeneidad (Ih) | $Ih = \frac{14.028 \text{ km}^2}{7,265 \text{ km} \times 3,814 \text{ km}}$ | Ih = 0.51 |
| Índice Asimétrico (Ad) | $Ad = \frac{7,605 \text{ km}^2}{6.433 \text{ km}^2}$ | Ad = 1.182 |

El factor forma siendo el valor obtenido igual a 0.265; o sea un factor bajo.

El coeficiente de compacidad arroja un valor de 1.43, lo cual muestra que está entre una clase de forma Kc2 indicando que la forma de la cuenca es Oval redonda a oval-oblonga. Indicando que presenta peligros torrenciales.

El índice de alargamiento da un valor de 1.90, se deduce que tiende a buscar una forma rectangular correspondiendo a una microcuenca alargada.

Para el I índice de homogeneidad se obtiene un valor de 0.51; este valor complementa el resultado del análisis que se deduce por el índice de

alargamiento. De esta manera se puede definir que la microcuenca tiene más o menos la forma de un rectángulo.

Se puede observar que el índice asimétrico es de 1.182 por lo cual se puede concluir que presenta un valor mayor que la unidad, el Talweg principal no se encuentra en el centro de la cuenca; presumiéndose así un recargo de la red de drenaje hacia una de las vertientes.

4.4.3. ESTIMACION PARAMETROS DE RELIEVE

4.4.3.1. Elevaciones o altitud de la cuenca

✿ Altitud media

Cuadro 35. Altitud media

| COTA INFERIOR | COTA SUPERIOR | ALTITUD MEDIA (e) | AREA (Km ²) (a) | a * e | (a * e)/A |
|-----------------|---------------|-------------------|------------------------------|---------|-----------|
| 1500 | 1600 | 1550 | 0.043 | 66.65 | 4.75 |
| 1600 | 1800 | 1700 | 0.249 | 423.30 | 30.17 |
| 1800 | 2000 | 1900 | 0.580 | 1102 | 78.55 |
| 2000 | 2200 | 2100 | 1.316 | 2763.6 | 197 |
| 2200 | 2400 | 2300 | 1.511 | 3475.3 | 247.74 |
| 2400 | 2600 | 2500 | 2.294 | 5735 | 408.82 |
| 2600 | 2800 | 2700 | 2.638 | 7122.6 | 507.74 |
| 2800 | 3000 | 2900 | 2.540 | 7366 | 525.09 |
| 3000 | 3200 | 3100 | 2.270 | 7037 | 501.63 |
| 3200 | 3350 | 3275 | 0.587 | 1922.42 | 137.04 |
| Elevación media | | | | | 2638.53 |

La elevación media para la microcuenca según el método de área elevación es de 2638.53 m.s.n.m.

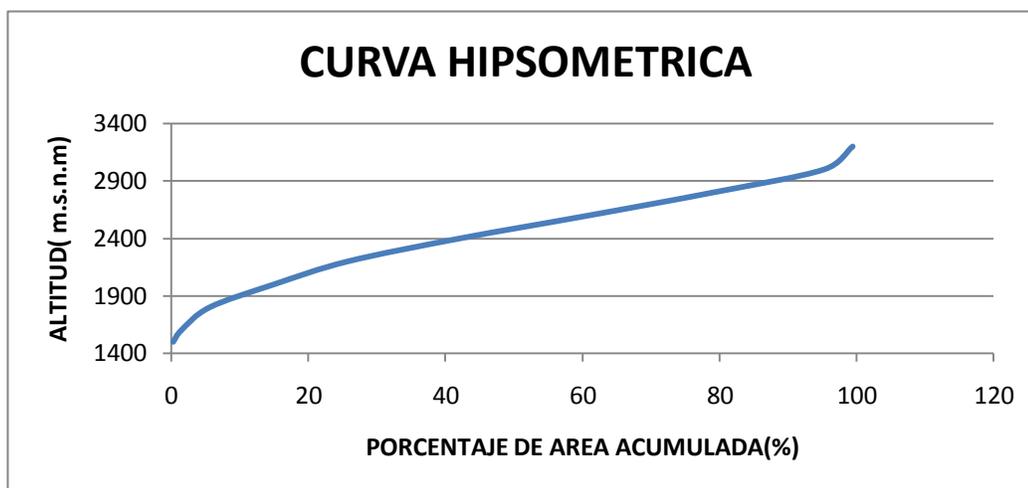
✿ Mediana de altitud

Cuadro 36. Mediana de altitud

| COTA INFERIOR | COTA SUPERIOR | ALTITUD MEDIA (e) | AREA (Km ²) (a) | %DEL TOTAL | ACUMULADA |
|---------------|---------------|-------------------|-----------------------------|------------|-----------|
| 1500 | 1600 | 1550 | 0.043 | 0.306 | 0.306 |
| 1600 | 1800 | 1700 | 0.249 | 1.775 | 1.480 |
| 1800 | 2000 | 1900 | 0.580 | 4.134 | 5.615 |
| 2000 | 2200 | 2100 | 1.316 | 9.381 | 14.996 |
| 2200 | 2400 | 2300 | 1.511 | 10.771 | 25.767 |
| 2400 | 2600 | 2500 | 2.294 | 16.353 | 42.120 |
| 2600 | 2800 | 2700 | 2.638 | 18.805 | 60.925 |
| 2800 | 3000 | 2900 | 2.540 | 18.106 | 79.031 |
| 3000 | 3200 | 3100 | 2.270 | 16.181 | 95.212 |
| 3200 | 3350 | 3275 | 0.587 | 4.184 | 99.396 |
| | | | 14.028 | | |

Curva hipsométrica

Grafico 9. Curva hipsométrica



La Microcuenca posee una mediana de altitud igual a 2500 metros sobre el nivel del mar. Indicando la proporción de la superficie con relación a la altitud.

✿ Pendiente media (Primer método)

Cuadro 37. Longitud entre curvas de nivel.

| DISTANCIAS ENTRE CURVAS | LONGITUD (KM) |
|-------------------------|---------------|
| 1500 - 1600 | 0.210 |
| 1600 - 1800 | 0.549 |
| 1800 - 2000 | 0.944 |
| 2000 - 2200 | 1.724 |
| 2200 - 2400 | 1.124 |
| 2400 - 2600 | 1.306 |
| 2600 - 2800 | 0.853 |
| 2800 - 3000 | 0.542 |
| 3000 - 3100 | 0.253 |
| TOTAL | 7.505 |

$$S = \frac{31 * 0.05}{7.505} = 0.206$$

$$S = 21\%$$

✿ Pendiente media (Segundo método)

Cuadro 38. Cálculos pendiente media

| Relación entre curvas | Superficie entre curvas de nivel (S) (Km) ² | Calculo pendiente media entre curvas | Pendiente media entre curvas(P) | Calculo (P*S) |
|-----------------------|--|--------------------------------------|---------------------------------|---------------|
| 1500-1600 | 0.043 | 0.2/0.323 | 0.619 | 0.026 |
| 1600 -1800 | 0.249 | 0.2/0.662 | 0.862 | 0.214 |
| 1800 -2000 | 0.580 | 0.2/1.057 | 0.189 | 0.109 |
| 2000 -2200 | 1.316 | 0.2/1.837 | 0.108 | 0.142 |
| 2200 -2400 | 1.511 | 0.2/1.237 | 0.161 | 0.243 |
| 2400 -2600 | 2.294 | 0.2/1.419 | 0.140 | 0.323 |
| 2600 -2800 | 2.638 | 0.2/0.966 | 0.140 | 0.369 |
| 2800 -3000 | 2.540 | 0.2/0.655 | 0.305 | 0.774 |
| 3000 -3100 | 1.829 | 0.2/0.366 | 0.546 | 0.998 |

$$P_m = \frac{3.198}{14.028}$$

$$P_m = 0.22 = 22\%$$

El resultado del cálculo de la pendiente media de la microcuenca es 22 % aproximadamente, encontrándose mediante la clasificación descriptiva de pendientes que está en el rango de 20-35% lo cual indica que el relieve del área de estudio es fuerte comprendido desde su afloramiento hasta su desembocadura. Ver mapa (Anexo H).

Calculo pendiente media correspondiente de los tributarios definidas por Sectores, utilizando el Método de extremos de Taylor – Schwarz.

Cuadro 39. Pendiente media correspondiente al Sector 1

| SECTOR 1 | | | | | | |
|--------------------------|---------------|-----------|----------------|------------|-------------|-------------------|
| Abscisa | Cota | D - Cotas | Li(m) | Si | \sqrt{Si} | Li / \sqrt{Si} |
| 0 | 2440 | | | | | |
| 45.46 | 2450 | 10 | 45.46 | 0.2199736 | 0.46901344 | 96.9268607 |
| 288.5 | 2500 | 50 | 243.04 | 0.20572745 | 0.45357188 | 535.835685 |
| 480.06 | 2550 | 50 | 191.56 | 0.26101483 | 0.5108961 | 374.949035 |
| 681.04 | 2600 | 50 | 200.98 | 0.24878097 | 0.49877948 | 402.943599 |
| 917.94 | 2650 | 50 | 236.9 | 0.21105952 | 0.45941214 | 515.658984 |
| 1395.85 | 2700 | 50 | 477.91 | 0.10462221 | 0.32345357 | 1477.52274 |
| 1714.57 | 2750 | 50 | 318.72 | 0.15687751 | 0.39607766 | 804.690683 |
| 1878.75 | 2800 | 50 | 164.18 | 0.30454379 | 0.55185487 | 297.505757 |
| 2113.58 | 2850 | 50 | 234.83 | 0.21291998 | 0.46143254 | 508.915133 |
| 2310.28 | 2900 | 50 | 196.7 | 0.2541942 | 0.50417676 | 390.140951 |
| 2676.32 | 2950 | 50 | 366.04 | 0.13659709 | 0.36959044 | 990.393583 |
| 2911.41 | 2990 | 40 | 235.09 | 0.1701476 | 0.41248952 | 569.929633 |
| | | | 2911.41 | | | 6965.41265 |
| PENDIENTE DEL CAUCE EN % | | | | | | |
| EXTREMOS | TAYLOR | | | | | |
| 18.89 | 17.47 | | | | | |

Cuadro 40. Pendiente media correspondiente al Sector 2

| SECTOR 2 | | | | | | |
|--------------------------|---------------|-----------|----------------|------------|-------------|-------------------|
| Abscisa | Cota | D - Cotas | Li(m) | Si | \sqrt{Si} | Li / \sqrt{Si} |
| 0 | 2448 | | | | | |
| 63.46 | 2450 | 2 | 63.46 | 0.03151592 | 0.17752722 | 357.466299 |
| 365 | 2500 | 50 | 301.54 | 0.16581548 | 0.40720447 | 740.512499 |
| 630.7 | 2550 | 50 | 265.7 | 0.18818216 | 0.43379968 | 612.494692 |
| 892.18 | 2600 | 50 | 261.48 | 0.19121921 | 0.43728619 | 597.960797 |
| 1136.39 | 2650 | 50 | 244.21 | 0.20474182 | 0.45248406 | 539.709625 |
| 1357.28 | 2700 | 50 | 220.89 | 0.22635701 | 0.47576991 | 464.279043 |
| 1544.91 | 2750 | 50 | 187.63 | 0.26648191 | 0.51621885 | 363.46987 |
| 1859.5 | 2800 | 50 | 314.59 | 0.15893703 | 0.39866907 | 789.10059 |
| 2020.27 | 2850 | 50 | 160.77 | 0.3110033 | 0.5576767 | 288.285312 |
| 2184.88 | 2900 | 50 | 164.61 | 0.30374825 | 0.55113361 | 298.675308 |
| 2375.7 | 2950 | 50 | 190.82 | 0.26202704 | 0.51188577 | 372.778482 |
| 2514.51 | 3000 | 50 | 138.81 | 0.3602046 | 0.60017047 | 231.284287 |
| 2680.5 | 3050 | 50 | 165.99 | 0.30122297 | 0.54883783 | 302.439064 |
| 2879.74 | 3090 | 40 | 199.24 | 0.2007629 | 0.44806573 | 444.666901 |
| | | | 2879.74 | | | 6403.12277 |
| PENDIENTE DEL CAUCE EN % | | | | | | |
| EXTREMOS | TAYLOR | | | | | |
| 22.29 | 20.15 | | | | | |

Cuadro 41. Pendiente media correspondiente al Sector 3

| SECTOR 3 | | | | | | |
|--------------------------|---------------|-----------|----------------|------------|-------------|-------------------|
| Abscisa | Cota | D - Cotas | Li(m) | Si | \sqrt{Si} | Li / \sqrt{Si} |
| 0 | 2150 | | | | | |
| 932.08 | 2200 | 50 | 932.08 | 0.05364346 | 0.23161059 | 4024.34108 |
| 1802.75 | 2250 | 50 | 870.67 | 0.05742704 | 0.23963939 | 3633.25072 |
| 1914.86 | 2300 | 50 | 112.11 | 0.44599055 | 0.66782524 | 167.873261 |
| 2022.55 | 2350 | 50 | 107.69 | 0.46429566 | 0.68139244 | 158.044018 |
| 2169.29 | 2400 | 50 | 146.74 | 0.34073872 | 0.58372829 | 251.38408 |
| 2694.25 | 2448 | 48 | 524.96 | 0.09143554 | 0.3023831 | 1736.07587 |
| | | | 2694.25 | | | 9970.96903 |
| PENDIENTE DEL CAUCE EN % | | | | | | |
| EXTREMOS | TAYLOR | | | | | |
| 11.06 | 7.3 | | | | | |

Cuadro 42. Pendiente media correspondiente al Sector 4

| SECTOR 4 | | | | | | |
|--------------------------|---------------|-----------|----------------|------------|-------------|------------------|
| Abscisa | Cota | D - Cotas | Li(m) | Si | \sqrt{Si} | Li / \sqrt{Si} |
| 0 | 2150 | | | | | |
| 816.21 | 2200 | 50 | 816.21 | 0.06125874 | 0.24750504 | 3297.75103 |
| 1090.95 | 2250 | 50 | 274.74 | 0.18199025 | 0.42660315 | 644.017752 |
| 1290.74 | 2300 | 50 | 199.79 | 0.25026278 | 0.50026271 | 399.370165 |
| 1438.46 | 2350 | 50 | 147.72 | 0.3384782 | 0.5817888 | 253.906574 |
| 1596.2 | 2400 | 50 | 157.74 | 0.3169773 | 0.56300738 | 280.17395 |
| 1823.93 | 2450 | 50 | 227.73 | 0.21955825 | 0.46857043 | 486.010181 |
| 2134.46 | 2500 | 50 | 310.53 | 0.16101504 | 0.40126679 | 773.874155 |
| 2447.7 | 2550 | 50 | 313.24 | 0.15962202 | 0.39952724 | 784.026642 |
| 2675.38 | 2600 | 50 | 227.68 | 0.21960647 | 0.46862188 | 485.850129 |
| 3172.77 | 2650 | 50 | 497.39 | 0.10052474 | 0.31705637 | 1568.77468 |
| 3354.92 | 2700 | 50 | 182.15 | 0.27449904 | 0.52392656 | 347.66323 |
| 3486.75 | 2750 | 50 | 131.83 | 0.37927634 | 0.61585416 | 214.060421 |
| 3527.17 | 2780 | 30 | 40.42 | 0.74220683 | 0.86151426 | 46.9173891 |
| | | | 3527.17 | | | 9582.3963 |
| PENDIENTE DEL CAUCE EN % | | | | | | |
| EXTREMOS | TAYLOR | | | | | |
| 17.86 | 13,54 | | | | | |

Cuadro 43. Pendiente media correspondiente al Sector 5

| SECTOR 5 | | | | | | |
|----------|------|-----------|--------|------------|-------------|------------------|
| Abscisa | Cota | D - Cotas | Li(m) | Si | \sqrt{Si} | Li / \sqrt{Si} |
| 0 | 1500 | | | | | |
| 144.6 | 1550 | 50 | 144.6 | 0.34578147 | 0.58803186 | 245.905044 |
| 315.25 | 1600 | 50 | 170.65 | 0.29299736 | 0.54129231 | 315.26404 |
| 502.9 | 1650 | 50 | 187.65 | 0.2664535 | 0.51619134 | 363.527986 |
| 744 | 1700 | 50 | 241.1 | 0.20738283 | 0.45539305 | 529.432763 |
| 812.31 | 1750 | 50 | 68.31 | 0.73195725 | 0.855545 | 79.8438419 |
| 972.79 | 1800 | 50 | 160.48 | 0.3115653 | 0.55818035 | 287.505642 |
| 1074.49 | 1850 | 50 | 101.7 | 0.49164208 | 0.70117194 | 145.042884 |
| 1328.62 | 1900 | 50 | 254.13 | 0.1967497 | 0.44356476 | 572.92649 |
| 1764.83 | 1950 | 50 | 436.21 | 0.11462369 | 0.33856121 | 1288.42287 |
| 2032.19 | 2000 | 50 | 267.36 | 0.18701376 | 0.43245088 | 618.243625 |
| 2264.99 | 2050 | 50 | 232.8 | 0.21477663 | 0.46344 | 502.3304 |

Cuadro 43. (Continuación)

| | | | | | | |
|--------------------------|---------------|----|----------------|------------|------------|-------------------|
| 2459.43 | 2100 | 50 | 194.44 | 0.25714873 | 0.50709835 | 383.436469 |
| 2937.36 | 2150 | 50 | 477.93 | 0.10461783 | 0.3234468 | 1477.61549 |
| | | | 2937.36 | | | 6809.49755 |
| PENDIENTE DEL CAUCE EN % | | | | | | |
| EXTREMOS | TAYLOR | | | | | |
| 22.12 | 18.6 | | | | | |

Con respecto a los 5 sectores las de mayor pendiente fueron S2 Y S5 lo que significa que son susceptibles a desbordamiento e inundación, con potencial erosivo y de rápido escurrimiento.

3.4.4. RELIEVE DE LA CUENCA

Coeficiente de masividad de De Martonne

A: 3550

O: 1500

$$OAB = \frac{(14.028)(2.05)}{2}$$

$$OAB = 14.37$$

$$OB = 14.028$$

$$OH = \frac{14.37}{14.028}$$

$$OH = 1.024 \text{ Km}$$

$$= 1500 \text{ m}(\text{Nivel base de la altura media de la microcuenca}) + 1024\text{m}$$

$$H = 2524 \text{ m}$$

$$Cm = \frac{2.524}{14.028} = 0.179$$

Coeficiente Orográfico

$$CO = 2.524 * 0.179$$

$$CO = 0.45$$

Al interpretar los parámetros se puede observar que estos coeficientes combinan las dos variables esenciales del relieve: su altura, que influye sobre la energía potencial del agua, y su pendiente la cual ejerce una acción sobre la escorrentía cuyo efecto completa las producidas por las precipitaciones. La velocidad de escorrentía de las aguas para esta microcuenca es alta, deduciendo que es regular en la evacuación del agua por que el recorrido de las gotas es lento.

4.4.5. ORIENTACION DE LA CUENCA

La microcuenca se ubica de W – E (Oeste – Este)

El cauce principal recibe insolación en las dos vertientes durante todo el día, lo cual influye en la evaporación, la transpiración, y otros factores en forma diferente.

4.4.6. SISTEMAS DE DRENAJES

Clasificación de los tributarios

Ley de Horton

Cuadro 44. Clasificación de los sistemas de drenajes según orden, Ley de Horton.

| ORDEN DADO | Nº DE TALWEGS | ORDEN Vs ORDEN | CALCULO | Rb |
|------------|---------------|----------------|-------------|-----|
| 1 | 3 | 1 Vs 2 | $3/(2 - 1)$ | 3 |
| 2 | 2 | 2 Vs 3 | $2/(1 - 1)$ | 2 |
| 3 | 1 | | | |
| TOTAL | 6 | | $(3 + 2)/2$ | 2.5 |

El resultado de la razón de bifurcación es de 2.5, lo cual indica que es un poco propensa a crecidas, presenta arrastre de sólidos en suspensión generando daños asociados al desbordamiento del caudal.

$$N = \frac{2.5 (3 - 1)}{2.5 - 1} = 3.33$$

Ley de longitudes medias de los ríos

Cuadro 45. Promedio de longitudes para los Talwegs

| ORDEN DE TALWEGS | NUMERO DE TALWEGS | LONGITUD (KM) | CALCULO | PROMEDIO DE LONGITUD |
|------------------|-------------------|---------------|-----------|----------------------|
| 1 | 3 | 8.522 | (8.522/3) | 2.840 |
| 2 | 2 | 6.440 | (6.440/2) | 3.220 |
| 3 | 1 | 4.075 | (4.075/1) | 4.075 |
| TOTAL | 6 | 19.037 | | |

Cuadro 46. Relación de longitud

| Calculo | Relación de longitud | Orden Vs orden |
|-----------------------|----------------------|----------------|
| $3.220 / (2.840 - 1)$ | 1.75 | 2 Vs 1 |
| $4.075 / (3.220 - 1)$ | 1.83 | 3 Vs 2 |

Promediando los resultados obtenemos que la relación de longitud de las corrientes de la microcuenca es de: 1.79

Tercera ley de Horton
Densidad de Drenaje

$$Dd = \frac{19.037 \text{ Km}}{14.028 \text{ Km}^2}$$

$$Dd = 1.35 \text{ Km/Km}^2$$

La microcuenca posee una densidad de drenaje de 1.35 Km de cauce por kilometro cuadrado. Es decir que la densidad de drenaje es media. Se presenta en zonas de resistencia media a la erosión, baja permeabilidad, susceptible a erosión por cobertura vegetal escasa, material de arrastre solido, relieve ligeramente inclinado.

4.4.7. FRECUENCIA DE TALWEGS DE UNA CUENCA

Cuadro 47. Calculo para determinar la frecuencia de los Talwegs

| ORDEN DADO | NUMERO DE TALWEGS | CALCULO Fx= Nx/A | Fx |
|------------|-------------------|---------------------|------------|
| 1 | 3 | 3/14.028 | 0.213 |
| 2 | 2 | 2/14.028 | 0.142 |
| 3 | 1 | 1/14.028 | 0.071 |
| TOTAL | 6 | | Prom:0.142 |

Con el resultado obtenido de Fx: 0.142, se puede observar que la frecuencia de los talwegs es sumamente baja y pobremente drenada. Ya que en una cuenca bien drenada los valores para la densidad de drenaje son mayores de 2.5 kilómetros de cauce por kilometro cuadrado y su frecuencia mayor que 1.

3.4.8. SUPERFICIE UMBRAL DE ESCURRIMIENTO

$$A_0 = 14.028^{1/3} \text{ km}$$

$$A_0 = 2.411 \text{ km}^2$$

4.4.9. METODOS DESCRIPTIVOS DE SISTEMAS HIDROGRAFICOS

✿ Tipos genéticos de los ríos

El tipo genético es consecuente por que la localización de la microcuenca es el resultado de la pendiente original del terreno.

✿ Grado de inclinación de un rio

$$P_m = \frac{0.924}{7.505}$$

$$P_m = 0.123 \text{ km}$$

$$P_m = 12.31\%$$

✿ Clasificación de las cuencas según el destino final de las aguas

La clasificación es de tipo Exorreica por que las aguas de la microcuenca llegan al mar directamente por vía subsuperficial o subterránea.

4.5. UTILIZACION DIFERENTES SOFTWARES

4.5.1. Calculo de la precipitación de diseño mediante el uso del SMADA

El Procesamiento de esta información, se realiza aplicando las funciones de Probabilidad para valores extremos, Pearson III, Log Pearson Tipo III, y Gumbell TI. Teniendo resultados para una tormenta de diseño con diferentes periodos de retorno y probabilidad de ocurrencia esperadas por estación. (Anexo Q)

Cuadro 48. Precipitaciones (mm) máximas esperadas por estación de Málaga para una tormenta de diseño con periodos de retorno de 1000, 500, 333.3, 250, 200, 100, 50 y 25 años.

| ESTACIÓN METEOROLOGICA MÁLAGA (Precipitación de Diseño en mm) | | | |
|---|------------------|----------------------|---------------|
| | Pearson Type III | Log Pearson Type III | Gumbel Type I |
| Tr años | Predicción mm | Predicción mm | Predicción mm |
| 1000 | 768.53 | 714.95 | 427.43 |
| 500 | 620.53 | 585.97 | 388.28 |
| 333.3 | 540.43 | 518.99 | 365.37 |
| 250 | 486.63 | 474.96 | 349.11 |
| 200 | 446.69 | 442.70 | 336.48 |
| 100 | 332.95 | 352.27 | 297.22 |
| 50 | 235.86 | 275.25 | 257.82 |
| 25 | 156.90 | 209.97 | 218.12 |

Para la estación Málaga, la distribución de probabilidad que mejor se ajusta corresponde a la Gumbel tipo I, como se observa en la siguiente figura y curva.

Grafico 10. Datos de lluvias máximas para la estación de Málaga Sder.

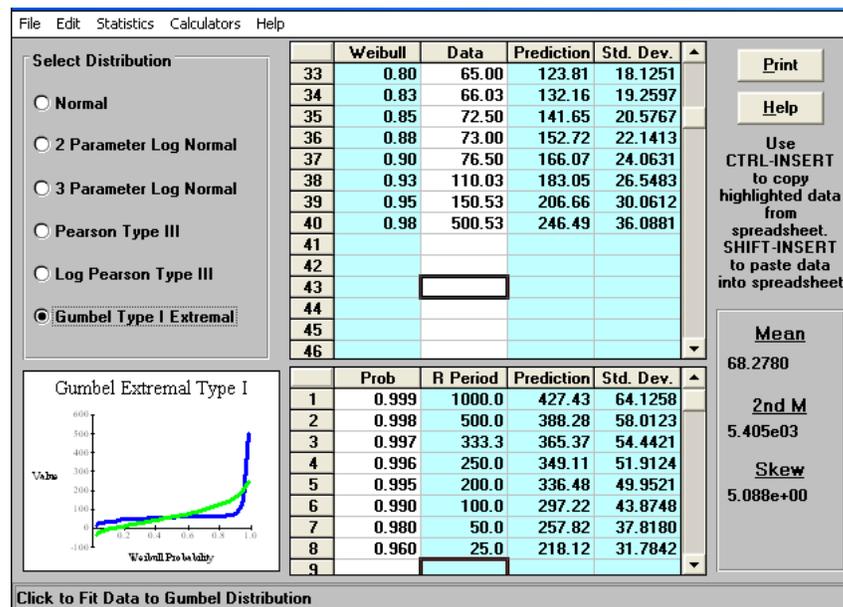
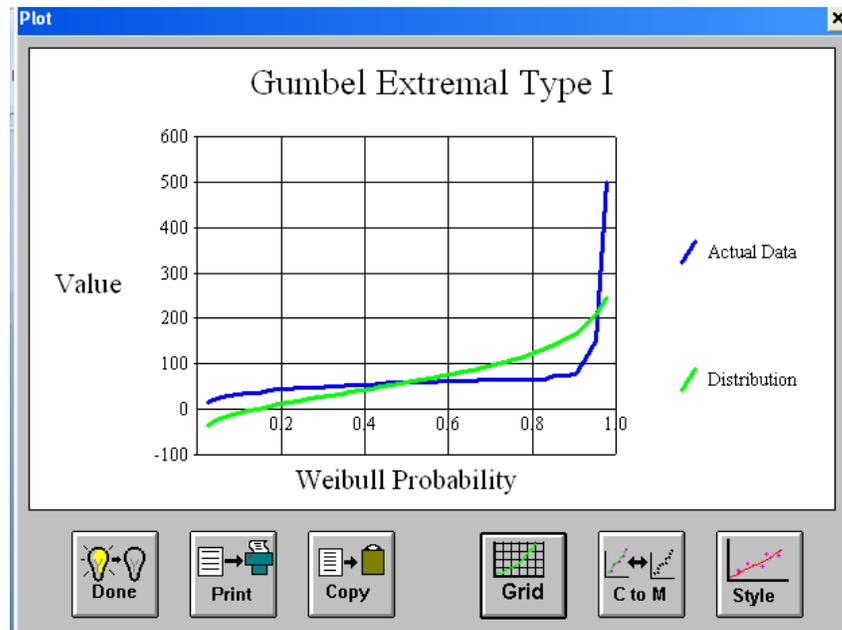


Grafico 11. Distribución de los valores máximos de precipitación (mm) por Gumbel tipo I para la estación de Málaga.

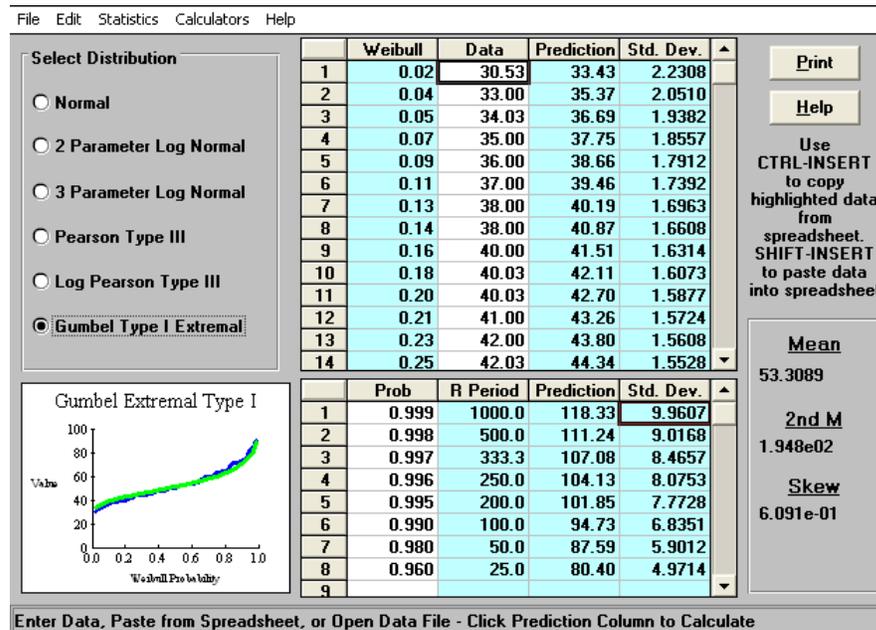


Cuadro 49. Precipitaciones (mm) máximas esperadas por estación de Molagavita para una tormenta de diseño con periodos de retorno de 1000, 500,333.3, 250, 200, 100, 50 y 25 años.

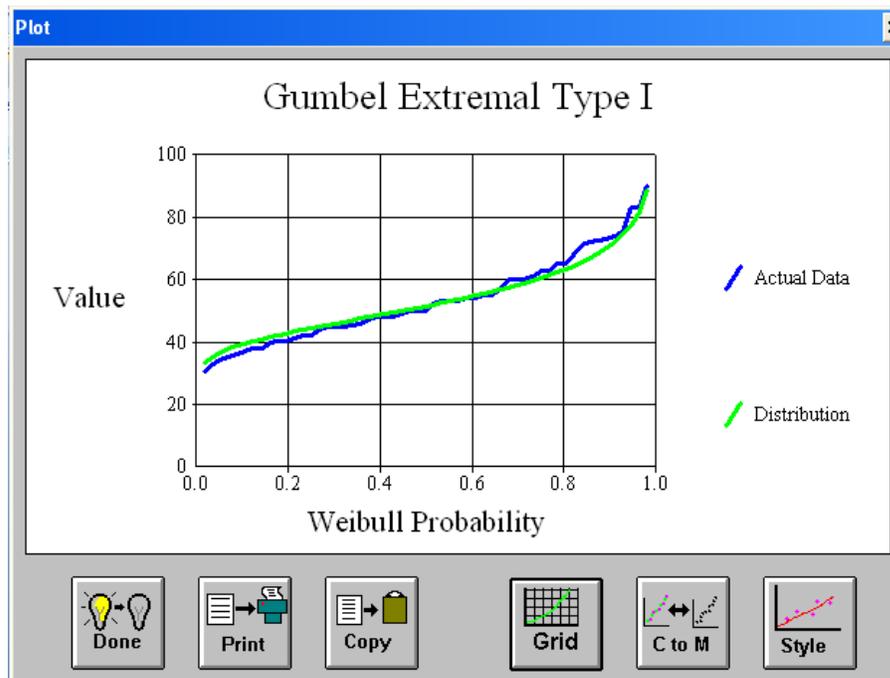
| ESTACIÓN METEREOLÓGICA MOLAGAVITA (Precipitación de Diseño en mm) | | | |
|--|------------------|----------------------|---------------|
| | Pearson Type III | Log Pearson Type III | Gumbel Type I |
| Tr años | Predicción mm | Predicción mm | Predicción mm |
| 1000 | 111.80 | 122.38 | 118.33 |
| 500 | 106.37 | 114.82 | 111.24 |
| 333.3 | 103.14 | 110.44 | 107.08 |
| 250 | 100.81 | 107.35 | 104.13 |
| 200 | 98.99 | 104.96 | 101.85 |
| 100 | 93.21 | 97.55 | 94.73 |
| 50 | 87.21 | 90.13 | 87.59 |
| 25 | 80.91 | 82.65 | 80.40 |

Para la estación Molagavita, la distribución de probabilidad que mejor se ajusta corresponde a la Gumbel tipo I, como se Observa en la siguiente figura y curva.

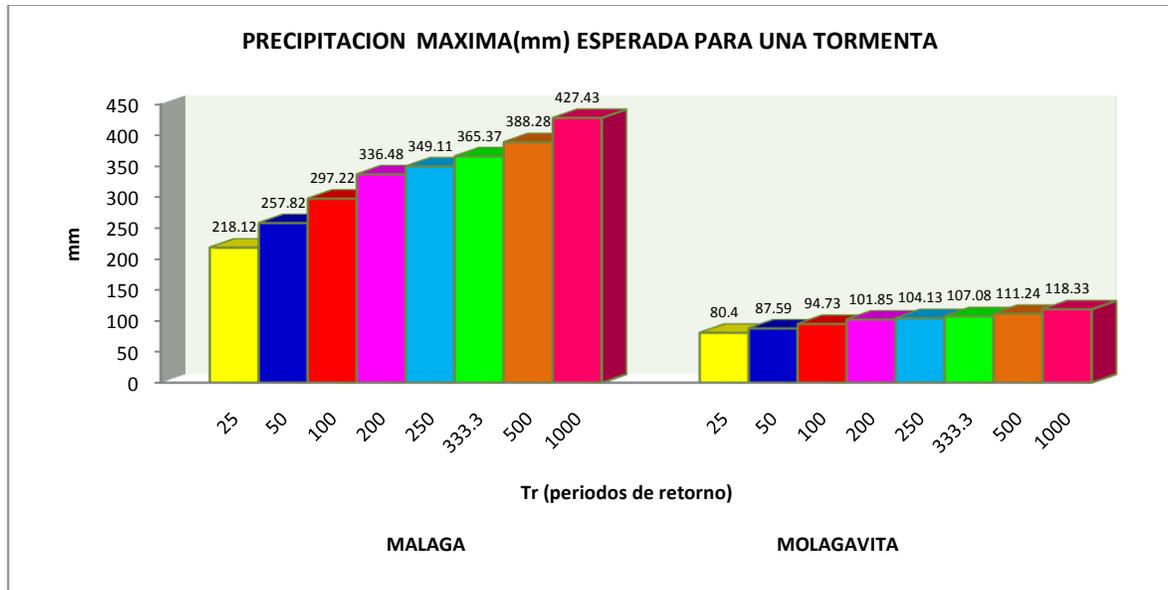
Grafica 12. Datos de lluvias máximas para la estación de Molagavita Sder.



Grafica 13. Distribución de los valores máximos de precipitación (mm) por Gumbel tipo I para la estación de Molagavita.



Grafica 14. Precipitación máxima (mm) esperada para una tormenta de diseño en los diferentes Tr (1000, 500, 333,3, 250, 200, 100 y 50 años). Gumbel tipol.



Los valores de precipitación de diseño para cada una de las estaciones meteorológicas con tiempos de retorno de 50, 100, 200, 250,333.3, 500 ,1000 años, para la estación de Málaga los valores oscilan entre 218.12 mm y 427.43mm y la estación de Molagavita oscilan entre 80.40 mm y 118.33mm para ocho periodos de lluvia, en la cual la lluvia se distribuye en incrementos sucesivos a través del tiempo.

4.5.1.1. Calculo del número de curva (NC)

Para determinar cálculo se tuvo en cuenta el mapa de coberturas y suelos y de este modo determinar con exactitud el respectivo NC. (Anexo R, Anexo S).

Cuadro 50. Numero de curva para el sector 1.

| SECTOR 1 | | | | | | | |
|-------------------|---------------|-------------------------|---------------|------------------------|----|-----------|---------------|
| TIPO DE COBERTURA | TIPO DE SUELO | AREA (Km ²) | % DE AREA(Ai) | CLASIFICACION SEGÚN NC | CN | (Ai)x(CN) | CN PONDERADO |
| 512 | | 0.017 | 0.454 | - | - | 0 | |
| 231-3131 | III S | 0.370 | 9.885 | B | 75 | 741.375 | 7.413 |
| 231-314 | IV SE | 3.049 | 81.458 | C | 70 | 5702.06 | 57.020 |
| 31111-245 | VI SE | 0.307 | 8.201 | A | 63 | 516.6 | 5.166 |
| | TOTAL | 3.743 | | | | | 69.599 |

Cuadro 51. Numero de curva para el sector 2.

| SECTOR2 | | | | | | | |
|-------------------|---------------|-------------------------|---------------|------------------------|----|-----------|---------------|
| TIPO DE COBERTURA | TIPO DE SUELO | AREA (Km ²) | % DE AREA(Ai) | CLASIFICACION SEGÚN NC | CN | (Ai)x(CN) | CN PONDERADO |
| 231-314 | III S | 0.278 | 10.643 | C | 77 | 819.5 | 8.195 |
| 231-314-243-31111 | IV SE | 1.485 | 56.852 | C | 73 | 4150.1 | 41.501 |
| 231-245-32111 | VI SE | 0.849 | 32.503 | B | 61 | 1982.683 | 19.826 |
| | TOTAL | 2.612 | | | | | 69.522 |

Cuadro 52. Numero de curva para el sector 3.

| SECTOR3 | | | | | | | |
|-------------------|---------------|-------------------------|---------------|------------------------|----|-----------|---------------|
| TIPO DE COBERTURA | TIPO DE SUELO | AREA (Km ²) | % DE AREA(Ai) | CLASIFICACION SEGÚN NC | CN | (Ai)x(CN) | CN PONDERADO |
| 231-314 | III S | 0.338 | 24.981 | B | 79 | 1973.499 | 19.734 |
| 231-314 | IV SE | 0.452 | 33.407 | C | 86 | 2873.002 | 28.730 |
| 111 | | 0.563 | 41.611 | - | - | | |
| | TOTAL | 1.353 | | | | | 48.464 |

Cuadro 53. Numero de curva para el sector 4.

| SECTOR4 | | | | | | | |
|-------------------|---------------|-------------------------|---------------|------------------------|----|-----------|--------------|
| TIPO DE COBERTURA | TIPO DE SUELO | AREA (Km ²) | % DE AREA(Ai) | CLASIFICACION SEGÚN NC | CN | (Ai)x(CN) | CN PONDERADO |
| 231-233 | III S | 0.368 | 7.713 | C | 70 | 539.9 | 5.399 |
| 31111- | IV SE | 0.606 | 12.701 | B | 75 | 952.5 | 9.525 |

| | | | | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------|---|----|--------|---------------|
| 32111-231 | | | | | | | |
| 231-242-233 | IV SE | 1.187 | 24.879 | C | 70 | 1741.5 | 17.415 |
| 231-2242-233 | IV SE | 1.353 | 28.358 | C | 71 | 2013.4 | 20.134 |
| 231-242 | VI SE | 0.982 | 20.582 | D | 83 | 1708.3 | 17.083 |
| 111 | | 0.275 | 5.763 | - | - | | |
| | TOTAL | 4.771 | | | | | 69.556 |

Cuadro 53. (Continuación)

Cuadro 54. Numero de curva para el sector 5.

| SECTOR 5 | | | | | | | |
|---------------------------|---------------|-------------------------|---------------|------------------------|----|-----------|---------------|
| TIPO DE COBERTURA | TIPO DE SUELO | AREA (Km ²) | % DE AREA(Ai) | CLASIFICACION SEGÚN NC | CN | (Ai)x(CN) | CN PONDERADO |
| 233 | III S | 0.053 | 3.421 | D | 79 | 270.2 | 2.702 |
| 233-245-231-2122-2214-314 | IV SE | 1.213 | 78.308 | B | 71 | 5559.8 | 55.598 |
| 233 | VI SE | 0.215 | 13.879 | C | 86 | 1193.5 | 11.935 |
| 111 | | 0.068 | 4.389 | - | - | | |
| | TOTAL | 1.549 | | | | | 70.235 |

4.5.1.2. Tiempo de concentración

Cuadro 55. Tiempos de concentración (min) para la microcuenca.

| SECTORES | Bransby Williams | Kirpich's | Kerby's | RUGOSIDAD |
|----------|------------------|-----------|---------|-----------|
| S1 | 21 | 3 | 20 | 0.40 |
| S2 | 20.9 | 2.8 | 19.3 | 0.40 |
| S3 | 25.6 | 4 | 5.8 | 0.02 |
| S4 | 26.1 | 3.8 | 23.3 | 0.40 |
| S5 | 22.8 | 3 | 20 | 0.40 |

4.5.2. MODELAMIENTO HIDROLOGICO

4.5.2.1. Determinación del caudal máximo e hidrogramas de entrada y salida mediante el HEC HMS

Determinación de la precipitación promedio en milímetros para las microcuencas (sectores) en el tiempo de retorno de 250 y 500 años.

4.5.2.2. Variación espacial por método de polígonos de Thiessen (Anexo T)

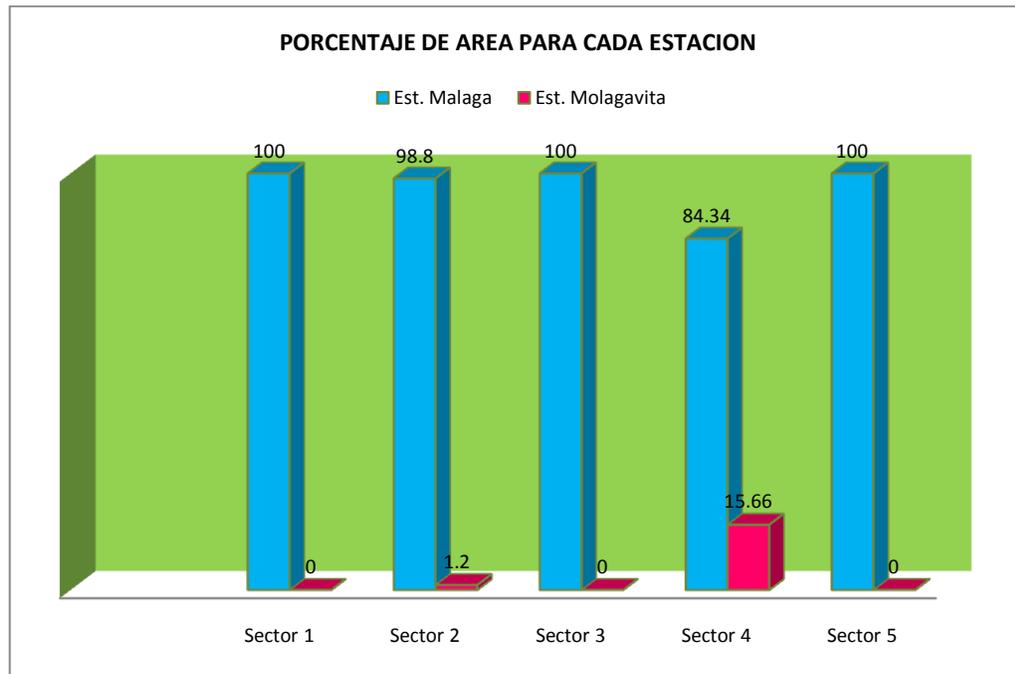
Cuadro 56. Variación espacial (Km²) de la lluvia por el método de polígonos de Thiessen

| VARIACIÓN ESPACIAL POR MÉTODO DE POLÍGONOS DE THIESSEN | | |
|--|-------------------------|-----------------|
| | Área (Km ²) | |
| Microcuencas | Est. Málaga | Est. Molagavita |
| Sector 1 A=3.743 | 3.743 | - |
| Sector 2 A=2.612 | 2.580 | 0.032 |
| Sector 3 A=1.353 | 1.353 | - |
| Sector 4 A=4.771 | 4.024 | 0.747 |
| Sector 5 A=1.549 | 1.549 | - |

Cuadro 57. Variación espacial (%) de la lluvia por el método de polígonos de Thiessen

| VARIACIÓN ESPACIAL POR MÉTODO DE POLÍGONOS DE THIESSEN | | |
|--|-------------------------|----------------------------|
| | Peso en % | |
| Microcuencas | Est. Málaga (94.446) | Est. Molagavita (5.554) |
| Sector 1 | 100 | 0.000 |
| Sector 2 | 98.775 | 1.225 |
| Sector 3 | 100 | 0.000 |
| Sector 4 | 84.342 | 15.658 |
| Sector 5 | 100 | 0.000 |

Grafico 15. Porcentaje del área de influencia por cada estación.



De las estaciones estudiadas la que presenta mayor área de influencia con respecto al área total de la microcuenca es la estación de Málaga cuya influencia es muy marcada dentro de los 5 sectores. En el sector 1(100%), sector 2 (98.8%), Sector 3 (100%), Sector 4 (84.34%) y Sector 5 (100%); mientras que la estación de Molagavita presenta un porcentaje bajo de influencia en el sector 2 (1.2 %) y sector 4 (15.66%).El área de influencia de la estación de Molagavita es pequeño debido a su poco cobertura con respecto al área total. (Anexo T).

Cuadro 58.Distribución temporal de la lluvia de 3 Hrs de cada una de las estaciones con periodos de retorno de 250 años.

| Variación temporal de la precipitación para las estaciones de MALAGA Y MOLAGAVITA | | | Estación Molagavita | Estación Málaga |
|---|--------------------------|----------------|---------------------|-----------------|
| | % Tiempo desde el inicio | % Pr acumulada | 104.13 | 349.11 |
| 15 | 8.3 | 10.54 | 10.975 | 36.796 |
| 30 | 16.6 | 18.86 | 19.638 | 65.842 |
| 45 | 24.9 | 27.18 | 28.302 | 94.888 |
| 60 | 33.2 | 35.50 | 36.966 | 123.934 |
| 75 | 41.65 | 43.84 | 45.650 | 153.049 |
| 90 | 49.98 | 52.13 | 54.282 | 181.991 |
| 105 | 58.31 | 60.46 | 62.956 | 211.071 |
| 120 | 66.64 | 68.77 | 71.610 | 240.082 |
| 135 | 74.97 | 77.10 | 80.284 | 269.163 |
| 150 | 83.3 | 85.44 | 88.968 | 298.279 |
| 165 | 91.63 | 93.77 | 97.642 | 327.360 |
| 180 | 100 | 100 | 104.13 | 349.11 |
| | | | GUMBEL | GUMBEL |

Cuadro 59. Distribución temporal de la lluvia de 3 Hrs de cada una de las estaciones con periodo de retorno 500 años.

| Variación temporal de la precipitación para las estaciones de MALAGA Y MOLAGAVITA | | | Estación Molagavita | Estación Málaga |
|---|--------------------------|----------------|---------------------|-----------------|
| | % Tiempo desde el inicio | % Pr acumulada | 111.24 | 388.28 |
| 15 | 8.3 | 10.54 | 11.72 | 40.92 |
| 30 | 16.6 | 18.86 | 20.97 | 73.22 |
| 45 | 24.9 | 27.18 | 30.23 | 105.53 |
| 60 | 33.2 | 35.50 | 39.49 | 137.83 |
| 75 | 41.65 | 43.84 | 48.76 | 170.20 |
| 90 | 49.98 | 52.13 | 57.98 | 202.4 |
| 105 | 58.31 | 60.46 | 67.25 | 234.75 |
| 120 | 66.64 | 68.77 | 76.49 | 267.02 |
| 135 | 74.97 | 77.10 | 85.76 | 299.36 |
| 150 | 83.3 | 85.44 | 95.04 | 331.74 |
| 165 | 91.63 | 93.77 | 104.38 | 364.10 |
| 180 | 100 | 100 | 111.24 | 388.28 |
| | | | GUMBEL | GUMBEL |

Cuadro 60. Distribución temporal de la lluvia de 4 Hrs de cada una de las estaciones con periodo de retorno 250 años

| Variación temporal de la precipitación para las estaciones de MALAGA Y MOLAGAVITA | | | Estación Molagavita | Estación Málaga |
|---|--------------------------|----------------|---------------------|-----------------|
| | % Tiempo desde el inicio | % Pr acumulada | 104.13 | 349.11 |
| 15 | 6.25 | 8.457 | 8.80 | 24.524 |
| 30 | 12.5 | 14.695 | 15.301 | 51.301 |

| | | | | |
|-----|-------|--------|--------|---------|
| 45 | 18.75 | 20.932 | 21.796 | 73.075 |
| 60 | 25 | 27.17 | 28.292 | 94.853 |
| 75 | 31.25 | 33.407 | 34.786 | 116.627 |
| 90 | 37.5 | 39.645 | 41.282 | 138.404 |
| 105 | 43.75 | 45.882 | 47.776 | 160.178 |
| 120 | 50 | 52.12 | 54.272 | 181.956 |
| 135 | 56.25 | 58.357 | 60.759 | 203.730 |
| 150 | 62.5 | 64.595 | 67.262 | 225.507 |
| 165 | 68.75 | 70.832 | 73.757 | 247.281 |
| 180 | 75 | 77.07 | 80.252 | 269.059 |
| 195 | 81.25 | 83.307 | 86.747 | 290.833 |
| 210 | 87.5 | 89.545 | 93.243 | 312.610 |
| 225 | 93.75 | 95.782 | 99.737 | 334.384 |
| 240 | 100 | 100 | 104.13 | 349.11 |
| | | | GUMBEL | GUMBEL |

Cuadro 60. (Continuación)

Cuadro 61. Distribución temporal de la lluvia de 4 Hrs de cada una de las estaciones con periodo de retorno 500 años.

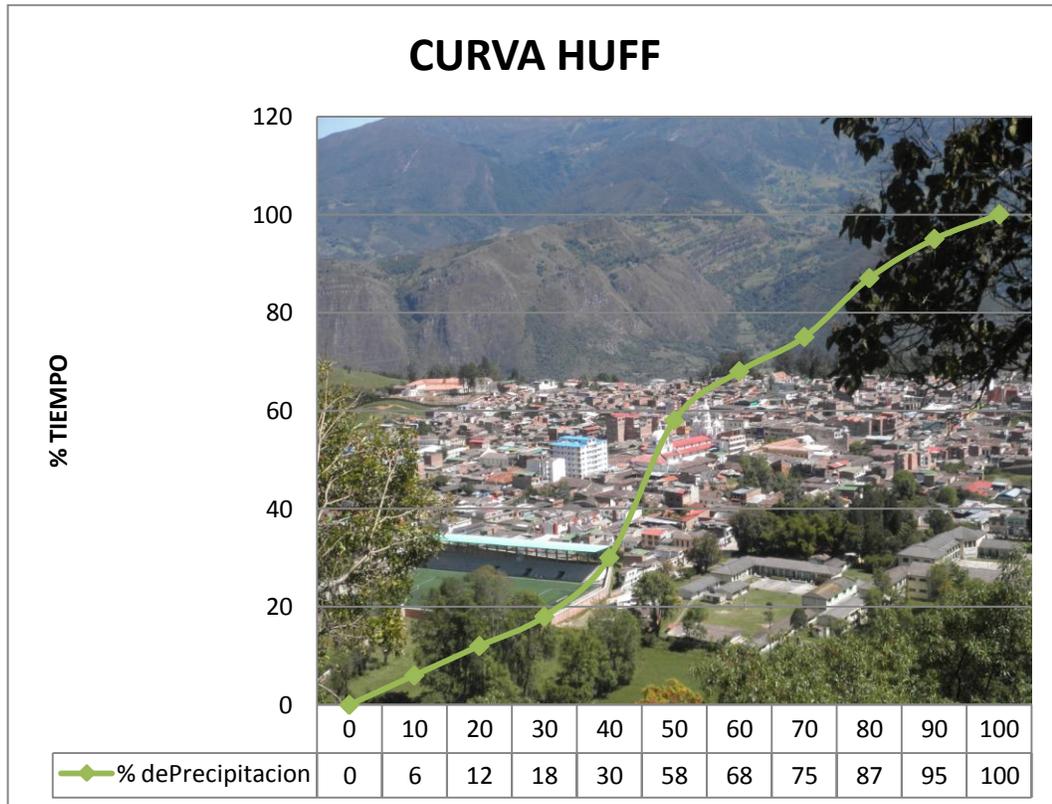
| Variación temporal de la precipitación para las estaciones de MALAGA Y MOLAGAVITA | | | Estación Molagavita | Estación Málaga |
|---|--------------------------|----------------|---------------------|-----------------|
| | % Tiempo desde el inicio | % Pr acumulada | 111.24 | 388.28 |
| 15 | 6.25 | 8.457 | 9.41 | 32.84 |
| 30 | 12.5 | 14.695 | 16.34 | 57.03 |
| 45 | 18.75 | 20.932 | 23.38 | 81.26 |
| 60 | 25 | 27.17 | 30.22 | 105.49 |
| 75 | 31.25 | 33.407 | 37.57 | 129.68 |
| 90 | 37.5 | 39.645 | 44.09 | 153.91 |
| 105 | 43.75 | 45.882 | 51.03 | 178.14 |
| 120 | 50 | 52.12 | 57.97 | 202.37 |
| 135 | 56.25 | 58.357 | 64.90 | 226.56 |
| 150 | 62.5 | 64.595 | 71.85 | 250.79 |
| 165 | 68.75 | 70.832 | 78.79 | 275.01 |
| 180 | 75 | 77.07 | 85.73 | 299.24 |
| 195 | 81.25 | 83.307 | 92.67 | 323.43 |

| | | | | |
|-----|-------|--------|---------|--------|
| 210 | 87.5 | 89.545 | 99.604 | 347.68 |
| 225 | 93.75 | 95.782 | 106.545 | 371.89 |
| 240 | 100 | 100 | 111.24 | 388.28 |
| | | | GUMBEL | GUMBEL |

Cuadro 61. (Continuación)

4.5.2.3. Curva Huff: se obtuvo un análisis de las precipitaciones máximas anuales en 24 horas.

Grafico 16. Curva Huff para la estación de Málaga.



La curva Huff se asume igual para la estación de Molagavita, debido a que el área de influencia representa un mínimo porcentaje de recubrimiento del área total.

4.5.2.4. Caudal máximo e hidrogramas de avenida

La representación esquemática de la microcuenca muestra como están distribuidos los talwegs dentro de la microcuenca. Se tiene un río principal (Magnolia) el cual cuenta con 5 tributarios, las cuales están conectadas aguas abajo con las respectivas juntas.

Grafico 17. Parámetros Modelamiento hidrológico de la quebrada con HEC HMS.

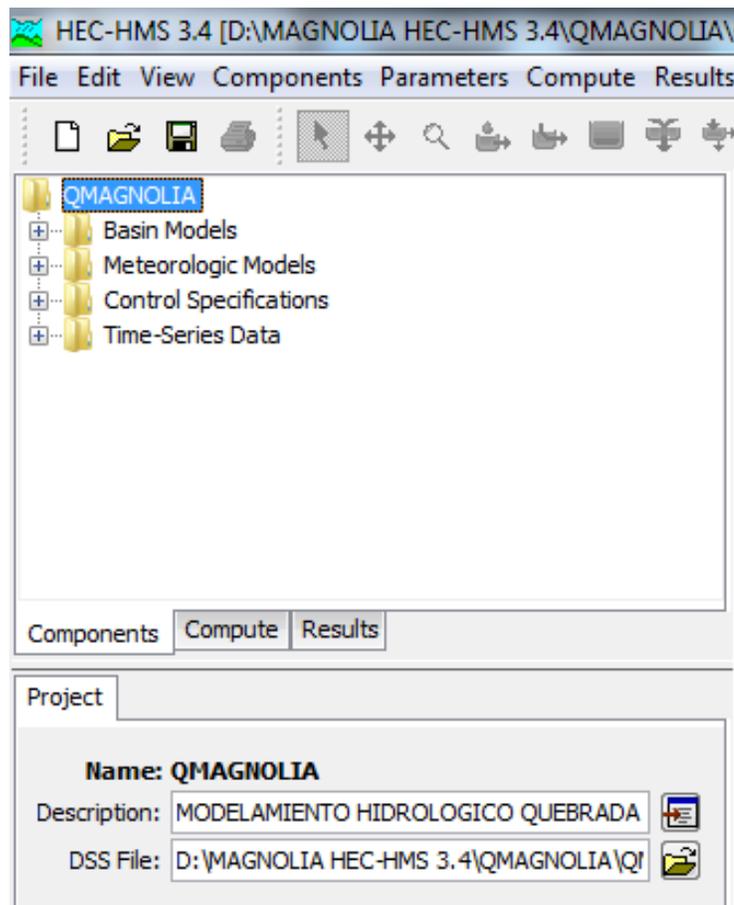


Gráfico 18. Esquema de la distribución de los Talwegs con el HEC HMS.

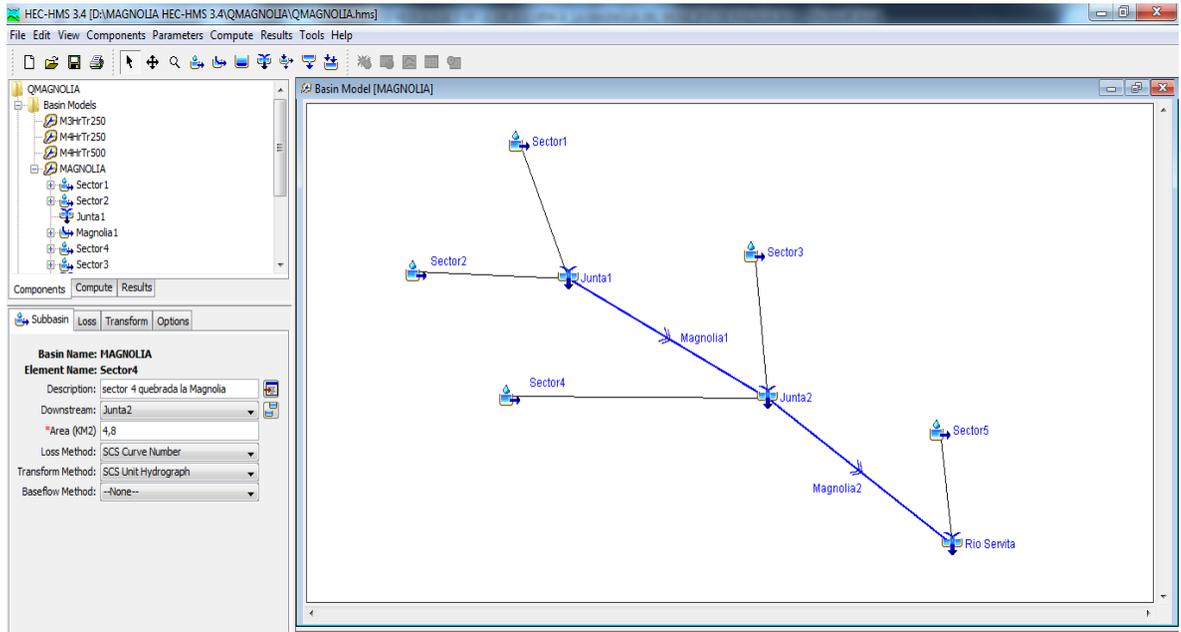


Gráfico 19. Distribución de la precipitación con respecto al tiempo para la estación de Málaga con un periodo de retorno de 250 años y una duración de 3 Hr.

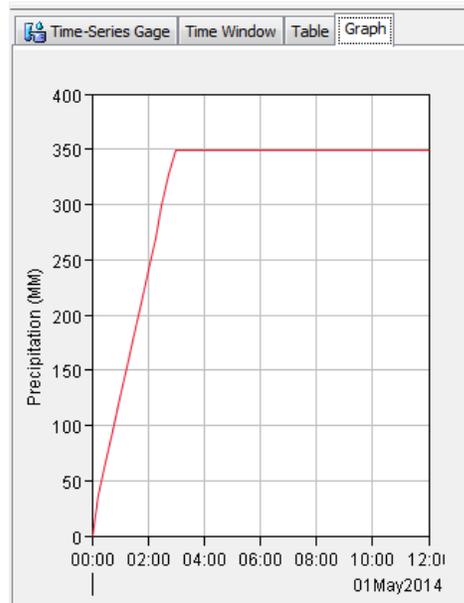


Grafico 20. Distribución de la precipitación con respecto al tiempo para la estación de Molagavita con un periodo de retorno de 250 años y una duración de 3Hr.

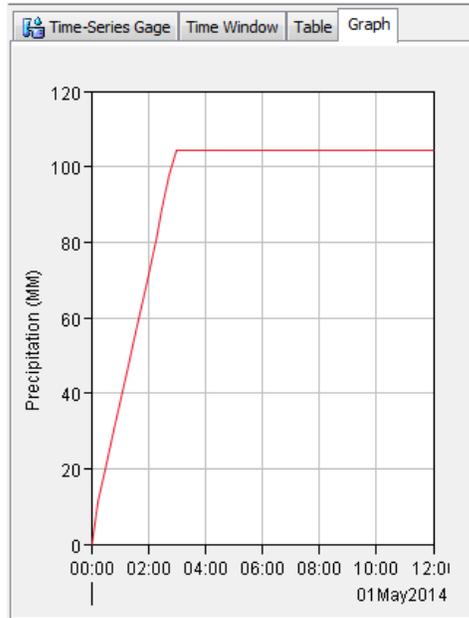


Grafico 21. Distribución de la precipitación con respecto al tiempo para la estación de Málaga con un periodo de retorno de 250 años y una duración de 4 Hr.

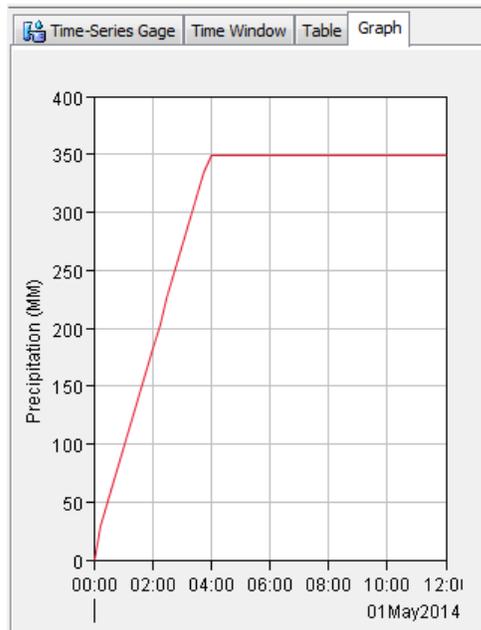


Grafico 22. Distribución de la precipitación con respecto al tiempo para la estación de Molagavita con un periodo de retorno de 250 años y una duración de 4 Hr.

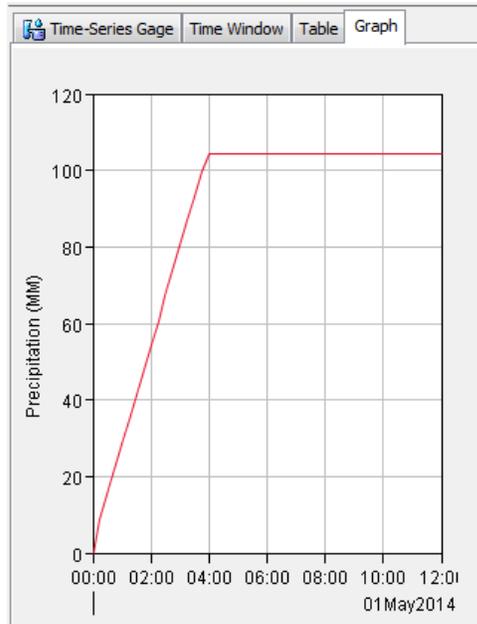


Grafico 23. Distribución de la precipitación con respecto al tiempo para la estación de Málaga con un periodo de retorno de 500 años y una duración de 3 Hr.

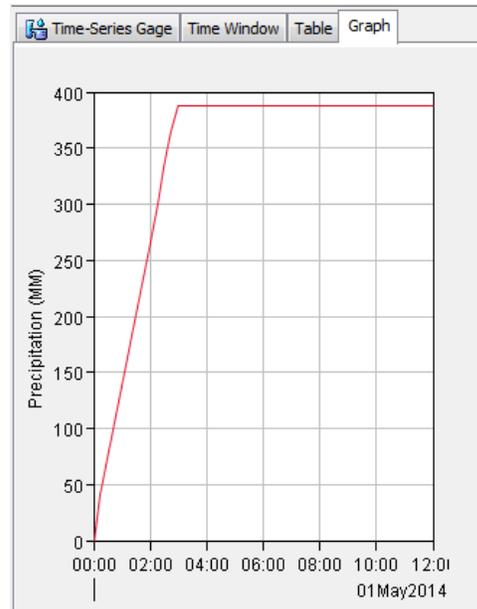


Grafico 24. Distribución de la precipitación con respecto al tiempo para la estación de Molagavita con un periodo de retorno de 500 años y una duración de 3 Hr.

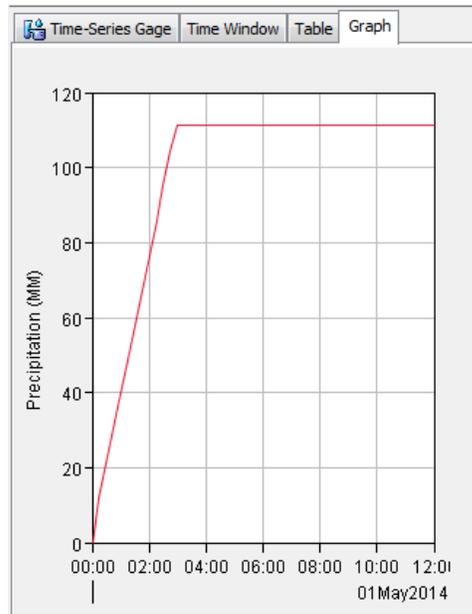


Grafico 25. Distribución de la precipitación con respecto al tiempo para la estación de Málaga con un periodo de retorno de 500 años y una duración de 4 Hr.

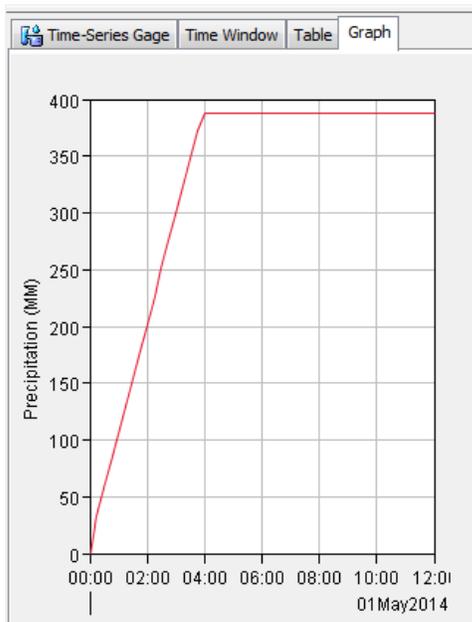
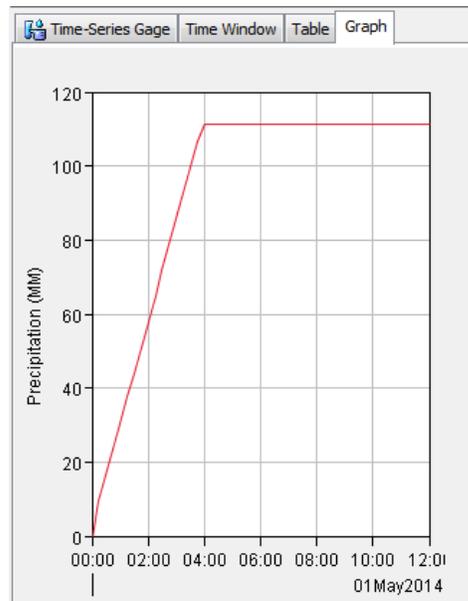


Grafico 26. Distribución de la precipitación con respecto al tiempo para la estación de Molagavita con un periodo de retorno de 500 años y una duración de 4 Hr.



En las graficas se muestra la distribución de la precipitación para las estaciones, esta se rige por la curva Huff (precipitación acumulada), durante intervalos de tiempo de 15 minutos con duración de tres y cuatro horas para periodos de retorno de 250 y 500 años, con un seguimiento de 12 horas donde la precipitación máxima alcanza un pico máximo de 388.28 para la estación de Málaga y 111.24 la estación de Molagavita.

4.5.2.5. Hidrogramas de crecida obtenidos para la microcuenca

Grafico 27. Hidrograma de entrada para el Sector 1 con tiempo de retorno de 250 años y una duración de 3 horas.

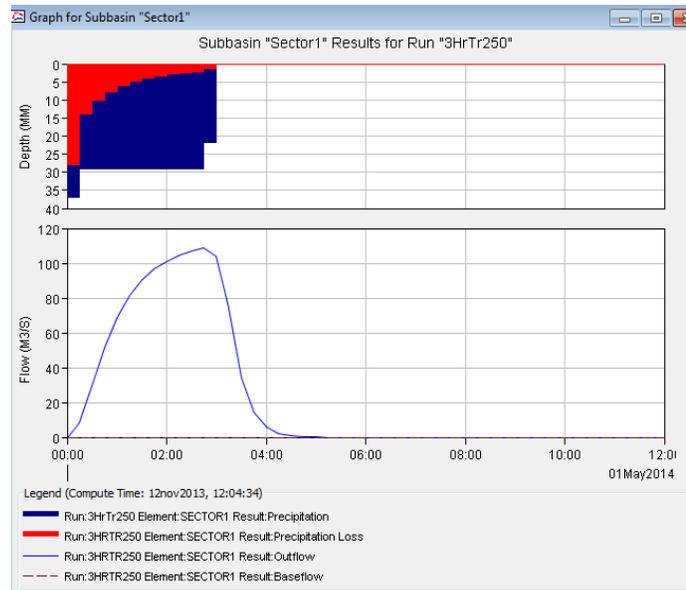


Grafico 28. Hidrograma de entrada para el Sector 2 con tiempo de retorno de 250 años y una duración de 3 horas.

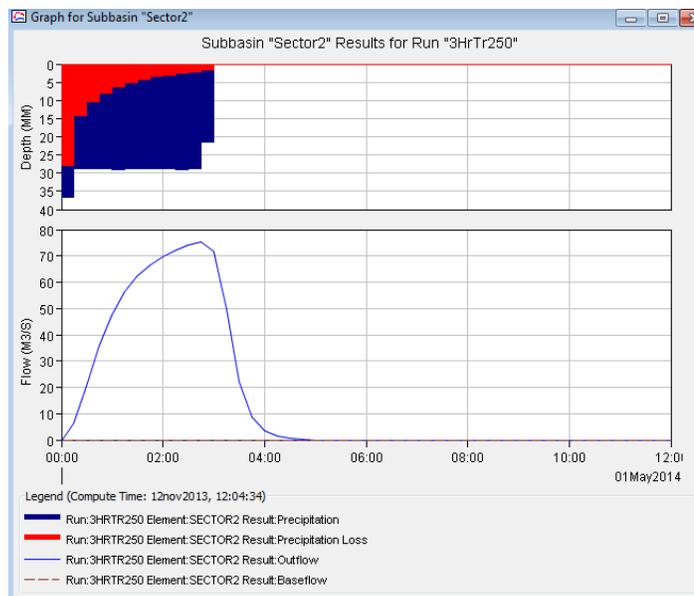


Grafico 29. Hidrograma de salida para el Sector 1 y Sector 2 en la Junta 1 con tiempo de retorno de 250 años y una duración de 3 horas.

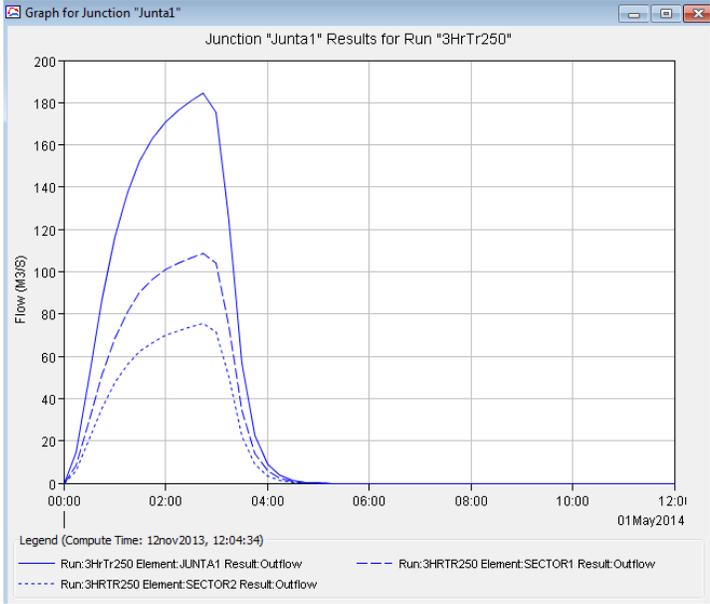


Grafico 30. Hidrograma de entrada para el Sector 3 con tiempo de retorno de 250 años y una duración de 3 horas.

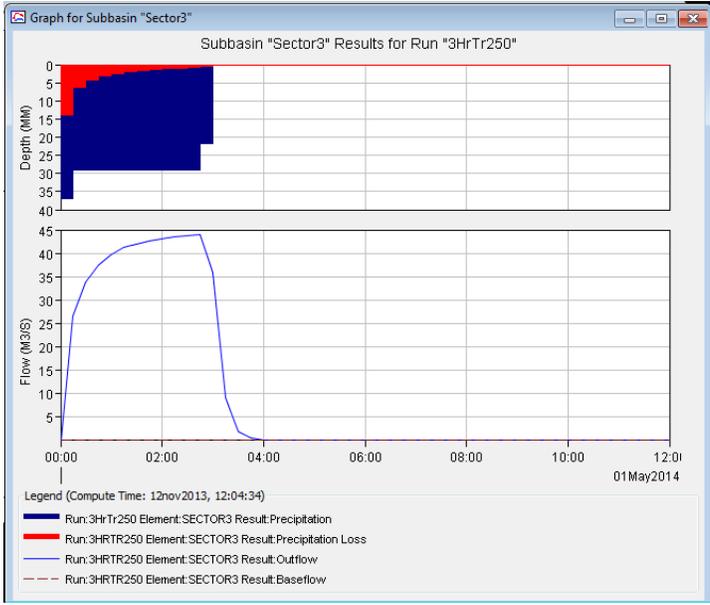


Grafico 31. Hidrograma de entrada para el Sector 4 con tiempo de retorno de 250 años y una duración de 3 horas.

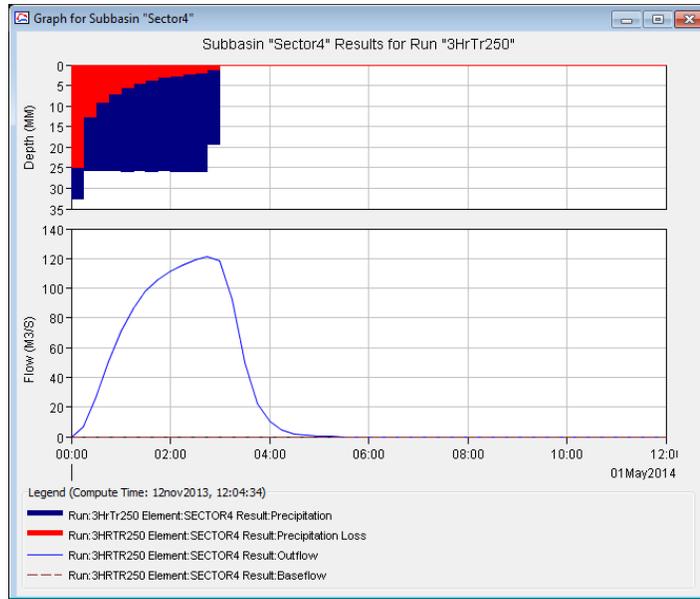


Grafico 32. Hidrograma de salida para el Sector 3 y Sector 4 en la Junta 2 con tiempo de retorno de 250 años y una duración de 3 horas.

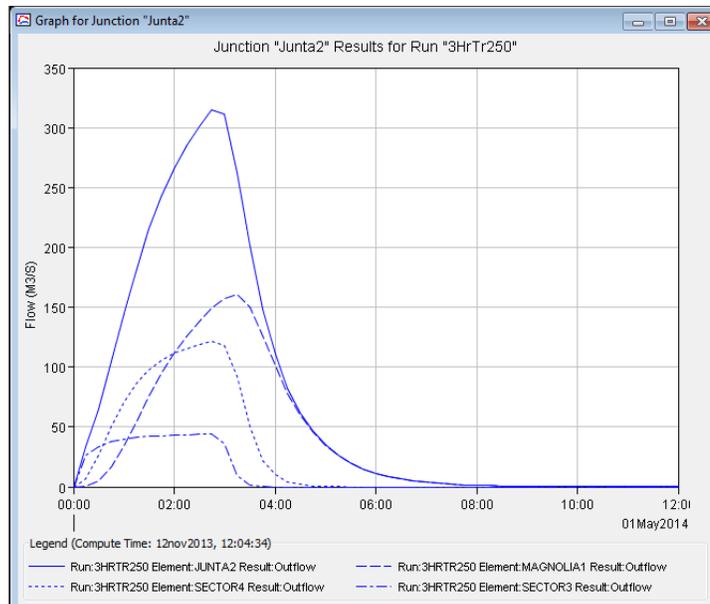


Grafico 33. Hidrograma de entrada para el Sector 5 con tiempo de retorno de 250 años y una duración de 3 horas.

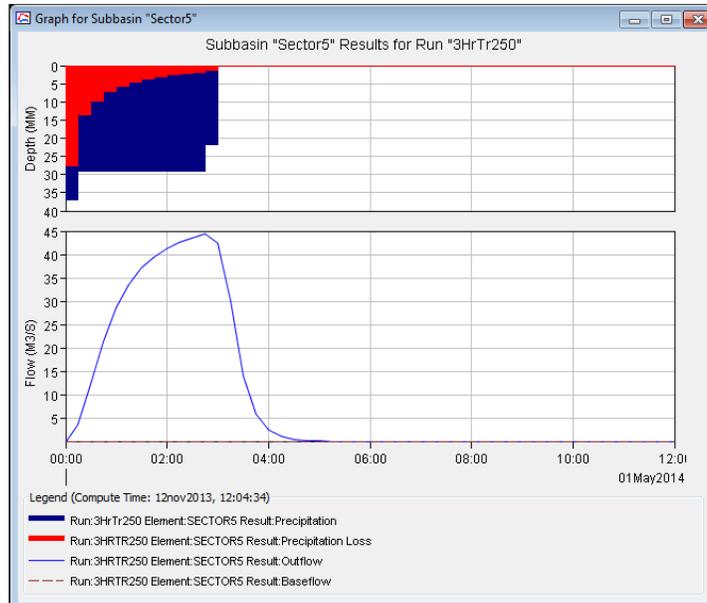


Grafico 34. Hidrograma de salida en la Junta Rio Servita con tiempo de retorno de 250 años y una duración de 3 horas.

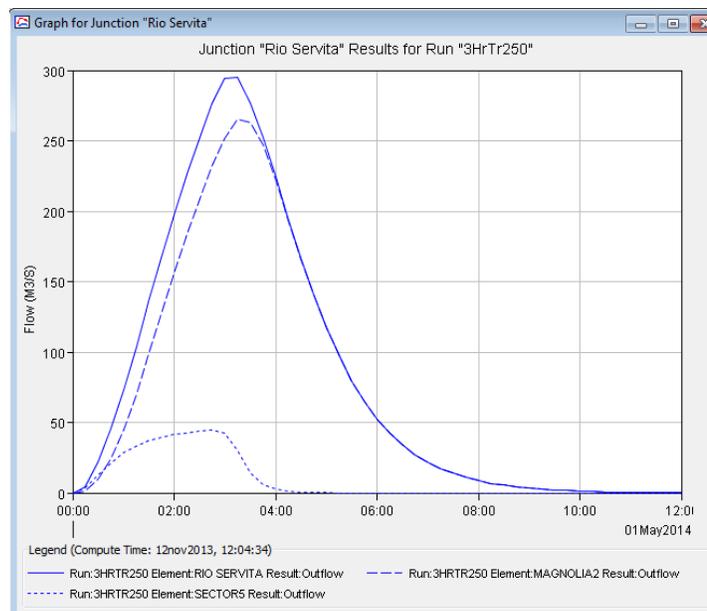


Grafico 35. Hidrograma de entrada para el Sector 1 con tiempo de retorno de 250 años y una duración de 4 horas.

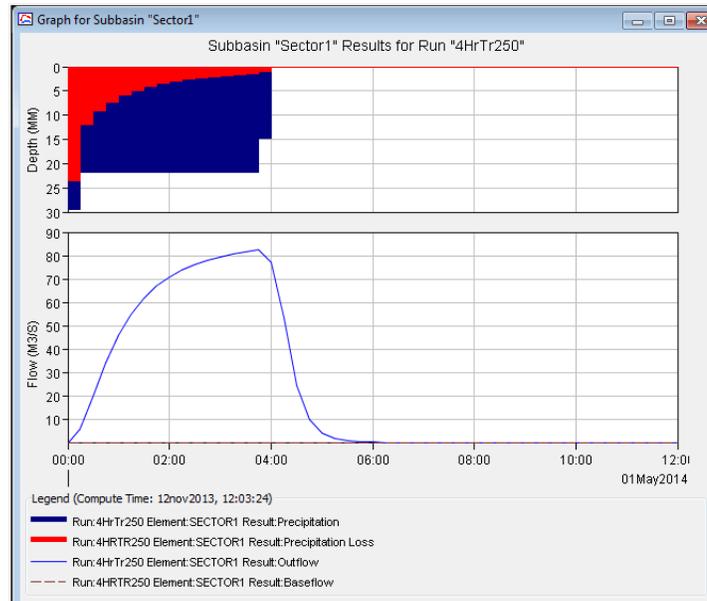


Grafico 36. Hidrograma de entrada para el Sector 2 con tiempo de retorno de 250 años y una duración de 4 horas.

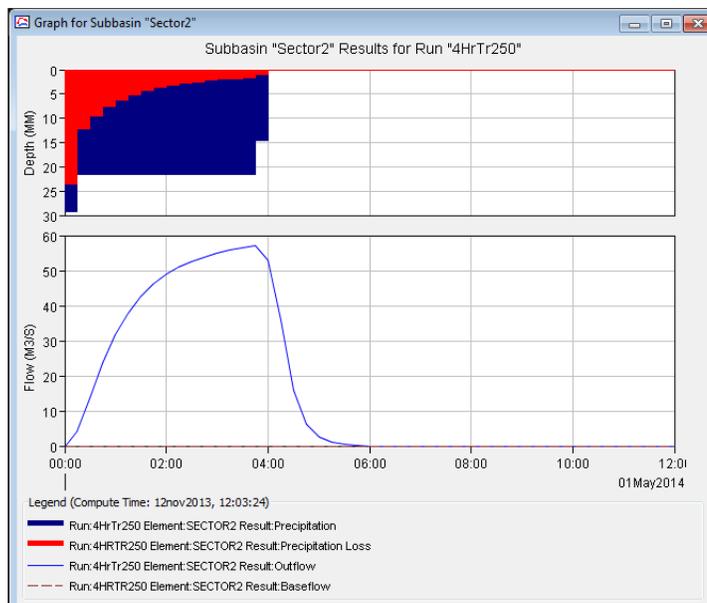


Grafico 37. Hidrograma de salida para el Sector 1 y Sector 2 en la Junta 1 con tiempo de retorno de 250 años y una duración de 4 horas.

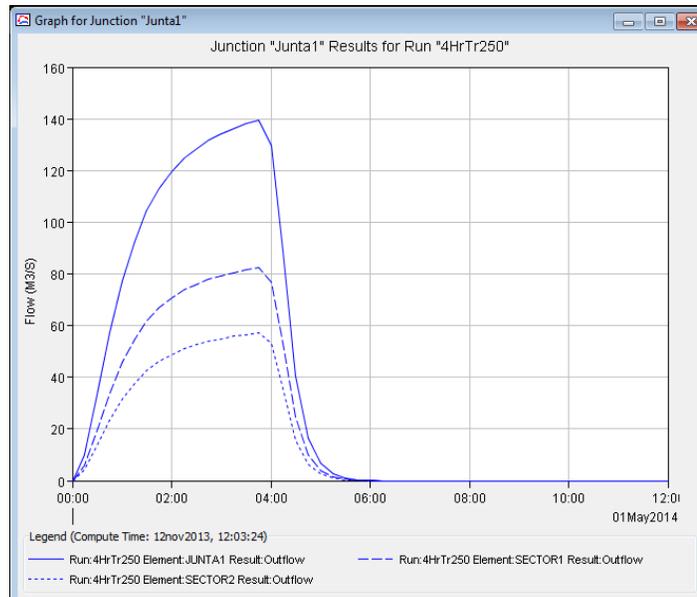


Grafico 38. Hidrograma de entrada para el Sector 3 con tiempo de retorno de 250 años y una duración de 4 horas.

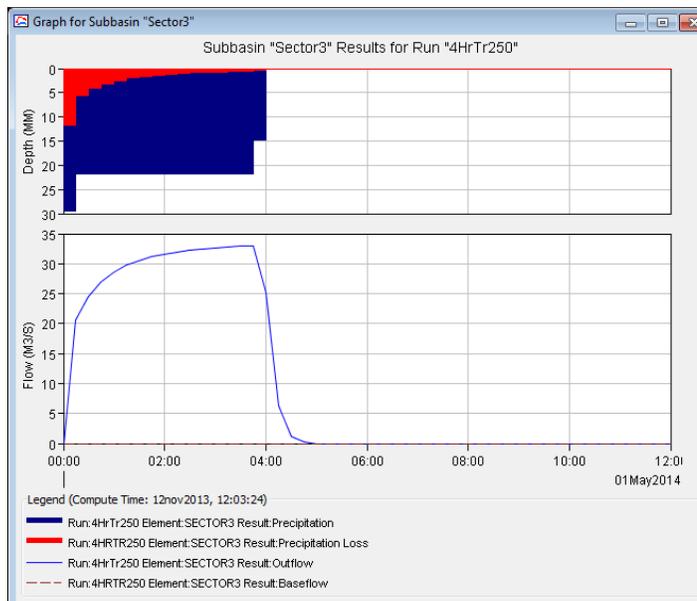


Grafico 39. Hidrograma de entrada para el Sector 4 con tiempo de retorno de 250 años y una duración de 4 horas.

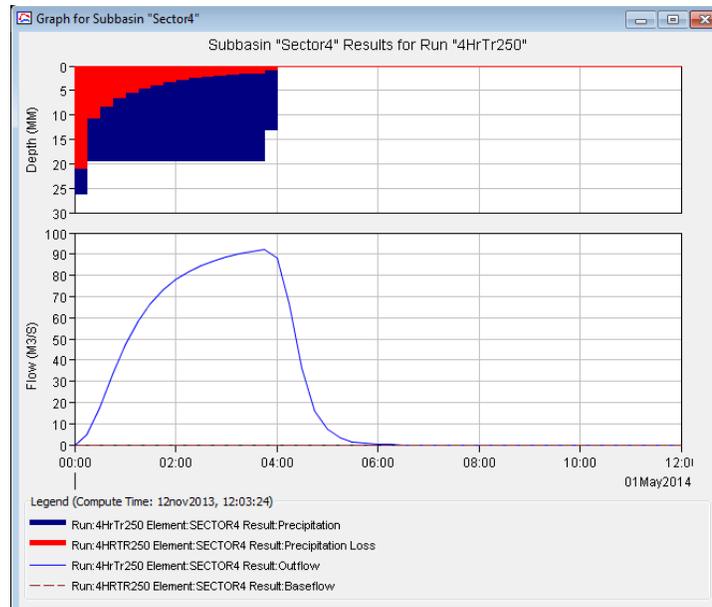


Grafico 40. Hidrograma de salida para el Sector 3 y Sector 4 en la Junta 2 con tiempo de retorno de 250 años y una duración de 4 horas.

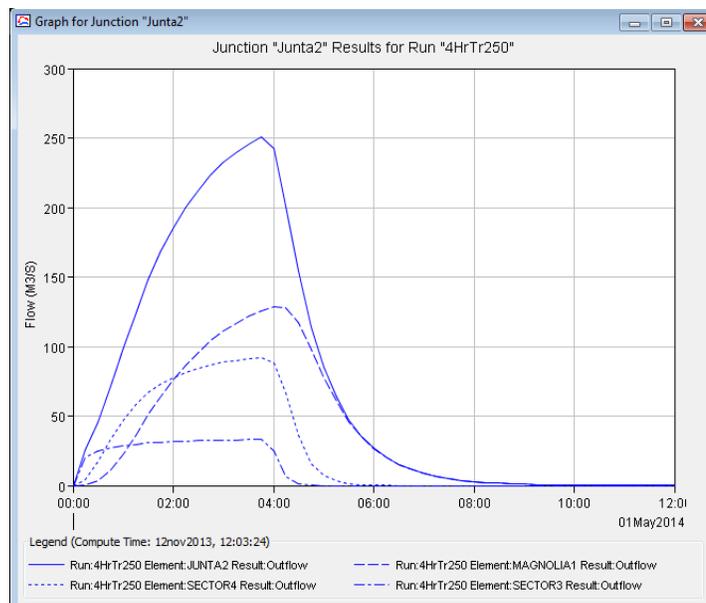


Grafico 41. Hidrograma de entrada para el Sector 5 con tiempo de retorno de 250 años y una duración de 4 horas

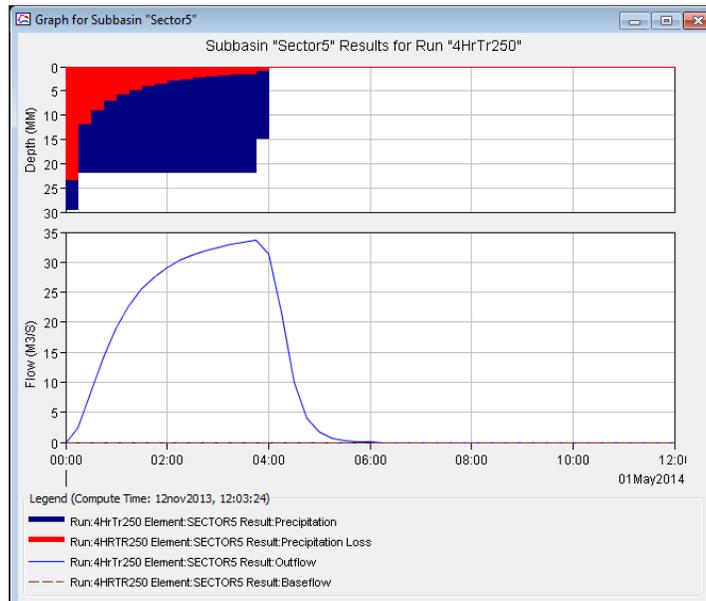


Grafico 42. Hidrograma de salida en la Junta Rio Servita con tiempo de retorno de 250 años y una duración de 4 horas

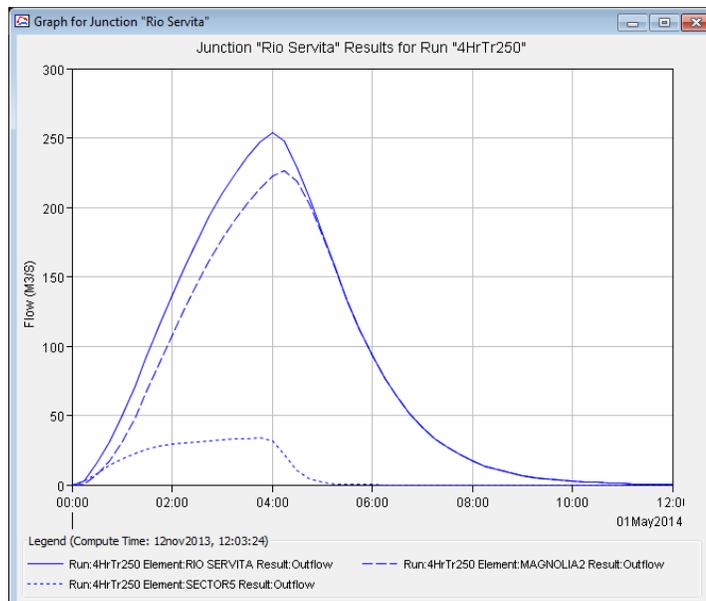


Grafico 43. Hidrograma de entrada para el Sector 1 con tiempo de retorno de 500 años y una duración de 3 horas.

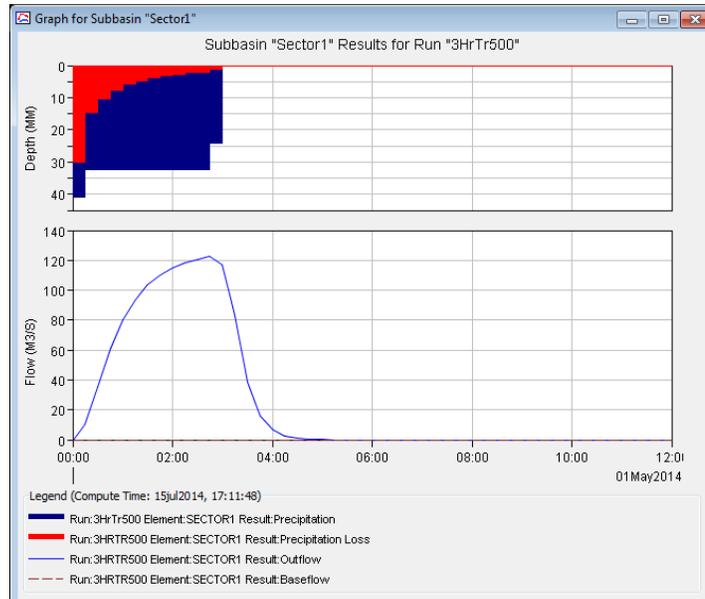


Grafico 44. Hidrograma de entrada para el Sector 2 con tiempo de retorno de 500 años y una duración de 3 horas.

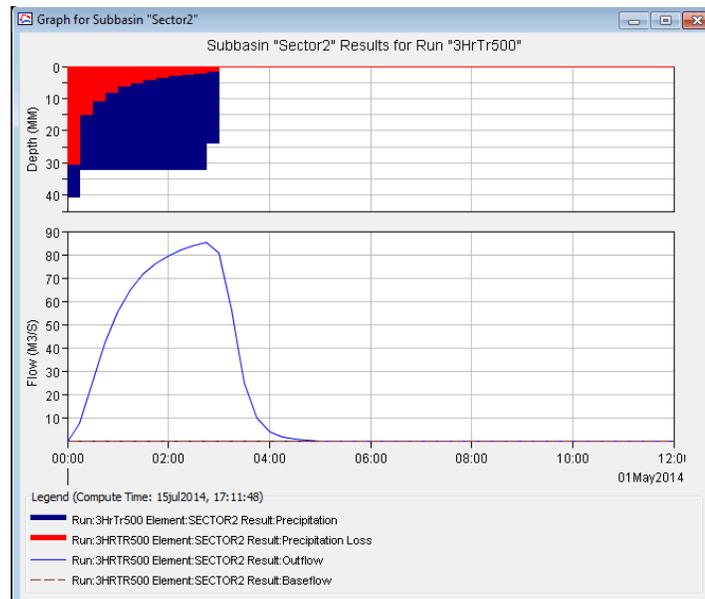


Grafico 45. Hidrograma de salida para el Sector 1 y Sector 2 en la Junta 1 con tiempo de retorno de 500 años y una duración de 3 horas.

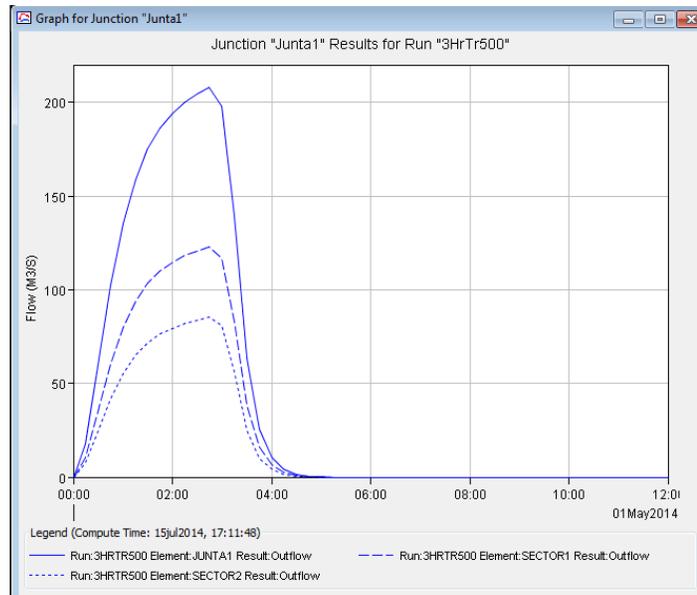


Grafico 46. Hidrograma de entrada para el Sector 3 con tiempo de retorno de 500 años y una duración de 3 horas.

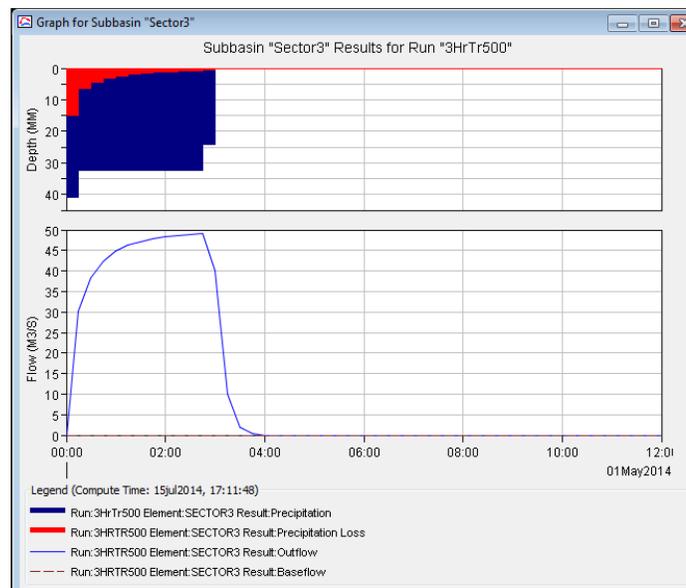


Grafico 47. Hidrograma de entrada para el Sector 4 con tiempo de retorno de 500 años y una duración de 3 horas.

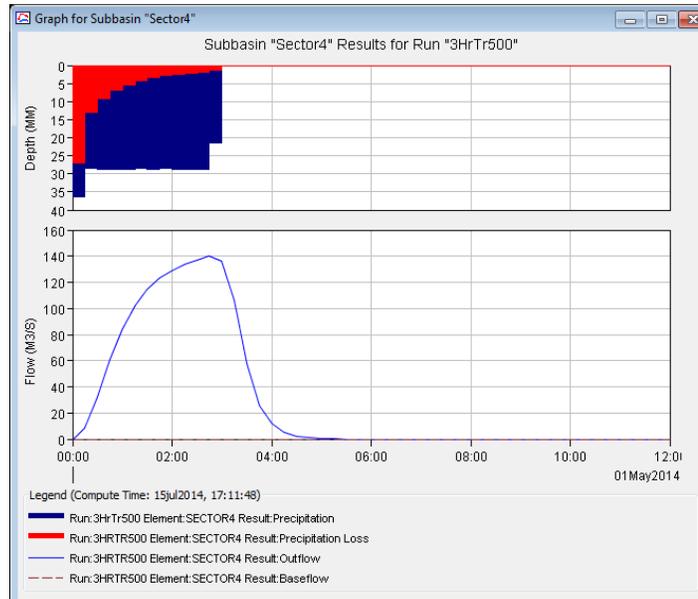


Grafico 48. Hidrograma de salida para el Sector 3 y Sector 4 en la Junta 2 con tiempo de retorno de 500 años y una duración de 3 horas.

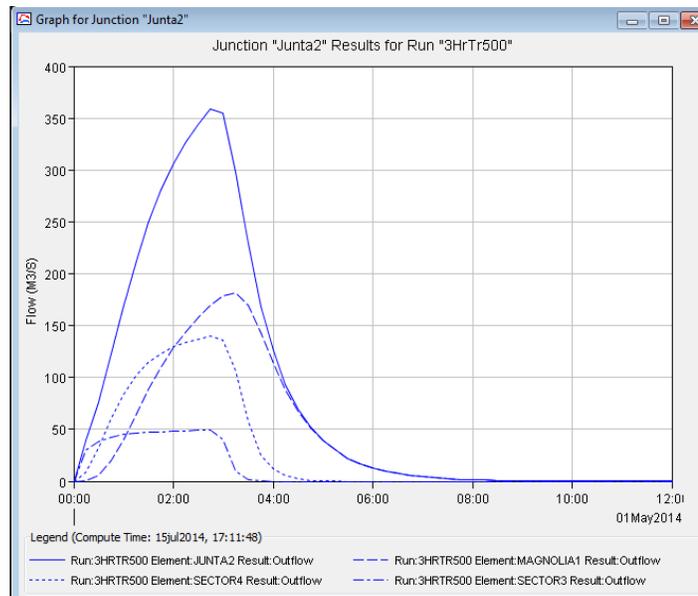


Grafico 49. Hidrograma de entrada para el Sector 5 con tiempo de retorno de 500 años y una duración de 3 horas.

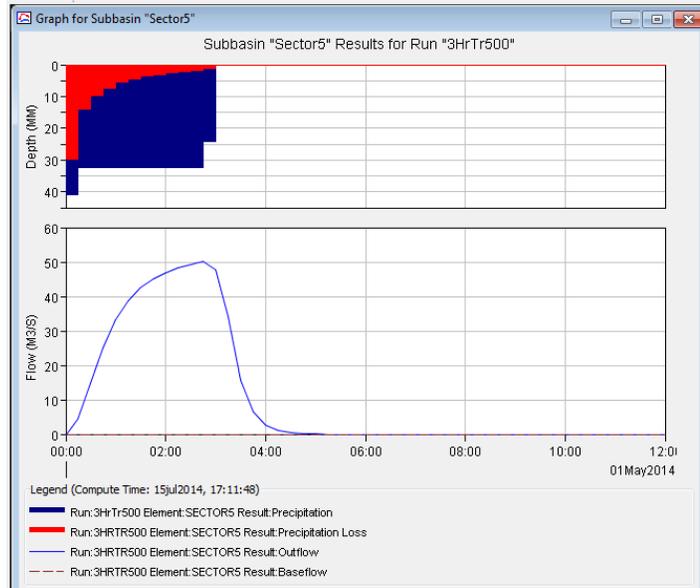


Grafico 50. Hidrograma de salida en la Junta Rio Servita con tiempo de retorno de 500 años y una duración de 3 horas

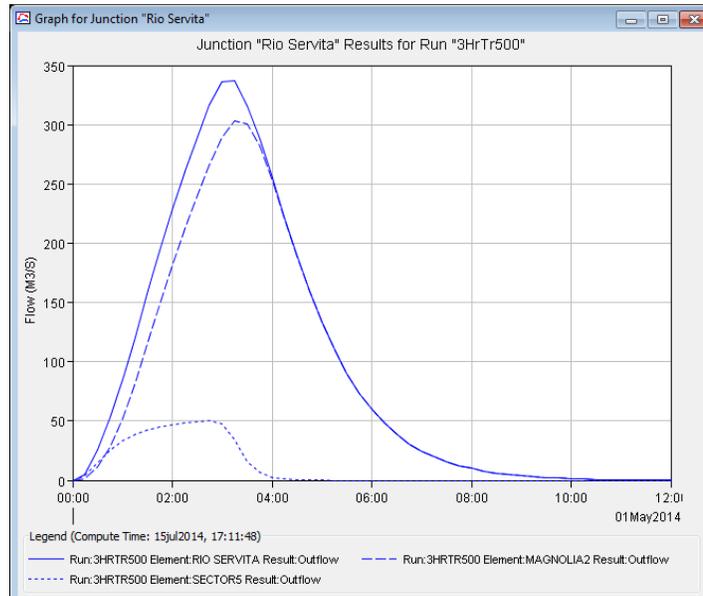


Grafico 51. Hidrograma de entrada para el Sector 1 con tiempo de retorno de 500 años y una duración de 4 horas.

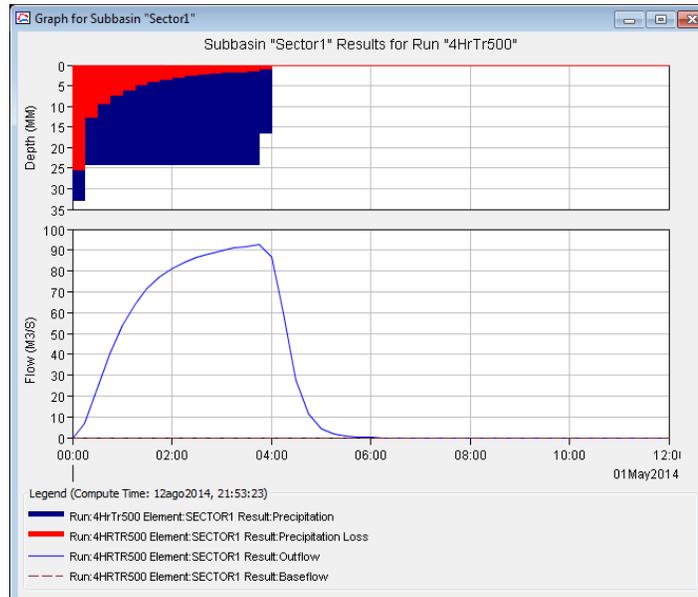


Grafico 52. Hidrograma de entrada para el Sector 2 con tiempo de retorno de 500 años y una duración de 4 horas.

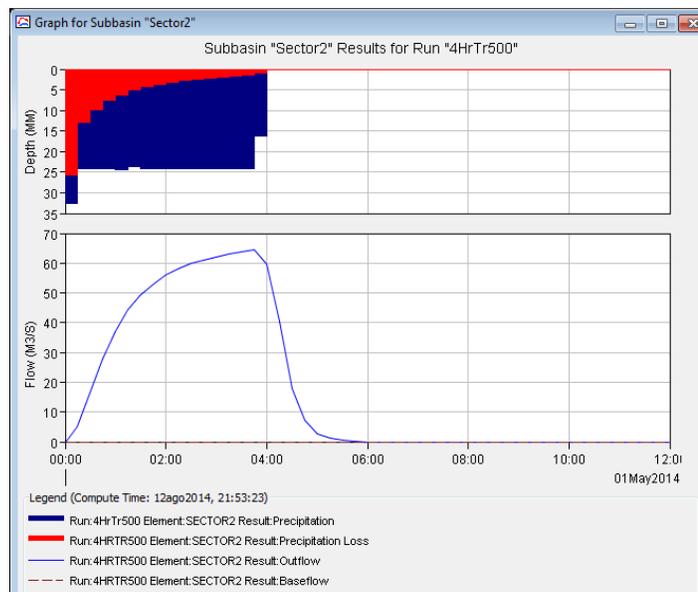


Grafico 53. Hidrograma de salida para el Sector 1 y Sector 2 en la Junta 1 con tiempo de retorno de 500 años y una duración de 3 horas.

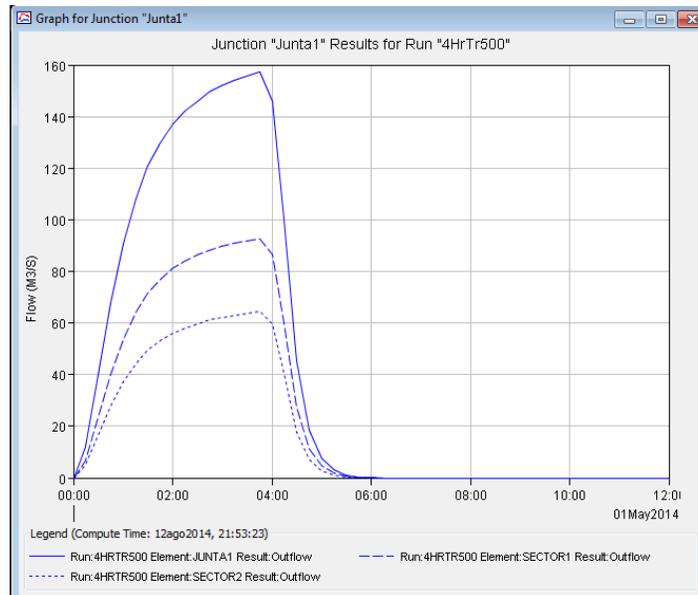


Grafico 54. Hidrograma de entrada para el Sector 3 con tiempo de retorno de 500 años y una duración de 4 horas.

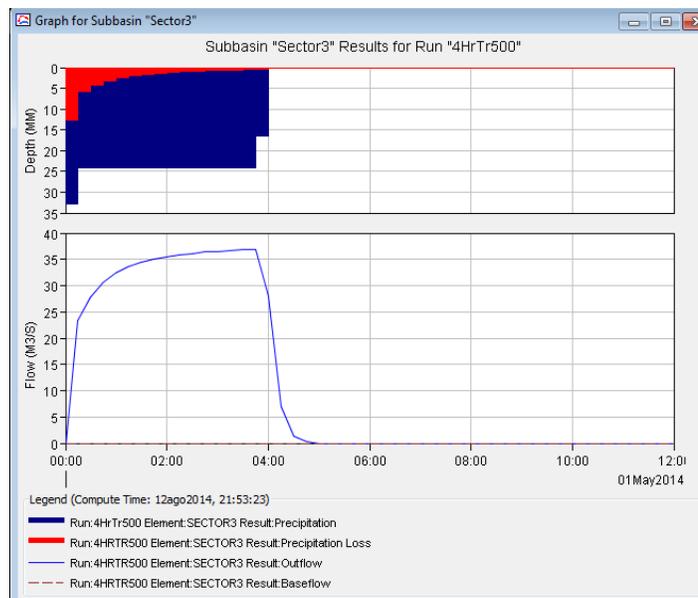


Grafico 55. Hidrograma de entrada para el Sector 4 con tiempo de retorno de 500 años y una duración de 4 horas.

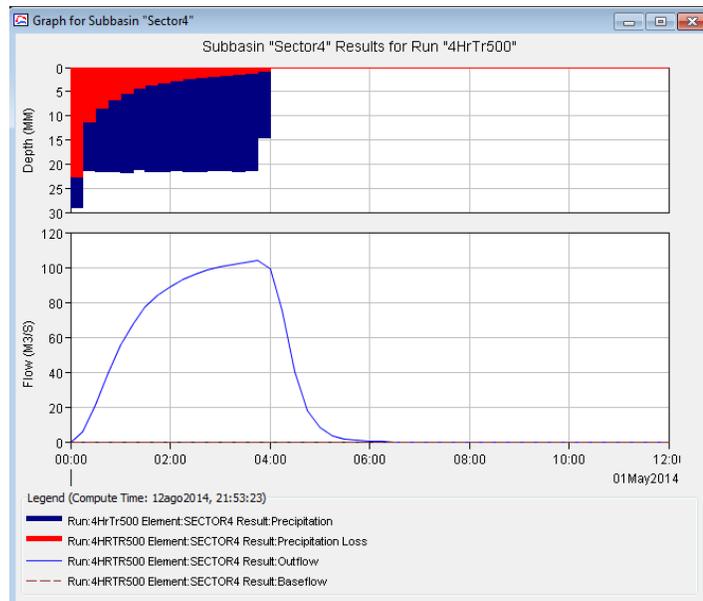


Grafico 56. Hidrograma de salida para el Sector 3 y Sector 4 en la Junta 2 con tiempo de retorno de 500 años y una duración de 4 horas.

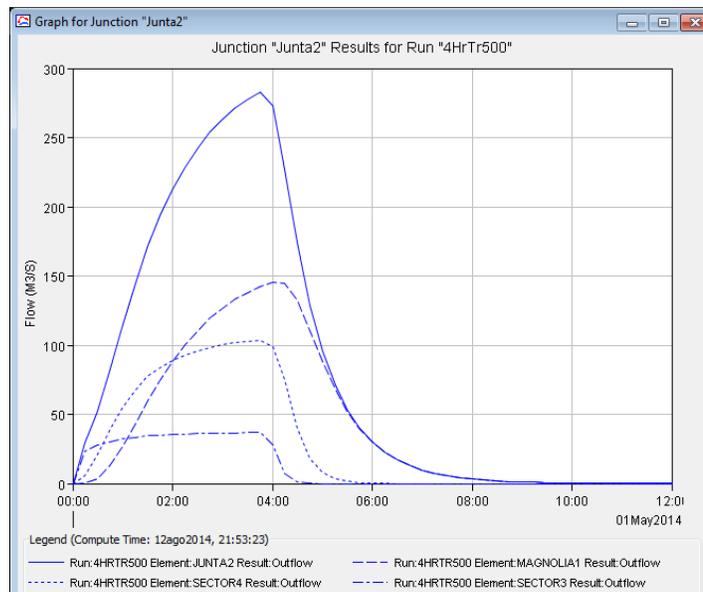


Grafico 57. Hidrograma de entrada para el Sector 5 con tiempo de retorno de 500 años y una duración de 4 horas.

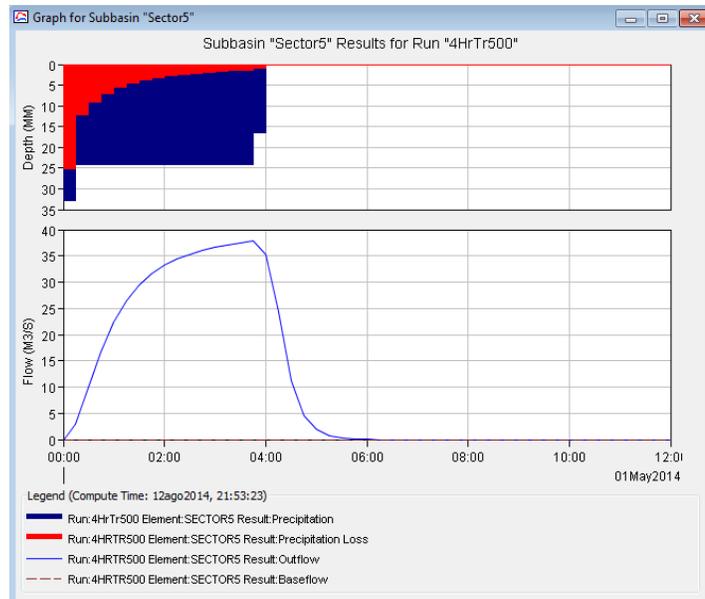
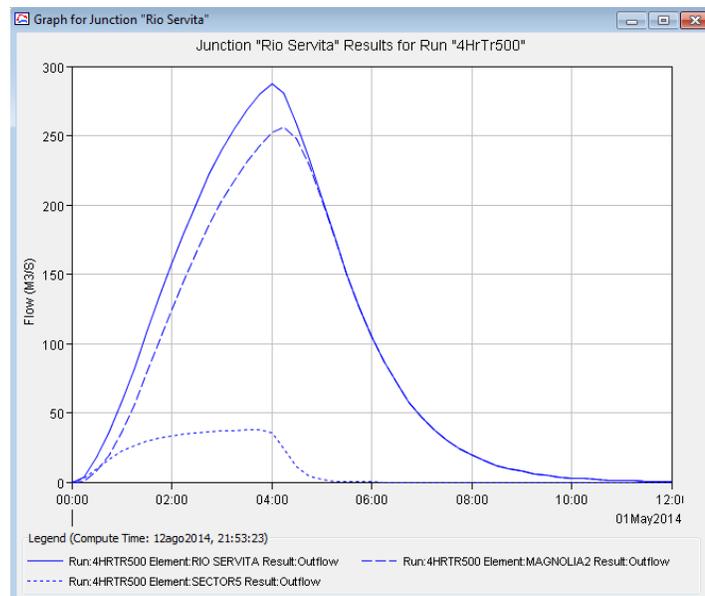


Grafico 58. Hidrograma de salida en la Junta Rio Servita con tiempo de retorno de 500 años y una duración de 4 horas



Según este hidrograma se deduce que al unirse el flujo total de los tributarios al cauce principal (Magnolia 1- Magnolia 2) de la microcuenca, se genera el caudal máximo o flujo total el cual toma un valor de 287.1 m³/s para un tiempo de retorno de 500 años.

Los hidrogramas de entrada y salida obtenidos en cada uno de los sectores; estas graficas expresan el comportamiento contra el tiempo para periodo de retorno de 250 y 500 años y una duración de 3 y 4 horas; en el cual se observa el caudal pico, tiempo pico inicio y fin de la avenida.

De la forma de los hidrogramas anteriores se puede decir que la torrencialidad de la microcuenca la Magnolia en general es mediana, debido a que los hidrogramas muestran un pico no muy agudo, permitiendo decir que el riesgo a crecidas es mediano. Según los hietogramas se deduce que cantidad de agua infiltrada es menor que el agua que llega por escorrentía al cauce principal.

A continuación se presentan los resultados de la modelación del tránsito de hidrogramas de salida para la microcuenca dividida en los 5 sectores.

Cuadro 62. Resultados de caudales m³/s para periodo de retorno de 250 y 500años con duración de 3 y 4 horas.

| CAUCE PRINCIPAL | 3HrTr250 | 3HrTr500 | 4HrTr250 | 4HrTr500 |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|
| Sector 1 | 108.8 | 122.7 | 82.4 | 92.8 |
| Sector 2 | 75.5 | 85.2 | 57.1 | 64.4 |
| Junta 1 | 184.3 | 207.9 | 139.5 | 157.2 |
| Magnolia 1 | 160.5 | 181.9 | 128.7 | 145.7 |
| Sector 3 | 44.0 | 49.2 | 33.0 | 36.9 |
| Sector 4 | 121.6 | 139.8 | 92.3 | 103.8 |
| Junta 2 | 314.4 | 358.5 | 250.9 | 283.1 |
| Magnolia 2 | 265.0 | 303.3 | 226.1 | 255.9 |
| Sector 5 | 44.4 | 50.0 | 33.6 | 37.8 |
| Rio Servita | 295.2 | 337.2 | 253.6 | 287.1 |

4.5.3. MODELAMIENTO HIDRAULICO

4.5.3.1. Perfiles de inundación de la microcuenca mediante la aplicación de HEC RAS

Una vez procesada en el software la información batimétrica de la microcuenca, el programa mostro los perfiles de inundación de los cuales se destacaron aquellos que presentan desbordamiento para tiempos de 250 y 500 años.

Grafico 59. Perfiles de desbordamiento para periodo de retorno de 250 y 500 años a partir de una lluvia de 3 y 4 horas de duración, ubicación X1148235.2592 Y1232813.2468.

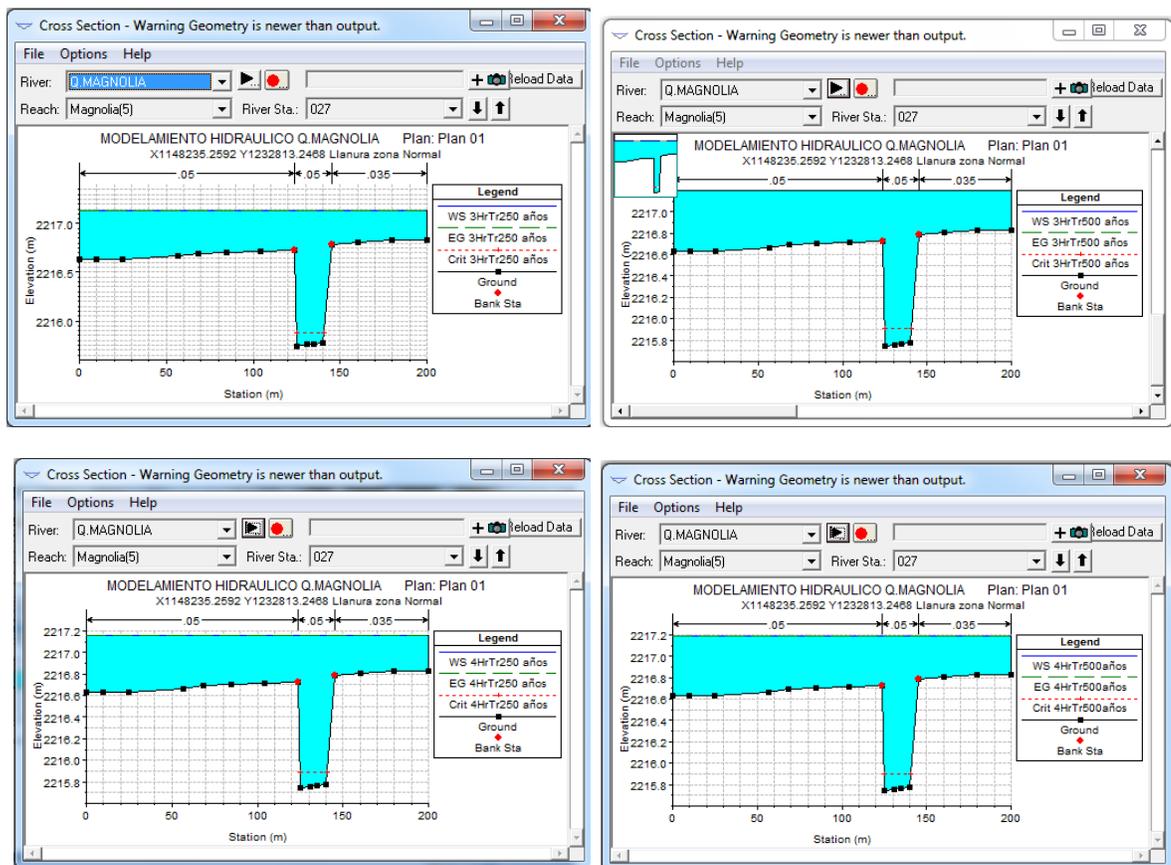


Grafico 60. Perfiles de desbordamiento para periodo de retorno de 250 y 500 años a partir de una lluvia de 3 y 4 horas de duración, ubicación X1148275.4941 Y1232791.3839

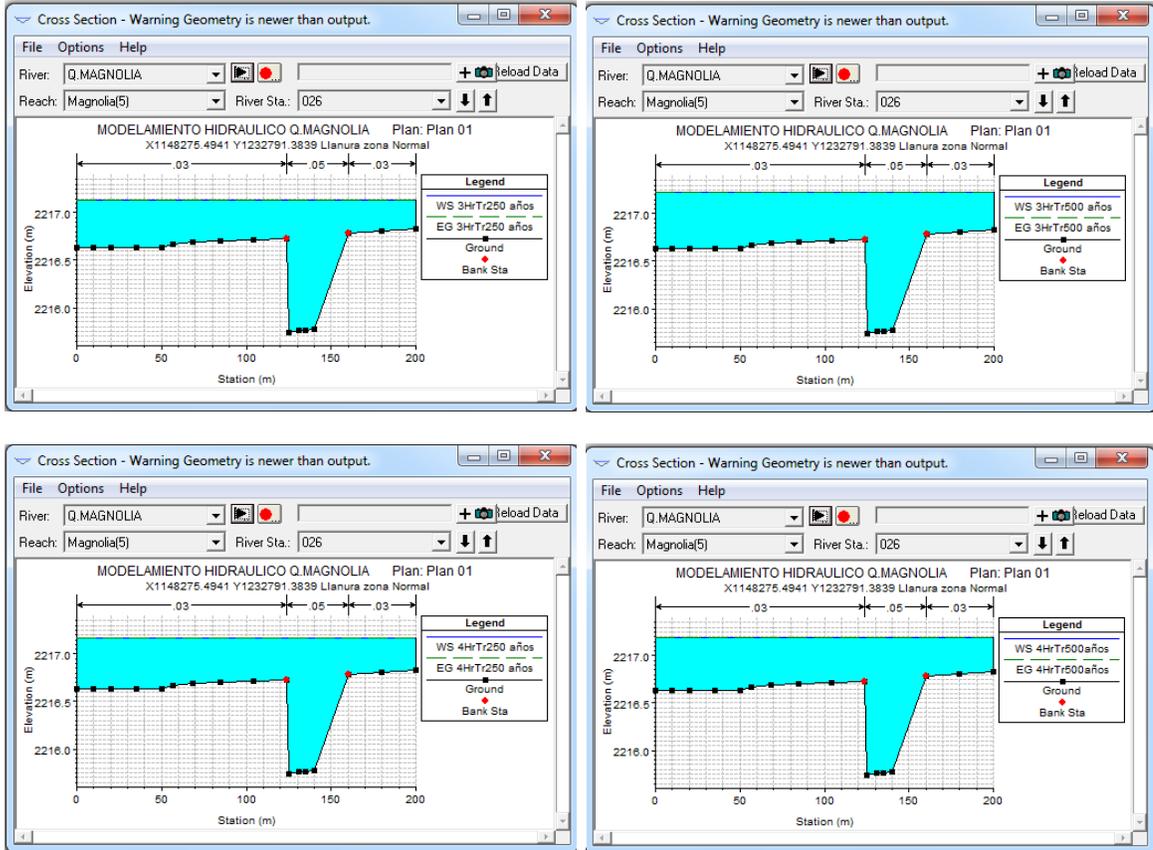
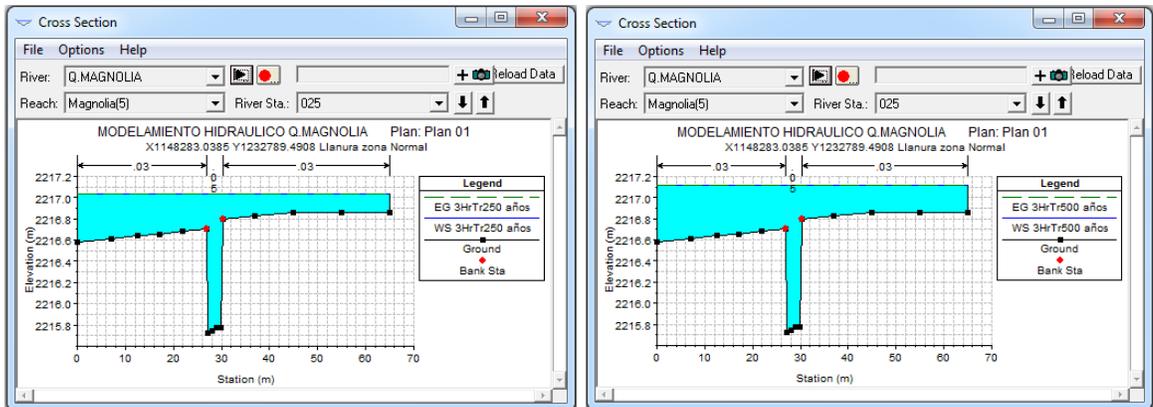


Grafico 61. Perfiles de desbordamiento para periodo de retorno de 250 y 500 años a partir de una lluvia de 3 y 4 horas de duración, ubicación X1148283.0385 Y1232789.4908.



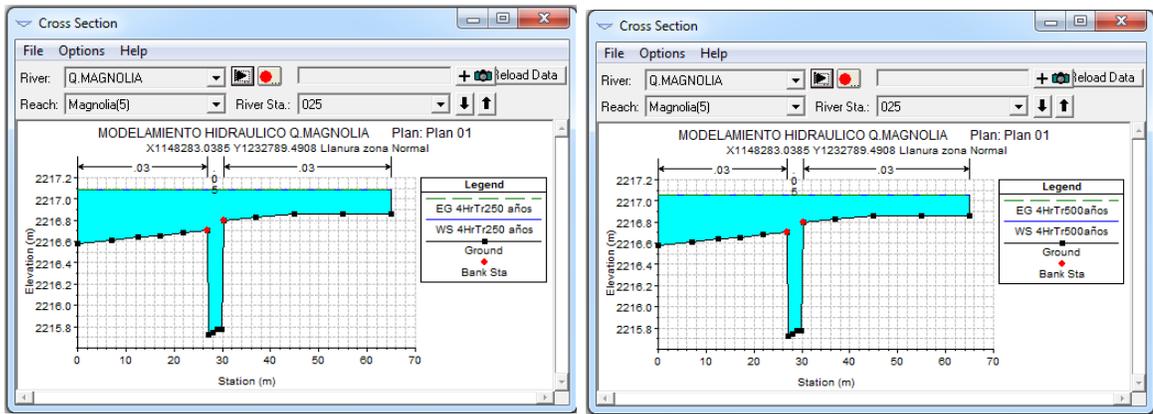


Grafico 62. Perfiles de desbordamiento para periodo de retorno de 250 y 500 años a partir de una lluvia de 3 y 4 horas de duración, ubicación X1148316.7997 Y1232823.3705

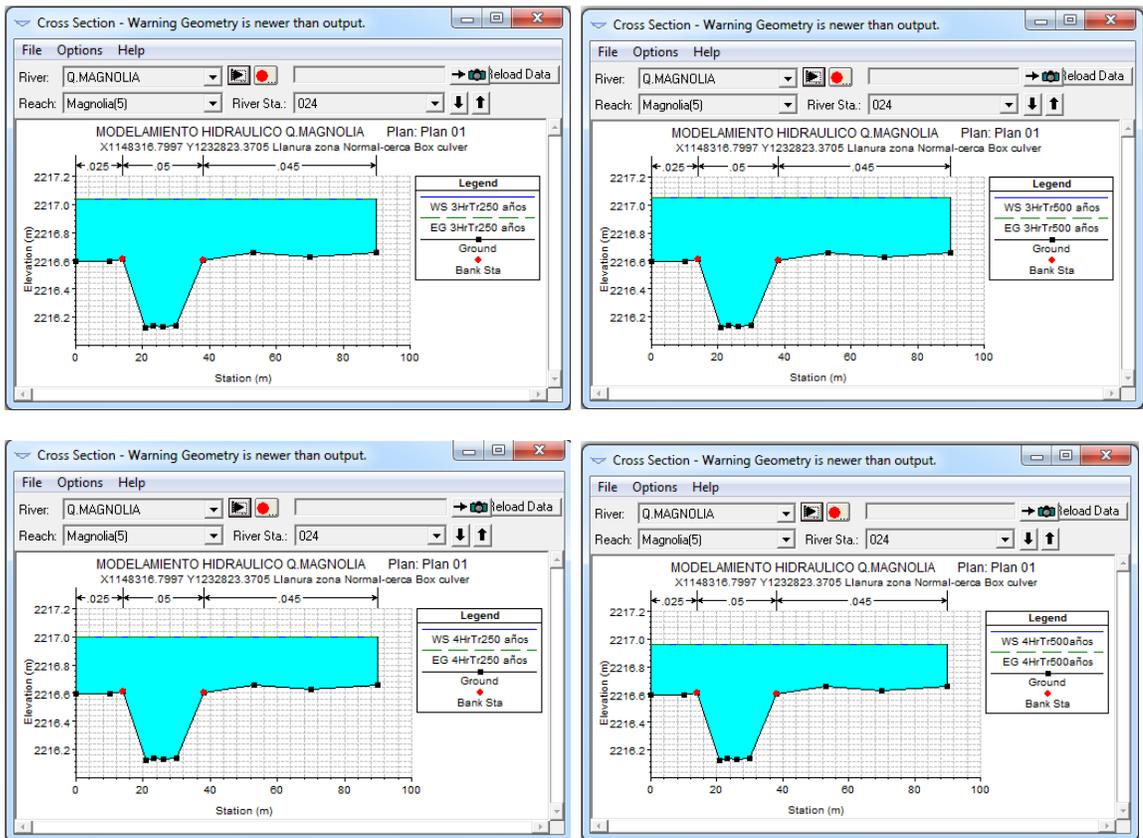


Grafico 63. Perfiles de desbordamiento para periodo de retorno de 250 y 500 años a partir de una lluvia de 3 y 4 horas de duración, ubicación X1148330.6358 Y1232822.8462

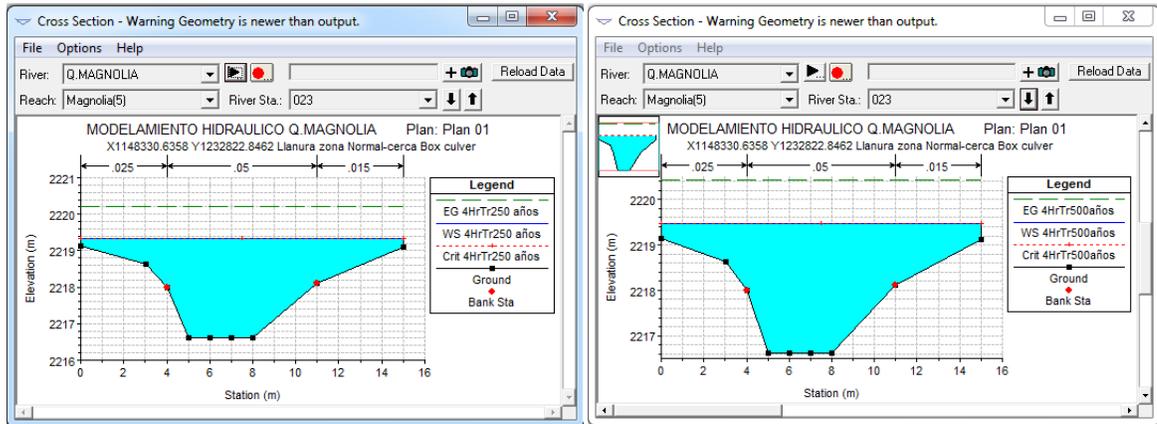
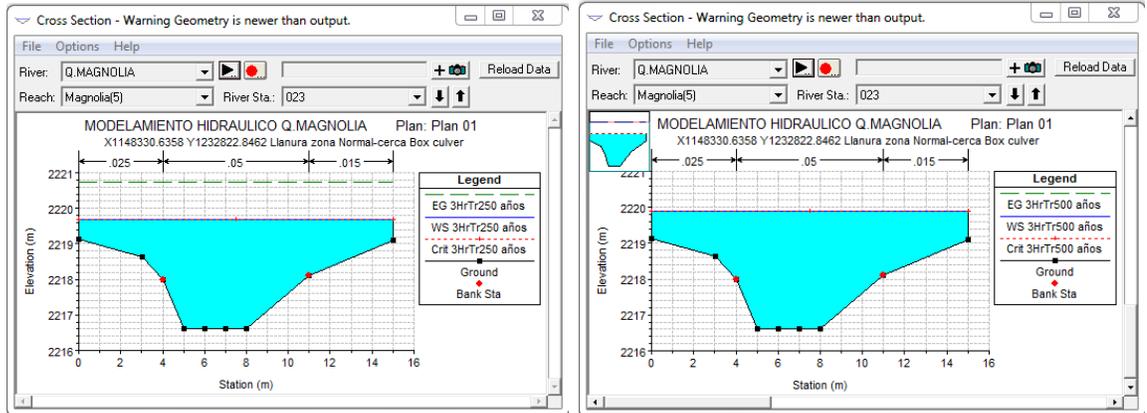
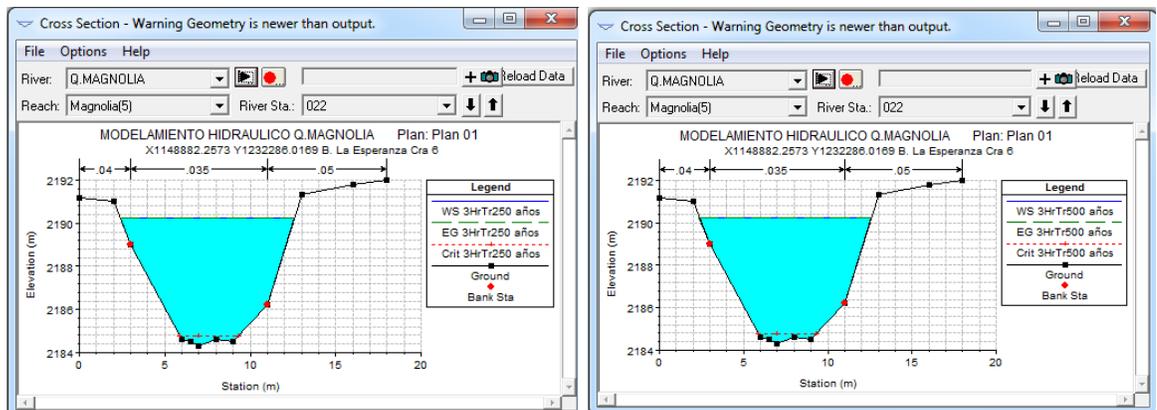


Grafico 64. Perfiles de desbordamiento para periodo de retorno de 250 y 500 años a partir de una lluvia de 3 y 4 horas de duración, ubicación X1148882.2573 Y1232286.016



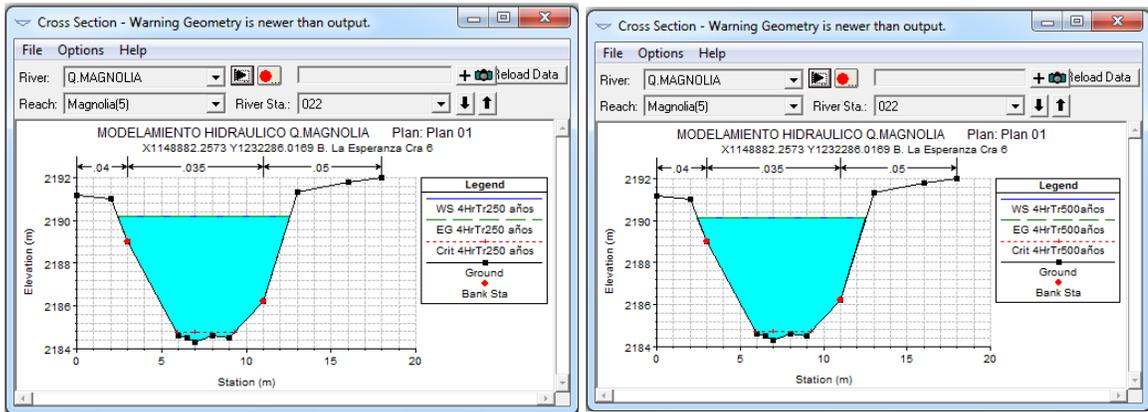


Gráfico 65. Perfiles de desbordamiento para periodo de retorno de 250 y 500 años a partir de una lluvia de 3 y 4 horas de duración, ubicación X1148897.9474 Y1232186.0136

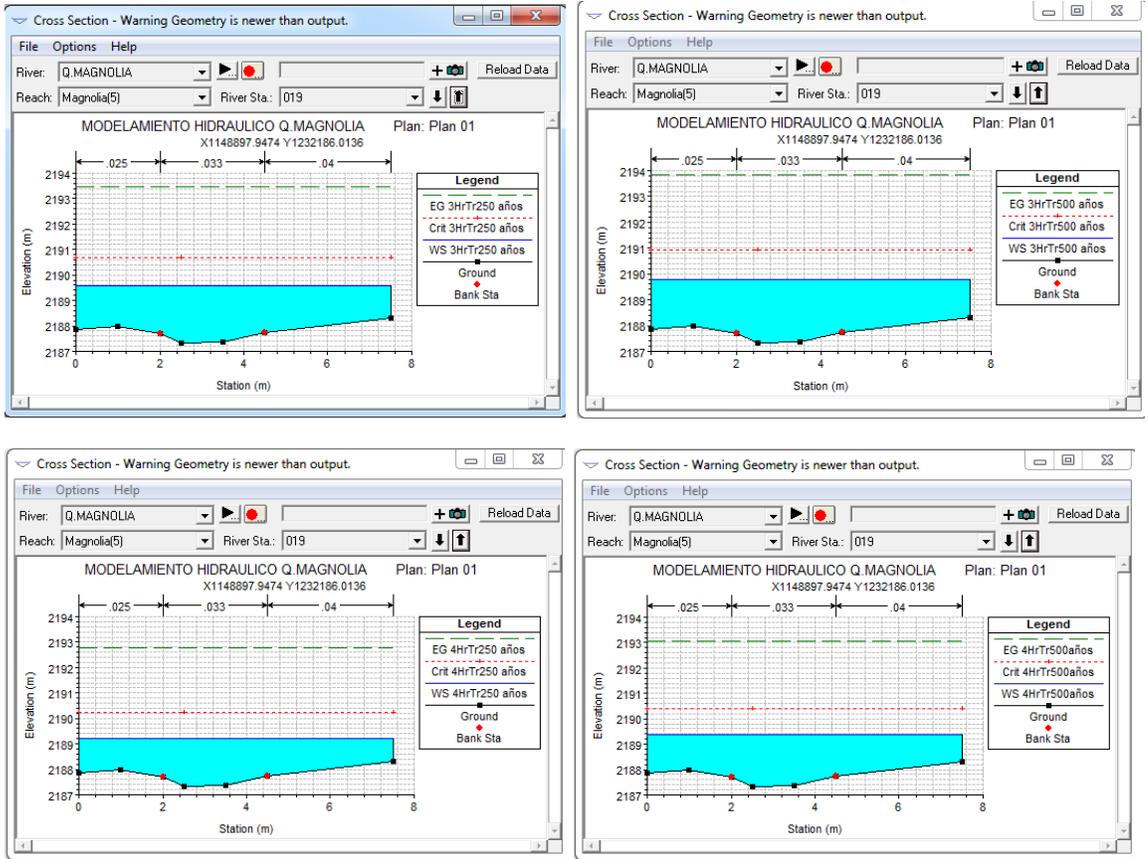


Grafico 66. Perfiles de desbordamiento para periodo de retorno de 250 y 500 años a partir de una lluvia de 3 y 4 horas de duración, ubicación X1148915.6218 Y1232118.1063

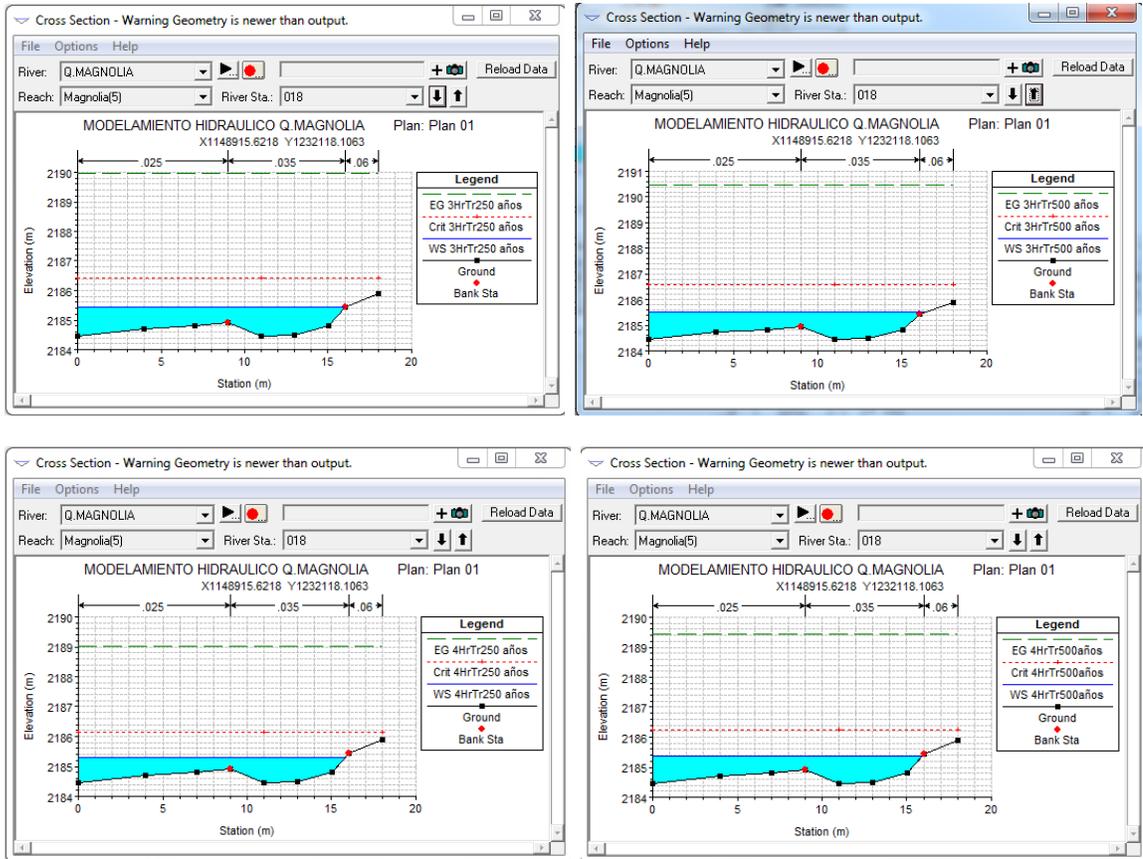
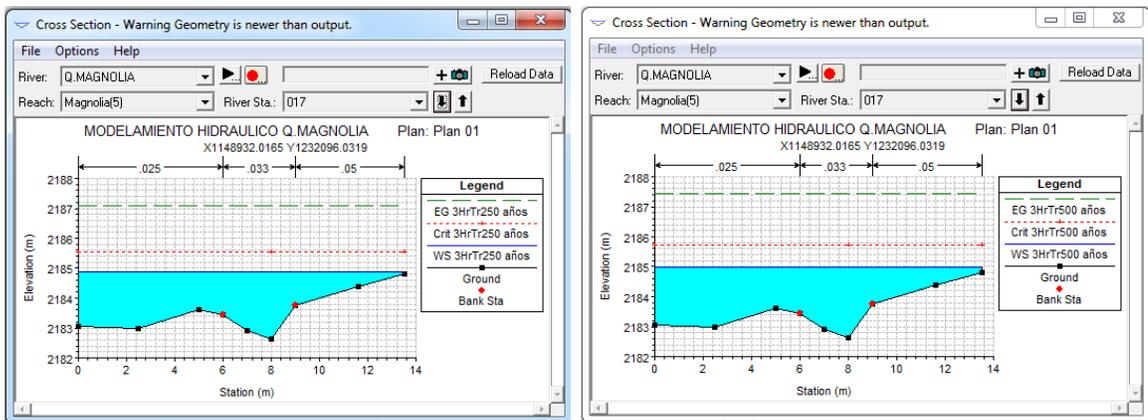


Grafico 67. Perfiles de desbordamiento para periodo de retorno de 250 y 500 años a partir de una lluvia de 3 y 4 horas de duración, ubicación X1148932.0165 Y1232096.0319



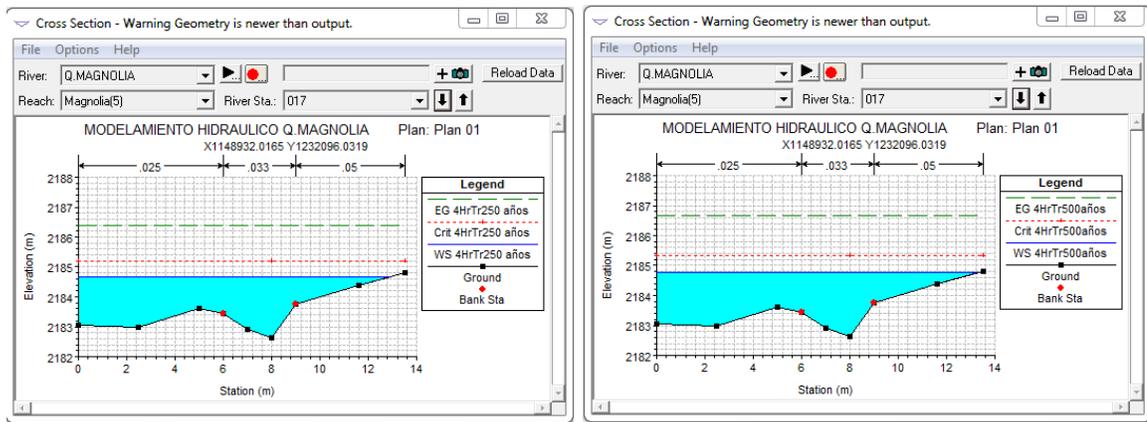


Grafico 68. Perfiles de desbordamiento para periodo de retorno de 250 y 500 años a partir de una lluvia de 3 y 4 horas de duración, ubicación X1148959.5305 Y1232061.9927

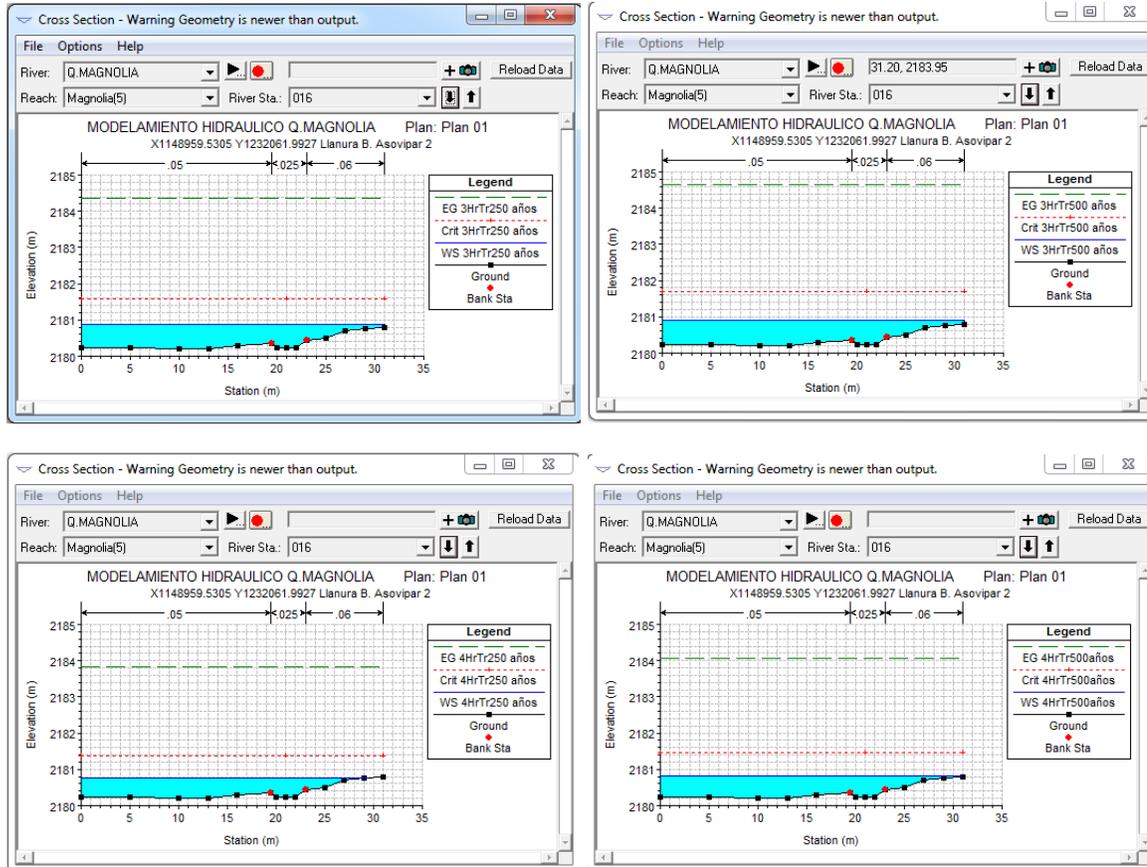


Grafico 69. Perfiles de desbordamiento para periodo de retorno de 250 y 500 años a partir de una lluvia de 3 y 4 horas de duración, ubicación X1148966.3533 Y1232044.62011

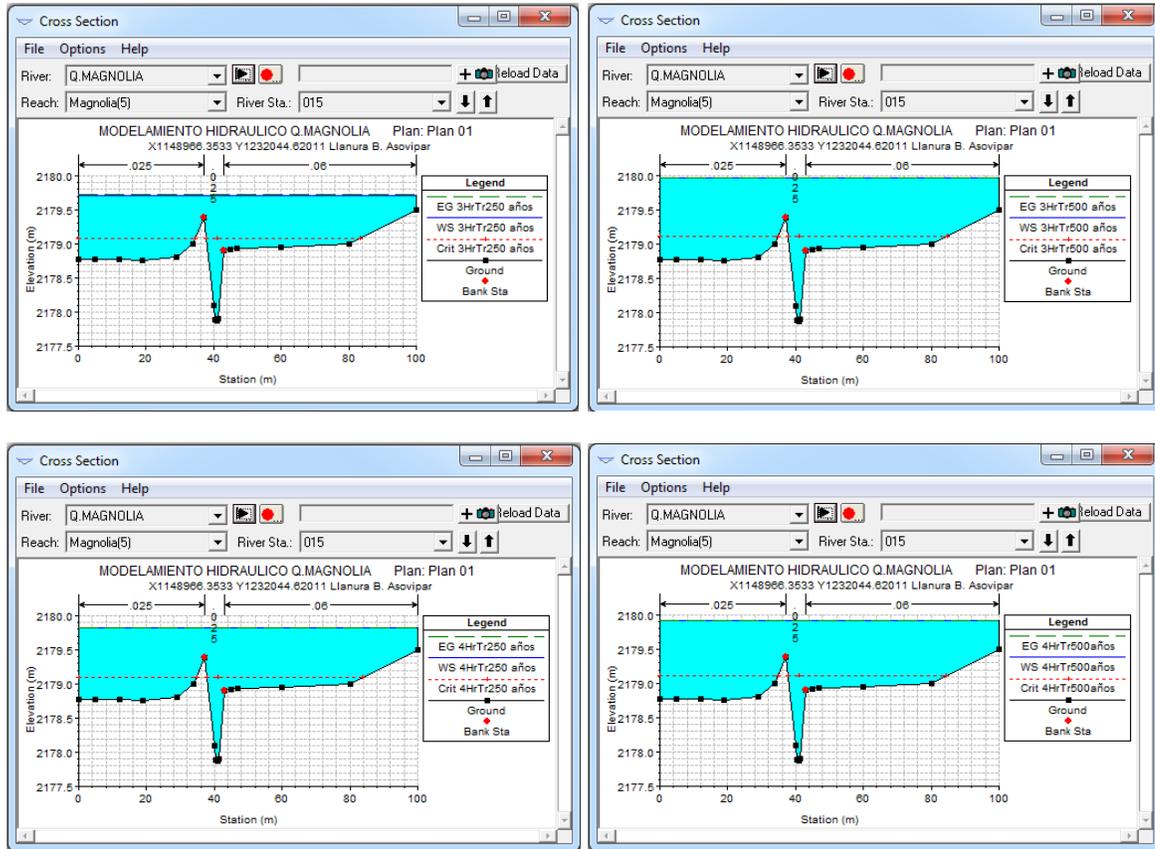
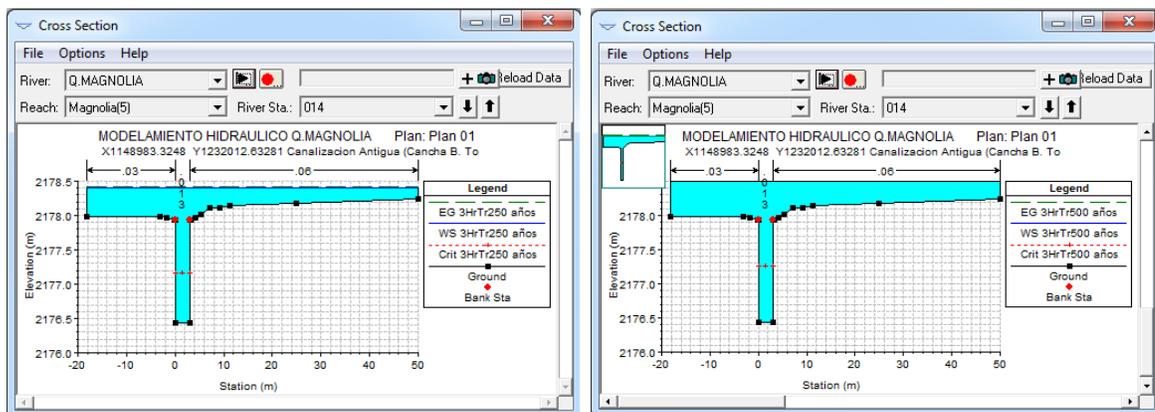


Grafico 70. Perfiles de desbordamiento para periodo de retorno de 250 y 500 años a partir de una lluvia de 3 y 4 horas de duración, ubicación X1148983.3248 Y1232012.63281



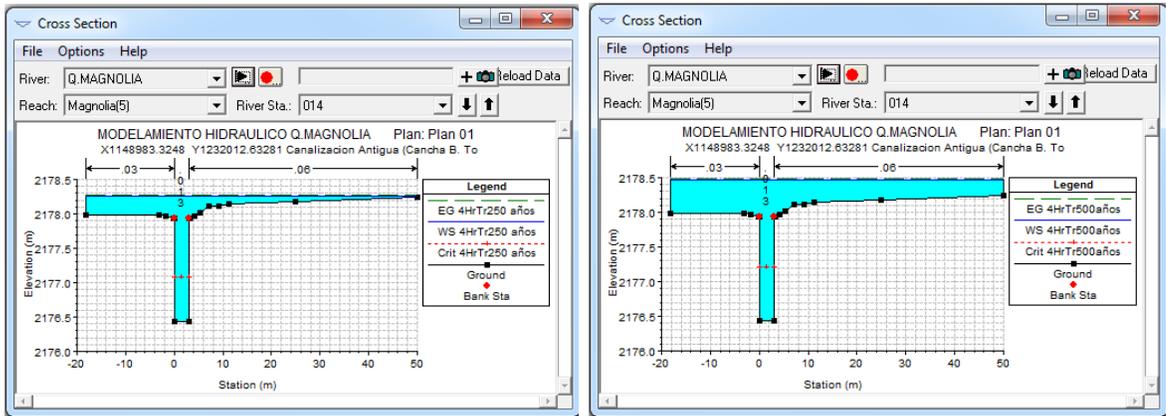
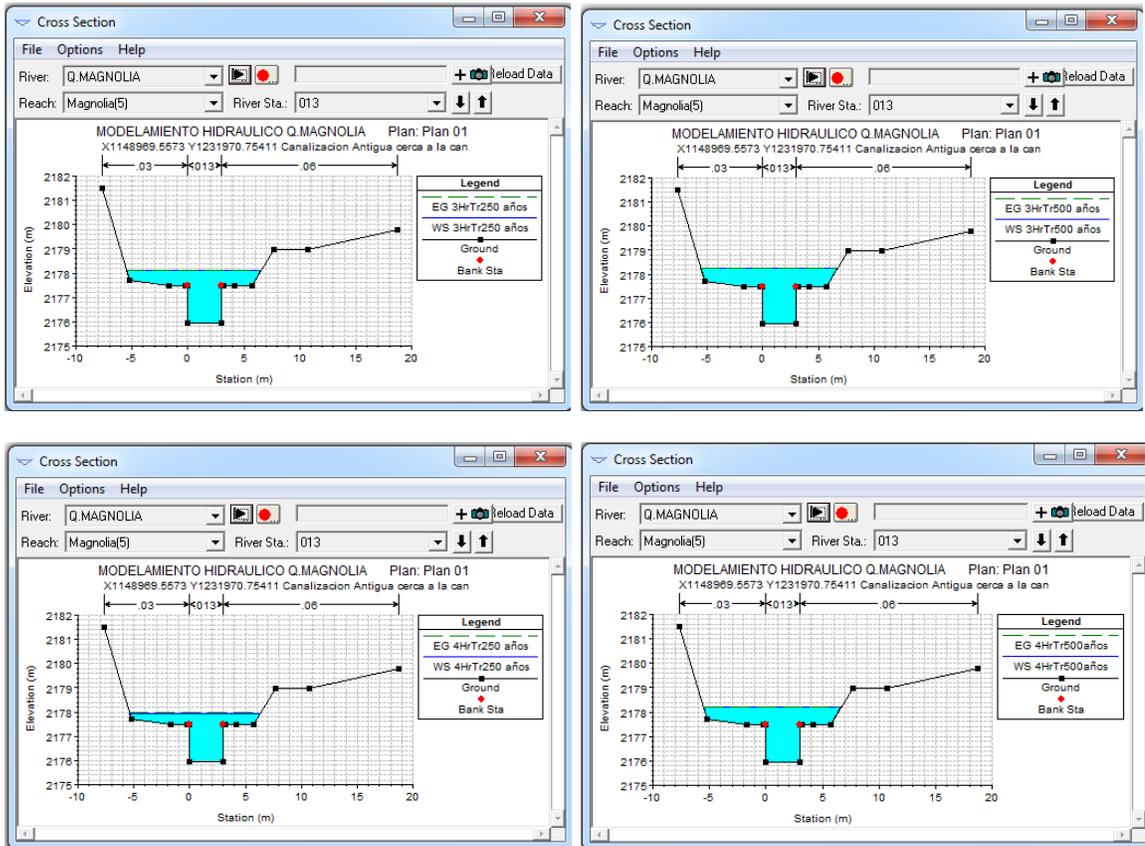


Grafico 71. Perfiles de desbordamiento para periodo de retorno de 250 y 500 años a partir de una lluvia de 3 y 4 horas de duración, ubicación X1148969.5573 Y1231970.75411



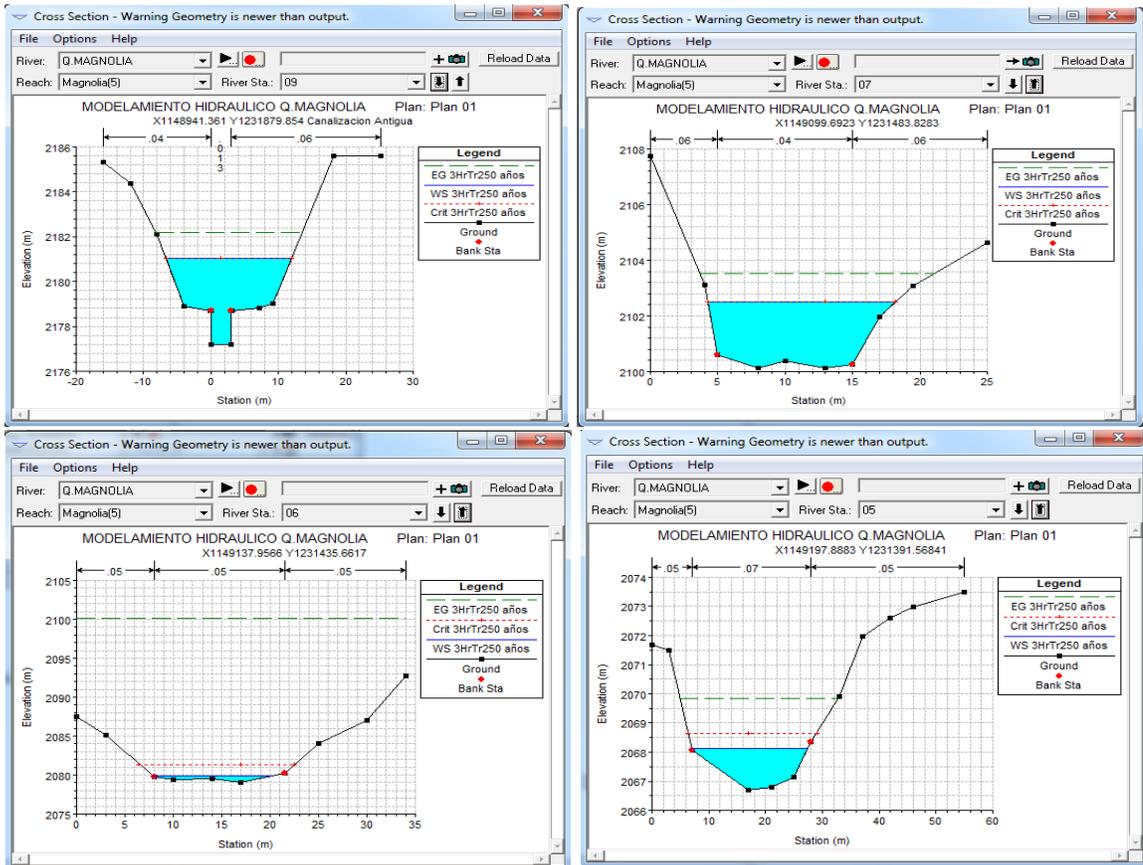
Para cada una de las secciones el modelo genera una proyección de los niveles que alcanza el agua correspondiente al caudal de diseño para un período de retorno dado, dando a conocer la dinámica del sistema de drenaje ante la probabilidad de ocurrencia de eventos de inundación representados por la variación de la magnitud de los niveles máximos.

Este modelamiento analiza el tránsito del Q máximo a través del perfil del canal natural o cauce de la microcuenca y sus respectivas secciones transversales, teniendo resultado para la zona de estudio.

Todos los anteriores perfiles evidencian que se presentan inundaciones en los 2 periodos de retorno (250 y 500 años) en áreas que se encuentran ubicadas en la parte media de la quebrada en estudio, debido a los cambios en la topografía y relieve de la zona. En estas la profundidad del perfil del cauce se hace menos profunda siendo este un factor más propenso para que se generen desbordamiento en esas zonas específicas.

Los gráficos que a continuación se presentan es un ejemplo característico de perfiles normales del cauce, en el cual el nivel sube pero no alcanza a generar inundación.

Grafico 72. Perfiles de la microcuenca en el cual no se presenta inundación.



Los perfiles que continuación se presentan es un análisis comparativo del nuevo canal que están implementando, evidenciando que el diseño es insuficiente para el volumen de escurrimiento en los 2 periodos de retorno ($Tr=250$ y $Tr=500$ años) con las dos lluvias de diseño establecidas en este estudio.

Es importante también resaltar que para la serie de datos de precipitación (mm) con $Tr= 25$ y $Tr= 50$ que fueron los periodos que los diseñadores del canal en construcción tomaron es rápidamente excedida de acuerdo al volumen en las lluvias que se han presentado en los últimos años; por tanto en este estudio se tomaron mayores periodos de retorno.

Grafico 73. Análisis del perfil para el nuevo diseño de canal para periodo de retorno de 250 y 500 años a partir de una lluvia de 3 y 4 horas de duración, ubicación X1148966.3533 Y1232044.62011 B. Asovipar

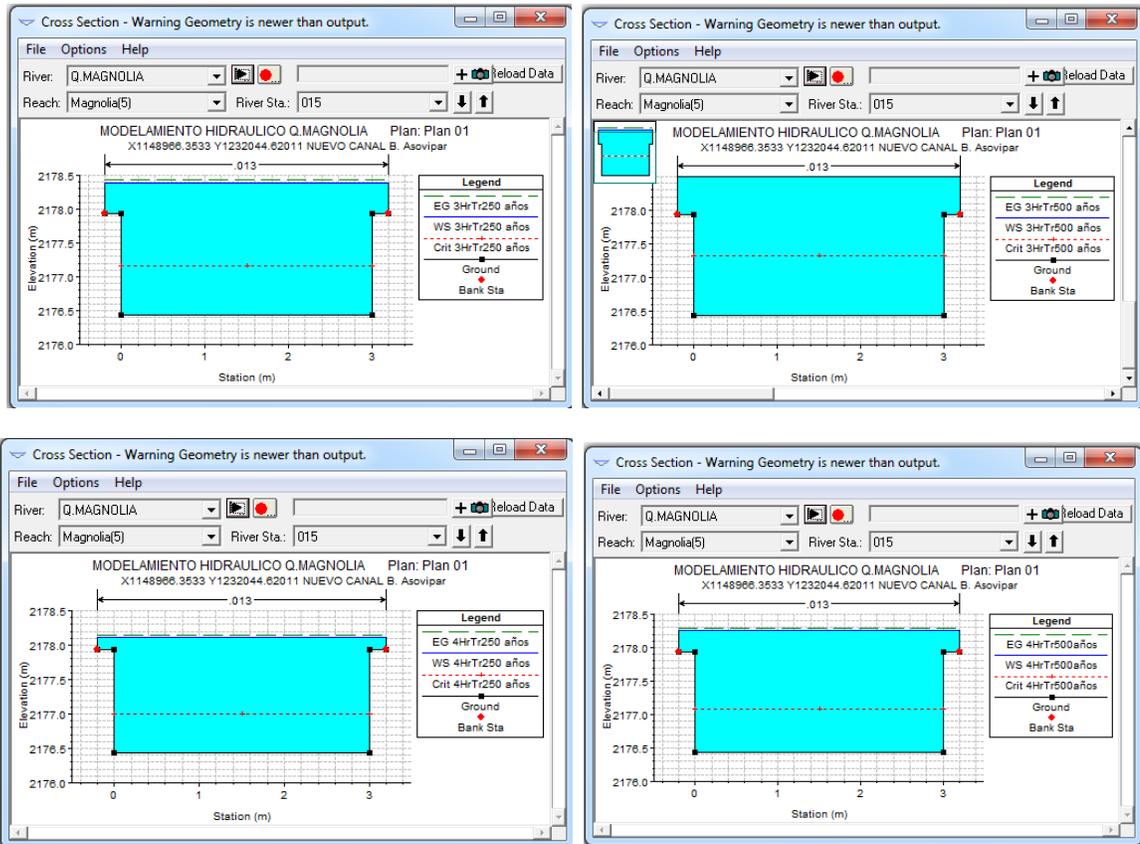
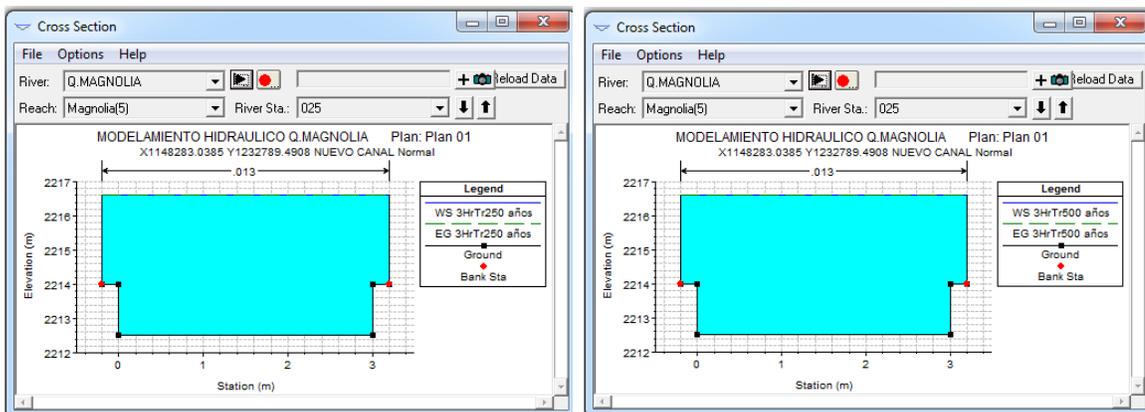


Grafico 74. Análisis del perfil para el nuevo diseño de canal para periodo de retorno de 250 y 500 años a partir de una lluvia de 3 y 4 horas de duración, ubicación X1148283.0385 Y1232789.4908 Llanura zona Normal.



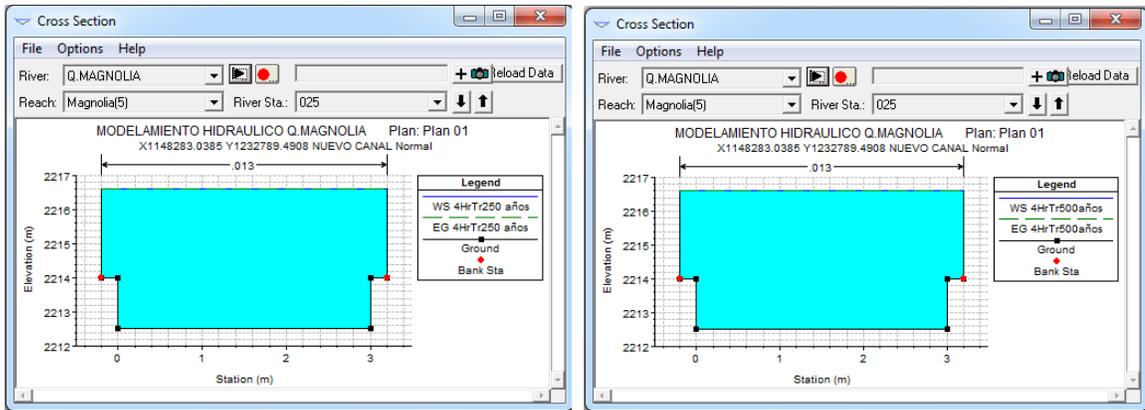
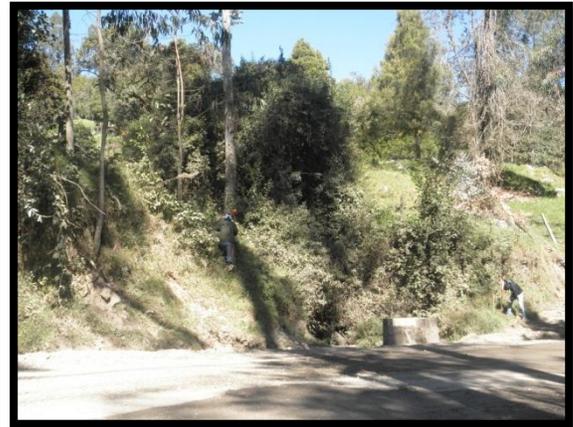


Foto 12. Mosaico levantamiento batimétrico de la microcuenca.



4.6. SOCAVACION GENERAL DE LA MICROCUENCA

Este cálculo se realizó mediante la fórmula para la socavación general para suelos granulares.

Ubicación: X1147227 Y1232616, Cota 2467.

$$Hm: \frac{65 \text{ m}^2}{60 \text{ m}} = 1.08 \text{ m}$$

$$\infty = \left[\frac{108 \text{ m}^3/\text{s}}{(1.08 \text{ m})^{5/3} * 60\text{m} * 0.93} \right] = 1.70 \text{ m}$$

0.72

$$Hs = \left[\frac{1.70 * 1.41^{5/3}}{0.68 * (2.5)^{0.28} * 1.03 * 1.06} \right] = 2.27 \text{ m}$$

Ubicación: X1147321 Y1232533, Cota 2450

$$Hm: \frac{56\text{m}^2}{52\text{m}} = 1.08 \text{ m}$$

$$\infty = \left[\frac{108 \text{ m}^3/\text{s}}{(1.08 \text{ m})^{5/3} * 52\text{m} * 0.99} \right] = 1.84 \text{ m}$$

0.71

$$Hs = \left[\frac{1.84 * 1.77^{5/3}}{0.68 * (1.0)^{0.28} * 1.03 * 1.13} \right] = 3.65 \text{ m}$$

Ubicación: X1147388 Y1232531, Cota 2425

$$Hm: \frac{76\text{m}^2}{71\text{m}} = 1.05 \text{ m}$$

$$\infty = \left[\frac{122.70 \text{ m}^3/\text{s}}{(1.05 \text{ m})^{5/3} * 71\text{m} * 0.99} \right] = 1.60 \text{ m}$$

0.71

$$H_s = \left[\frac{1.60 * 4.17^{5/3}}{0.68 * (1.08)^{0.28} * 1.03 * 1.06} \right] = 2.54 \text{ m}$$

Ubicación: X1148937 Y1232235, Cota 2196

$$H_m: \frac{50 \text{ m}^2}{38 \text{ m}} = 1.31 \text{ m}$$

$$\infty = \left[\frac{122.70 \text{ m}^3/\text{s}}{(1.31 \text{ m})^{5/3} * 38\text{m} * 0.85} \right] = 2.42$$

0.71

$$H_s = \left[\frac{2.42 * 1.1^{5/3}}{0.68 * (1.0)^{0.28} * 1.03 * 1.50} \right] = 2.02 \text{ m}$$

Ubicación: X1148782 Y1231818, Cota 1988

$$H_m: \frac{87 \text{ m}^2}{74 \text{ m}} = 1.17 \text{ m}$$

$$\infty = \left[\frac{314.4 \text{ m}^3/\text{s}}{(1.17 \text{ m})^{5/3} * 74\text{m} * 0.98} \right] = 3.84$$

0.71

$$H_s = \left[\frac{3.84 * 1.32^{5/3}}{0.68 * (0.55)^{0.28} * 1.03 * 1.06} \right] = 5.02 \text{ m}$$

Ubicación: X1149580 Y1231211, Cota 1821

$$H_m: \frac{132 \text{ m}^2}{100.5 \text{ m}} = 1.31 \text{ m}$$

$$\infty = \left[\frac{265 \text{ m}^3/\text{s}}{(1.31 \text{ m})^{5/3} * 100.5\text{m} * 0.99} \right] = 1.69 \text{ m}$$

$$H_s = \left[\frac{1.69 * 1.57^{5/3}}{0.68 * (1.19)^{0.28} * 1.03 * 1.42} \right]^{0.72} = 2.43 \text{ m}$$

Ubicación: X1150236 Y1230639, Cota 1561

$$H_m: \frac{42.23 \text{ m}^2}{33.76 \text{ m}} = 1.25 \text{ m}$$

$$\infty = \left[\frac{265 \text{ m}^3/\text{s}}{(1.25 \text{ m})^{5/3} * 33.76 \text{ m} * 0.96} \right]^{0.72} = 5.63 \text{ m}$$

$$H_s = \left[\frac{5.63 * 1.56^{5/3}}{0.68 * (1.20)^{0.28} * 1.03 * 1.50} \right]^{0.72} = 5.50 \text{ m}$$

La socavación general que se presenta en esta microcuenca es de migración lateral (socavación lateral), los datos hallados varían entre 2 y 6 m para un tiempo de retorno de 250 años. Esto es debido a la profundización de los costados del cauce por el aumento del nivel del agua en las avenidas y por las modificaciones en la morfología del cauce.

Foto 13. Socavación lateral característica de la zona.



4.6.1. RIESGO ESTADISTICO

4.6.1.1. Probabilidad de riesgo

$$R = 1 - (1 - 1/Tr)^n$$

Cuadro 63. Riesgo estadístico para periodo de retorno de 250 y 500 años.

| n=periodo de diseño (vida útil)= 100 años | | |
|---|----------------------------|---------|
| Tr | Probabilidad de excedencia | Riesgo |
| 250 | 0.4 % | 33.02 % |
| 500 | 0.2% | 18.14 % |

De acuerdo con el cuadro mostrado, una zona afectada por la inundación de un periodo de retorno de 250 años tiene una probabilidad de riesgo de 33.02 % de verse inundada en un periodo de 100 años consecutivos. De igual forma se tiene que la probabilidad de excedencia para un periodo de retorno de 500 años es muy baja (0.2%) lo que genera un riesgo de desbordamiento del 18.14%; considerándose un rango alto para un Tr 250 y medianamente aceptable para un Tr 500, por tanto en este lapso de tiempo los eventos se pueden presentar ocasionando daños y perjuicios a las diferentes estructuras que se encuentren establecidas cerca al cauce como puentes, muros, viviendas y propiedades como fincas, cultivos, entre otros. También factores como la deforestación, procesos erosivos, deslizamiento, sobreexplotación de la tierra y pendientes del terreno pueden ocasionar el aumento de este riesgo.

4.7. RIESGOS O FACTORES ANTROPICOS DETECTADOS EN LA MICROCUENCA

Cuadro 64. Clasificación de riesgos antropicos y modelo de transformación de las variables negativas encontradas en la microcuenca.

| RIESGOS ANTROPICOS | EFECTO SECUNDARIO | POSIBLE SOLUCION |
|--------------------|--|--|
| Deforestación | <ul style="list-style-type: none">  Eliminación del bosque de galería para el establecimiento de pastos, cultivos y sobreexplotación de leña.  En la zona alta la comunidad intervienen partes boscosas para el uso domestico y como fuente de ingreso.  Eliminación indiscriminada de bosques propios de la zona. | <ul style="list-style-type: none">  Capacitación a la comunidad sobre áreas protectoras del cauce.  Planificación adecuada de las fincas en las cuales se establezcan áreas para obtener leña, en el cual satisfaga las necesidades energéticas del hogar.  Fomentar la conservación de los bosques naturales y el establecimiento de bosques protectores y protectores-productores como el medio más eficaz para la regulación ambiental y para la satisfacción de necesidades de productos forestales. |
| Vocación del suelo | <ul style="list-style-type: none">  Los sistemas que se establecen se hacen con poca planificación generando áreas propensas a presentar erosión, deslizamientos de tierra, compactación del suelo, entre otros; debido a que no se tiene respeto a la verdadera vocación del terreno. | <ul style="list-style-type: none">  Brindar capacitación a la comunidad aledaña a la microcuenca dirigida a temas como: planificación integral de fincas para establecimiento y mejora de sistemas productivos de acuerdo a características propias de las fincas. |

| | | |
|--|--|---|
| <p>Manejo inadecuado del sector pecuario</p> | <ul style="list-style-type: none">  No se maneja adecuadamente la capacidad de carga, lo cual agota los pastos, compacta los suelos, incrementa el escurrimiento y causa erosión con la formación de las terracetas.  Subutilización de praderas por falta de organización y tecnificación. | <ul style="list-style-type: none">  Utilizar sistemas agroforestales para conservar el suelo y evitar la compactación, mejorar el microclima y generar la diversificación en la producción de la finca.  Establecer pastos de corte en sectores con pendientes fuertes para reducir y contralar la erosión. |
| <p>Técnicas de cultivos</p> | <ul style="list-style-type: none">  No se tiene los conocimientos necesarios sobre este tema.  Establecimiento de cultivos sin tener en cuenta pendientes del terreno.  No se hace rotación de cultivos.  Sistemas de labranza | <ul style="list-style-type: none">  Capacitar a la comunidad en programas de implementación de técnicas conservacionistas del suelo.  Establecer de los sistemas de cultivo teniendo en cuenta las pendientes del terreno utilizando técnicas como: barreras vivas, cultivos en franjas, cultivos en callejones, terracetas, curvas de nivel, protección de zanjillas de desagüe.  Impulsar la rotación de cultivos para disminuir el aumento de plagas y enfermedades al interrumpir sus ciclos de vida, mantener el control de malezas, proporciona una distribución más adecuada de nutrientes en el perfil del suelo entre otros. |

| | | |
|------------------|--|---|
| | inadecuados. | <p>☞ Estos sistemas permiten generar en el suelo condiciones físicas adecuadas para el buen flujo de agua y aire, evitando que se formen en el suelo capas duras que limiten la penetración y el crecimiento de las raíces.</p> |
| Insumos químicos | <p>☹ Pérdida progresiva en la fertilidad del suelo y de la microfauna.</p> <p>☹ Impacto negativo sobre la red hídrica.</p> | <p>☞ Promover y capacitar a la comunidad en técnicas de preparación y utilización de abonos orgánicos, empleando los mismos residuos que se generan en la finca, tales como el estiércol, residuos de cosecha, restos vegetales de alimentos entre otros.</p> <p>☞ Con la utilización de abonos orgánicos los efectos residuales disminuyen notablemente, mejorando la calidad del agua y evitando perjuicios en la salud humana.</p> |
| | <p>☹ Aguas negras y explotaciones pecuarias son mezcladas directamente a la microcuenca sin tratamiento.</p> | <p>☞ Se recomienda a la autoridad competente (Municipio), agilizar el plan para el tratamiento de aguas residuales y de este modo evitar que sean vertidas directamente a la quebrada sin tratamiento alguno para reducir la contaminación en la fuente hídrica, focos de enfermedades, malos</p> |

| | | |
|------------------------|--|--|
| Contaminación de aguas | | <p>olores e impactos negativos ambientales en la zonas aledañas a la microcuenca. Para las explotaciones pecuarias se recomienda dar tratamiento a residuos sólidos y líquidos ya sea en la producción de abonos o lagunas de oxidación.</p> <p>👉 Aislamiento del área. Se puede realizar mediante cercado con alambre de púas y tinales de madera o mediante cuerdas de alambre ancladas en especies propias del mismo bosque. Esta labor se puede realizar con apoyo estatal y aporte de capital privado por parte de los habitantes del sector.</p> |
| Áreas degradadas | <p>Procesos de deterioro en la microcuenca.</p> <p>👎 Explotación inadecuada del suelo.</p> | <p>👉 Mitigar los procesos de deterioro, para proteger y recuperar ecosistemas definidos como valiosos.</p> <p>👉 Recuperación y protección ambiental de suelos erosionados.</p> |

Cuadro 64. (Continuación)

4.8. PLAN DE CONTINGENCIA PARA AREAS POTENCIALES DE ALTO RIESGO DE DESBORDAMIENTO PARA LA QUEBRADA LA MAGNOLIA.

PROBLEMA

La zona correspondiente a la microcuenca la Magnolia presenta fenómenos como bajo caudal en épocas de verano, contrario a esto en épocas de invierno se presentan probabilidad de ocurrencia de crecidas repentinas las cuales ocasionan problemas de desbordamiento, a la vez ocasión riesgos al perímetro urbano y rural (viviendas y fincas aledañas al cauce de la quebrada), generando pérdidas materiales y humanas.

OBJETIVO GENERAL

Formular la metodología que permita prevenir, enfrentar y mitigar las posibles situaciones y daños que se generen antes, durante y después de un evento amenazante para la quebrada la Magnolia.

ANALISIS VULNERABLE DE LA ZONA EN ESTUDIO

Según la determinación de zonas inundables a lo largo de la microcuenca, se establece que esta presenta alto riesgo para que se genere un evento en épocas de invierno con precipitaciones altas en la parte media. Estas aguas desbordadas constantemente generan vulnerabilidad en viviendas y vías en la zona urbana, en la zona rural ocasionan perdidas en áreas cultivadas. Estos eventos de ocurrencia repentinos hacen que la amenaza este vigente y se puedan generar pérdidas de vidas humanas.

ACCIONES POR DESAROLLAR

El plan de contingencia consiste en dos fases: fase de planeación y fase de respuesta.

ACCIONES ANTES DE LA EMERGENCIA

☞ PREVENCIÓN

A nivel general las pérdidas humanas y materiales se presentan cuando no se han tomado las medidas necesarias, estas pérdidas se pueden evitar en gran medida siempre y cuando exista un adecuado plan con lineamientos eficientes en estos casos, los cuales van desde programas educativos en los cuales se hace énfasis en prevención y mitigación en la población que presenta alto grado de vulnerabilidad.

Esta etapa se hace necesario conocer los elementos sobre emergencias que se pueden presentar basados en previo conocimiento de comportamiento de la microcuenca referente al riesgo por desbordamiento, y dependiendo de la eventualidad buscar como primera medida la optimización en el manejo adecuado de la microcuenca hidrográfica lo cual corresponde al uso racional que se haga de los recursos naturales agua, suelo, flora y fauna que existan dentro de la divisoria de aguas. De ahí que se considere el hombre como el recurso fundamental de la microcuenca por ser quien decide el tratamiento ya sea de retroceso o desarrollo que se da a los recursos naturales involucrados en ella.

Buscando disminuir en lo posible evitar desastres por desbordamiento en primera medida se debe adelantar trabajos de acercamiento a la comunidad enfocados en la protección, recuperación y manejo de la microcuenca teniendo como meta principal que la cantidad de agua sea suficiente, que su calidad sea buena y que su suministro sea constante en todas las épocas del año, lo cual se consigue por medio de la infiltración y percolación del agua al suelo, factores que disminuyen las crecidas y favorecen el contenido en las épocas críticas acentuadas (verano); la mejor calidad del agua se consigue por medio de la vegetación ya que esta

disminuye la erosión; garantizando que lo propuesto en el plan de ordenamiento de la microcuenca se lleve a cabo.

Etapas de prevención:

- ✿ Estar prevenidos ante el desbordamiento con diferentes instrumentos de alarma como: pitos, campanas, alarmas, bengalas y linternas.
- ✿ Tener en cuenta los diferentes medios de comunicación local como emisoras de radio, comunicación telefónica, redes sociales entre otros.
- ✿ Basados en el mapa de zonificación de amenazas y riesgo a desbordamiento realizar la respectiva reubicación de las viviendas y construcciones que se encuentran en amenaza.
- ✿ Ante una situación de lluvias extremas, mantener una constante información meteorológica de las estaciones de influencia en la microcuenca (Málaga-Molagavita), y así poder estar preparados ante una eventual avenida.
- ✿ Especificar trayectos para la evacuación, zonas de encuentro y seguridad; además, sitios de alojamiento temporal para las personas afectadas.
- ✿ Fortalecer y capacitar al personal voluntario como los grupos de Defensa Civil y Cruz Roja en búsqueda, rescate y otros operativos de emergencia.
- ✿ Mediante campañas de extensión transmitirle a la comunidad los lineamientos consignados en el plan de contingencia y posteriormente a realizar los respectivos simulacros analizando los resultados y de acuerdo a estos promover los concernientes ajustes al plan de contingencia.

ACCIONES DURANTE LA EMERGENCIA

- ✿ Este atento a la señal de alarma.

- ✿ Desarrollar los planes de prevención señalados en la primera etapa, es decir antes de que ocurriera la emergencia.
- ✿ Desconectar corrientes eléctricas para evitar más situaciones de peligro.
- ✿ No trate de cruzar una corriente de agua que sobrepase la rodilla.
- ✿ Los entes o personas delegadas para atender la emergencia estarán a cargo de orientar la evacuación de las zonas en peligro elegidas en el mapa de zonificación de amenazas y riesgo por desbordamiento.
- ✿ Si es posible almacene agua potable para tomar durante la emergencia.
- ✿ No intente conducir sobre una carretera inundada y abandone los vehículos atascados.
- ✿ Alejarse de los lugares en los cuales se puedan producir derrumbes. En áreas urbanas vigile que los niños no se acerquen a las alcantarillas o desagües.
- ✿ Determinar las zonas perjudicadas por el evento y así especificar las prioridades de atención y ayuda a la comunidad afectada teniendo prelación por niños y mujeres embarazadas, dicha ayuda estará a cargo de grupos voluntarios de la cruz roja, defensa civil, policía y centros de salud del municipio.
- ✿ Mantener en constante información a la comunidad por medios radiales, acerca de los últimos acontecimientos dentro de la emergencia.
- ☞ Respuesta: establecimiento de un puesto de mando unificado; zona donde interactúan diferentes unidades asistenciales y de socorro; en el cual se ubican diferentes representantes de cada institución, los cuales son los que reportan al comité local de emergencia todos los pormenores de la labor de socorro llevada a cabo.
- ✿ Aislamiento del área de impacto.
- ✿ Evacuación de heridos a la zona de estabilización y clasificación de los heridos si se presentan.

ACCIONES DESPUES DE LA EMERGENCIA

- ✿ Realizar inventarios de lo que ha quedado después de la inundación evaluando pérdidas y daños ocasionados en fincas y viviendas.
- ✿ Desactivación de los diferentes sistemas de alarmas.
- ✿ De acuerdo a las áreas inundadas implementar programas de reubicación de las comunidades afectadas en zonas con bajo riesgo, buscando la protección de las viviendas y del entorno para posibles eventos.
- ✿ No consuma alimentos que hayan estado en contacto directo con agua de la inundación.
- ✿ Revise el estado estructural de la vivienda, evalúe y si es seguro regrese a su casa.
- ✿ Registro fotográfico.
- ✿ El comité local de emergencias evaluara las acciones desarrolladas antes y durante la emergencia con el fin de mejorar o corregir sus fallas.

COMITÉ LOCAL DE EMERGENCIAS

- ☞ Las personas y entidades que conforman el comité de atención de desastres serán las siguientes:
 - ✿ En primera instancia y presidiendo dicho comité: El alcalde Municipal responsable directo de su funcionamiento.
 - ✿ Representantes del consejo municipal.
 - ✿ Representantes de las corporaciones regionales, asociaciones, profesionales y organizaciones privadas.
 - ✿ Representantes de las entidades de socorro existentes en el municipio como Cruz Roja, Defensa Civil, Bomberos.
 - ✿ Comandante de la Policía Nacional o ejército nacional con sede en el municipio.
 - ✿ Medico jefe del centro de salud.
 - ✿ Representante de la Iglesia.

- ☞ En los corregimientos o veredas donde se conforme el comité deben integrarlo el inspector, los educadores, los dirigentes de las organizaciones de base. Es precedido por el inspector y el presidente de la junta de Acción Comunal.

4.9. PORCENTAJES PARA ENCUESTAS EN EL SECTOR URBANO Y RURAL

☀ **Área urbana:** 52 viviendas encuestadas.

Grafico 75. Resultado porcentual de la Tenencia de la tierra.

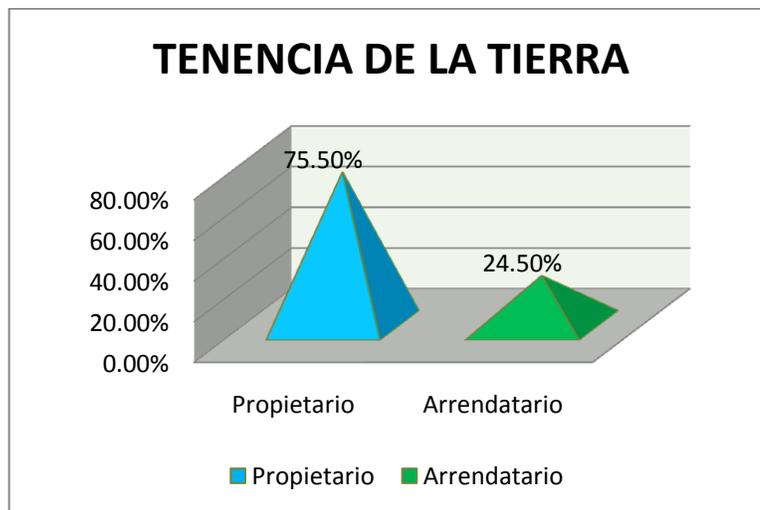


Grafico 76. Resultado porcentual de integrantes de la familia.

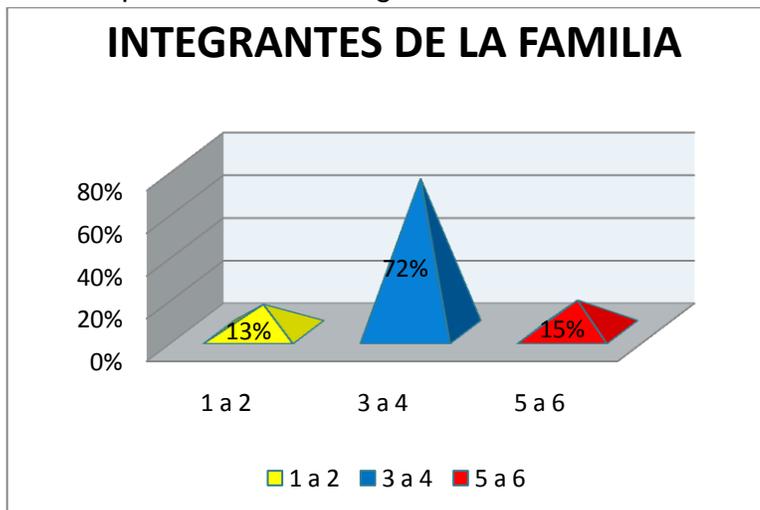


Grafico 77. Resultado porcentual de vivienda.

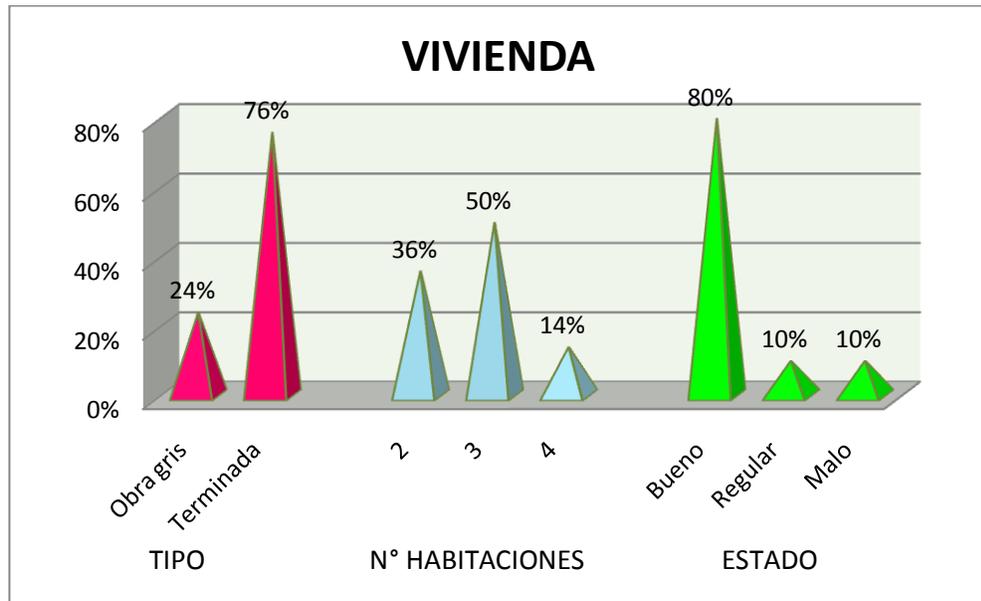
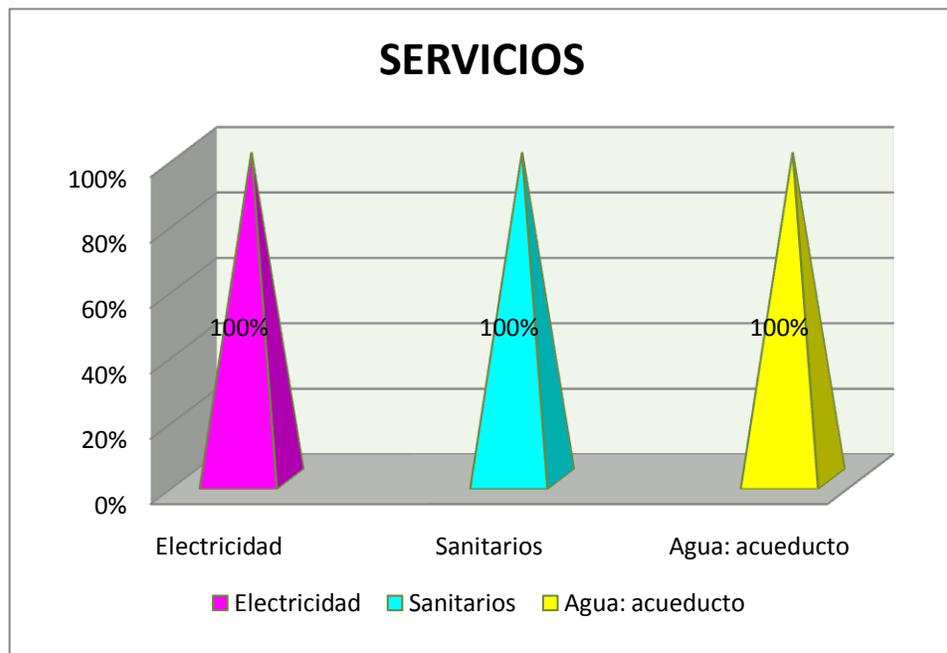


Grafico 78. Resultado porcentual de servicios.



☀ **Área rural:** 27 Fincas encuestadas.

Grafico 79. Resultado porcentual de la Tenencia de la tierra (Rural).

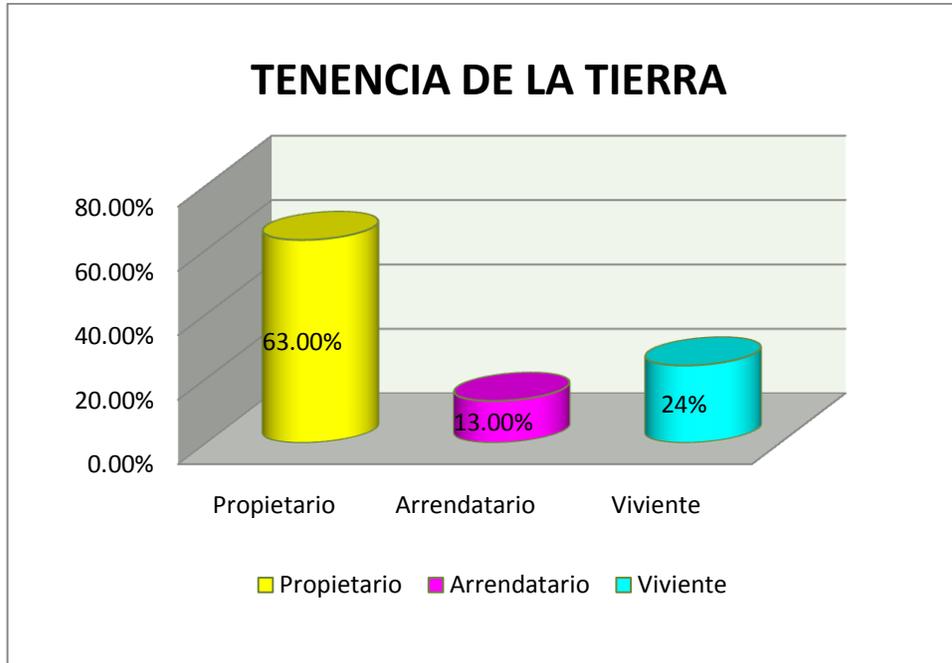


Grafico 80. Resultado porcentual de integrantes de la familia (Rural).

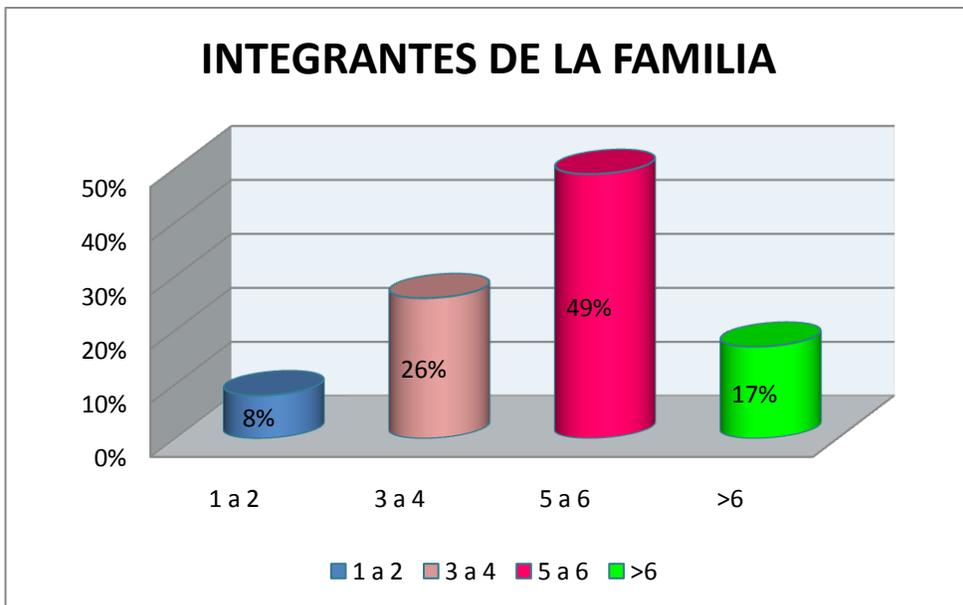


Grafico 81. Resultado porcentual de vivienda (Rural).

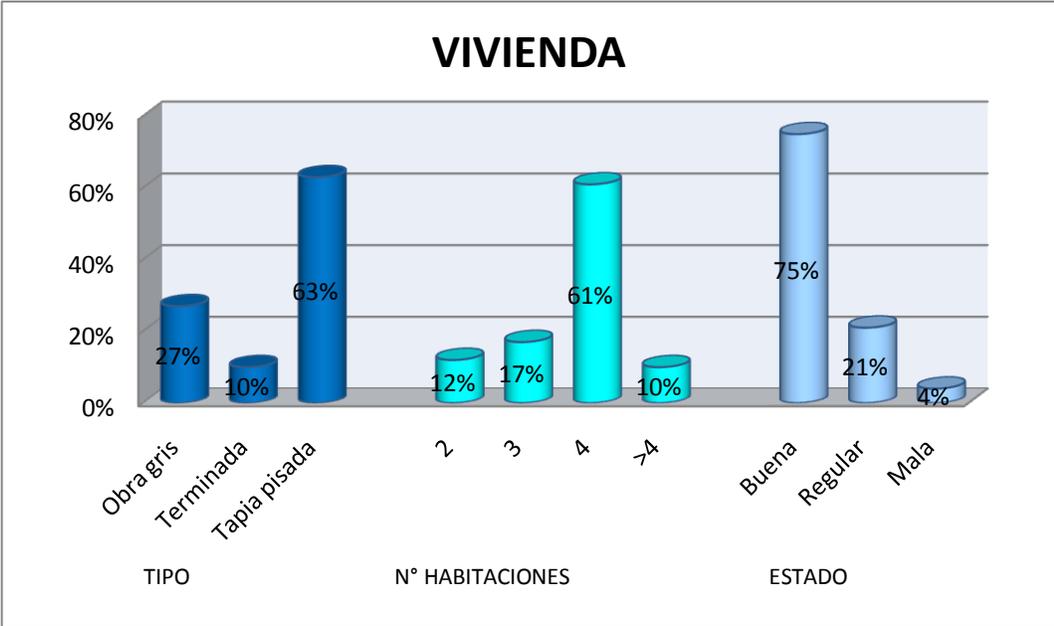


Grafico 82. Resultado porcentual de servicios (Rural).

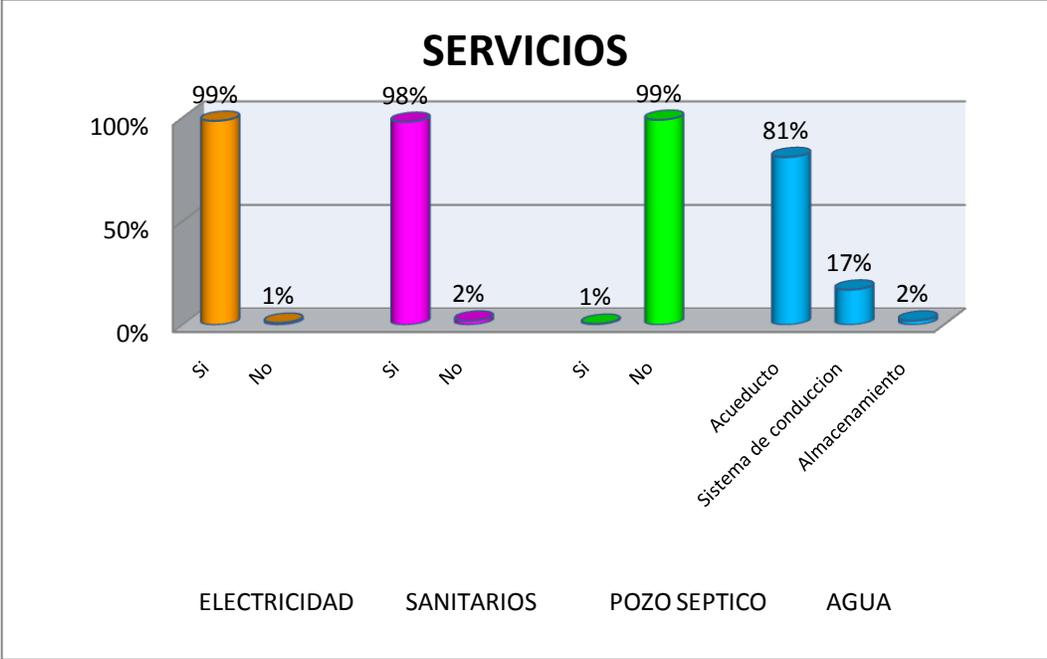


Grafico 83. Resultado porcentual del acceso (Rural).

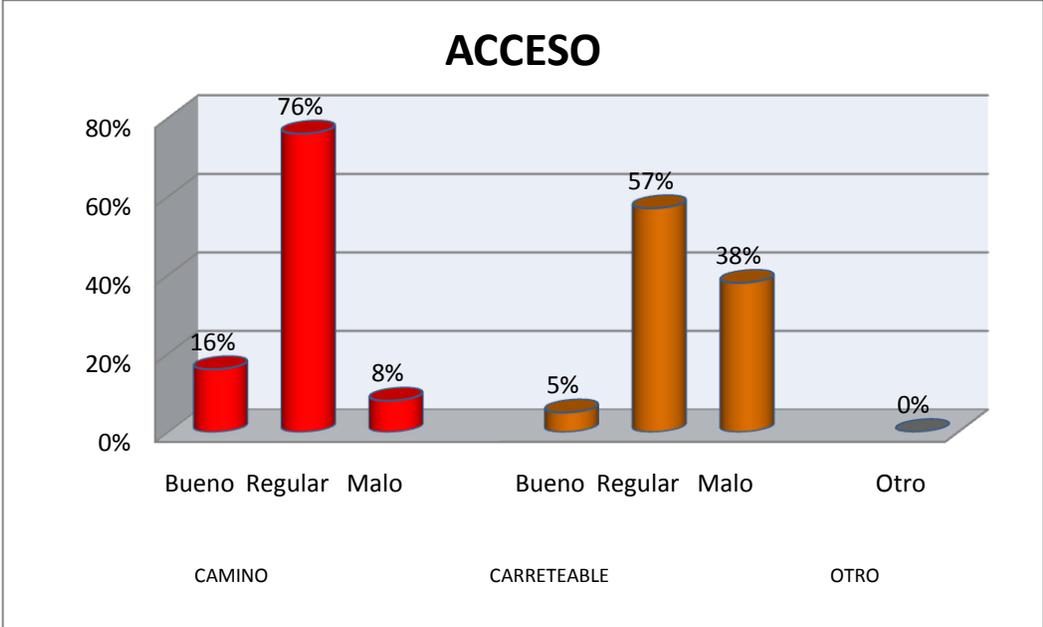


Grafico 84. Resultado porcentual de los cultivos principales (Rural).

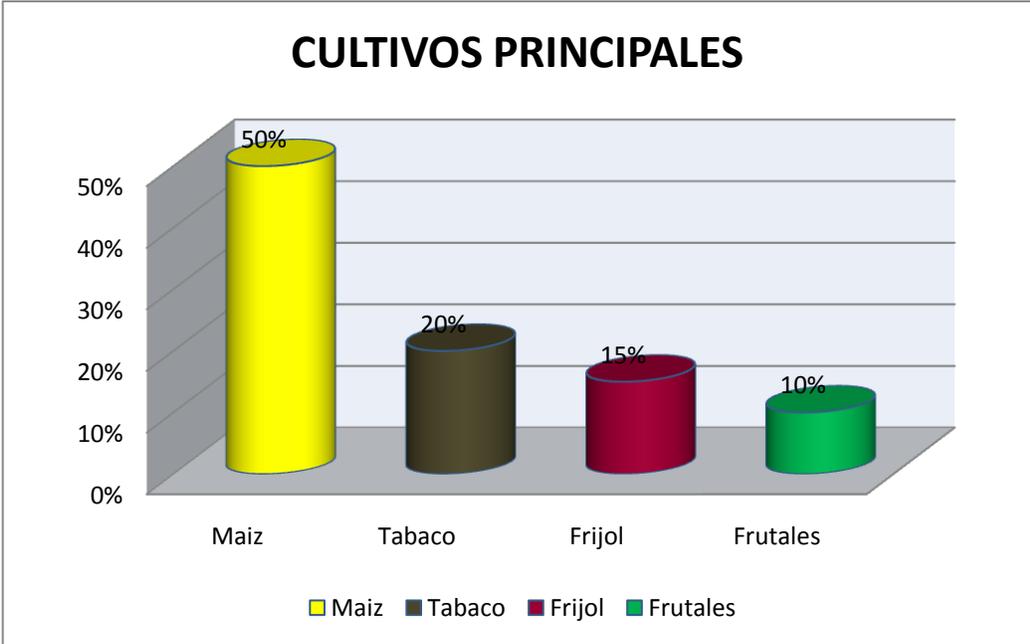


Grafico 85. Resultado porcentual de la producción pecuaria (Rural).

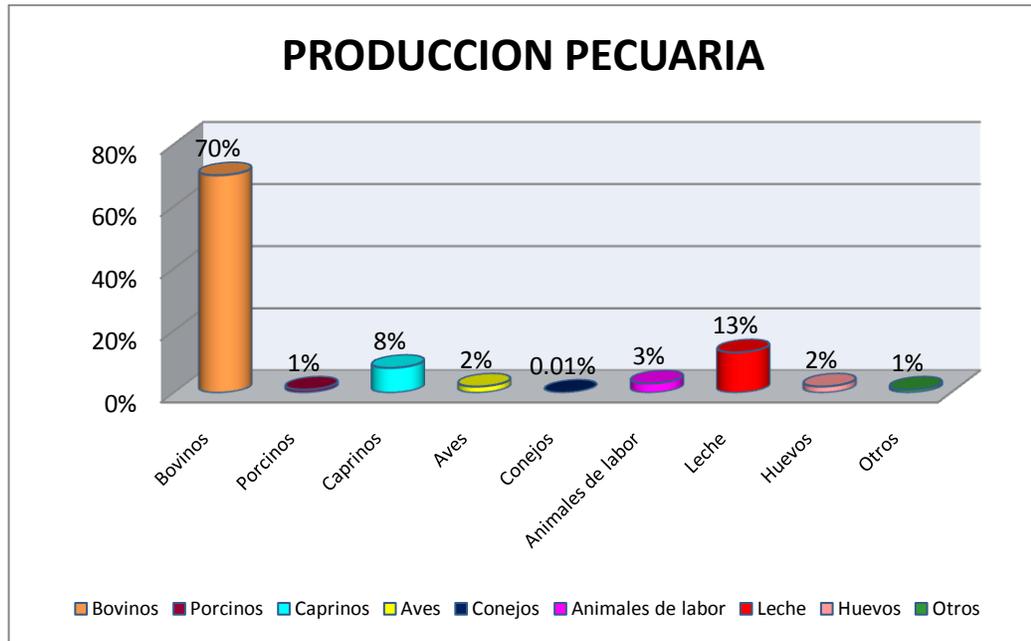


Grafico 86. Resultado porcentual de las talas (Rural).

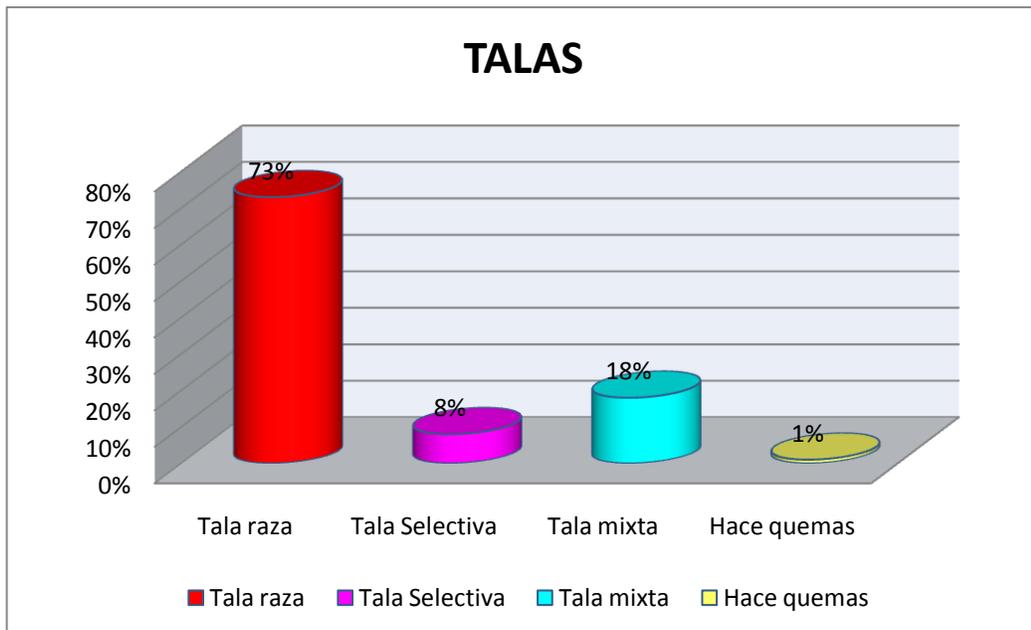


Grafico 87. Resultado porcentual de los aprovechamientos forestales (Rural).

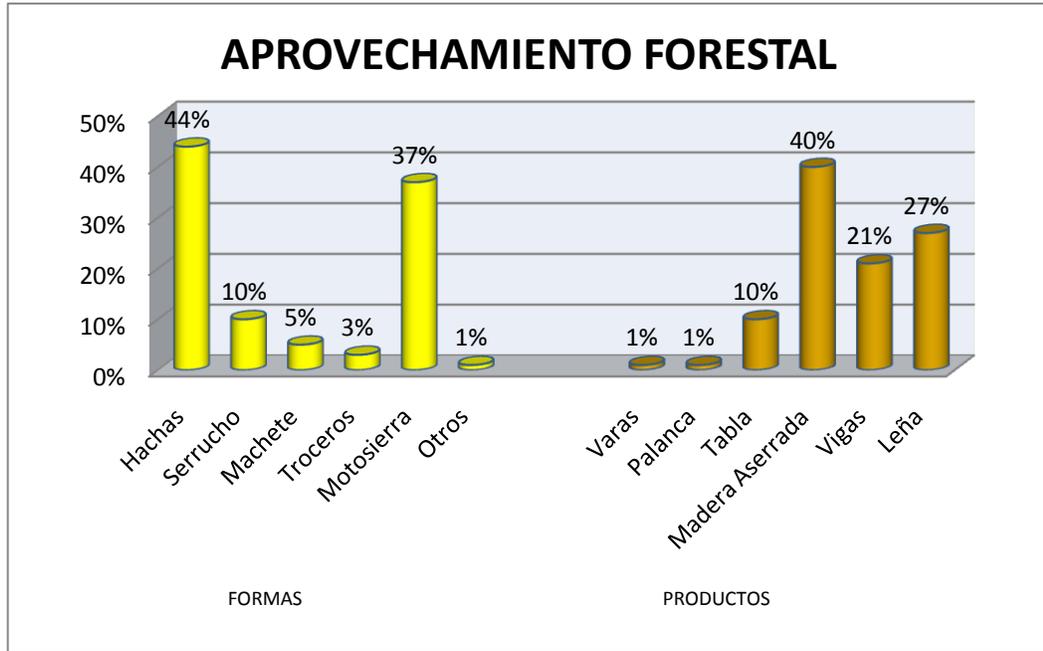


Grafico 88. Resultado porcentual de la mano de obra (Rural).

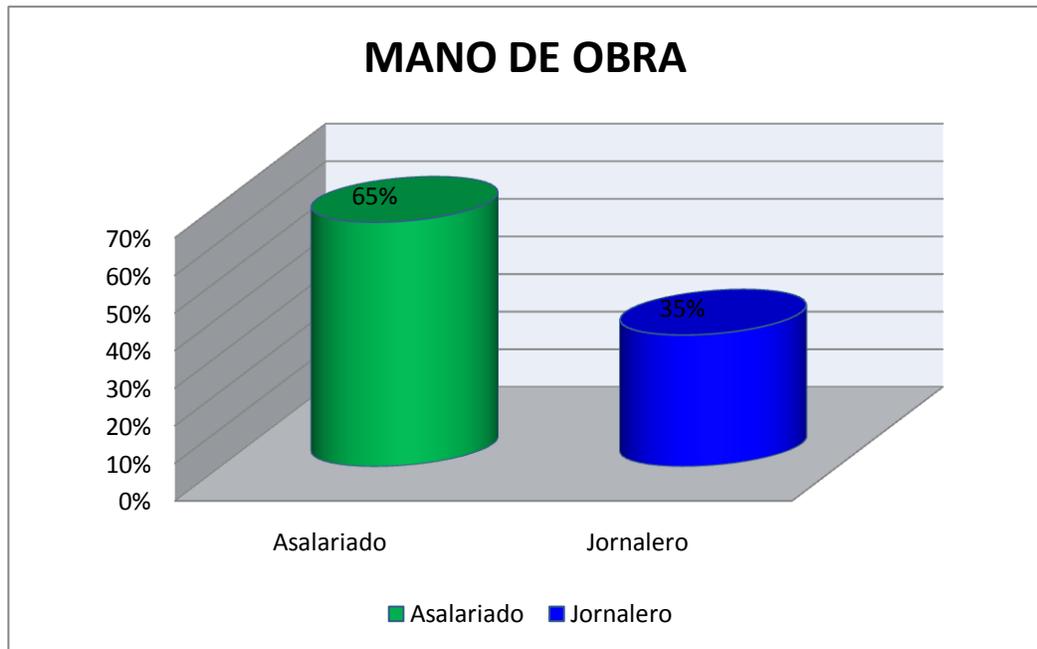


Foto 14. Obtención de encuestas con la comunidad del área de estudio.



4.10. INFORMACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS (SOCIALIZACIONES)

En la ciudad de Málaga, Santander en las instalaciones de la electrificadora de Santander ESSA, se dio a conocer por medio de reunión con todas las autoridades municipales y comunidad afectada por la quebrada la Magnolia las características generales de la microcuenca, los puntos críticos en los cuales de presentan los desbordamientos e inundaciones y los planes de contingencia que se deben seguir en caso de volver a presentar eventos repentinos.

Los asistentes a esta junta fueron los siguientes:

| | |
|----------------------------------|-----------------------|
| Ing. Diego Fernando Flórez | Oficina CMGRD |
| Sra. Vitalia Zabala Manrique | J.A.C El Paraíso |
| Sr. Luis Orlando Aceros | J.A.C Simón Bolívar |
| Sr. Hender Leonardo Moreno | ACOPI- DPS Málaga |
| Sr. Cesar Augusto Poveda Moreno | Empresario |
| Sr. Oscar Manuel Corzo Hernández | Independiente |
| Sra. Liliana Guevara Pineda | CAS |
| Sra. Dala Zolargo | Barrio Laureano Gómez |
| Sr. Julio Hernando Suarez | Alcaldía Municipal |

| | |
|---|--|
| <p>Sra. Sonia Merchán Sr. Carlos Jaimes Duran Sra. Yucy María Yolanda Pacheco Sra. Rosa Angélica Maldonado Sr. Bertildo Caicedo Srta. Leidy Johana Rojas Roa Sr. Hector O. Caceres Sra. Luz Elena Quiroz Millán Sra. Delia Castañeda Gómez Sra. Elizabeth Sandoval Castañeda Sra. Derly Paola Cely Martínez Sra. Yisel Loury Vera Sra. Diana Roció Bautista Sr. Pedro Aguilar Celis Sra. Elsy Consuelo Reyes Capitán. Jhon Carmona A. Sr. Germán Villamizar Carvajal Sr. Miguel Ángel Suarez Sr. Omar Javier Rodríguez Sr. Luis Francisco Quintero Sr. Edwin Mario Parra Gómez Sr. Maicol Duban Parra Gómez Cabo Segundo Alberto Carlos Ortiz L. Sr. Diego Fabián Carreño Parra Sr. Carlos Aturo Poveda Sr. Hugo Antonio Meléndez Moreno Sr. Jorge Antonio Cáceres Chávez Sra. Elsy consuelo Reyes</p> | <p>Inspectora de Policía Alcaldía municipal CCB Seccional Málaga Cruz Roja Colombiana Comunidad Estudiante UIS Estudiante UIS Escuela Normal Superior Comunidad Comunidad ICBF- Málaga ICBF- Málaga Proviservicios S.A E.S.P Proviservicios S.A E.S.P J.A.C Barrio Centro Policía Nacional Empresas Publicas- Málaga Los andes FM Concejo Municipal- Málaga Defensa Civil – Málaga Bomberos- Málaga Bomberos- Málaga Ejército Nacional Sede UIS- Málaga Concejal Municipal- Málaga ESSA- Málaga Salud Publica SASE J.A.C Centro</p> |
|---|--|

Foto 15. Mosaico socialización del proyecto con comunidad afectada por los eventos repentinos y autoridades municipales.





5. CONCLUSIONES

Las características fisiográficas de la microcuenca resalta que el área objeto de estudio presenta una topografía de lomas y vertientes onduladas, colinas y pendientes las cuales van de bajas hasta abruptas, influenciando en el comportamiento hidrológico en cuanto a la magnitud y formación de una creciente en el cauce principal, y prolongando la duración de una avenida.

La quebrada está destinada potencialmente para tener un área forestal protectora-productora en un 49,97 % y una área Forestal Protectora de 38.87% respecto al área total de la microcuenca.

La granulometría general presenta suelos poco uniformes con margen de diámetro variable, textura que va desde Franco-Arenoso y Franco arcilloso en menor proporción, por esta razón los suelos con arena y gravas presentan poca estabilidad estructural en la parte baja siendo más propensos a la erosión y deslizamientos, mientras que los suelos que presentan arcillas en la parte media alta muestra un poco más de resistencia a la erosión.

En las características morfométricas de la microcuenca el coeficiente de compacidad está relacionado estrechamente con el tiempo de concentración, que es el tiempo que tarda un agota de lluvia en moverse desde la parte más alejada de la microcuenca hasta el desagüe. El coeficiente obtenido para esta quebrada es de Kc2 indicando que la forma de la cuenca es Oval redonda a oval-oblonga. Demostrando que presenta peligros torrenciales.

La condición de humedad propia para la microcuenca por medio del método de Número de Curva de la SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS), varían entre 61 y 86 indicando que los tipos de suelos van de acuerdo a sus coberturas presentándose moderadamente bajo y alto potencial de escorrentía.

El caudal máximo hallado en el modelamiento hidrológico mediante el software HEC HMS (Hidrologic Modeling System) es de 295.2 m³/s para un diseño de lluvia de 3 horas con un tiempo de retorno de 250 años, 337.2 m³/s para un diseño de lluvia de 3 horas con un tiempo de retorno de 500 años, 253.6 m³/s para un diseño de lluvia de 4 horas con un tiempo de retorno de 250 años y 287.1 m³/s para un diseño de lluvia de 4 horas con un tiempo de retorno de 500 años; según los hidrogramas se observa que pasado el tiempo de la simulación el agua aun sigue escurriendo siendo liberada lentamente por el suelo por el tipo de cobertura presente en la zona.

La microcuenca en estudio es susceptible a presentar mediana torrencialidad, ya que está directamente relacionada con la intensidad de la lluvia, las pendientes, tipos de suelos, escorrentía superficial y zonas destituidas de cobertura vegetal, factores que favorecen la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa siendo aportados al canal principal generando coladas de barro ocasionando constante vulnerabilidad de pérdidas humanas y materiales.

Los perfiles hallados con el HEC RAS evidencian que se presentan inundaciones en los 2 periodos de retorno en áreas que se encuentran ubicadas en la parte media de la quebrada en estudio, debido a los cambios en la topografía y relieve de la zona. En estas áreas la profundidad del perfil del cauce se hace menos profunda siendo este más propenso para que se generen desbordamiento.

El riesgo de desbordamiento para la microcuenca en estudio es de 18.14% para un periodo de retorno de 500 años considerándose medianamente aceptable y de 33.02% para un periodo de retorno de 250 años lo cual indica que un rango alto vulnerable a desbordamientos en sus puntos críticos.

Los factores antropicos que actualmente contribuyen al deterioro de las áreas que en su conjunto conforman la microcuenca se continuaran presentando ya sea por condiciones culturales o socioeconómicas hasta tanto no se tome una política la cual brinde apoyo a las comunidades en lo referente a planeación, establecimiento y manejo adecuado de los sistemas productivos en las fincas, manejando un criterio amplio y técnico de conservación y productividad.

La socavación general que presenta la microcuenca es de migración lateral, modificando necesariamente los niveles del cauce en sitios específicos; se presenta por la tendencia de la microcuenca a moverse hacia la parte externa y hacia aguas abajo de las curvas en que la capacidad de arrastre de los sólidos es mayor en la parte externa que la interna debido al aumento de los niveles de agua en las avenidas.

6. RECOMENDACIONES

Es importante que los entes ambientales como la CAS que son los encargados de la vigilancia y control de fuentes hídricas entre otras, realicen planes enfocados a capacitar la comunidad en las áreas protectoras de la microcuenca (bosque de galería) para posteriormente hacer programas de reforestación con especies para áreas boscosas; esto con el fin de establecer una formación forestal a ser conservada y recuperada al constituir un papel de protección del recurso hídrico, edáficos, de la vegetación y de la fauna.

Se deben reforestar el trazo que tiene la quebrada Magnolia al menos 30 metros para una mejor recuperación y mantenimiento del recurso hídrico y del ecosistema como tal.

Brindar capacitación a la comunidad en temas de planificación integral de fincas para el establecimiento y mejora de sistemas productivos de acuerdo a características propias de las fincas y respetando la vocación del suelo para reducir el conflicto de uso que actualmente se presenta y reducir los impactos negativos generados.

Se recomienda el uso de insecticidas biológicos para el control de plagas y enfermedades, con la finalidad de evitar el uso de plaguicidas convencionales los cuales nos aportan una gran cantidad de elementos contaminantes, que de una u otra forma pueden entrar en contacto con la red hídrica.

Formar los comités pro microcuenca, considerando todas las comunidades (Zona alta, media y baja) para mejorar y mantener el caudal, como producto de la protección y manejo de los recursos locales.

Una vez detectados los puntos críticos de desbordamiento e inundación se sugiere tomar medidas preventivas e implementar obras hidráulicas bien constituidas como el establecimiento de barreras ya sean muros de contención, gaviones o canal transversal entre otros, teniendo en cuenta caudales máximos obtenidos ($Q_{\text{máx.}}$), que eviten que el flujo de agua de la microcuenca se exceda del curso normal del cauce.

Se incluyen dos alternativas de diseño para obras de protección y control de la socavación, la primera son pantallas en gaviones, trabajando conjuntamente con pantalla de concreto y la segunda alternativa consiste en el cambio de material de arrastre por un Rip rap o enrocado igualmente trabajando conjuntamente con pantallas de protección; estas acciones se requieren para estabilizar el torrente y frenar su tendencia a la profundización, disminuyendo el aporte de sedimentos al cauce.

Se recomienda mantener activo el comité de atención y prevención de desastres, procurando que este se mantenga vigente y pueda gestionar recursos ante las entidades competentes que permitan ejecutar capacitaciones, simulacros y programas de prevención.

Se requiere establecer un estudio que permita determinar los tipos de erosión hídrica y deslizamientos existentes a lo largo de toda la microcuenca evitando la

acción de fuerzas que actúan sobre las partículas de suelo produciendo su desprendimiento y posterior transporte, planteando diferentes tipos de técnicas según sea el caso.

En la parte Alta -Media- Baja de la microcuenca conviene establecer métodos de Bioingeniería para la estabilización de taludes mediante el uso combinado de vegetación y elementos estructurales adicionales trabajando de una manera conjunta e integrada (Estabilización Biotecnológica) con el propósito de producir refuerzo del suelo, se pueden utilizar para esta zona especies forestales tales como roble (*Quercus humboldtii*) distancia de plantación 2 a 3 m, Aliso (*Alnus jorullensis*) distancia de plantación de 2 a 3 m, Ciprés (*Cupressus lusitánica*) distancia de siembra 2 a 3 m, Leucaena (*Leucaena leucocephala*) distancia de siembra 1.5 a 3 m, pino patula (*Pinus patula*); esta vegetación maderable posee raíces profundas y con hileras en pasto Vetiver (*Vetiveria zizanioides*) controlan la erosión y disminuyen el potencial de deslizamiento de los taludes, generando una acción de refuerzo a la estructura del suelo y pueden actúan como anclajes, unir los materiales de los suelos, formar una red densa entretrejida entre otros.

BIBLIOGRAFIA

Cuencas Hidrográficas. Educasitios, Ecoagua. [Citado 08 de abril de 2011; 22:00]. Disponible en internet: <http://educasitios.educ.ar/grupo068/?q=node/98>

ESG. Normatividad Ambiental Colombiana. Environmental Solutions Group. [Citado 09 de Mayo de 2012; 5:25]. Disponible en internet: <http://www.esg.com.co/index-3.html>

ALCALDIA MUNICIPAL DE MALAGA SANTANDER. Esquema de Ordenamiento Territorial Málaga Santander 2003. Málaga: Alcaldía Municipal, 2003. 1097 p.

GAVILAN, Germán Eduardo. Curso Hidrológica ambiental. Parámetros morfométricos. Especialización ingeniería ambiental. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2000. 50 p.

Geomorfología de cuencas. Capítulo.4. [Citado 05 de abril de 2011; 15:00]. disponible en internet: http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/oguerre/4_Geomorfologia.pdf.

HENAO SARMIENTO, Jesús. Introducción al manejo de cuencas Hidrográficas. 2 ed. Santa fe de Bogotá D.C.: Universidad Santo Tomas. DUAD, 2003. 57-80 p.

Legislación sobre Cuencas Hidrográficas (Colombia). [Citado 05 de Mayo de 2012; 9:15]. Disponible en internet: <http://es.scribd.com/doc/54227973/Legislacion-sobre->

Cuencas-Hidrograficas.

LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia. Escala 1:100.000. Bogotá D.C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, 2010. 72 p.

MANUAL DE INGENIERÍA PARA EL CONTROL DE EROSIÓN. CDMB: Bucaramanga.: Ediciones Universidad Industrial de Santander, 2001. 55 p.

MARTINEZ CORREA, Yohaco. Modelamiento de la microcuenca la Magnolia, Laureano Gómez y la Malagueña para captación de agua en los embalses 1 y 2 del municipio de Málaga. Trabajo de grado Ingeniero Forestal. Málaga.: Universidad Industrial de Santander. Programa de Ingeniería Forestal, 2005.173 p.

MAZA, José. Erosión del cauce de un río en el cruce de un puente. En: Revista Ingeniería Hidráulica en México. Noviembre, 1967. Vol. 21, no.1-2. 142 p.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, República de Colombia. [Citado 11 de Mayo de 2012; 2:30].Disponible en internet: <http://www.minambiente.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=991&conID=4490>

Modelamiento Hidrológico. [Citado 12 de Mayo de 2012; 10:00].disponible en internet:http://www.portalcuencas.net/Virtual_Library/Files/Cuenca_Piura.pdf

Modelos de simulación "Hec Ras". [Citado 10 de Mayo de 2012; 12:00]. Disponible en internet: <http://redesdegestionderiesgo.com/Tecnologia.php?id=MzA=>

OLAYA FERRERO, Víctor. Hidrología Computacional y Modelos Digitales del Terreno. Teoría, práctica y filosofía de una nueva forma de análisis hidrológico. 0.95 ed. Madrid.: Creative Common Attribution Share–alike, 2004. 391p.

PORTA, Jaume. Introducción a la edafología. Uso y protección de suelos. 4 ed. Bogotá D.C.: MUNDI-PRENSA, 2009.131 p.

RAMÍREZ, Jorge. Extracción automática de redes de drenaje a partir de Modelos Digitales de Terreno. Medellín. Trabajo de grado Ingeniería Civil. Medellín.: Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Postgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos. (Modelo Hidrológico y Geotécnico para Estimar la Amenaza de Deslizamiento Superficial), 2002. 2- 3 p.

RICHARDSON E; LAGASSE Cálculo de la Socavación.capitulo4. 1999. Google [citado 28 de Mayo de 2012; 11:00:]. Disponible en Internet: <http://www.erosion.com.co/presentaciones/category/9-control-de-erosion-enzonas-tropicales.html?download=54:263-capitulo4-calculodesocavacion>.

SALAZAR SUAREZ, Dary Milena Y CACERES RAMIREZ, Edgar Giovanni. Modelamiento hidrológico parar determinar riesgo de desbordamiento en la cuenca del rio servita en el recorrido comprendido entre los municipios de Cerrito y

Concepción en el departamento de Santander. Trabajo de grado Ingeniero Forestal. Málaga.: Universidad Industrial de Santander, Programa de Ingeniería Forestal, sede Málaga, 2005. 117 p.

Segundo dialogo internacional sobre la crisis mundial del agua. La gestión de aguas en empresas públicas de Medellín y la Sostenibilidad del recurso hídrico. Diálogos agua.[Citado 09 de Mayo de 2012; 5:05].disponible en internet:http://www.dialogosagua.es/index_files/doc/Piedrahita%20DOC.pdf

SUAREZ CARVAJAL, Noralba y CABRERA MATAJIRA, Julio. Modelamiento hidrológico para determinar riesgo de desbordamiento y socavación en la cuenca del rio servita en el recorrido comprendido entre el municipio de Concepción y el puente francisco Villamizar municipio de Enciso. Trabajo de grado Ingeniero Forestal. Málaga.: Universidad Industrial de Santander, Programa de Ingeniería Forestal, sede Málaga, 2005. 169 p.

SUAREZ DIAZ, Jaime. Manual de ingeniería para el control de erosión, Corporación de Defensa de la Meseta de Bucaramanga. 2 ed. Bucaramanga.: Ediciones Universidad industrial de Santander, 1992. 60-71 p.

SUAREZ DIAZ, Jaime. Deslizamientos. En: Técnicas de Remediación. Abril, 2009. vol 2. 270-310 p.

TORRES PEÑA, Luis Bernardo. Suelos, bosques, agricultura y medio ambiente. Bucaramanga.: Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Química, 2005. 125 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Trabajos escritos: presentación y referencias bibliográficas. Sexta actualización. Santafé de Bogotá D.C.: ICONTEC, 2010. 32 p