



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
COMISIÓN DE TRABAJOS DE GRADO
MATURÍN, ESTADO MONAGAS**

**SIMULACIÓN MATEMÁTICA DEL RÉGIMEN DE PRECIPITACIÓN
PLUVIAL DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIO GUARAPICHE**

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO POR

Orlando José Suárez Aranguren

C.I. 18.908.692

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

MATURÍN, ENERO 2018



**SIMULACIÓN MATEMÁTICA DEL RÉGIMEN DE PRECIPITACIÓN PLUVIAL
DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIO GUARAPICHE**

ORLANDO JOSÉ SUÁREZ ARANGUREN

Trabajo de grado presentado en la Escuela de Ingeniería Agronómica de
la Universidad de Oriente, como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

MSc. Víctor Malavé

(ASESOR)

Dr. Ángel Martínez

(JURADO PRINCIPAL)

MSc. Nadiezhda López.

(JURADO PRINCIPAL)

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso, a nuestro señor Jesucristo y al espíritu santo nuestro consolador.

A mi madre **Ramona Belén Aranguren**, a mi tía **María Miguelina Aranguren** y a mi abuela **Juana Aranguren** quienes me brindaron su apoyo en todo momento.

A mis hermanas y hermanos **Ana Rut Suárez, Darlenys Suárez, Carlos Suárez y David González.**

A la alegría y bendición de la familia completa por su apoyo se les agradece por tanto.

Los amo con toda el alma y mi corazón...

Orlando José Suárez Aranguren

AGRADECIMIENTOS

A Dios que es rey de reyes todo poderoso, por dame la oportunidad de pertenecer a esta gran familia que es la escuela de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Oriente del Núcleo Monagas.

A mi madre **Ramona Belén Aranguren**, que dios la bendiga, agradecido con ella ya que desde su humildad hasta su grandeza tuve su apoyo incondicional, siempre tuvo presente para darme esperanza, levantarme cuando hubo caídas durante mi periodo de tiempo en la universidad. Ejemplo de lucha, constancia, amor y sacrificio.

A mis familiares **María Miguelina Aranguren Ledys Ibarra, Nohemí Ibarra, Carlos Ibarra, Héctor Ibarra, y Elio Aranguren** por el apoyo incondicional que han tenido hacia mi persona estoy muy agradecido que dios les bendigan grandemente.

Al profesor **Víctor Malavé**, por su paciencia y completa disposición para poder realizar este trabajo de investigación, realmente valoro su esfuerzo y vocación que desempeña como docente y por haber ido más allá de lo que dictar el deber.

A mis amigos y compañeros durante toda la carrera universitaria, **Broderick Hernández, Angélica Zamora, Geilyn Rodríguez, Rossana Bárcenas, Héctor Marcano, Alba Gárate, Yonathan Morao, Gabriela Hernández, Simón Marcano, Leonardo Aponte, Carlos Perazzo, Freddy Malavé, Johana Dellora y María Carvajal**. Le doy gracias a dios por cada

uno de ustedes por estar presente, de corazón le deseo lo mejor y todo el éxito del mundo.

Dios en su gran misericordia ha puesto a grades personas en mi camino las cuales es imposible no agradecerle por tanto como lo es mi gran amiga y más que eso hermana **Aleynis Carrera**, también están presente personas maravillosa como lo son: **Héctor Velásquez, Lucy Ramos, Vivian Coa, Leryvci Zambrano, Freddy Zorrilla, Wilfredo Rondón** las señoras **Inés Rodríguez, Carmen Luna, Carmen Lima, Juana Antonia Campos y Nieves Vargas. Los señores Pedro Hernández y Alexander González.** Gracias por estar presente en mi vida y por haberme apoyado en diferentes etapas de mi vida la cual me llevaron a lograr este objetivo tan importante les deseo lo mejor y todas las bendiciones y el éxito que Dios les pueda brindar.

***Encomienda tus obras al señor, y tus propósitos se afianzarán.
Proverbios 16:3***

Orlando José Suárez Aranguren

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	xi
SUMMARY	xii
INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	3
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
MARCO TEORICO	4
ANTECEDENTES.....	4
CICLO HIDROLÓGICO	6
GEOESTADÍSTICA	7
VARIOGRAMA	9
SIMULACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN	14
CUENCA HIDROGRÁFICA	19
PRINCIPALES CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE VENEZUELA.....	21
PARÁMETROS MORFO MÉTRICOS	21
SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	27
SOFTWARE ESTADÍSTICO “R”.....	29
FORMATO RASTER Y VECTORIAL.....	30
MARCO LEGAL.....	33
MARCO METODOLOGICO	36
RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN PRELIMINAR	36
MANEJO CARTOGRÁFICO Y ESTUDIO DE DATOS	39
Iniciando grass SIG	43
Región de estudio (Cuenca del Rio Guarapiche)	46
Importación de datos	60
Interpolacion	63
Iniciando el software estadístico R	68
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	78
MODELO DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIO GUARAPICHE PARA EL PERIODO 1996-2005.....	78
MODELO DE REGRESIÓN LINEAL APLICABLE A LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIO GUARAPICHE PARA LA PREDICCIÓN DEL RÉGIMEN DE PRECIPITACIÓN	87

MODELO CARTOGRÁFICO DE SIMULACIÓN MATEMÁTICO DEL RÉGIMEN DE PRECIPITACIÓN PLUVIAL DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIO GUARAPICHE	93
CONCLUSIONES	95
REFERENCIAS	96
ANEXOS.....	100
HOJAS METADATOS.....	111

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ciclo Hidrológico	7
Figura 2. Interpolación por el método de la cuerda.....	11
Figura 3. Cuenca hidrográfica.....	19
Figura 4. Imagen página web del INAME	36
Figura 5. Datos originales de la variable obtenidos del portal web del INAMEH en formato hoja de cálculo de Excel	37
Figura 6. Ventana principal del programa Transforven	38
Figura 7. Archivos creados en formato hoja de cálculo de Excel.....	38
Figura 8. Archivos creados en formato (txt)	39
Figura 9. Portal web de la GLC.....	40
Figura 10. Dentro de la ventana del enlace ESDI (Earth Science Data Interface) del portal web de la GLCF	40
Figura 11. En la aplicación “Map Search” dentro de ESDI.....	41
Figura 12. Selección de las imágenes de elevación; SRTM, WRS2 Tiles. De la zona bajo estudio	41
Figura 13. De la aplicación “Map Search” al presionar en “Preview & Download”	42
Figura 14. Página en la cual se ve la dirección de descarga en letras azules	42
Figura 15. Portal web de la grass.osgeo.org.	43
Figura 16. Ventana para definir la locación.....	44
Figura 17. Ventana siguiente, definir el método para crear una nueva locación	44
Figura 18. Ventana para la seleccionar archivo georeferenciado	45
Figura 19. Ventana de inicio de programa GRASS 6.4.2.....	45
Figura 20. Ventanas administrador de capas, visualización de mapas.....	46
Figura 21. Ventanas administrador de capas, comando configuración y establecer región	46
Figura 22. Ventana de configuración general	47
Figura 23. Ventanas administrador de capas, comando archivo, importar datos raster y Formatos de importación comunes “r.in.gdal”	48
Figura 24. Ventana importar datos raster	48
Figura 25. Ventana “d.rast” mostrar ráster.....	49
Figura 26. Ventanas administrador de capas “capas de mapas mostrando los cuatro ráster de los SRTM”, visualizador de mapas mostrando los SRTM	49
Figura 27. Ventanas modelos hidrológicos, mapa sin depresiones y líneas de flujo “r.fill.dir”	50
Figura 28. Ventana “r.fill.dir” raster, hidrología.....	51

Figura 29. Ventanas ráster/ superponer raster/ series de raster “r.series”	51
Figura 30. Ventana “r.series” raster, series/ Requerido	52
Figura 31. Ventanas administrador de capas “capas de mapas mostrando el mapa unido”, visualizador de mapas mostrando el mapa unido	52
Figura 32. Ventanas ráster/ modelo hidrológico/ análisis de cuencas hidrográficas “r.watershed”	53
Figura 33. Ventana “r.watershed” mapa de entrada	54
Figura 34. Ventana “r.watershed” valor de entrada.....	54
Figura 36. Ventanas administrador de capas “capas de mapas mostrando el mapa cuenca200000”, visualizador de mapas mostrando el mapa cuenca200000.....	55
Figura 37. Ventanas administrador de capas “consola de comando mostrando el valor de la cuenca de interés”, visualizador de mapas mostrando el mapa cuenca200000.....	56
Figura 38. Ventanas ráster/ cambiar valores de categoría y etiquetas/ reclasificar “r.reclass”	57
Figura 39. Ventana “r.reclass” mapa por reclasificar, nombre del mapa raster de salida	58
Figura 40. Ventana “r.reclass” valores interactivamente.....	58
Figura 41. Ventanas administrador de capas “capas de mapas mostrando el mapa cuencaguarapiche”, visualizador de mapas mostrando el mapa cuencaguarapiche	59
Figura 42. Ventanas ráster/ máscara “r.mask”	59
Figura 43. Ventana “r.mask” mapa raster a usar como máscara	60
Figura 44. Ventanas archivo/ importar datos ráster/ importación y cuadrículado de puntos x,y,z ASCII “r.in.xyz”	61
Figura 45. Ventanas “r.in.xyz” y pestaña donde estaba ubicada la data.....	61
Figura 46. Ventana “r.in.xyz” nombre del mapa raster de salida.....	62
Figura 47. Ventana “r.in.xyz” separador de campo, orden de numeración de columnas donde están las coordenadas (x, y) y el número de columna de los valores de datos en el archivo de entrada	62
Figura 48. Ventana “r.in.xyz” tipo de almacenamiento para el mapa ráster resultante.....	63
Figura 49. Ventanas ráster/ interpolar superficies/ IDW a partir de puntos ráster “r.surf.idw”	63
Figura 50. Ventana “r.surf.idw” nombre del mapa raster de entrada y nombre del mapa raster de salida	64
Figura 51. Ventanas administrador de capas “capas de mapa mostrando el mapa interpolado”, visualizador de mapas mostrando el mapa interpolado	64

Figura 52. Ventanas Archivo/ Explorar mapa raster/ Explorar puntos x,y,z ASCII "r.out.xyz"	65
Figura 53. Ventana "r.out.xyz" nombre para el archivo de salida y separador de campo.....	66
Figura 54. Archivos exportados en formato (txt)	66
Figura 55. Imagen página web para descarga del programa R.	67
Figura 56. Ventana de inicio "R console"	68
Figura 57. Ventanas "R console" File/ Change dir	69
Figura 58. Ventana donde está ubicada la data.....	69
Figura 59. Mapa interpolado de precipitación anual 1996	78
Figura 60. Mapa interpolado de precipitación anual 1997	79
Figura 61. Mapa interpolado de precipitación anual 1998	80
Figura 62. Mapa interpolado de precipitación anual 1999	81
Figura 63. Mapa interpolado de precipitación anual 2000	82
Figura 64. Mapa interpolado de precipitación anual 2001	83
Figura 65. Mapa interpolado de precipitación anual 2002	84
Figura 66. Mapa interpolado de precipitación anual 2003	85
Figura 67. Mapa interpolado de precipitación anual 2004	86
Figura 68. Mapa interpolado de precipitación anual 2005	87
Figura 69. Ventana resumen numérico del "modelo1"	88
Figura 70. Ventana resumen numérico del "modelo2"	88
Figura 71. Ventana resumen numérico del "modelo3".....	89
Figura 72. Ventana resumen numérico de predicción fecha 11 resumen numérico de todas_bandas	90
Figura 73. Ventana resumen numérico de predicción fecha 12 resumen numérico de todas_bandas	91
Figura 74. Ventana resumen numérico de predicción fecha 13 resumen numérico de todas_bandas	92
Figura 75. Modelo cartográfico que describe el proceso de simulación matemático del régimen de precipitación pluvial de la cuenca hidrográfica del rio Guarapiche	93



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
COMISIÓN DE TRABAJOS DE GRADO
MATURÍN, ESTADO MONAGAS

**SIMULACIÓN MATEMÁTICA DEL RÉGIMEN DE PRECIPITACIÓN
PLUVIAL DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIO GUARAPICHE.**

Autor: Orlando José Suárez Aranguren

RESUMEN

El presente trabajo se llevó a cabo con la finalidad de diseñar un modelo de simulación aplicable al régimen de precipitación pluvial de la cuenca hidrográfica del río Guarapiche. Para ello se utilizó el programa *Grass Gis versión 6.4.2 GUI* como instrumento principal para facilitar el manejo, procesamiento y análisis de datos topográficos y climáticos. Mediante el empleo de técnicas y métodos de análisis espacial, se obtuvo como resultado una serie de datos exportado del mismo, los cuales fueron utilizados posteriormente en el programa estadístico *software R versión R i386 3.3.3* con la finalidad de obtener la regresión lineal aplicable a la cuenca hidrográfica del río Guarapiche. El resultado de esta investigación es un sistema dinámico que obedece a una función matemática en el que a partir de datos bases de precipitación por año permitirán simular la misma en años futuros.

Palabras claves: simulación, mapas, modelo, régimen, GRASS, cuenca, precipitación.



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
COMISIÓN DE TRABAJOS DE GRADO
MATURÍN, ESTADO MONAGAS

**SIMULACIÓN MATEMÁTICA DEL RÉGIMEN DE PRECIPITACIÓN
PLUVIAL DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIO GUARAPICHE.**

Autor: Orlando José Suárez Aranguren

SUMMARY

The present work was carried to design a simulation model applicable to the rainfall regime of the Guarapiche river basin. *Grass Gis version 6.4.2* GUI was used as the main instrument to facilitate the handling, processing and analysis of topographic and climatic data. Through the use of techniques and methods of spatial analysis, a series of exported data were obtained, which latter were used in the statistical *software program R version R i386 3.3.3* in order to obtain the linear regression applicable to the watershed of the river Guarapiche. The result of this research is a dynamic system that obeys to a mathematical function in which from precipitation data bases per year allows to simulate it the in future years.

Keywords: simulation, maps, model, regime, GRASS, basin, precipitatio

INTRODUCCION

La simulación permite realizar análisis de impactos tecnológicos, económicos y ambientales, evaluación de estrategias productivas y los pronósticos del rendimiento de los cultivos. Su empleo se enfoca generalmente a comprender mejor los problemas y anticipar la realidad que se investiga. (Hernández, Soto y Caballero, 2009)

La adaptación a los cambios mediante el uso de nuevas tecnologías ha sido una herramienta fundamental para la supervivencia del hombre. El ámbito de la alimentación no se escapa de esto, y es que en los últimos años se ha hecho fundamental adaptar y fomentar el uso de nuevas tecnologías a la creciente y constante demanda de alimentos que vive el mundo en la actualidad.

Los países con alto desarrollo tecnológico en el área agrícola han sabido adaptarse a los cambios y a las crecientes demandas de alimentos a la que se ven sometidas mediante el uso de simulación. Esta herramienta es punta de lanza para los procesos de toma de decisiones y la planificación de la producción.

Los modelos de simulación constituyen una herramienta fundamental para entender la complejidad que caracteriza los sistemas ecológicos y ambientales. Esto se debe a que son la única herramienta disponible para traducir una colección de hipótesis acerca de procesos ecológicos en una representación de cómo el ecosistema funciona en su totalidad.

Un buen modelo es capaz de revelar interacciones entre los diferentes componentes que no eran evidentes al estudiar cada uno de los procesos separadamente y permitirá ensayar experimentos que no se podrían realizar en el sistema real.

En Venezuela cada vez más domina la necesidad adaptar las tecnologías disponibles en la actualidad a la realidad de nuestros campos.

Es importante destacar que en nuestro país hace falta incentivar estos estudios de simulación ya que ayudan a planificar para obtener mejores resultados en nuestros objetivos el cual es producir alimentos. Asociado a éstos, se busca generar información necesaria al evaluar y establecer métodos que respondan satisfactoriamente a un correcto y más preciso establecimiento de rubros a lo largo y ancho de toda la cuenca, a su vez que se sientan las bases para la elaboración de planes y proyectos socio-productivo en cualquier nivel, nacional, estatal y municipal.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un modelo de simulación aplicable al régimen de precipitación pluvial de la cuenca hidrográfica del río Guarapiche.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Construir los modelos de distribución espacial de la precipitación pluvial de la cuenca hidrográfica del río Guarapiche para el periodo 1996-2005.
- II. Determinar un modelo de regresión lineal aplicable a la cuenca hidrográfica del río Guarapiche para la predicción del régimen de precipitación.
- III. Establecer el modelo cartográfico que describa el proceso de simulación matemático del régimen de precipitación pluvial de la cuenca hidrográfica del río Guarapiche.

MARCO TEORICO

ANTECEDENTES

Ataroff y Sanchez (1999), trabajaron con la erosividad de las lluvias en la cuenca media del rio El Valle, El Cobre, estado Táchira, con la idea de analizar la dinámica híbrida del bosque natural y los cambios que esta sufre cuando el bosque es remplazado por cultivos de hortalizas, pastizales para ganadería lechera y cultivos de manzanos. Ellos estudiaron durante dos años las entradas de aguas por precipitación y riego, la salida por escorrentía, así como la interacción del agua por parte del follaje.

Silva (2009) utilizó los modelos de simulación como una herramienta valiosa en la gestión de cuencas hidrográficas, pero la incertidumbre de los resultados simulados puede ser una limitante de peso para su uso adecuado, por lo cual es conveniente que sean calibrados y validados. En este trabajo, el modelo de simulación hidrológica SWAT (Soil and Water Assessment Tool; Arnold et al., 1998 y Neitsch et al., 2005) se calibró y validó en la cuenca media del río Pao, prioritaria para la zona central de Venezuela por abastecer de agua a los estados Aragua y Carabobo. La cuenca se representó en el modelo con 60 unidades de respuesta hidrológica, seis estaciones climatológicas y combinaciones de cinco tipos de suelo (asociados al relieve), con seis tipos de uso o cobertura de la tierra. Se contó con registros de precipitación de 1967 a 1992 y de producción de agua de 1952 a 1983 (sin incluir 1969), lo cual abarcó un período común de sólo seis años, que se consideró insuficiente para ser fraccionado a los fines de calibrar y validar el modelo. Dadas tales limitaciones, la producción mensual de agua simulada al emplear los registros de precipitación de 1977 a 1991 se calibró contra la

registrada entre 1952 y 1965, según la similitud entre los valores asociados a los percentiles 25, 50 y 75 y de los valores promedio mensuales de ambas series. En la fase de validación, se compararon los valores mensuales absolutos de la producción de agua simulada con sus pares registrados durante el período de 1967 a 1983, no incluyendo 1969 (72 meses).

Soto (2001), planteó dos modelos de calibración de simulación integral de cuenca, a saber, Modelos T y Témez, para la hoya hidrográfica del río Purapel, estación Nirivilo, VII Región, Chile; zona que presenta un clima semiárido con 800 mm de precipitación media, régimen exclusivamente pluvial en su escorrentía y una superficie de 259 Km².

La validación de los parámetros hallados, se efectuó sobre el tercio de la serie de datos disponibles, que comprendía un total de 31 años, siendo analizada la idoneidad de las respuestas de caudal de cada modelo con respecto a datos reales. Los modelos fueron calibrados en dos modalidades o planteamientos, donde a partir del planteamiento original, se procedió a diferenciar en la calibración valores para los parámetros en los meses húmedos y valores para los meses secos (Soto, 2001).

Los resultados muestran que en general un 74% y un 82% del nivel del aporte de la cuenca son explicados por los modelos T y Témez, respectivamente (Soto, 2001).

Sin embargo, a nivel mensual, es decir, analizando el ajuste de cada mes en particular, los resultados no se consideraron satisfactorios, aunque se observa un mejor desempeño por parte del modelo Témez de 8 parámetros, donde los meses en que el ajuste se consideró adecuado son:

mayo, julio y octubre, los que en suma representan un 44% de la escorrentía anual (Soto, 2001).

Finalmente, Soto (2001) recomendó el modelo Témez, solo para los meses mencionados anteriormente mencionados, como una herramienta a considerar para la evaluación del recurso hídrico en la cuenca, toda vez que al incluir los principales procesos del ciclo hidrológico en su proceso de simulación, se incorpora un número de parámetros fácilmente manejables.

CICLO HIDROLÓGICO

El ciclo hidrológico se basa en el permanente movimiento o transferencia de las masas de agua, tanto de un punto del planeta a otro, como entre sus diferentes estados (líquido, gaseoso y sólido). Está animado por dos causas: La energía solar y la gravedad. También se define como la sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmósfera y volver a la tierra: evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y re evaporación, cabe destacar que el ciclo hidrológico involucra un proceso de transporte recirculatorio e indefinido o permanente, este movimiento permanente del ciclo se debe fundamentalmente a dos causas: la primera, el sol que proporciona la energía para elevar el agua (evaporación); la segunda, la gravedad terrestre, que hace que el agua condensada descienda (precipitación y escurrimiento) (Ordoñez, 2011).

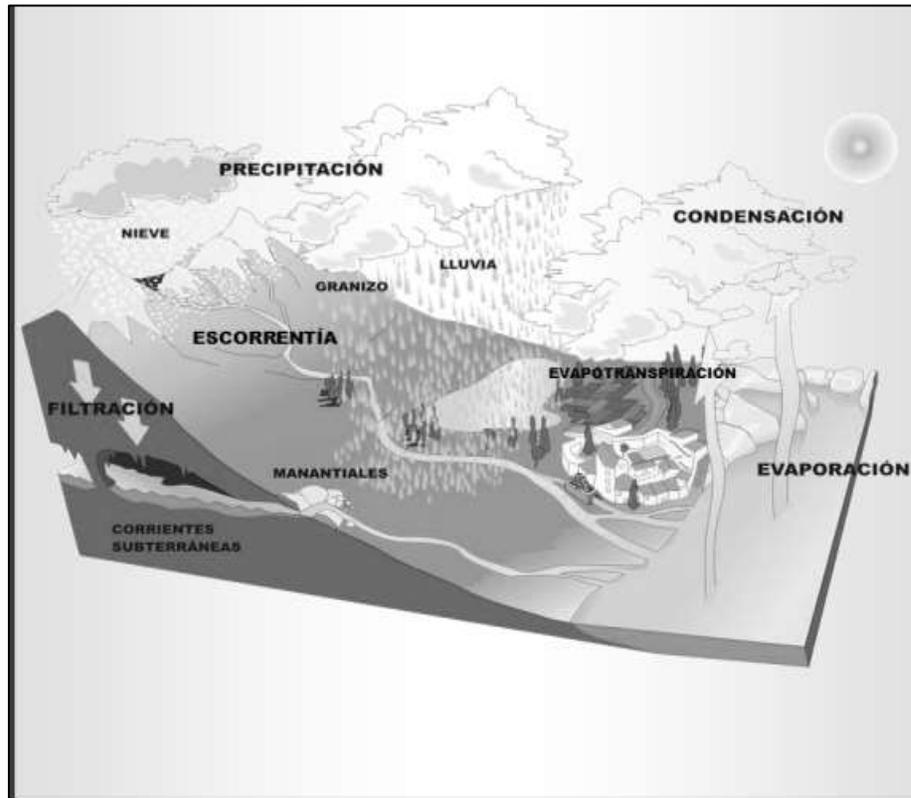


Figura 1. Ciclo Hidrológico

Fuente: (Ordoñez, 2011).

GEOESTADÍSTICA

La geoestadística es una rama de la estadística aplicada que se especializa en el análisis y la modelación de la variabilidad espacial en ciencias de la tierra. Su objeto de estudio es el análisis y la predicción de fenómenos en espacio y/o tiempo, tales como: ley de metales, porosidades, concentraciones de un contaminante, etc. Aunque el prefijo geo- es usualmente asociado con geología, sin embargo, la geoestadística tiene sus orígenes en la minería (Díaz, 2002).

Etapas del análisis geoestadístico

Según Díaz (2002), actualmente, la geoestadística es un conjunto de técnicas usadas para analizar y predecir valores de una propiedad distribuida en espacio o tiempo. En contraposición con la estadística clásica o convencional, tales valores no se consideran independientes, por el contrario, se suponen de manera implícita que están correlacionados unos con otros, es decir que existe una dependencia espacial. Intuitivamente, esto indica que mientras más cercanos estén situados dos puntos están más correlacionados y mientras más separados hay menos relación entre estos.

El proceso de estimación y modelación de la función que describe la correlación espacial es conocido como “análisis estructural”. Una vez realizado el análisis estructural, la predicción de valores en puntos no muestrales se puede hacer aplicando la técnica de interpolación "kriging" o simulándolos a través de “simulaciones condicionales”.

En resumen, a grosso modo un análisis geoestadístico está compuesto por tres etapas:

- ✓ El análisis exploratorio de los datos.
- ✓ El análisis estructural.
- ✓ Las predicciones (kriging o simulaciones).

La primera etapa, conocida como análisis exploratorio de datos, está basada en técnicas estadísticas convencionales que permiten obtener todo un conjunto de información, desconocida a priori sobre la muestra bajo estudio, que es imprescindible para realizar “correctamente” cualquier análisis estadístico y en particular un análisis geoestadístico (Díaz, 2002).

La Geoestadística, su posición y su relación con respecto a otras ramas de la estadística

Muchos de las ideas de la geoestadística han sido inspiradas en su hermana menor: las series cronológicas o series de tiempo. Se puede advertir que los objetivos del análisis de series de tiempo son similares a los de la geoestadística. Mientras que el análisis de series temporales está orientado al estudio de procesos unidimensionales con datos muestrales uniformemente distribuidos, la geoestadística se ocupa del estudio de fenómenos con datos distribuidos de forma arbitraria en el espacio y tiempo, por lo que la metodología de esta última tiene un carácter mucho más general.

En un marco más amplio, la geoestadística es una disciplina que pertenece a la estadística espacial (Díaz, 2002).

Campos de aplicación

La geoestadística ha sido ampliamente aplicada en diversas ramas de las ciencias aplicadas y en las ingenierías, entre otras tenemos: petróleo, minería, pesca, geofísica marina, hidrogeología, medio ambiente, estudios forestales, salud pública, ingeniería civil, procesamiento de imágenes, cartografía, finanzas, ciencias de materiales, meteorología, edafología, entre otros (Díaz, 2002).

VARIOGRAMA

Cabrero y García (2015) definen variograma como

$$\gamma(h) = \frac{1}{2}E[(Z(s) - Z(s + h))^2]. \quad (1)$$

En realidad, para ser más preciso, se debería de reservar el término variograma a $2\gamma(h)$ y denominar al valor anterior semi-variograma pero es habitual utilizar esta denominación por lo que aquí también se seguirá.

Bajo la suposición de estacionalidad, es decir, que tanto la media como la varianza de Z son constantes, el variograma lo que expresa es la correlación espacial, admitiendo (por esa estacionalidad) que no depende de la localización \mathbf{s} , sino sólo de la distancia h (habitualmente Euclidiana) que separa a dos observaciones $Z(s)$ y $Z(s + h)$, puesto que se puede considerar esa medida constante igual a 0 (por ser equivalente a hacer los cálculos como si restara a todos los valores su media) y al ser también la varianza constante, $\gamma(h)$ representará (salvo constantes) a la correlación espacial.

Por lo tanto, lo que básicamente se hace al calcular el variograma es formar pares de observaciones $Z(s_i)$, $Z(s_j)$ que estén en una separación $h = s_i - s_j$ y estimar el coeficiente de correlación entre ellos.

Dado que $\gamma(h)$ raramente será conocido, se estimará a partir de los datos observados mediante el variograma muestral.

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} (Z(s_i + h) - Z(s_i))^2 \quad (2)$$

Siendo $n(h)$ el número de puntos separados por una distancia h (Cabrero y García, 2015).

Análisis exploratorio del variograma

Además del variograma muestral, una forma sencilla de analizar si la correlación espacial presente es, como se dijo más arriba, obtener un diagrama más de dispersión de pares de observaciones $Z(s_i), Z(s_j)$ que estén en una separación $h_{ij} = \|s_i - s_j\|$ y estimar el coeficiente de correlación entre ellos (Cabrero y García, 2015).

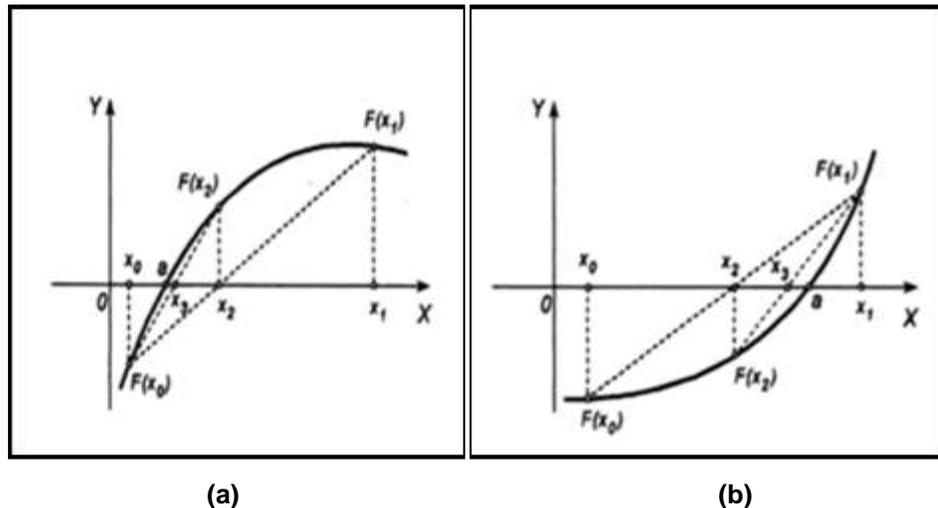


Figura 2. Interpolación por el método de la cuerda
Fuente: (García, 1995).

Según García (1995), la interpolación geométrica (por el método de la cuerda), representada en la Figura 2(a), es la siguiente: dada una función cualquiera $F(x) = 0$ cuya raíz a se busca, se localizan dos puntos $[x_0, F(x_0)]$ y $[x_1, (F(x_1))]$ donde la función tome signos opuestos. Encontrada la recta que une esos dos puntos, se obtiene el $[x_2, F(x_2)]$, interacción de dicha recta con el eje x . obteniendo el nuevo punto $[x_2, F(x_2)]$, se une con alguno de los dos anteriores (en este caso con el $[x_0, F(x_0)]$ que tiene ordenada con signo opuesto a la del punto $[x_2, 0]$) y el proceso continua así sucesivamente, de

modo que, el conjunto de cuerdas obtenido van proporcionando la sucesión interactiva

$$X_0, X_1, X_2, X_3, \dots$$

Que tiende a la raíz verdadera $x = a$.

Analíticamente e indicado por F_i , el valor $F(x_i)$, el proceso algebraico es el siguiente:

- a) La ecuación de la cuerda que pasa por los puntos (x_0, F_0) y (x_1, F_1) es de la forma

$$\frac{y-F_0}{F_1-F_0} = \frac{X-X_0}{X_0-X_1} = y - F_0 = \frac{F_1-F_0}{x_1-X_0} (X - x_0) \quad (3)$$

- b) El punto de intersección de dicha cuerda con el eje x se obtiene haciendo $y = 0$, con lo que será

$$-F_0 = \frac{F_1-F_0}{x_1-x_0} (X - x_0) \quad (4)$$

Y el valor de la nueva abscisa x_2 es

$$X = x_2 = x_0 + \frac{(x_1-x_0)F_0}{F_0-F_1} = \frac{x_1 F_0 - x_0 F_1}{F_0 - F_1} \quad (5)$$

Que es un valor para la raíz más cercano al exacto que los iniciales x_0 y x_1 de partida (García, 1995).

c) Partiendo ahora del punto recientemente encontrado (x_2, F_2) y de uno de los dos anteriores, precisamente aquel con el que la ecuación tome signos opuestos, se obtiene el nuevo punto x_3 . En el caso de la Figura 2 los puntos de partidas son (x, F_0) y (x_2, F_2) . Entonces, siguiendo el mismo algoritmo indicado en a) y b)

$$x = x_3 = x_0 + \frac{(x_2 - x_0)F_0}{F_0 - F_2} = \frac{x_2 F_0 - x_0 F_2}{F_0 - F_2} \quad (6)$$

d) En general, la ley de recurrencia sería:

$$x_i = x_0 + \frac{(x_{i-1} - x_0)F_0}{F_0 - F_{i-1}} = \frac{x_{i-1}F_0 - x_0 F_{i-1}}{F_0 - F_{i-1}} \quad (7)$$

García (1995) comenta que habiendo tomado (x_0, F_0) como el punto vértice de todas las cuerdas a lo largo del algoritmo. La fórmula sería analógica si el vértice hubiera sido Figura 2b (x_1, F_1) con solo cambiar en dicha expresión x_0 por x_1 y F_0 por F_1 , es decir.

$$x_i = x_1 + \frac{(x_{i-1} - x_1)F_1}{F_1 - F_{i-1}} = \frac{x_{i-1}F_1 - x_1 F_{i-1}}{F_1 - F_{i-1}} \quad (8)$$

Dado que la interpolación lineal no depende de los signos de los datos de partida, la formulación hecha es válida tanto si $F(x_0) > 0$, $F(x_1) < 0$ como si $F(x_0) < 0$ y $F(x_1) > 0$.

Los criterios para detener los cálculos podrían ser, en este caso, cualquiera de los tres siguientes:

1. Que $(x_i - x_{i-1})$ sea más pequeños que un $\epsilon > 0$ prefijado.
2. Para un x_i obtenido, que $[F(x_i)]$ se más pequeño que un $\epsilon > 0$ prefijado.
3. Que $[(x_{i+1} - x_i)/(x_{i+1})]$, error relativo, sea mayor que un $\epsilon > 0$ prefijado.

SIMULACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN

Muchos modelos han sido usados para la simulación de las descargas en base a los datos de precipitación y a las características físicas de las cuencas de recepción. Los modelos reflejan los variados grados de complejidad del movimiento del agua desde el momento en el que alcanza la superficie del suelo hasta que llegan al cauce, percola hacia el reservorio subterráneo, se evapora, o es evapotranspirada nuevamente a la atmosfera (Marcano y Quiroz, 1969).

El modelo mejor conocido y más ampliamente usado es el modelo de la cuenca Stanford. Este modelo simula el movimiento del agua sobre y a través del suelo hacia los causes encaminando la descarga al punto en el cual el flujo está siendo simulado. Desafortunadamente, muchos de los parámetros que deben ser encajados no están directamente relacionados a las características físicas medibles de la cuenca de recepción y deben ser estimados por la concordancia o correspondencia de todos los datos observados o simulados por un procedimiento del tanteo o prueba y error. A pesar de esto, el modelo ha sido aplicado en una amplia variedad de cuencas diferentes con éxito considerable (Marcano y Quiroz, 1969).

Según Marcano y Quiroz (1969), un modelo específicamente aplicado en cuencas muy pequeñas ha sido desarrollado. Este modelo bastante simple fue desarrollado para estudiar la precisión de los parámetros estimados por descargas apropiadas. Otros modelos están actualmente en desarrollo en el U.S. Weather Bureau y el U.S. Hydrograph Laboratory.

El amplio número de modelos desarrollados indicarían probablemente que ningún modelo simple aun ha probado ser adecuado en todas las circunstancias. La razón para ésto es debida a que dada la complejidad de la cuenca de recepción, un modelo parece irracionalmente problemático si está hecho para hacer todas las cosas bien. Por lo tanto, un simple modelo para una situación simple siempre trabajará mejor que un modelo generalizado más complicado.

Registro interrelacionados

Frecuentemente es deseable crear descargas en un número de puntos, los cuales son casi cercanos uno a otro. En este caso, muy bien reconocidos los registros deberán ser correlacionados unos con otros, es decir, si el flujo durante un mes está por encima del promedio en un determinado lugar, es probable que esté por encima del promedio durante el mismo mes en los lugares vecinos.

También se trata este problema determinando el flujo en una estación dada a partir del flujo de una estación adyacente en base al uso de la relación (Marcano y Quiroz, 1969):

$$Q_{y,i} = Q'_{y,i} + b_i (Q_{x,i} - Q'_{x,i}) + t_{y,i} (1 - r_i^2)^{1/2}. \quad (9)$$

Aquí el flujo de la estación “y” durante el mes (i) es obtenido como la suma de la media para el mes dado, una función lineal de la desviación de la estación “x” y una función del azar. b_i es el coeficiente de regresión para la estación “y” sobre la estación “x” durante el mes (i) y r_i es el coeficiente de correlación. El uso de esa extensión requiere que el flujo sea generado en una estación simple (clave) usando el modelo auto regresivo y entonces el flujo en las estaciones adyacentes es obtenido usando la relación anterior. Considerando el coeficiente de correlación entre los varios puntos se determina cuál par de estaciones se debe relacionar. (Marcano y Quiroz, 1969).

Según Marcano y Quiroz (1969) se ha desarrollado un método en el cual son mantenidos correlación entre todas las estaciones en un registro generado. En su técnica, el flujo para un periodo de tiempo dado, en una localización determinada es calculado como una función lineal del flujo en la misma localización durante el periodo de tiempo precedente, el flujo durante el mismo periodo de tiempo donde éste ya ha sido calculado, también se empleó logaritmos de las descargas en su computación.

Una dificultad en las dos técnicas anteriores es que no son mantenidas todas las correlaciones y auto correlaciones entre todas las estaciones.

Marcano y Quiroz (1969) comentan que se propuso una técnica para la cual el análisis de los componentes es usado para resolver este problema. El usó los datos para construir un conjunto de componentes principales, los cuales pueden ser considerados como un conjunto artificial de localizaciones independientes. Los registros son generados para estas localidades y entonces transformados a valores en la actual localización. Los datos

generados en esta forma mantienen todos los momentos y correlaciones en los datos observados.

El modelo de cuenca Stanford puede ser también usado para generar descargas en varias localizaciones. Su uso será más adecuado para generar registros en varias localizaciones en la misma cuenca.

Simulación de datos de precipitación

La simulación de datos de precipitación no ha sido todavía bien desarrollada como en el caso de datos de descargas. Algunas de las técnicas que se han desarrollado serán revisadas brevemente.

Según Marcano y Quiroz (1969), se desarrolló un modelo que es esencialmente igual al modelo auto regresivo usado para la simulación de descarga. El modelo fue destinado sólo para generar cantidades de precipitación horarias durante las fuertes tormentas, y su uso solo ha sido demostrado para tormentas anuales.

Marcano y Quiroz (1969) exponen que se usaron las propiedades de una cadena de Markov para generar registros horarios de precipitación. Si la hora previa fue húmeda, es una relación dependiente de primer orden para asignar una cantidad de precipitación. Si la hora previa fue seca, es una relación dependiente de sexta orden para determinar si la lluvia ocurrió o no. Si los resultados indican que una precipitación ocurrirá se usa una relación de primer orden para asignar una cantidad.

Se probó el modelo bastante intensivamente. Sus resultados indican que los periodos secos entre las tormentas no son representados muy bien

por el modelo, pero otras de las características de los datos observados se ajustan bastante bien (Marcano y Quiroz, 1969).

Marcano y Quiroz (1969) explican que se desarrolla un modelo para síntesis de un tiempo de intervalos de 10 minutos durante tormentas de veranos. La distribución Weibull es primero usada para generar intervalos de tiempo entre tormentas y duración de tormentas. El análisis de regresión entre cantidades de precipitación y duración de tormentas es usado para asignar la cantidad a cada tormenta y entonces las cantidades son divididas entre los intervalos de tiempo individual para corresponder a ciertas características de los datos observados.

El modelo se ajusta a casi cada característica de los datos observados y por lo tanto simula datos confiables bajo las condiciones para las cuales fue desarrollado.

Se desarrolló un modelo que consiste esencialmente de dos partes. Primero, modelos de ocurrencia de precipitación son usados para determinar si la precipitación ocurrió o no en el periodo dado. Si la precipitación ocurre se usa una distribución de frecuencia de cantidades para asignar una cantidad al periodo. El resultado ha sido generalmente exitoso para precipitaciones diarias, y bastantes satisfactorio para precipitaciones horarias. Sin embargo, algunas desviaciones consistentes han sido observadas en la concordancia en las tormentas tipo tropicales de verano (Marcano y Quiroz, 1969).

CUENCA HIDROGRÁFICA

Según Ovalles, Méndez y Ramírez (2008), la noción de cuenca hidrográfica aparece como una expresión de la concepción hidrológica que dio origen al término. Se deriva de la significación del agua como recurso natural fundamental que condiciona la vida de todos los ecosistemas y satisface exigencias del conjunto de actividades, no sólo físico-bióticas, sino de orden social, cultural, económica y administrativa, en una unidad territorial considerada.



Figura 3. Cuenca hidrográfica
Fuente: (Ordoñez, 2011).

Al analizar los conceptos sobre cuencas hidrográficas se puede señalar que involucran ciertos criterios, rasgos y elementos:

- ✓ Un territorio o área de superficie delimitada por una divisoria topográfica, denominada divisoria de aguas.

- ✓ Un colector, cauce o drenaje principal que capta la escorrentía y sirve de colector común a un conjunto de afluentes o drenes.
- ✓ Un colector principal y cauces afluentes producto de la cantidad de precipitación que cae y es captada por la unidad de territorio (cuenca) en un tiempo dado.
- ✓ Se considera la noción de “aguas arriba” o el área de captación de la precipitación (lluvia o nieve) con capacidad para producir escorrentía que drena hasta un punto de referencia. La noción de “aguas abajo” configura el área de influencia por donde circula el agua de escorrentía desde el punto de referencia anterior.
- ✓ Prevalece una concepción esencialmente hidrológica, dominada por el conocimiento de aquellos elementos componentes del subsistema físico natural, que encuentra en el cauce principal y sus tributarios el hilo conductor del conocimiento y aplicaciones. Ello se explica en parte a la influencia de los vocablos que dieron origen al concepto y al requerimiento de quienes más hicieron uso de la información: los hidrólogos.
- ✓ Se observa una noción amplia sobre la cuenca hidrográfica al plantearse como un sistema que integra aspectos de orden económico-social, político-institucional, además del consabido físico-natural.
- ✓ Las características geo-biofísicas de una cuenca hidrográfica tienden a formar sistemas hidrológicos, geomorfológicos y ecológicos relativamente coherentes, que al relacionarse e integrarse con los subsistemas de orden social, conforman unidades estratégicas objeto de ordenación, gestión o de manejo.

Si el territorio es la expresión político-administrativa del espacio geográfico, configurado por subconjuntos y atributos de orden físico-natural, socioeconómico cultural y político-institucional y cada uno de éstos está

conformado por elementos componentes que los caracterizan y se relacionan. La cuenca hidrográfica como unidad territorial está integrada por dichos subconjuntos, atributos y elementos componentes (Ovalles, Méndez y Ramírez, 2008).

PRINCIPALES CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE VENEZUELA

Según Hernández y Lanza (2009), el relieve venezolano da origen a seis grandes cuencas hidrográficas de los tipos exorreicos y endorreicos, en las que se encuentran:

- ✓ Cuenca del río Orinoco
- ✓ Cuenca del lago de Maracaibo
- ✓ Cuenca del mar Caribe
- ✓ Cuenca del río Cuyuní
- ✓ Cuenca del río Negro
- ✓ Cuenca del lago de Valencia

PARÁMETROS MORFO MÉTRICOS

Villegas (2013), explica que las características físicas de una cuenca son elementos que tienen una gran importancia en el comportamiento hidrológico de la misma. Dichas características físicas se clasifican en dos tipos según su impacto en el drenaje: las que condicionan el volumen de escurrimiento, como el área y el tipo de suelo de la cuenca, y las que condicionan la velocidad de respuesta, como el orden de corriente, la pendiente, la sección transversal, etc.

Existe una estrecha correspondencia entre el régimen hidrológico y dichos elementos, por lo cual el conocimiento de éstos reviste gran utilidad práctica, ya que al establecer relaciones y comparaciones de generalización de ellos con datos hidrológicos conocidos, pueden determinarse indirectamente valores hidrológicos en secciones de interés práctico donde falten datos o donde por razones de índole fisiográfica o económica no sea factible la instalación de estaciones hidrométricas (Villegas 2013).

✓ **Parámetros generales de una cuenca**

Constituyen la información mínima que se debe conocer para formarse una primera idea de la naturaleza y comportamiento de una cuenca. Estos parámetros son el área, longitud, perímetro, ancho y desnivel altitudinal.

El área de la cuenca sirve de base para la determinación de otros elementos; por lo general los caudales crecen a medida que aumenta el área de la cuenca; el crecimiento del área actúa como un factor de compensación de modo que es más común detectar crecientes instantáneas y de respuesta inmediata en cuencas pequeñas que en las grandes cuencas.

La longitud, L , de la cuenca se define como la distancia horizontal del río principal entre un punto aguas abajo (estación de aforo) y otro punto aguas arriba, donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca.

El ancho se define como la relación entre el área (A) y la longitud de la cuenca (L), y se designa por la letra W . De forma que: $W = A/L$.

El desnivel altitudinal (DA), es el valor de la diferencia entre la cota más alta de la cuenca y la más baja (DA=HMax-Hmin).

Se pueden definir como cuencas pequeñas aquellas con áreas menores a 250 km², mientras que las que poseen áreas mayores a los 2.500 km², se clasifican dentro de las cuencas grandes (Villegas, 2013).

✓ **Parámetros que caracterizan la forma de la cuenca**

La forma de una cuenca es un factor determinante de su comportamiento hidrológico (cuenca con la misma área, pero de diferentes formas presentan diferentes respuestas hidrológicas – hidrogramas diferentes, por tanto- ante una lámina precipitada de igual magnitud y desarrollo), de ahí que algunos parámetros traten de cuantificar las características morfológicas por medio de índices o coeficientes. Los parámetros de forma principales son: coeficiente de Gravelius y rectángulo equivalente y coeficiente de Horton.

Índice de compacidad o de Gravelius. Está definido como la relación entre el perímetro P y el perímetro de un círculo que contenga la misma área A de la cuenca hidrográfica (Villegas, 2013).

$$K = 0.822 \frac{P}{A} \quad (10)$$

La razón para usar la relación del área equivalente a la ocupada por un círculo es porque una cuenca circular tiene mayores posibilidades de producir medidas superiores dadas su simetría. Sin embargo, este índice de

forma ha sido criticado, pues las cuencas en general tienden a tener forma de pera. (Villegas 2013).

Factor de forma adimensional de Horton: Horton ha sugerido un factor adimensional de forma designado como “Rf” que puede deducirse a partir de la ecuación siguiente:

$$R_f = \frac{A}{L_b^2} \quad (11)$$

- R_f = factor adimensional de forma de Horton
- A = área de la cuenca
- L_b = longitud de la cuenca, medida desde la salida hasta el límite, cerca de la cabecera del cauce principal, a lo largo de una línea recta

El índice de Horton ha sido usado frecuentemente como un indicador de la forma del hidrograma unitario (Villegas, 2013).

✓ **Parámetros que caracterizan el relieve de la cuenca**

Curva hipsométrica. La curva hipsométrica representa el área drenada que varía con la altura de la superficie de la cuenca. Se construye llevando al eje de las abscisas los valores de la superficie drenada proyectada en km² o en porcentaje, obtenidos hasta un determinado nivel, los cuales llevan al eje de las ordenadas, generalmente en metros. Las curvas hipsométricas también han sido asociadas con las edades de los ríos de las respectivas cuencas.

Histograma de frecuencias altimétricas: Es la representación de la superficie, en km² o en porcentaje, comprendida entre dos niveles, siendo la marca de clase el promedio de las alturas. De esta forma, con diferentes niveles se puede formar el histograma. El diagrama de barras puede ser obtenido con los mismos datos de la curva hipsométrica. Realmente contiene la misma información de ésta, pero con una representación diferente, y da una idea probabilística de la variación de la altura en la cuenca (Villegas, 2013).

Altura media de la cuenca (H). La altura media, H, es la elevación promedia referida al nivel de la estación de aforo de la boca de la cuenca.

Pendiente media de la cuenca. La pendiente media constituye un elemento importante en el efecto del agua al caer a la superficie, por la velocidad que adquiere y la erosión que produce. Se calcula como la media ponderada de las pendientes de todas las superficies elementales de la cuenca en las que la línea de máxima pendiente se mantiene constante.

$$S_{cuenca} = 100 \frac{\sum L_i E}{A} \quad (12)$$

- S_{cuenca} = Pendiente media de la cuenca
- L_i = Longitud de cada una de las curvas de nivel (km)
- E = Equidistancia de las curvas de nivel (km)
- A = Área de la cuenca (km²)

Pendiente Media del cauce principal. En general, la pendiente de un tramo de río se considera como el desnivel entre los extremos del tramo, dividido por la longitud horizontal de dicho tramo, de manera que:

$$S = \frac{DA}{L} \quad (13)$$

- S = Pendiente
- DA = Desnivel
- L = Longitud

Perfil altimétrico del cauce principal. El perfil altimétrico es simplemente el gráfico de altura en función de la longitud a lo largo del río principal.

Con base en la forma del perfil altimétrico del río, se pueden inferir rasgos generales de la respuesta hidrológica de la cuenca en su expresión de la hidrógrafa, o sea, la variación del caudal con el tiempo. También los perfiles se usan para estudios de prefactibilidad de proyectos hidroeléctricos, producción de sedimentos, ubicación de posibles sitios susceptibles de avalanchas, etc. Generalmente, cuencas con pendientes altas en el cauce principal tienden a tener hidrógrafas más picudas y más cortas que cuencas con pendientes menores (Villegas, 2013).

✓ **Caracterización de la red de canales**

Jerarquización de la red fluvial: La jerarquización permite tener un mejor conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca. El orden se relaciona con el caudal relativo del segmento de un canal. Hay varios sistemas de jerarquización (Villegas, 2013).

Densidad de drenaje: Se calcula dividiendo la longitud total de las corrientes de la cuenca entre el área total.

Hay que destacar que se han encontrado valores mínimos de Dd del orden de 7, valores promedios en el rango de 20 a 40 y valores máximos del orden de 400.

Valores bajos de Dd, por lo común, están asociados con regiones de alta resistencia a la erosión, muy permeables, y de bajo relieve. Valores altos son encontrados en regiones de suelos impermeables, con poca vegetación, de relieve montañoso. Los patrones de drenaje también son fuente importante de información sobre la cuenca (Villegas, 2013).

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Según FONEP (2008), los sistemas de información geográficos (SIG) son considerados sistemas de información (SI) que contemplan sus propios métodos, técnicas y herramientas, considerándolos herramientas tecnológicas muy útiles para el análisis y manipulación de los datos espaciales o georeferenciados. Asimismo, los SIG al ser implementados en una organización generan un impacto potencial que condiciona las actividades humanas, al cambiar los procedimientos tradicionales de procesar información geográfica, a nuevos procedimientos automatizados que persiguen optimizar el flujo organizacional mediante la eficacia en la toma de decisiones y el análisis espacial.

Los SIG constituyen una herramienta innovadora para manipular la información espacial georeferenciada en las organizaciones. La captura de los datos de interés se realiza a través de la teledetección. Su uso y aplicación se ha incrementado intensivamente a partir de la década de los noventa, por lo que el uso de una metodología para su implantación se ha

tornado indispensable para llevar a cabo su desarrollo exitoso, y obtener un SIG eficaz y sinérgico (FONEP, 2008).

✓ **Proyección cartográfica**

La proyección cartográfica o proyección geográfica es un sistema de representación gráfico que establece una relación ordenada entre los puntos de la superficie curva de la tierra y los de una superficie plana (mapa). Estos puntos se localizan auxiliándose en una red de meridianos y paralelos, en forma de malla. La única forma de evitar las distorsiones de esta proyección sería usando un mapa esférico, pero, en la mayoría de los casos, sería demasiado grande para que resultase útil (Cisneros, 2011).

Según Cisneros (2011), las proyecciones cartográficas se clasifican en función de su principal propiedad; el tipo de superficie sobre la que se realiza la proyección: cenital (un plano), cilíndrica (un cilindro) o cónica (un cono); así como la disposición relativa entre la superficie terrestre y la superficie de proyección (plano, cilindro o cono) pudiendo ser tangente, secante u oblicua. Según la propiedad que posea una proyección puede distinguirse entre (excluyentes entre sí):

- Proyecciones equidistantes, si conserva las distancias.
- Proyecciones equivalentes, si conservan las superficies.
- Proyecciones conformes, si conservan las formas (o, lo que es lo mismo, los ángulos).

✓ **Sistemas de coordenadas geográficas**

Un sistema de coordenadas es un conjunto de valores que permiten definir inequívocamente la posición de cualquier punto de un espacio geométrico respecto de un punto denominado origen (Cisneros, 2011).

Tipos:

- Sistema de coordenadas cartesianas: Ejes cartesianos
- Sistema de coordenadas polares: un ángulo y una distancia
- Sistema de coordenadas cilíndricas: un ángulo, distancia y altura
- Coordenadas geográficas: latitud y longitud

Venezuela se encuentra entre los sectores UTM 18 al 21.

✓ **GPS (Sistema de Posicionamiento Global)**

El Sistema NAVSTAR (Navigation System by Timing And Ranking, Sistema de navegación por radio y tiempos) es un Sistema de Posicionamiento Global "GPS" que fue diseñado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. El objetivo básico era sustituir al sistema Transit, como sistema de ayuda a la navegación y posicionamiento global (Cisneros, 2011).

SOFTWARE ESTADÍSTICO "R"

Venables y Smith (2009), sostienen que el software estadístico "R" se emplea para el manejo del análisis de los datos, visualización de reportes

gráficos y realización de análisis de varianza. Es un conjunto integrado de servicios de software para la manipulación de datos, cálculo y gráfico. Este programa tiene la capacidad de manipular y modificar datos y funciones, así como realizar gráficos de alta calidad.

Uriarte (2003) menciona que el programa R tiene características destacables como:

- ✓ Almacenamiento y manipulación efectiva de datos. Una amplia, coherente e integrada colección de herramientas para análisis de datos.
- ✓ Posibilidades gráficas para análisis de datos, que funcionan directamente sobre pantalla o impresora, y un lenguaje de programación bien desarrollado, simple y efectivo, que incluye, ciclos, funciones recursivas y posibilidad de entradas y salidas (debe destacarse que muchas de las funciones suministradas con el sistema están escritas en el lenguaje R). (Uriarte, 2003).

FORMATO RASTER Y VECTORIAL

Rapallo (2003) sostiene que debido a la gran cantidad de información que se maneja en cada píxel, los modelos raster necesitan potentes computadoras y de una gran capacidad de memoria virtual y de disco duro.

Sin embargo, las ventajas se presentan, primeramente, en que el espacio es definido de una manera uniforme y muy visual. Como resultado, los sistemas raster tienen mayor poder analítico que el vectorial en el análisis del espacio continuo, y por lo tanto, es idóneo para el estudio de fenómenos

cambiantes en el espacio como las variables de los suelos, elevación del terreno, los índices de vegetación, precipitaciones etc.

La segunda gran ventaja del modelo raster es que su estructura se ajusta de parecida manera a la de las computadoras. Como resultado, los sistemas raster son más rápidos en la evaluación de problemas que impliquen diversas combinaciones matemáticas. Es un excelente medio para explicar modelos medioambientales, como la erosión del suelo, manejo y sostenibilidad del medio forestal. Además, desde que las imágenes satélites emplean estructura raster, hace que sea más fácil incorporarlas a los SIG. (Rapallo, 2003).

Según Rapallo (2003), mientras que los sistemas raster están predominantemente orientados al análisis espacial, los vectoriales son eficientes en el almacenamiento de mapas, ya que sólo distinguen entre límites de características, y no lo que existe en el interior de las mismas. Para muchos, el fácil manejo de su base de datos y las óptimas posibilidades a la hora de crear mapas, hacen que los SIG que utilizan un modelo vectorial resulten atractivos.

Como conclusión debe decirse, que ambos modelos, raster y vectorial, tienen sus propios potencialidades y carencias, por lo que, los modernos SIG incorporan elementos de ambas técnicas de representación, además de extensiones que permiten la conversión de un modelo a otro (Rapallo, 2003).

Modelo raster

Rapallo (2003) plantea que las ventajas y desventajas del modelo raster son:

Ventajas:

- ✓ Estructura sencilla de datos
- ✓ La operación de superposición (overlay) se realiza de forma fácil.
- ✓ Representa mejor la elevada variabilidad espacial.
- ✓ Es necesario para el manejo y modificación de imágenes digitales y satélites.

Desventajas:

- ✓ Ocupan más memoria.
- ✓ Relaciones topológicas son más difíciles de representar
- ✓ El mapa resulta menos “estético”, los límites resultan más groseros. Esta desventaja puede superarse reduciendo el tamaño del pixel, pero incrementa en gran medida el volumen del archivo.

Modelo vectorial

Según Rapallo (2003), las ventajas y desventajas del modelo vectorial son:

Ventajas:

- ✓ Proporciona una estructura de datos compacta, ocupa menos memoria.
- ✓ Codifica de manera más eficaz las relaciones topológicas entre elementos. Mejor para análisis de redes (network).
- ✓ Está diseñado para trabajar con gráficos, coberturas de Autocad.

Desventajas:

- ✓ Tiene una estructura de datos más compleja que el raster.
- ✓ Operaciones de superposición son más difíciles de obtener.
- ✓ La representación de mapas con elevada variabilidad es ineficiente.
- ✓ Manejo y mejora de imágenes digitales y satélites no pueden realizarse de una manera eficaz en el modelo vectorial.

MARCO LEGAL

✓ **Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (2000)**

La Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, en los artículos 305 y 306 del Capítulo I Del Régimen Socioeconómico y de la función del Estado en la Economía, establece que la agricultura sustentable es la base estratégica del desarrollo rural integral a fin de garantizar la soberanía alimentaria, fomentando de esta manera la actividad agrícola y el uso óptimo de las tierras para un mejor desarrollo en la sociedad venezolana.

La importancia en estos artículos se debe a que el procesamiento y generación de información por parte del Estado es el paso previo para el diseño e implementación de estrategias de manejo a los objetos del desarrollo sustentable. Dicho proceso es respaldado por la suma de conocimientos técnicos y metodológicos generados no solo a nivel gubernamental sino tecnológico, universitario y personal, los cuales permiten el alcance e implementación de mejores políticas para el desarrollo integral de la nación.

✓ **Ley Orgánica del Ambiente (2006)**

El principal objetivo de esta ley es establecer las disposiciones y los principios rectores para la gestión del ambiente, en el marco del desarrollo sustentable y legal como derecho y deber fundamental del Estado y de la sociedad, para contribuir a la seguridad y al máximo logro del bienestar de la sociedad y al sostenimiento del planeta, en interés de la humanidad.

En su artículo 9 define la planificación y ordenación territorial como una herramienta de la gestión del ambiente, actividades en las cuales es indispensable la sistematización y generación de información que permita la generación de nuevas políticas ambientales para un aprovechamiento racional de los recursos naturales.

Cabe destacar que en el artículo 49, se hace mención de las cuencas hidrográficas como unidades especiales que estarán sujetas a la formulación e implementación de los respectivos planes de manejo.

En el Artículo 52 precisa que todo aprovechamiento y uso de estas unidades deberá promoverse en función del conocimiento disponible y del manejo de información sobre los recursos naturales que se tengan de la misma; ambos artículos resaltan la importancia de generar información sobre estas unidades hidrográficas para la formulación de estrategias de manejo.

✓ **Ley de Aguas**

En el Artículo 2 define a las cuencas hidrográficas como una “unidad territorial delimitada por las líneas divisorias de aguas superficiales que convergen hacia un mismo cauce, y forman espacios en el cual se

desarrollan complejas interacciones e interdependencias entre los componentes bióticos y abióticos, sociales, económicos y culturales, a través del flujo de insumos, información y productos”.

Este concepto muestra la importancia de las interacciones entre los distintos componentes del ambiente que se encuentran en el límite de una cuenca, razón por la cual es necesario utilizarlas como unidades de manejo para los recursos naturales.

Es importante resaltar que en el artículo 18 se habla sobre el manejo de las aguas que comprenderá la conservación de las cuencas hidrográficas, mediante la implementación de programas, proyectos y acciones dirigidos al aprovechamiento armónico y sustentable de los recursos naturales, actividades en las cuales es necesario poseer la identificación, extensión espacial y características físicas de las cuencas hidrográficas.

MARCO METODOLOGICO

RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN PRELIMINAR

La simulación matemática del régimen de precipitación pluvial de la cuenca hidrográfica del río Guarapiche, se realizó mediante la toma de datos climáticos (precipitación) en un lapso de diez años (1996-2005).

Como primer paso se creó la base de datos, de la cual se extrajo la información requerida con las que se realizaron los análisis correspondientes a la variable que intervino en el proceso de diseñar un modelo de simulación aplicable al régimen de precipitación pluvial de la cuenca hidrográfica del río Guarapiche.

La variable climática que se estudió está compuesta por datos de precipitación registrada por las diferentes estaciones climáticas del estado Monagas y las coordenadas de la misma la cual se obtuvieron mediante el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) por el portal web <http://www.inameh.gob.ve/>



Figura 4. Imagen página web del INAME

Fuente: <http://www.inameh.gob.ve/>

Información recolectada en formato de hoja de cálculo Excel (xlsx), la cual contiene (coordenadas geográficas y valores de precipitación).

Serial	Nombre	Estado	Cuenca	Latitud	Longitud	Fecha	valor	unidad de Medida
2	MO01810CP1	LA MARGARITA	MONAGAS	San Juan	10.19167	-63.361111	1997-4	22.7 mm
3	MO01810CP1	LA MARGARITA	MONAGAS	San Juan	10.19167	-63.361111	1997-5	92.9 mm
4	MO01810CP1	LA MARGARITA	MONAGAS	San Juan	10.19167	-63.361111	1997-7	281.3 mm
5	MO01810CP1	LA MARGARITA	MONAGAS	San Juan	10.19167	-63.361111	1997-8	200.2 mm
6	MO01810CP1	LA MARGARITA	MONAGAS	San Juan	10.19167	-63.361111	1997-9	247 mm
7	MO01810CP1	LA MARGARITA	MONAGAS	San Juan	10.19167	-63.361111	1997-10	171 mm
8	MO01810CP1	LA MARGARITA	MONAGAS	San Juan	10.19167	-63.361111	1997-11	256.6 mm
9	MO01810CP1	LA MARGARITA	MONAGAS	San Juan	10.19167	-63.361111	1997-12	116.1 mm
10	MO01859CP1	LAS CINCO CRUCES	MONAGAS	San Juan	10.27361	-63.436111	1997-7	222.3 mm
11	MO01859CP1	LAS CINCO CRUCES	MONAGAS	San Juan	10.27361	-63.436111	1997-8	134.1 mm
12	MO01859CP1	LAS CINCO CRUCES	MONAGAS	San Juan	10.27361	-63.436111	1997-9	108.1 mm
13	MO01859CP1	LAS CINCO CRUCES	MONAGAS	San Juan	10.27361	-63.436111	1997-10	139.6 mm
14	MO01859CP1	LAS CINCO CRUCES	MONAGAS	San Juan	10.27361	-63.436111	1997-11	166.2 mm
15	MO01859CP1	LAS CINCO CRUCES	MONAGAS	San Juan	10.27361	-63.436111	1997-12	65.1 mm
16	MO01883CP1	TIERRA BLANCA	MONAGAS	San Juan	10.23611	-63.552778	1997-4	19 mm
17	MO01883CP1	TIERRA BLANCA	MONAGAS	San Juan	10.23611	-63.552778	1997-5	26.4 mm
18	MO01883CP1	TIERRA BLANCA	MONAGAS	San Juan	10.23611	-63.552778	1997-7	163.3 mm
19	MO01883CP1	TIERRA BLANCA	MONAGAS	San Juan	10.23611	-63.552778	1997-8	125.8 mm
20	MO01883CP1	TIERRA BLANCA	MONAGAS	San Juan	10.23611	-63.552778	1997-9	207.6 mm
21	MO01883CP1	TIERRA BLANCA	MONAGAS	San Juan	10.23611	-63.552778	1997-10	132.4 mm
22	MO01883CP1	TIERRA BLANCA	MONAGAS	San Juan	10.23611	-63.552778	1997-11	124.4 mm
23	MO01883CP1	TIERRA BLANCA	MONAGAS	San Juan	10.23611	-63.552778	1997-12	38 mm
24	MO01886CP1	CARIPE	MONAGAS	San Juan	10.1625	-63.516667	1997-4	25.5 mm
25	MO01886CP1	CARIPE	MONAGAS	San Juan	10.1625	-63.516667	1997-5	55.7 mm

Figura 5. Datos originales de la variable obtenidos del portal web del INAMEH en formato hoja de cálculo de Excel

Se tuvo que transformar las coordenadas geográficas (longitud y latitud), de cada estación climática al nuevo formato UTM REGVEN establecido por la ley. Esta transformación se realizó mediante el programa Transforven.

Este programa tiene como función la transformación de coordenadas de formato cartesiano (longitud y Latitud) al formato UTM más reciente y de uso obligatorio.



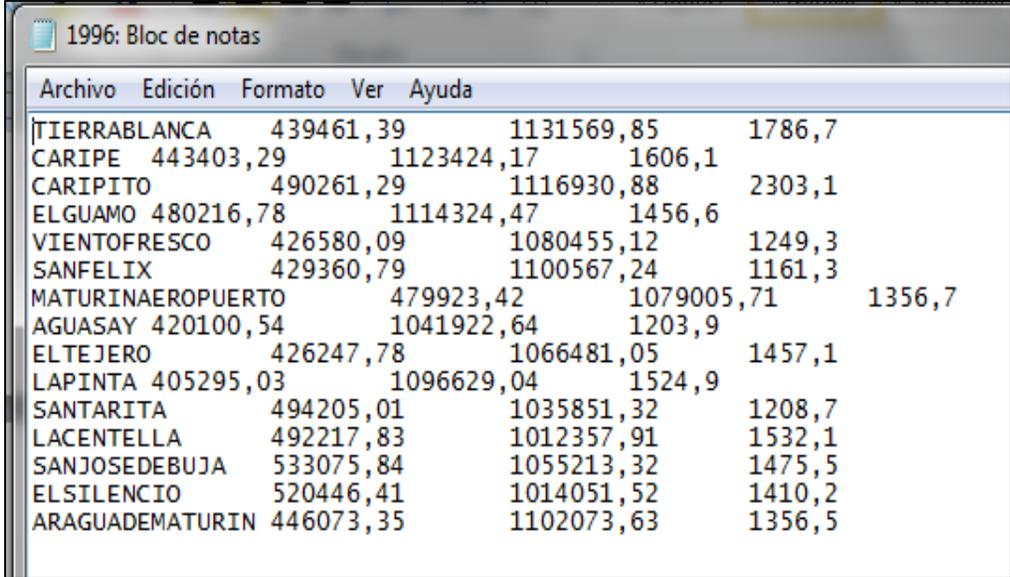
Figura 6. Ventana principal del programa Transforven

Obtenida, la transformación de las coordenadas de cada estación climáticas, se realizó posteriormente la creación de los nuevos archivos en formato hoja de cálculo de Excel la cual contiene nombre de las estaciones climáticas, coordenadas UTM (este - norte) y el valor de la precipitación anual. Resaltando que este procedimiento se realizó para diez años, (1996 - 2005) que tomamos como base para la investigación.

	A	B	C	D
1	TIERRABLANCA	439461,39	1131589,85	1786,7
2	CARIPE	443403,29	1123424,17	1606,1
3	CARIPITO	490261,29	1118930,88	2303,1
4	ELGUAMO	480216,78	1114324,47	1456,6
5	VIENTOFRESCO	426580,09	1080455,12	1249,3
6	SANFELIX	429360,79	1100567,24	1161,3
7	MATURINAEROPUERTO	479923,42	1079005,71	1356,7
8	AGUASAY	420100,54	1041922,64	1203,9
9	ELTEJERO	426247,78	1066481,05	1457,1
10	LAPINTA	405295,03	1096629,04	1524,9
11	SANTARITA	494205,01	1035851,32	1208,7
12	LAGENTELLA	492217,83	1012357,91	1532,1
13	SANJOSEDEBUJA	533075,84	1055213,32	1475,5
14	ELSILENCIO	520446,41	1014051,52	1410,2
15	ARAGUADEMATURIN	446073,35	1102073,63	1356,5

Figura 7. Archivos creados en formato hoja de cálculo de Excel

Para incorporar los datos de precipitación pluvial geo referenciados se construyeron diez archivos en formato (txt), a partir de los diez archivos creados anteriormente en formato Excel, que contiene en forma de cuadro, las coordenadas de cada estación asociadas a la precipitación anual registrada en cada una de ellas.



Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
TIERRABLANCA	439461,39	1131569,85	1786,7	
CARIPE	443403,29	1123424,17	1606,1	
CARIPITO	490261,29	1116930,88	2303,1	
ELGUAMO	480216,78	1114324,47	1456,6	
VIENTOFRESCO	426580,09	1080455,12	1249,3	
SANFELIX	429360,79	1100567,24	1161,3	
MATURINAEROPUERTO	479923,42	1079005,71	1356,7	
AGUASAY	420100,54	1041922,64	1203,9	
ELTEJERO	426247,78	1066481,05	1457,1	
LAPINTA	405295,03	1096629,04	1524,9	
SANTARITA	494205,01	1035851,32	1208,7	
LACENTELLA	492217,83	1012357,91	1532,1	
SANJOSEDEBUJA	533075,84	1055213,32	1475,5	
ELSILENCIO	520446,41	1014051,52	1410,2	
ARAGUADEMATURIN	446073,35	1102073,63	1356,5	

Figura 8. Archivos creados en formato (txt)

MANEJO CARTOGRÁFICO Y ESTUDIO DE DATOS

El manejo cartográfico se inició delimitando el área de estudio, utilizando el modelo digital de elevación (SRTM, Modelo Topográfico de Radar Aerotransportado), al cual se obtuvo acceso desde el portal web del Servicio Global de Cobertura de Tierra (GLCF por sus siglas en inglés), desde la dirección <http://glcfapp.glc.f.umd.edu:8080/esdi/>

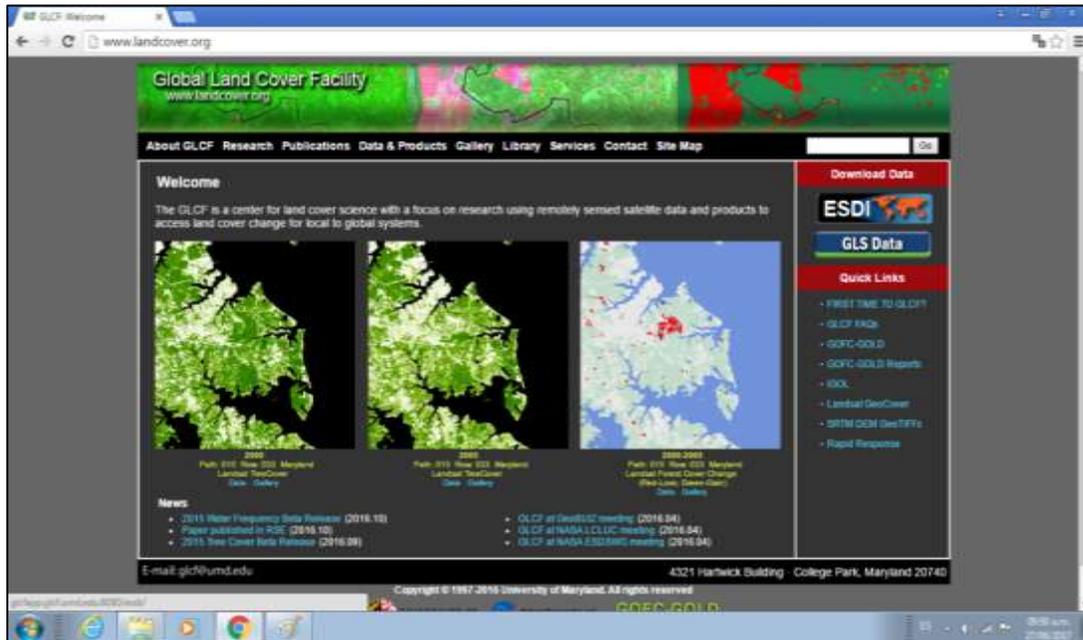


Figura 9. Portal web de la GLC
Fuente: www.landcover.org

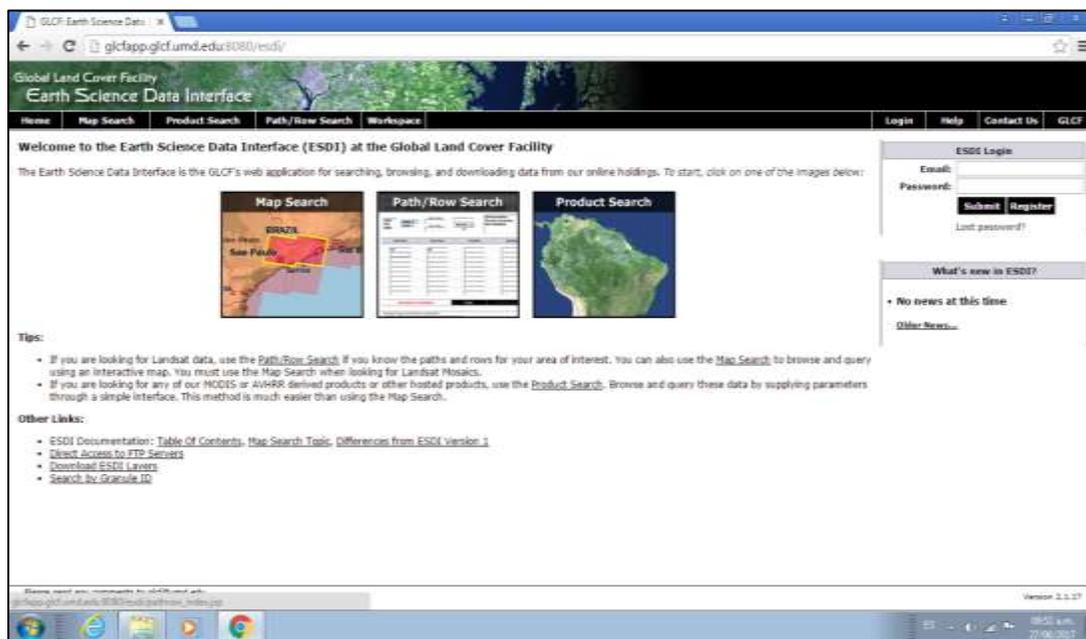


Figura 10. Dentro de la ventana del enlace ESDI (Earth Science Data Interface) del portal web de la GLCF
Fuente: <http://glcfapp.glc.umd.edu:8080/esdi/>

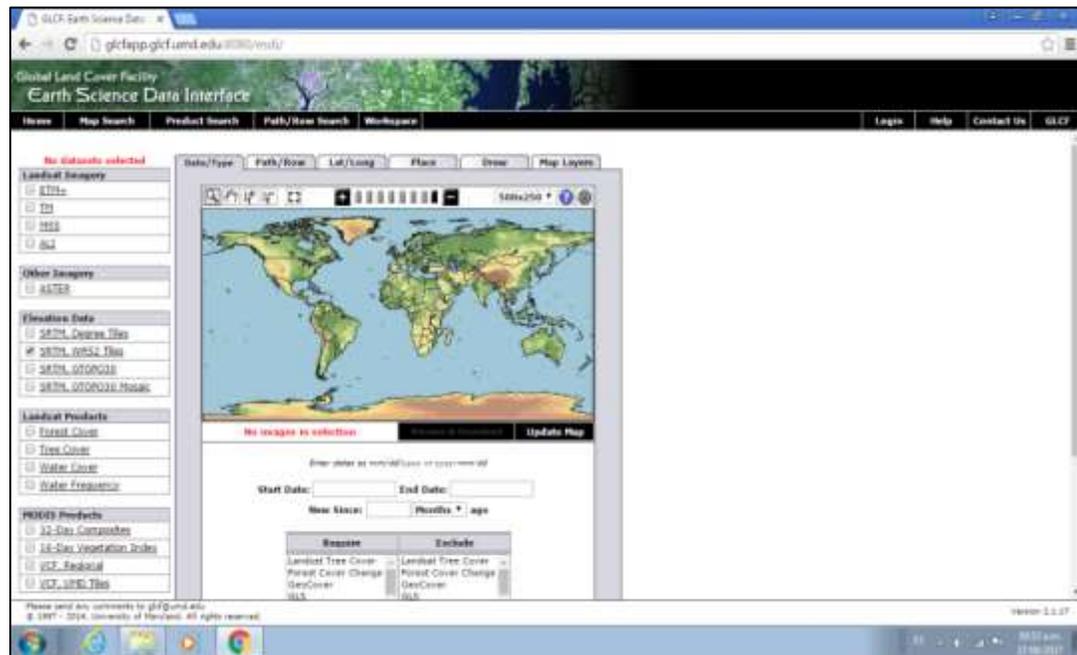


Figura 11. En la aplicación “Map Search” dentro de ESDI

Fuente: <http://gicfapp.gicf.umd.edu:8080/esdi/>

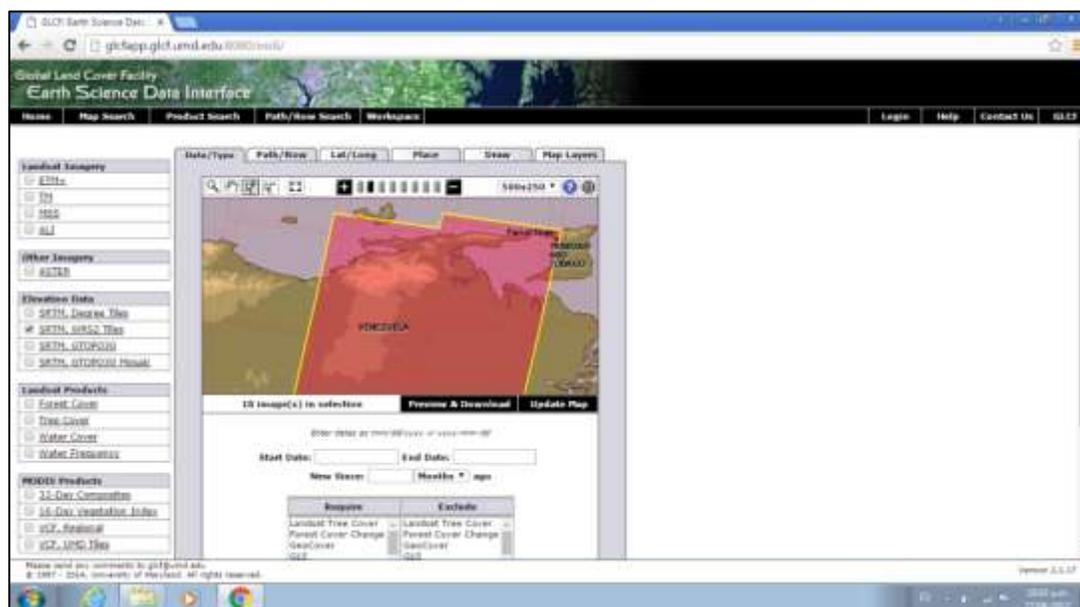


Figura 12. Selección de las imágenes de elevación; SRTM, WRS2 Tiles.

De la zona bajo estudio

Fuente: <http://gicfapp.gicf.umd.edu:8080/esdi/>

The screenshot shows the GLCF Earth Science Data interface. At the top, there's a navigation bar with 'Home', 'Map Search', 'Product Search', 'Path/Raw Search', and 'Workspaces'. Below this, there's a search bar and a map showing a region of interest. The main content area displays a list of files with columns for file ID, status, date, size, and download options. A 'Download' button is visible for the selected file.

File ID	Status	Date	Size	Download
140-020	Offline	2:002:053	2000	Download
140-027	Offline	2:002:054	2000	Download
143-233	Offline	2:001:052	2000	Download
143-238	Offline	2:001:054	2000	Download
143-292	Offline	2:002:050	2000	Download
143-296	Offline	2:002:054	2000	Download
173-285	Offline	2:001:055	2000	Download
173-286	Offline	2:001:054	2000	Download
173-410	Offline	2:002:053	2000	Download
173-419	Offline	2:001:054	2000	Download
182-540	Offline	2:001:050	2000	Download
182-550	Offline	2:001:054	2000	Download
182-692	Offline	2:002:053	2000	Download
182-693	Offline	2:002:054	2000	Download

Figura 13. De la aplicación “Map Search” al presionar en “Preview & Download”.

Fuente: <http://glcfapp.glc.umd.edu:8080/esdi/>

The screenshot shows the GLCF Earth Science Data interface displaying a directory listing for SRTM files. The path is ftp://ftp.glc.umd.edu/glc/SRTM_WRS2_Tiles/p001/SRTM_0B01_p001r053/. The listing includes file names, download sizes, actual sizes, and last modified dates.

File Name	Download Size	Actual Size	Last Modified
SRTM_0B01_p001r053 browse.jpg	217110 bytes		Mon Apr 07 01:21:16 EDT 2008
SRTM_0B01_p001r053 preview.jpg	4157 bytes		Mon Apr 07 01:21:16 EDT 2008
SRTM_0B01_p001r053.tif.gz	3244819 bytes	13321698 bytes	Mon Apr 07 01:21:19 EDT 2008

Figura 14. Página en la cual se ve la dirección de descarga en letras azules

Fuente: <http://glcfapp.glc.umd.edu:8080/esdi/ftp?id=173365>

Empleando las facilidades de generación de cuencas hidrográficas activas en el software con capacidad para desarrollo de sistemas de información geográfica, GRASS-GIS (Geographic Resources Analysis Support System por sus siglas en inglés). Este software es del tipo libre y se descargó del portal web <https://grass.osgeo.org/>

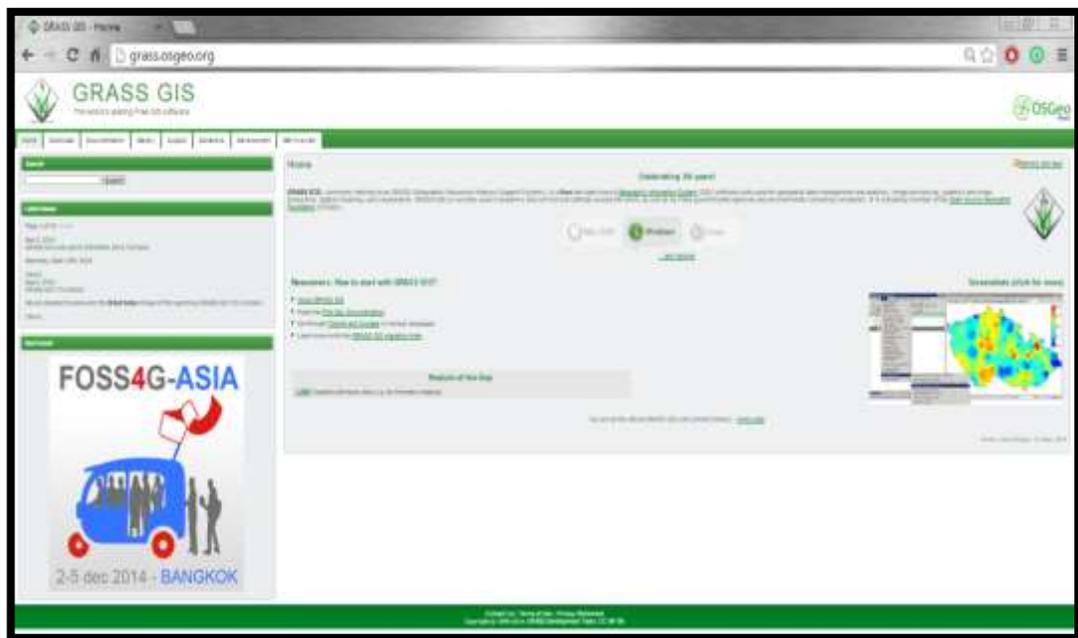


Figura 15. Portal web de la grass.osgeo.org.
Fuente: <http://grass.osgeo.org/>

Iniciando grass SIG

Se buscó el icono del programa GRASS SIG, para abrir el menú de inicio del programa el cual pide que se llenen parámetros como cuál es la base de datos GIS, y los SRTM; para eso se le dio clic en el botón “explorar” para así buscar la carpeta que los contiene, en este caso llamada “SRTM”. Terminado todo este proceso previo se le da al botón iniciar GRASS SIG.

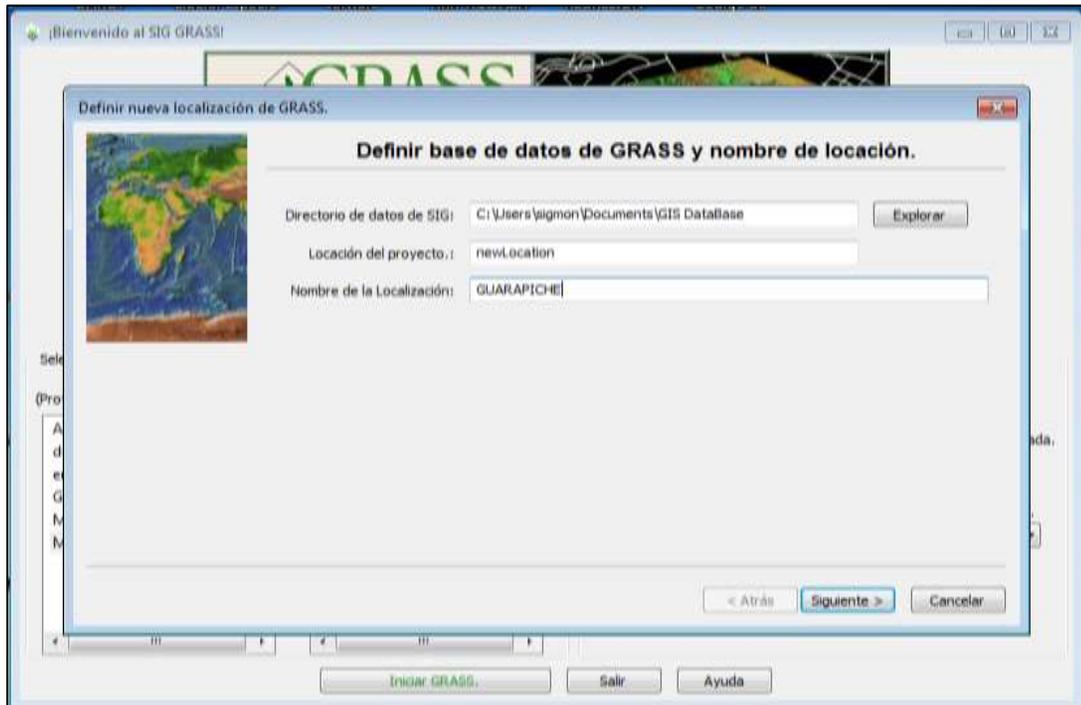


Figura 16. Ventana para definir la localización



Figura 17. Ventana siguiente, definir el método para crear una nueva localización

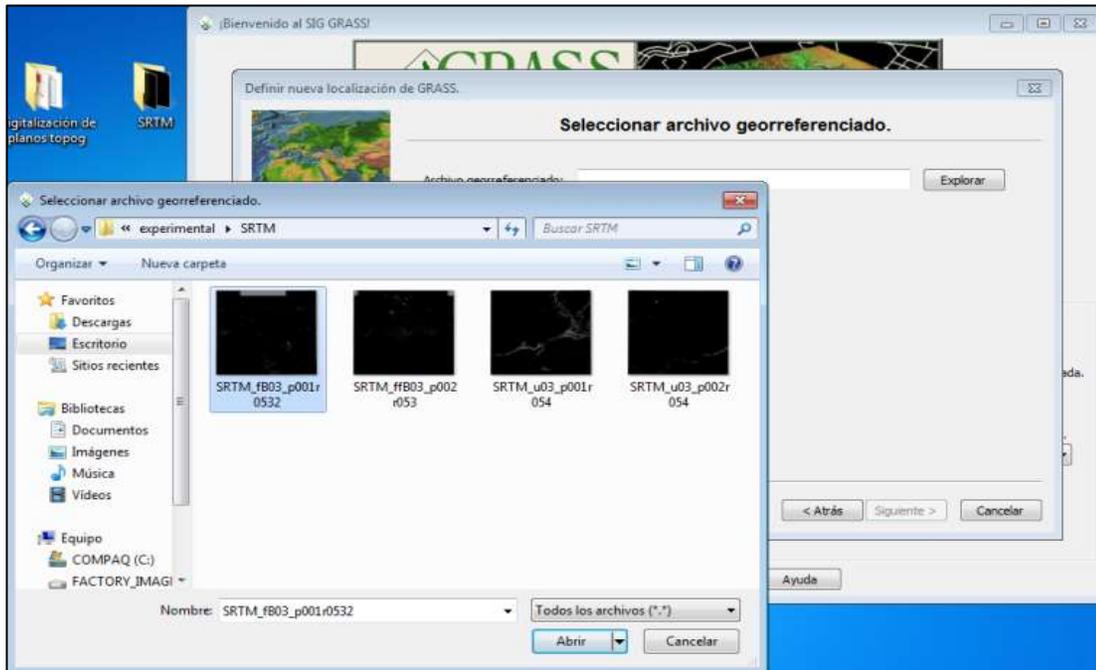


Figura 18. Ventana para la seleccionar archivo georeferenciado



Figura 19. Ventana de inicio de programa GRASS 6.4.2

Región de estudio (Cuenca del Rio Guarapiche)

De esta manera el programa abre dos ventanas; la primera llamada “administrador de capas” (layer manager en inglés) y la segunda llamada “visualización de mapas”.

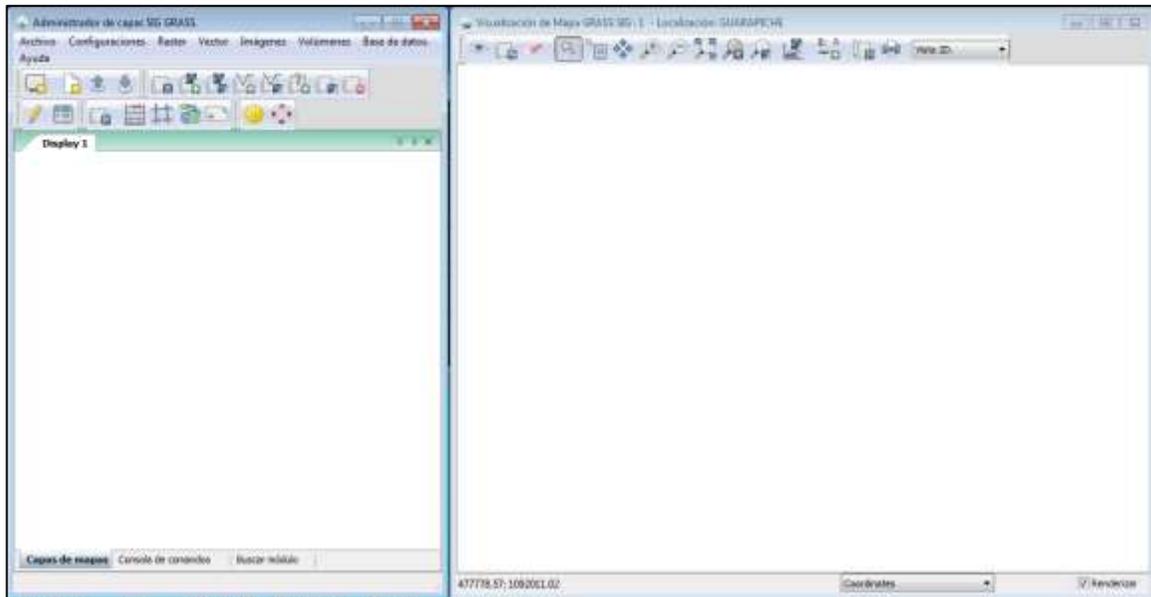


Figura 20. Ventanas administrador de capas, visualización de mapas

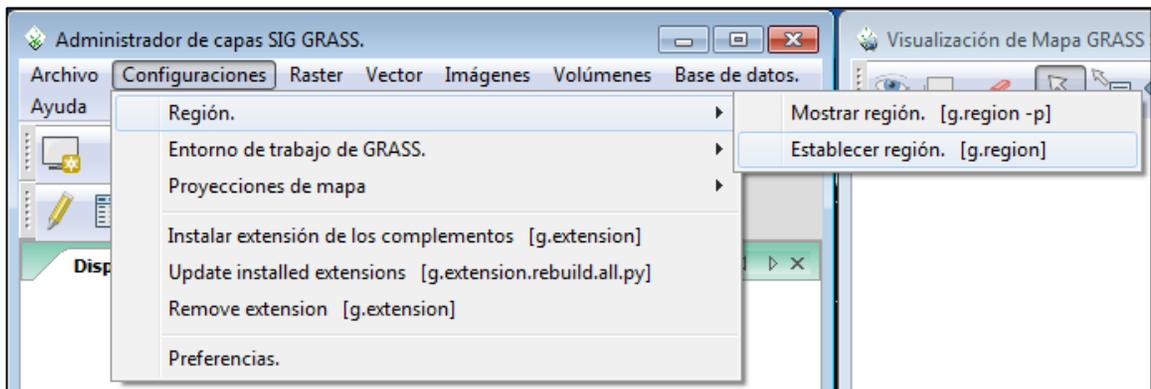


Figura 21. Ventanas administrador de capas, comando configuración y establecer región

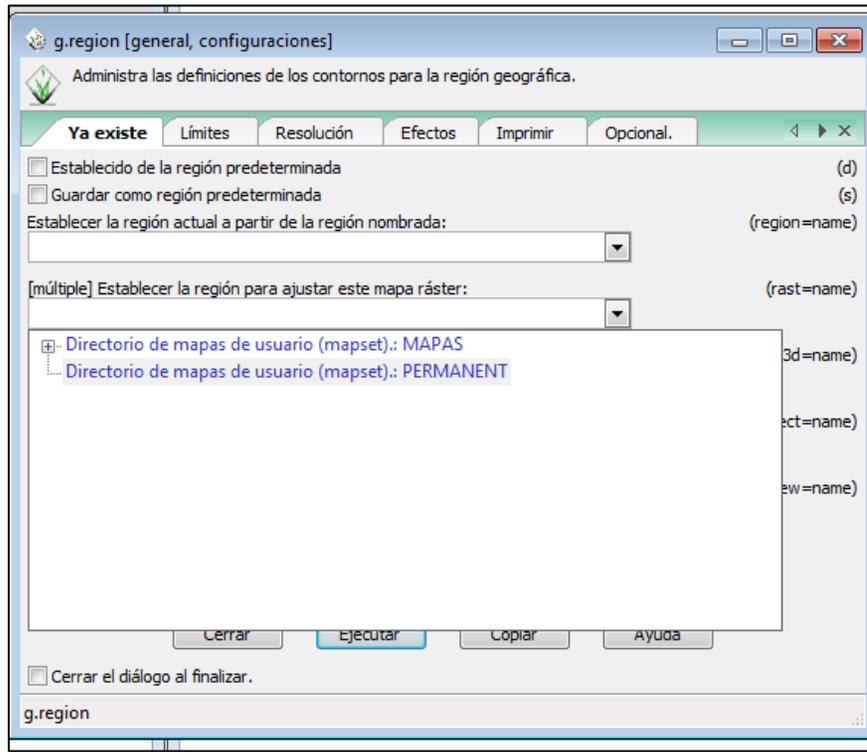


Figura 22. Ventana de configuración general

Luego, se busca en la base de datos, con el propósito de visualizar la información del SRTM que es correspondiente a los datos de altitud, uno se ubica en la ventana administrador de capas y seleccionamos la barra archivo y tomamos la opción (importar datos raster) y esto lleva a la siguiente elección (formatos de importación comunes) "r.in.gdal" lo cual abre la siguiente ventana (importar datos raster) lo que permite localizar los SRTM descargados previamente de la (GLCF por sus siglas en inglés), que en este caso son cuatro, seleccionamos uno por uno repitiendo este mismo procedimiento. Las Figuras 23 y 24 ilustran el procedimiento.

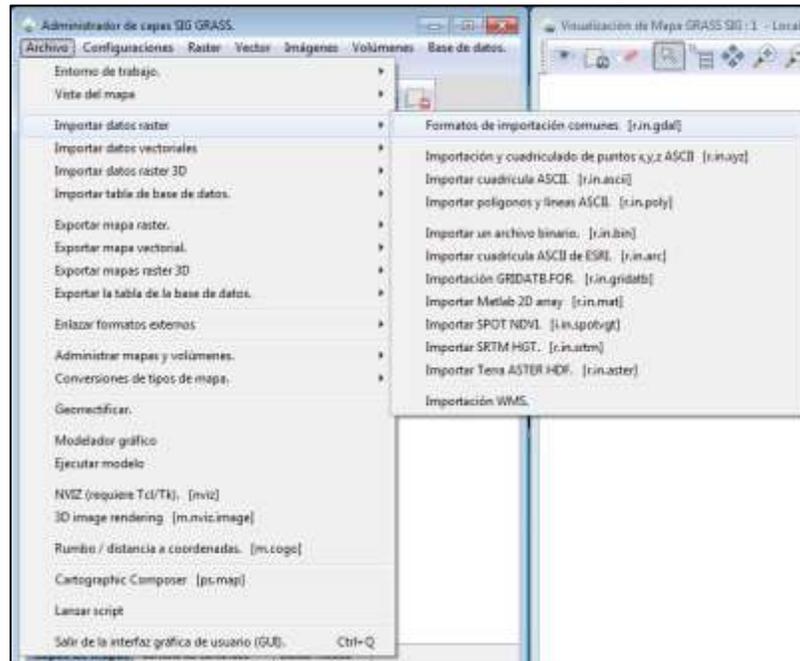


Figura 23. Ventanas administrador de capas, comando archivo, importar datos raster y Formatos de importación comunes “r.in.gdal”

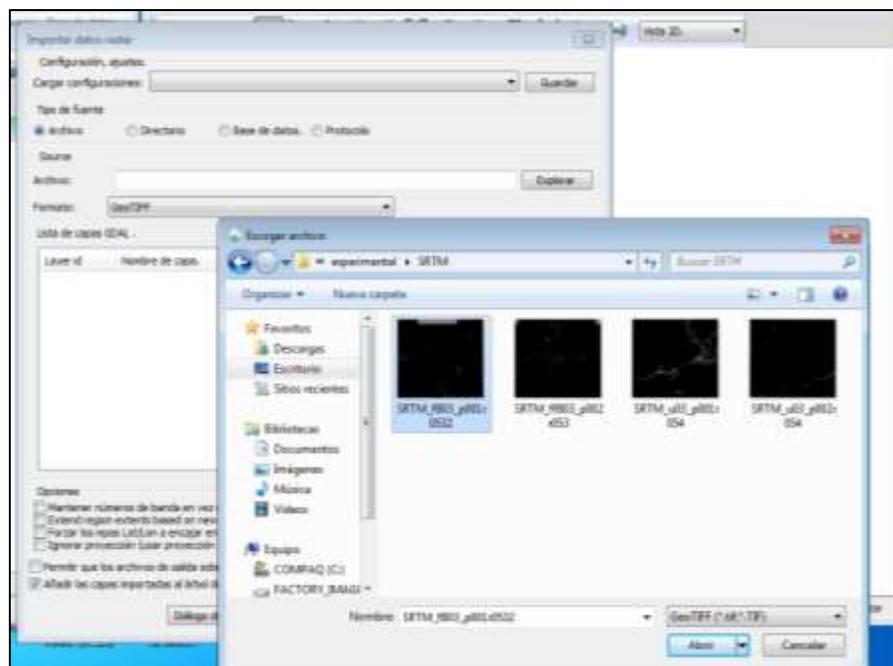


Figura 24. Ventana importar datos raster

En la ventana administrador de capas se buscó en la barra de herramientas el comando “add ráster map layer” (añadir trama a las capas de mapas) y al hacer clic en él abre una ventana llamada “d.rast” (mostrar ráster), a partir de este paso se logra ver en la ventana visualización de mapas los SRTM cargados anteriormente.

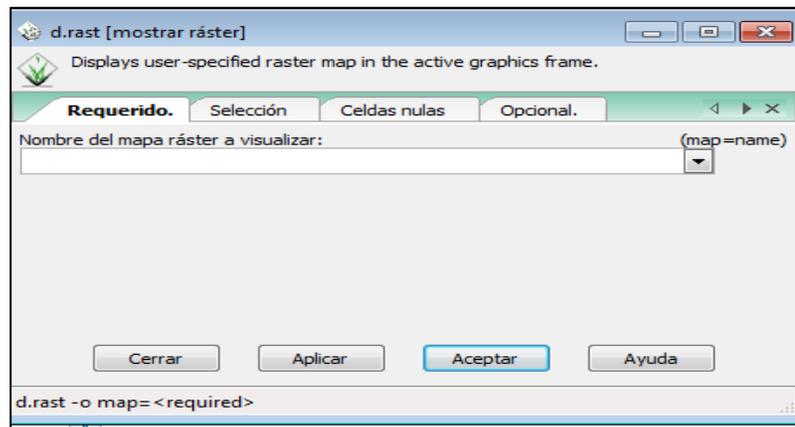


Figura 25. Ventana “d.rast” mostrar ráster

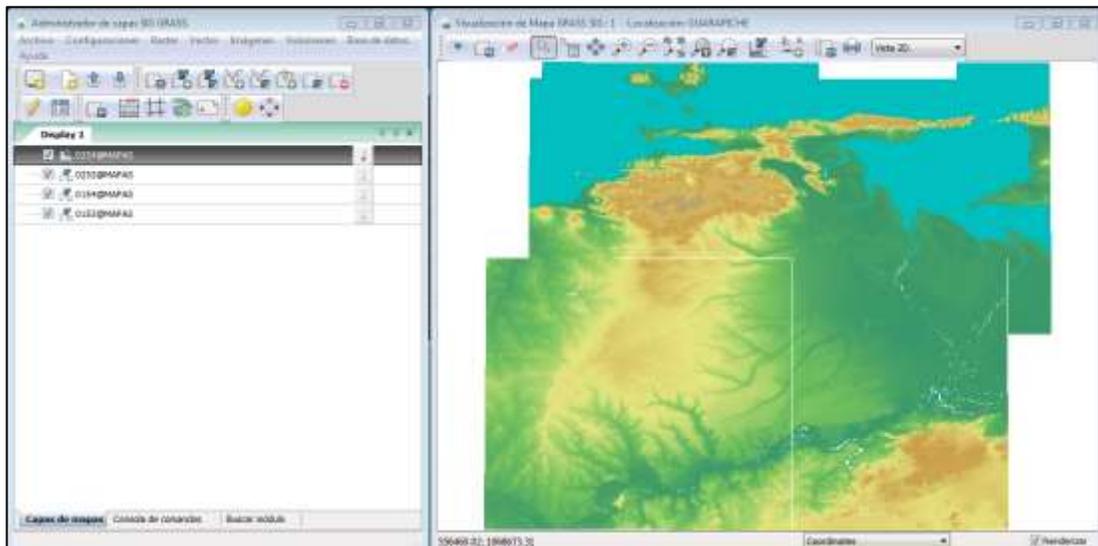


Figura 26. Ventanas administrador de capas “capas de mapas mostrando los cuatro ráster de los SRTM”, visualizador de mapas mostrando los SRTM

Hecho esto, se procede pedirle al GRASS que corrija los nuevo SRTM con el fin que elimine los errores que pueda tener, comenzando una vez más en la ventana de administrador de capas, herramienta ráster y en el buscamos en el módulo modelos hidrológicos y por ultimo mapas sin depresiones y líneas de flujo (previo llamado del SRTM en administrador de capas) y aceptamos. Concretado esto, el GRASS corrigió los errores que tenían los SRTM.

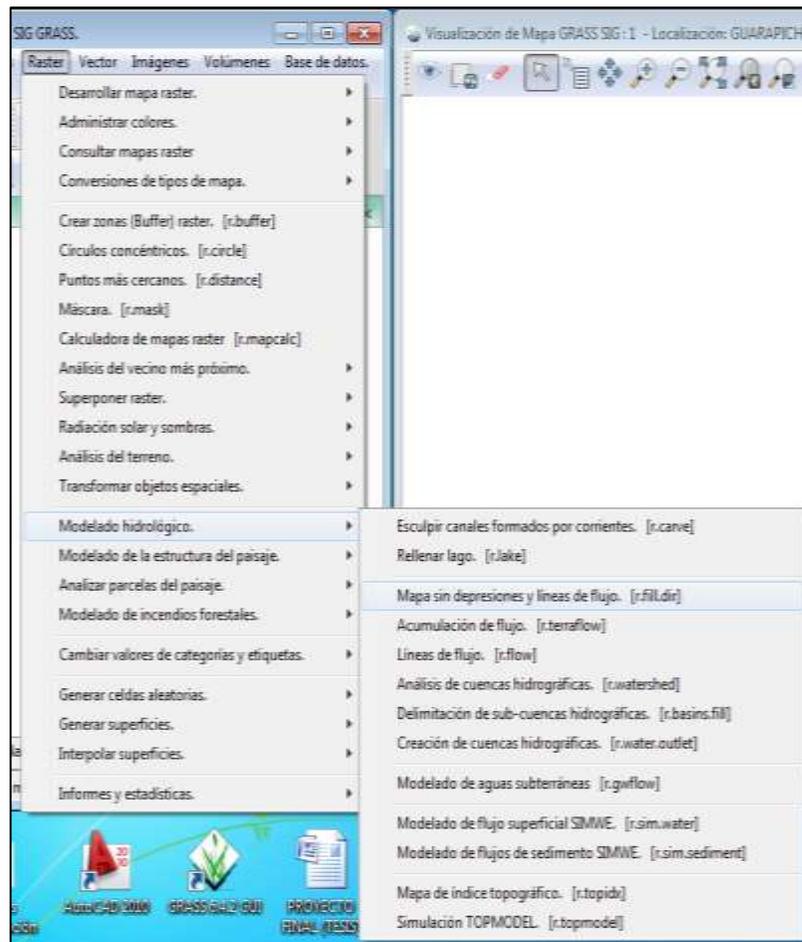


Figura 27. Ventanas modelos hidrológicos, mapa sin depresiones y líneas de flujo “r.fill.dir”

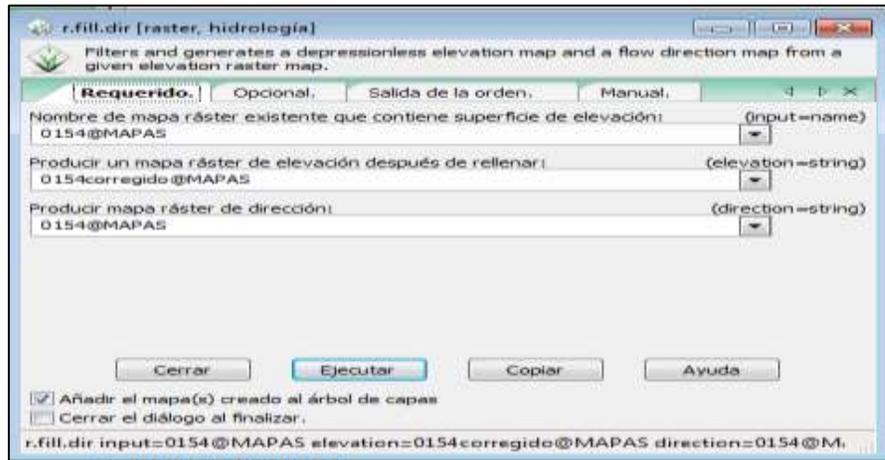


Figura 28. Ventana “r.fill.dir” raster, hidrología

Debido a que los SRTM son imágenes individuales, éstos deben superponerse para formar una nueva imagen única con todos sus valores intactos. Para esto se procedió de la manera siguiente; en herramientas ráster/ superponer raster/ series de raster “r.series”. Figura 29. Se abre la ventana “r.series” la que pide los nombres de los mapas ráster a superponer y que se le dé un nombre de salida al nuevo mapa ráster creado como se puede ver en la Figuras 30 y 31.

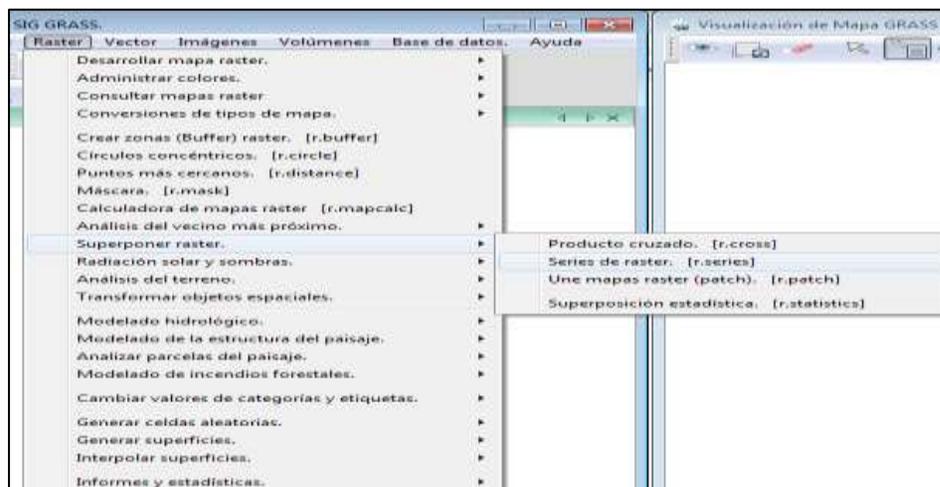


Figura 29. Ventanas ráster/ superponer raster/ series de raster “r.series”

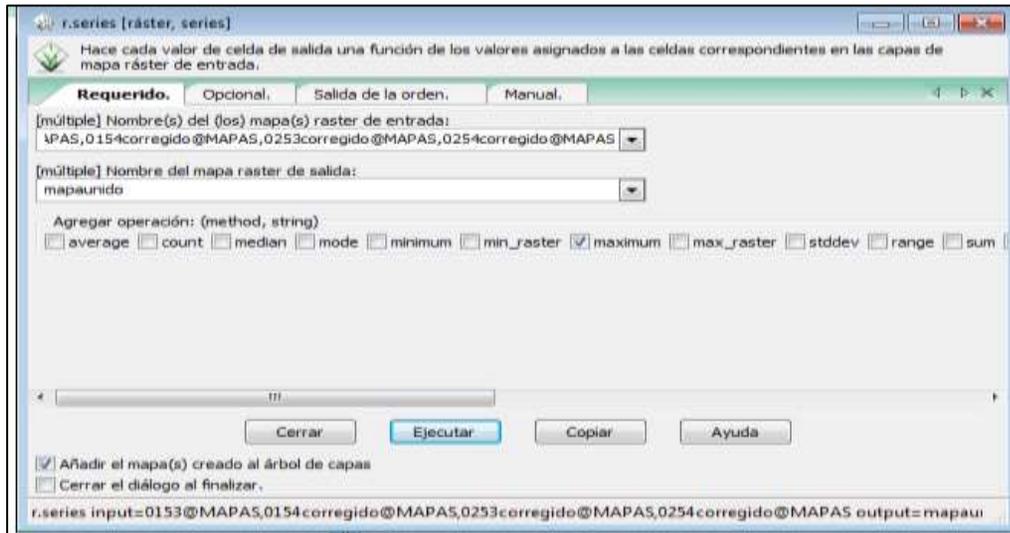


Figura 30. Ventana “r.series” raster, series/ Requerido

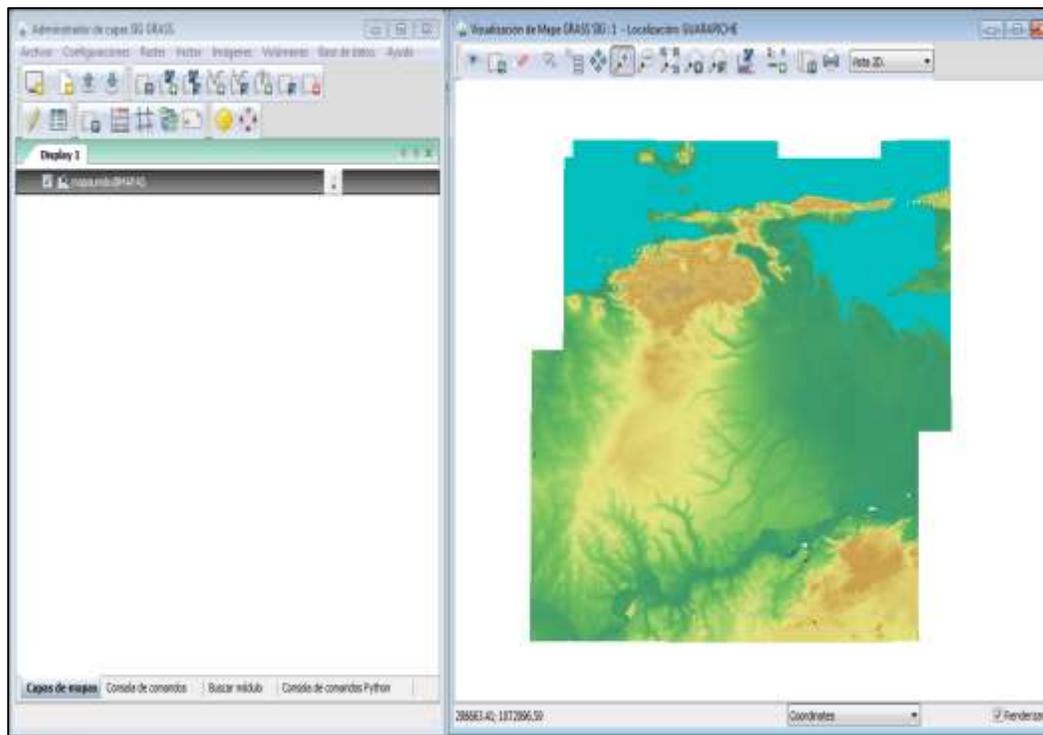


Figura 31. Ventanas administrador de capas “capas de mapas mostrando el mapa unido”, visualizador de mapas mostrando el mapa unido

Luego se pasa a definir el área de estudio de interés, lo cual se hizo a través de una serie de pasos; en herramientas ráster/ modelo hidrológico/ análisis de cuencas hidrográficas “r.watershed”, como se observa en la Figura 32.

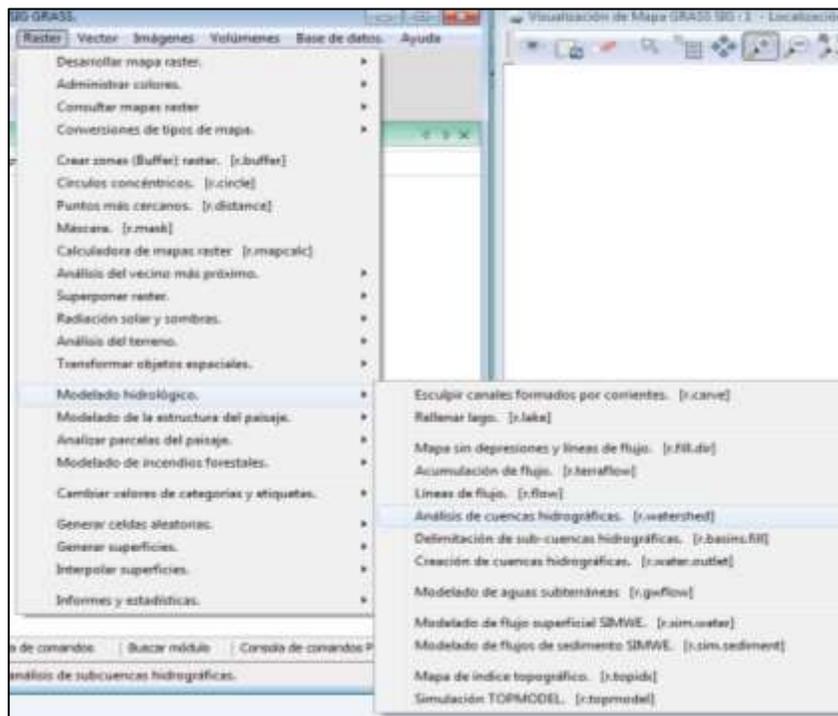


Figura 32. Ventanas ráster/ modelo hidrológico/ análisis de cuencas hidrográficas “r.watershed”

A partir de allí se despliega la ventana “r.watershed”. La cual pide mapa de entrada, valor de entrada y nombre de mapa de salida, el cual se llama “cuencas200000”, hecho todo esto nos permitió visualizar las diferentes cuencas del mapa unido creado anteriormente. Las Figuras 33 a la 36 ilustran este procedimiento.

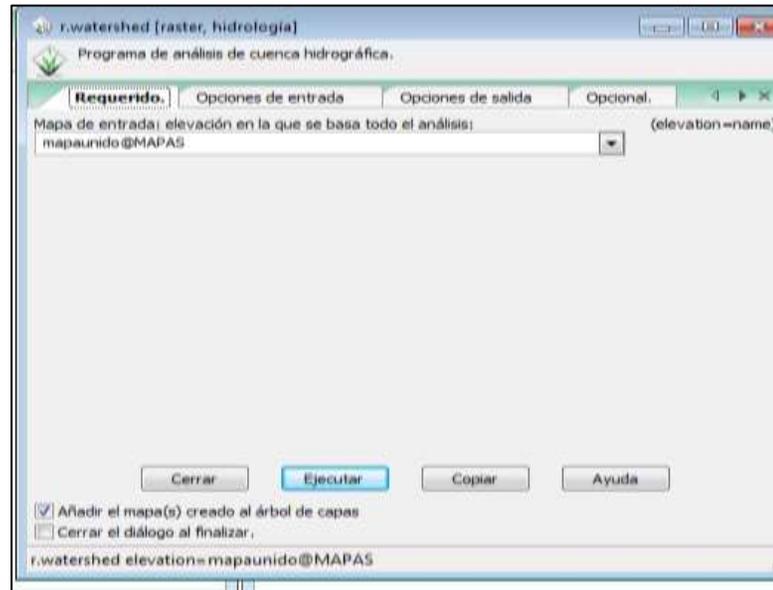


Figura 33. Ventana “r.watershed” mapa de entrada

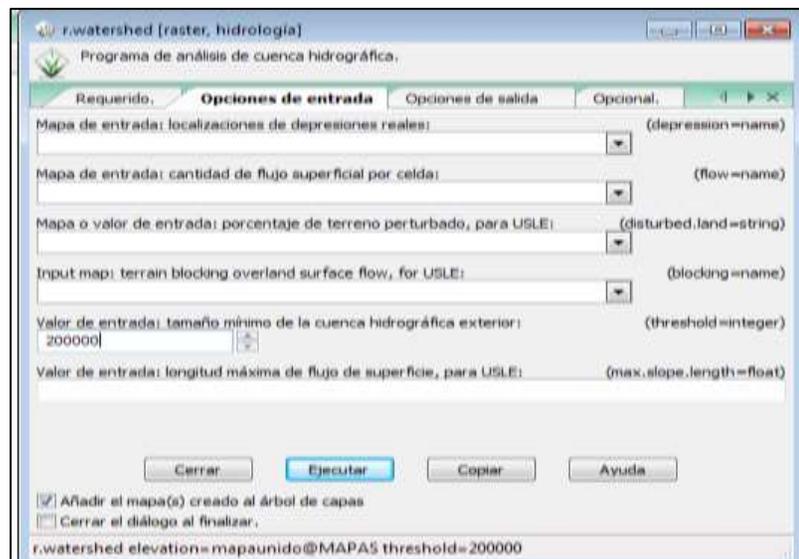


Figura 34. Ventana “r.watershed” valor de entrada

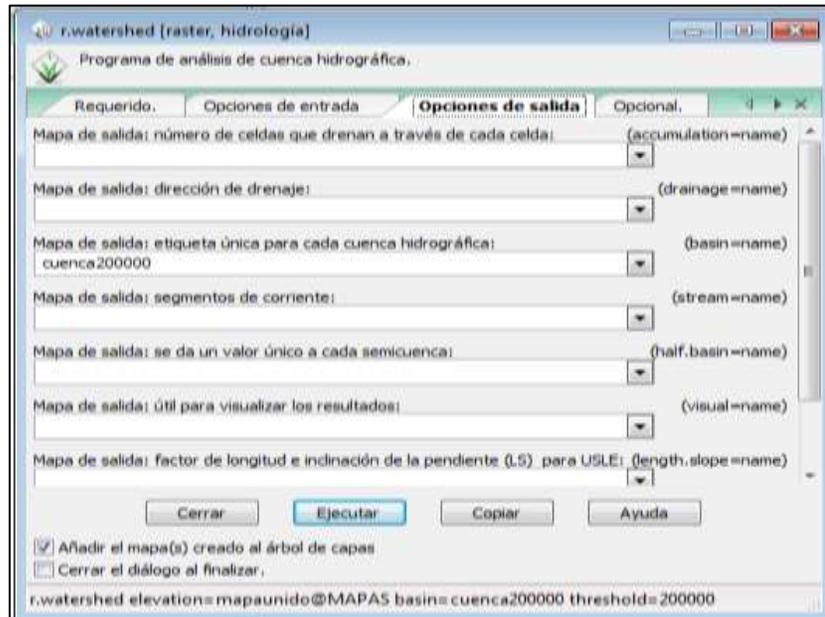


Figura 35. Ventana “r.watershed” mapa de salida

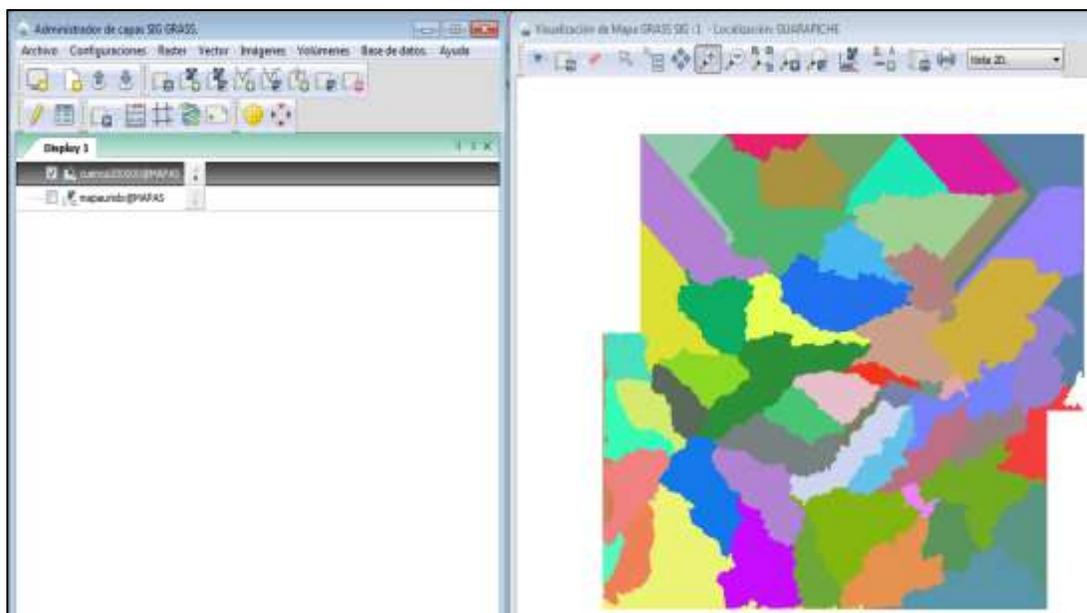


Figura 36. Ventanas administrador de capas “capas de mapas mostrando el mapa cuenca200000”, visualizador de mapas mostrando el mapa cuenca200000

Teniendo determinadas las cuencas se procedió ubicar la superficie de interés “cuenca del rio Guarapiche”. Esto se logró a través de una serie de pasos, en la ventana visualización de mapas le damos clic a la cuenca de interés ya reconocida previamente, donde ésta dió su valor, el cual se pudo observar en la ventana administrador de capa específicamente en la opción “consola de comando”, cuyo valor fue de 64.

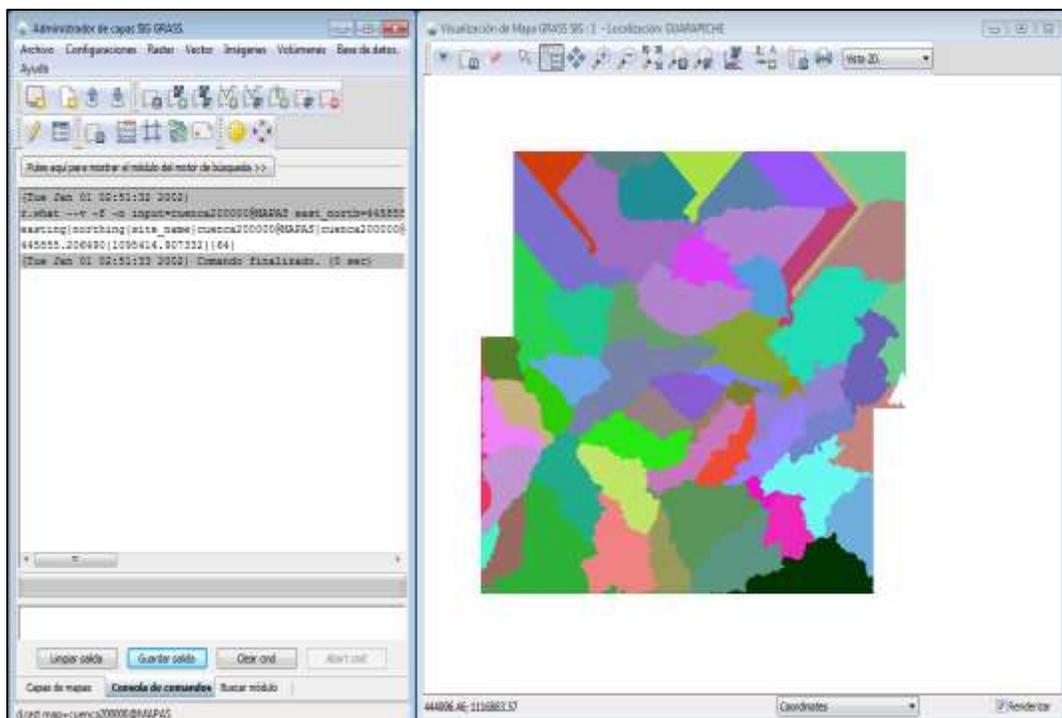


Figura 37. Ventanas administrador de capas “consola de comando mostrando el valor de la cuenca de interés”, visualizador de mapas mostrando el mapa cuenca200000

Esto con la finalidad de delimitar el área de trabajo a solo el ráster comprendido para la cuenca del rio Guarapiche (ráster/ cambiar valores de categoría y etiquetas/ reclasificar “r.reclass”).

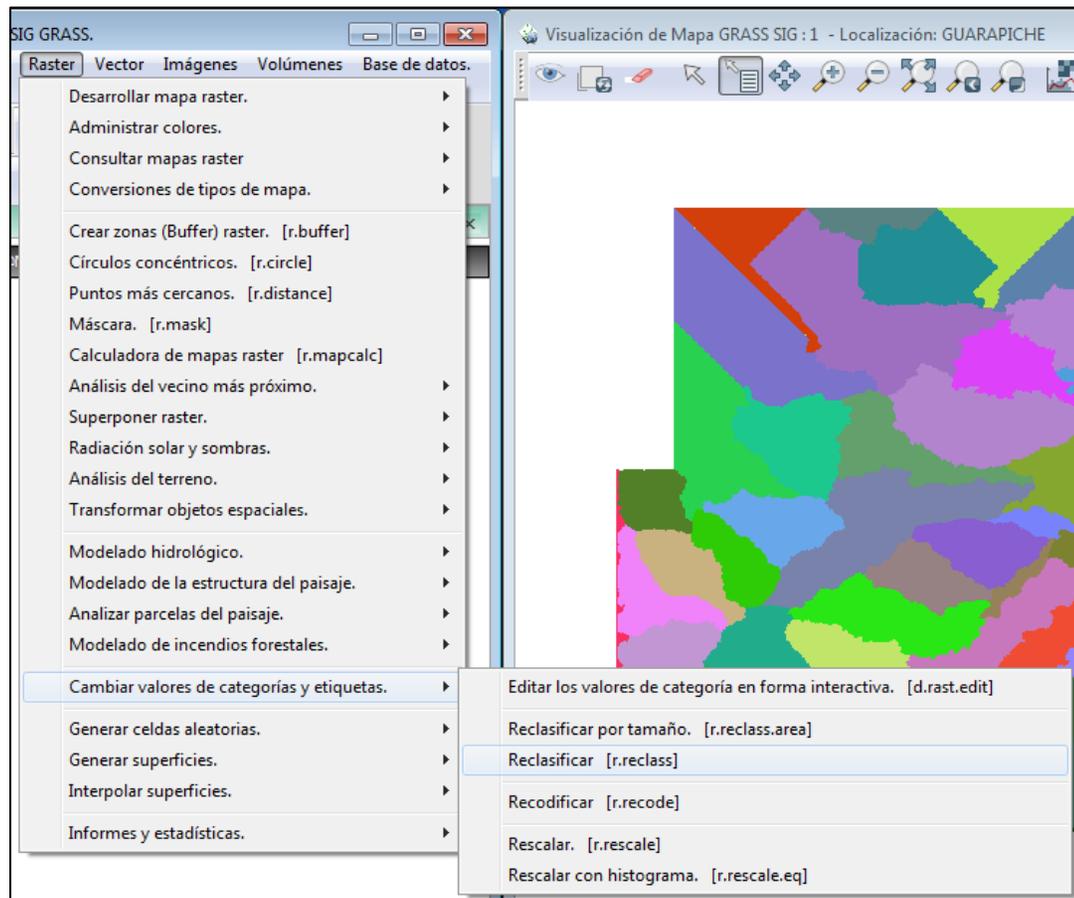


Figura 38. Ventanas ráster/ cambiar valores de categoría y etiquetas/ reclasificar “r.reclass”

Se despliega la ventana “r.reclass”. Esta ventana pide el mapa por reclasificar y el nombre del mapa raster de salida, en la pestaña opcional de la ventana “r.reclass”. Se definió el valor interactivamente ($64=1$) y se le dió título al mapa raster resultante, el cual se llama “cuencaguarapiche”. Hecho todo ésto se puede ver en la ventana de visualización de mapas la cuenca del rio Guarapiche definida.

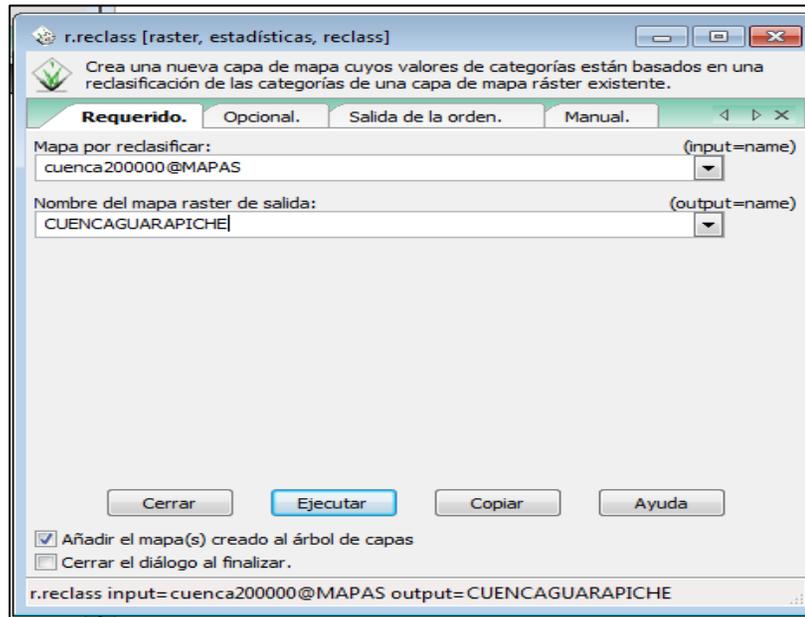


Figura 39. Ventana “r.reclass” mapa por reclasificar, nombre del mapa raster de salida

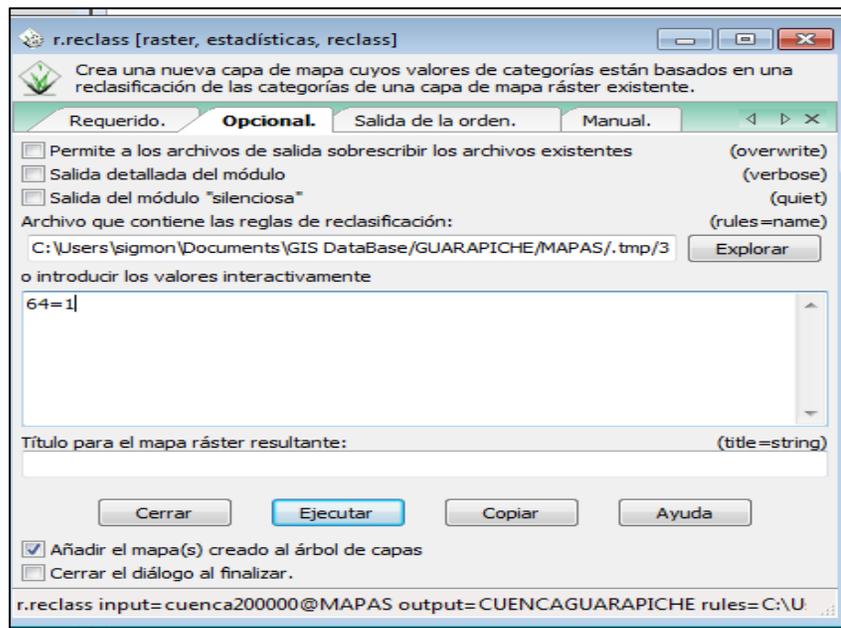


Figura 40. Ventana “r.reclass” valores interactivamente

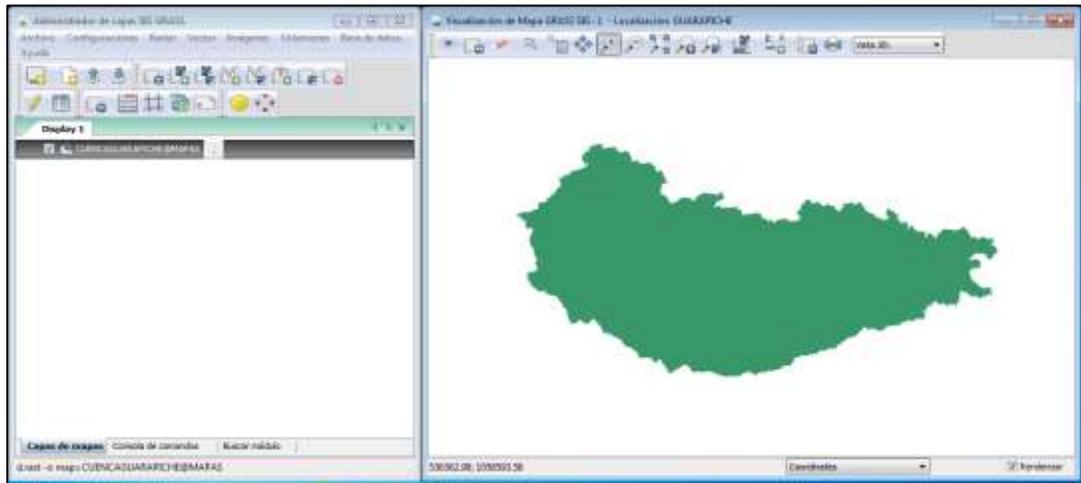


Figura 41. Ventanas administrador de capas “capas de mapas mostrando el mapa cuencaguarapiche”, visualizador de mapas mostrando el mapa cuencaguarapiche

Al delimitar el área de trabajo a solo el mapa ráster comprendido para la cuenca del río Guarapiche se pasó a formar una máscara; (ráster/ máscara y así se obtuvo el mapa o capa del área definida como zona final para el trabajo).

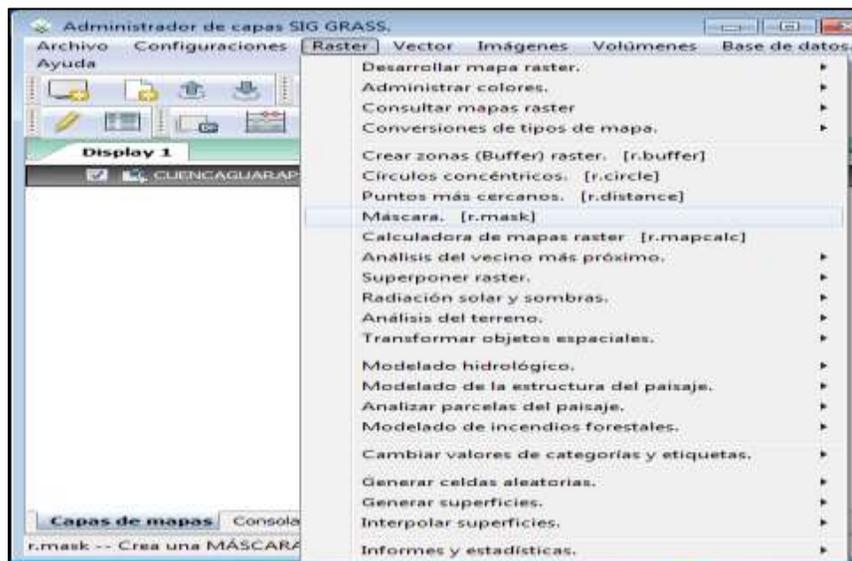


Figura 42. Ventanas ráster/ máscara “r.mask”

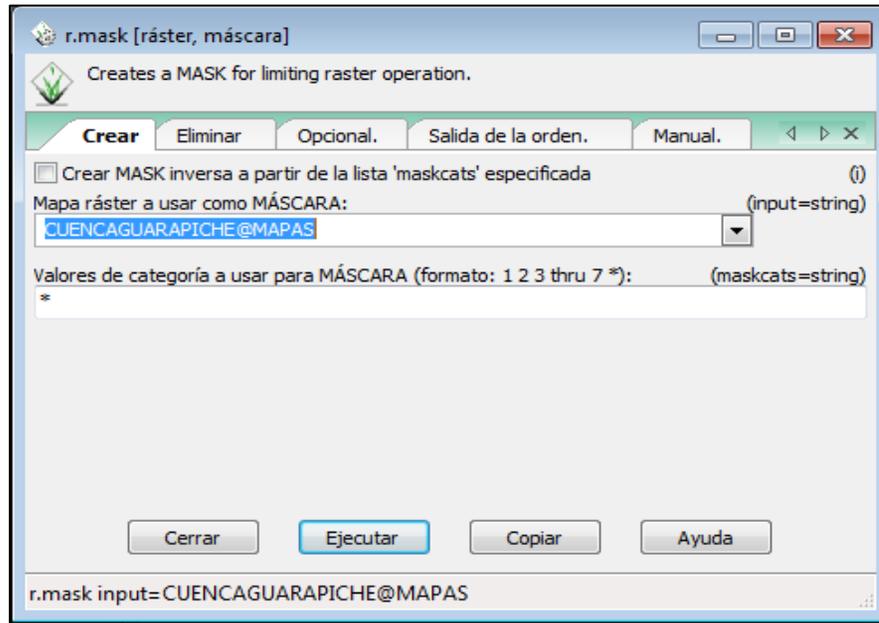


Figura 43. Ventana “r.mask” mapa raster a usar como máscara

Importación de datos

Para importar los datos en formato documento (txt) y crear la base de datos climatológicos y topográfico, uno se ubicó en la ventana administrador de capas y seleccionamos la pestaña archivo/ importar datos ráster/ importación y cuadrículado de puntos x,y,z ASCII “r.in.xyz”, luego se despliega la ventana “r.in.xyz” en la cual se hizo clic en la opción explorar y se buscó los archivos (txt), los cuales se cargaron uno por uno repetidamente. Como se puede observar en las Figuras 44 y 45.

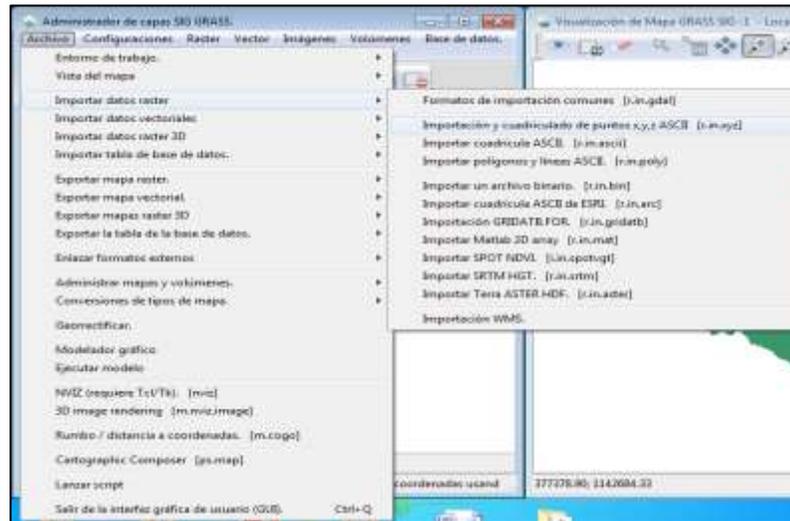


Figura 44. Ventanas archivo/ importar datos ráster/ importación y cuadrícula de puntos x,y,z ASCII “r.in.xyz”

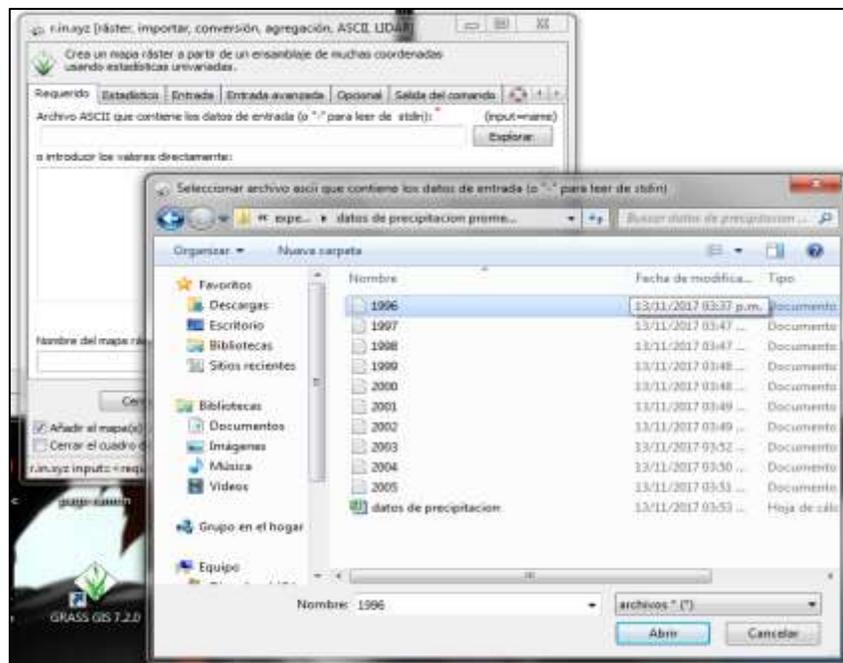


Figura 45. Ventanas “r.in.xyz” y pestaña donde estaba ubicada la data

En la ventana “r.in.xyz”, cada archivo al momento de cargarlo al GRASS pasan por una serie de configuraciones, en la pestaña “requerido” le damos

nombre al mapa raster de salida, en la pestaña “entrada” se configura el separador de campo, el orden de numeración de columnas donde están las coordenadas (x, y) y el número de columna de los valores de datos en el archivo de entrada (precipitación), por último en la pestaña “opcional” se selecciona el tipo de almacenamiento para el mapa raster resultante en este caso se utilizó la selección (CELL).

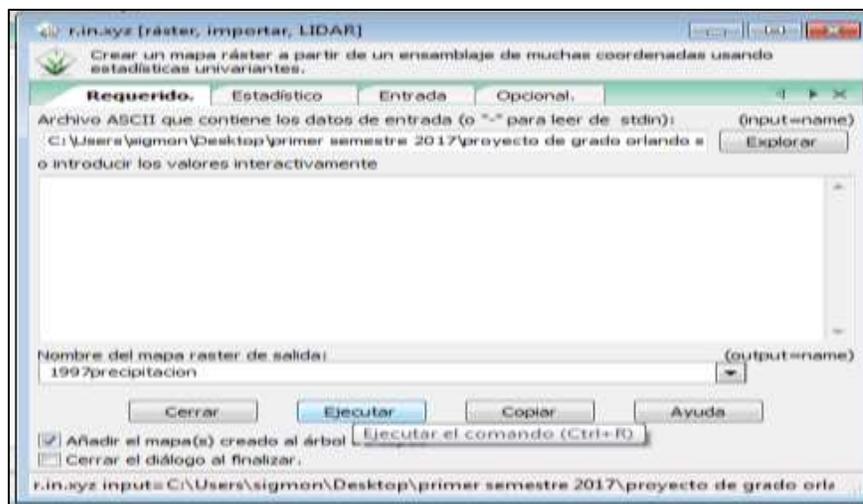


Figura 46. Ventana “r.in.xyz” nombre del mapa raster de salida

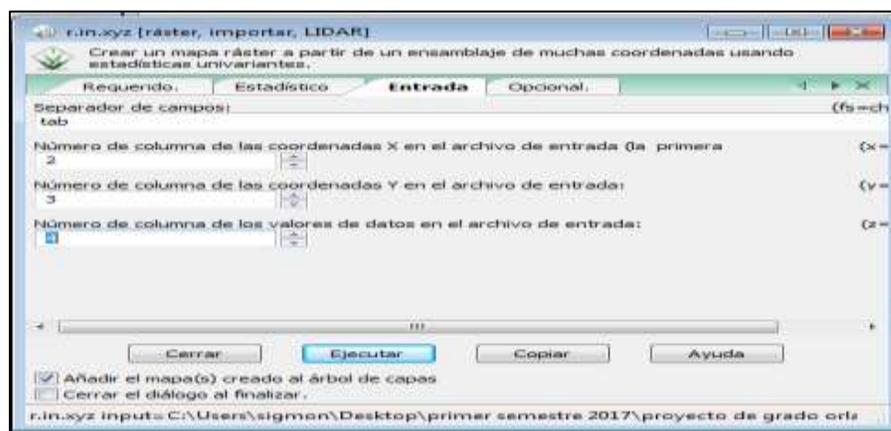


Figura 47. Ventana “r.in.xyz” separador de campo, orden de numeración de columnas donde están las coordenadas (x, y) y el número de columna de los valores de datos en el archivo de entrada

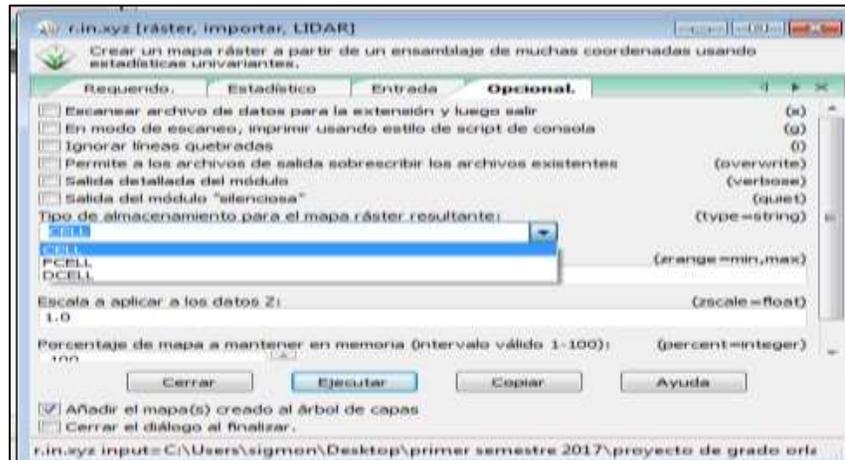


Figura 48. Ventana “r.in.xyz” tipo de almacenamiento para el mapa ráster resultante

Interpolacion

El propósito es interpolar estos nuevos mapas de la variable climática “precipitación pluvial”. Para el área delimitada “cuenca del rio Guarapiche”. Nuevamente desde administrador de capas se siguió la siguiente ruta (ráster/interpolación superficies/ IDW a partir de puntos ráster “r.surf.idw”).

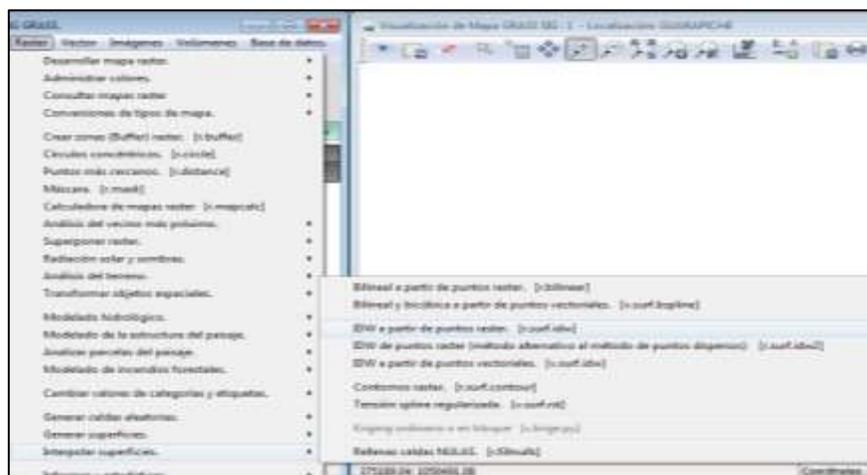


Figura 49. Ventanas ráster/ interpolación superficies/ IDW a partir de puntos ráster “r.surf.idw”

Esto llevó al despliegue de la ventana “r.surf.idw” en donde ésta pide el nombre del mapa raster de entrada y nombre del mapa raster de salida. Tomando en cuenta que ésto se hizo repetidamente para los diez mapas de entrada, lo cual genera como resultado diez mapas de salida. Las Figuras 50 y 51 permiten ver el procedimiento.

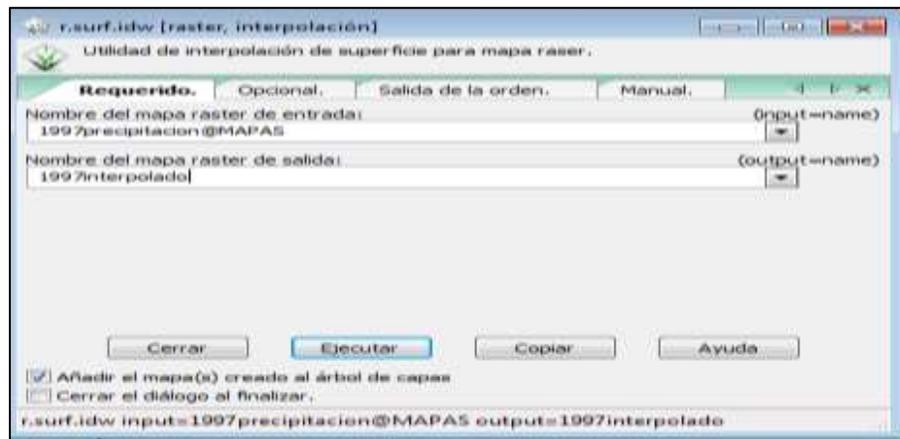


Figura 50. Ventana “r.surf.idw” nombre del mapa raster de entrada y nombre del mapa raster de salida

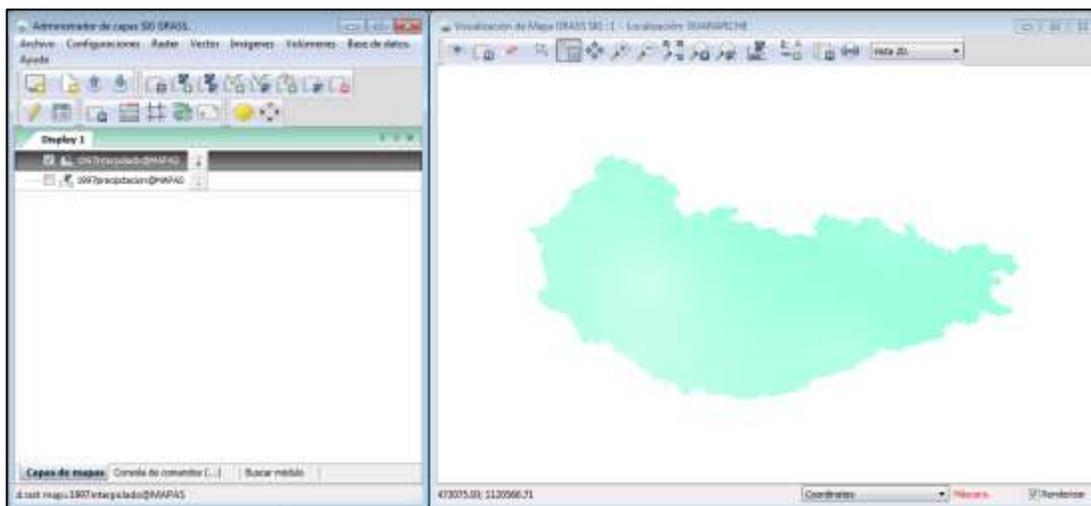


Figura 51. Ventanas administrador de capas “capas de mapa mostrando el mapa interpolado”, visualizador de mapas mostrando el mapa interpolado

Cada uno de los mapas interpolados se manejó en formato raster (que implico una representación en forma de cuadrícula o celda), para obtener en formato (txt) los valores de precipitación ubicados en cada una de las celdas de todos los mapas interpolados, nos ubicamos en la ventana administrador de capas en la pestaña (Archivo/ Explorar mapa raster/ Explorar puntos x,y,z ASCII “r.out.xyz”), luego se despliega la ventana “r.out.xyz” en la que se configuró el nombre para el archivo de salida y el separador de campo a utilizar.

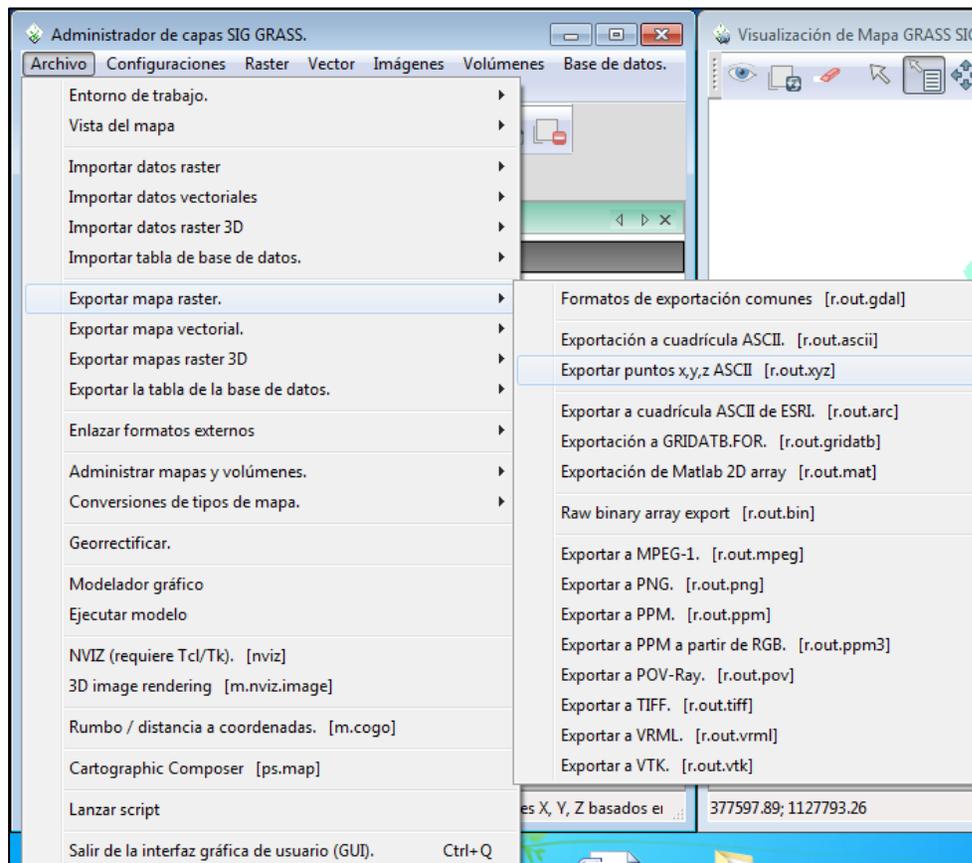


Figura 52. Ventanas Archivo/ Explorar mapa raster/ Explorar puntos x,y,z ASCII “r.out.xyz”

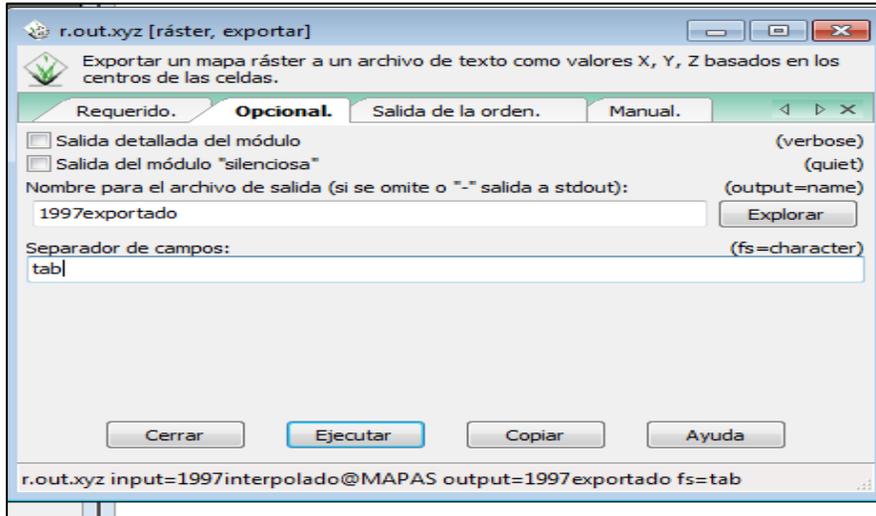


Figura 53. Ventana "r.out.xyz" nombre para el archivo de salida y separador de campo

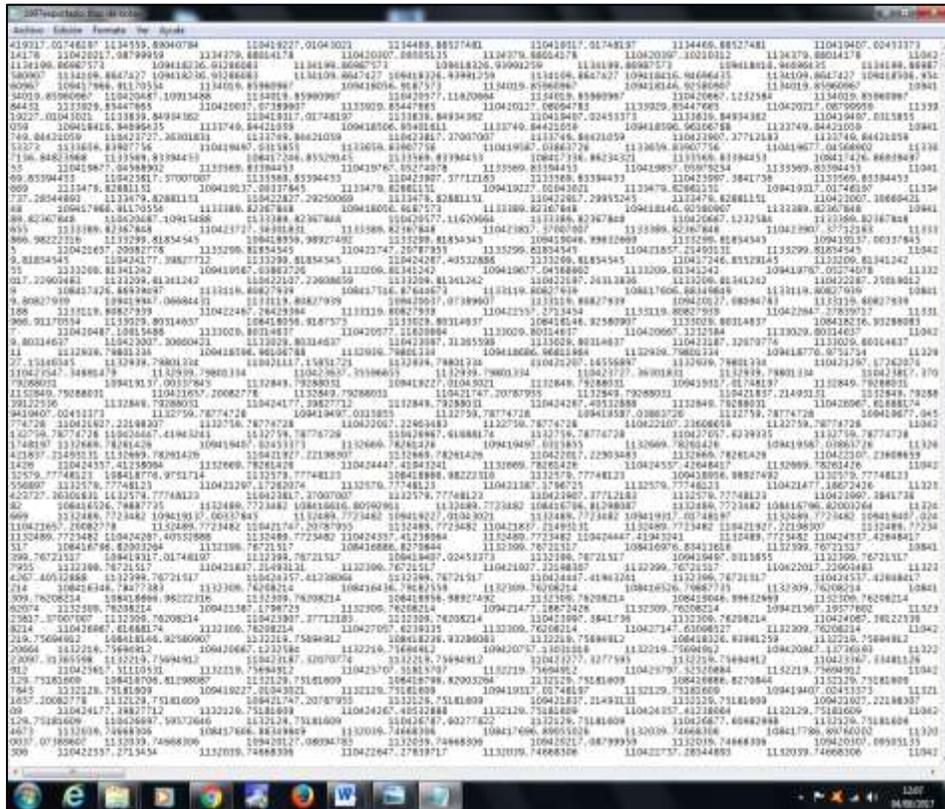


Figura 54. Archivos exportados en formato (txt)

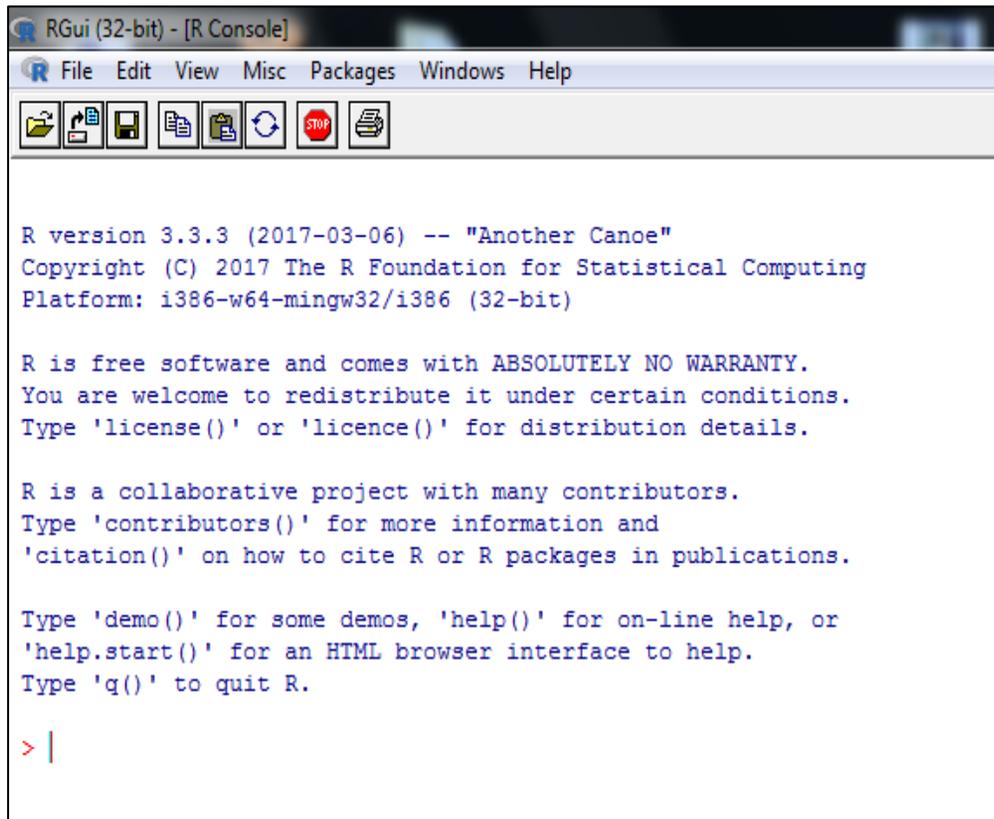
El programa estadístico conocido como *software R* lo utilizamos para determinar la regresión lineal aplicable a la cuenca hidrográfica del río Guarapiche para la predicción del régimen de precipitación, el cual obtuvimos mediante el portal web <https://cran.r-project.org/src/base/R-3/>



Figura 55. Imagen página web para descarga del programa R.
Fuente: <https://cran.r-project.org/src/base/R-3/>

Iniciando el software estadístico R

Se buscó el icono del programa “R” en el escritorio de la computadora, en el cual se le hizo clic para iniciarlo, lo que permitió abrir la ventana de inicio con una serie de información. El primer paso a seguir fue explorar y ubicar la carpeta con la información que contenía la data base la cual se denominó “exportado bloc de notas”. Esta carpeta contiene en formato (txt) los diez archivos interpolados y exportados previamente del GRASS.



```
RGui (32-bit) - [R Console]
R File Edit View Misc Packages Windows Help

R version 3.3.3 (2017-03-06) -- "Another Canoe"
Copyright (C) 2017 The R Foundation for Statistical Computing
Platform: i386-w64-mingw32/i386 (32-bit)

R is free software and comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY.
You are welcome to redistribute it under certain conditions.
Type 'license()' or 'licence()' for distribution details.

R is a collaborative project with many contributors.
Type 'contributors()' for more information and
'citation()' on how to cite R or R packages in publications.

Type 'demo()' for some demos, 'help()' for on-line help, or
'help.start()' for an HTML browser interface to help.
Type 'q()' to quit R.

> |
```

Figura 56. Ventana de inicio “R console”

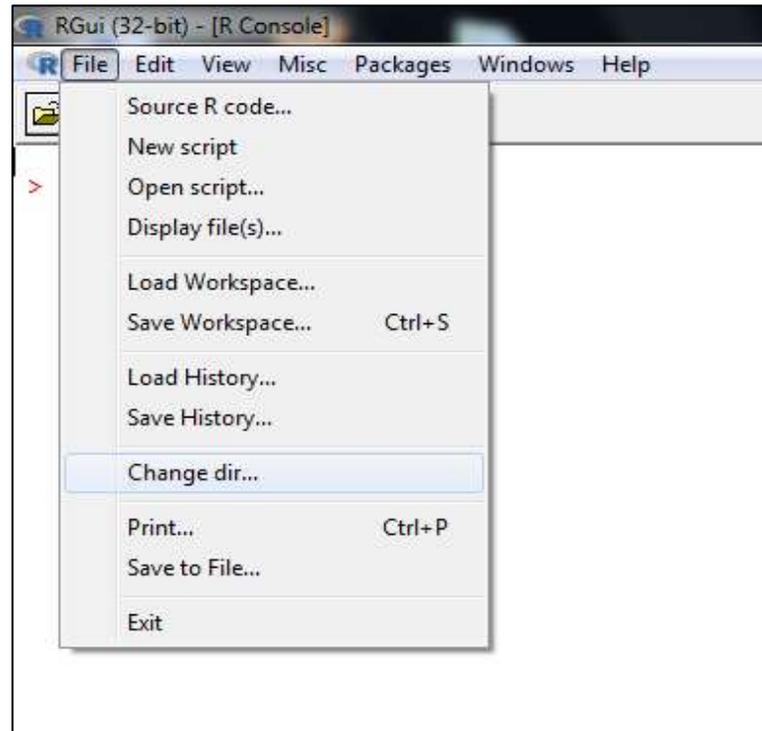


Figura 57. Ventanas “R console” File/ Change dir

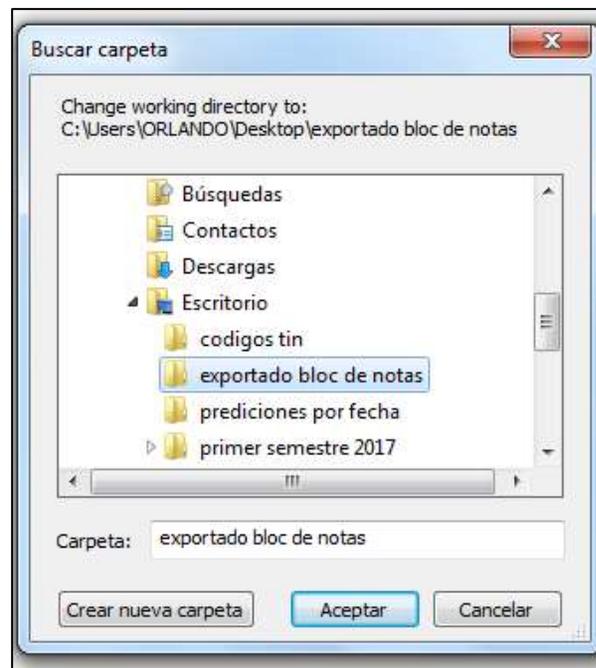


Figura 58. Ventana donde está ubicada la data

Simultáneamente, se trabajó con la creación de un código llamado “código tin R”, en el cual se crearon los mismos que se ejecutaron, a su vez puede observar la información generada en la ventana “R console”. Estos se ordenaron de la siguiente manera.

✓ **Código instrucción para solicitar escritorio actual.**

```
getwd()
```

✓ **Código para importar la base de datos.**

```
datos1996=read.table("1996exportado.txt")
datos1997=read.table("1997exportado.txt")
datos1998=read.table("1998exportado.txt")
datos1999=read.table("1999exportado.txt")
datos2000=read.table("2000exportado.txt")
datos2001=read.table("2001exportado.txt")
datos2002=read.table("2002exportado.txt")
datos2003=read.table("2003exportado.txt")
datos2004=read.table("2004exportado.txt")
datos2005=read.table("2005exportado.txt")
```

✓ **Código para cambiar el nombre de las columnas.**

```
nombre1996=c("este1996","norte1996","preci1996")
nombre1997=c("este1997","norte1997","preci1997")
nombre1998=c("este1998","norte1998","preci1998")
nombre1999=c("este1999","norte1999","preci1999")
nombre2000=c("este2000","norte2000","preci2000")
```

```
nombre2001=c("este2001","norte2001","preci2001")
nombre2002=c("este2002","norte2002","preci2002")
nombre2003=c("este2003","norte2003","preci2003")
nombre2004=c("este2004","norte2004","preci2004")
nombre2005=c("este2005","norte2005","preci2005")
```

```
names(datos1996)=nombre1996
names(datos1997)=nombre1997
names(datos1998)=nombre1998
names(datos1999)=nombre1999
names(datos2000)=nombre2000
names(datos2001)=nombre2001
names(datos2002)=nombre2002
names(datos2003)=nombre2003
names(datos2004)=nombre2004
names(datos2005)=nombre2005
```

✓ **Código para acceder a las columnas.**

```
attach(datos1996)
attach(datos1997)
attach(datos1998)
attach(datos1999)
attach(datos2000)
attach(datos2001)
attach(datos2002)
attach(datos2003)
attach(datos2004)
attach(datos2005)
```

✓ **Código de resumen numérico de precipitación anual.**

```
summary(preci1996)
summary(preci1997)
summary(preci1998)
summary(preci1999)
summary(preci2000)
summary(preci2001)
summary(preci2002)
summary(preci2003)
summary(preci2004)
summary(preci2005)
```

✓ **Código cálculos de mínimo.**

```
minimo=rbind(min(preci1996),
min(preci1997),
min(preci1998),
min(preci1999),
min(preci2000),
min(preci2001),
min(preci2002),
min(preci2003),
min(preci2004),
min(preci2005))
```

```
minimo=data.frame(minimo)
names(minimo)=c("minimo")
minimo
```

✓ **Código cálculos de máximo.**

```
maximo=rbind(max(preci1996),  
max(preci1997),  
max(preci1998),  
max(preci1999),  
max(preci2000),  
max(preci2001),  
max(preci2002),  
max(preci2003),  
max(preci2004),  
max(preci2005))
```

```
maximo=data.frame(maximo)  
names(maximo)=c("maximo")  
maximo
```

✓ **Código cálculos de mediana.**

```
mediana=rbind(median(preci1996),  
median(preci1997),  
median(preci1998),  
median(preci1999),  
median(preci2000),  
median(preci2001),  
median(preci2002),  
median(preci2003),  
median(preci2004),  
median(preci2005))
```

```
mediana=data.frame(mediana)
names(mediana)=c("mediana")
mediana
```

✓ **Código cálculos de media.**

```
media=rbind(mean(preci1996),
mean(preci1997),
mean(preci1998),
mean(preci1999),
mean(preci2000),
mean(preci2001),
mean(preci2002),
mean(preci2003),
mean(preci2004),
mean(preci2005))
```

```
media=data.frame(media)
names(media)=c("Media")
media
```

✓ **Código cálculos de desviación estándar.**

```
desviacionestandar=rbind(sd(preci1996),
sd(preci1997),
sd(preci1998),
sd(preci1999),
sd(preci2000),
sd(preci2001),
```

```
sd(preci2002),
sd(preci2003),
sd(preci2004),
sd(preci2005))
```

```
desviacionestandar=data.frame(desviacionestandar)
names(desviacionestandar)=c("desviacionestandar")
desviacionestandar
```

✓ **Código cálculos de cuartiles.**

```
Q1996=quantile(preci1996, probs = c(25,75)/100)
Q1997=quantile(preci1997, probs = c(25,75)/100)
Q1998=quantile(preci1998, probs = c(25,75)/100)
Q1999=quantile(preci1999, probs = c(25,75)/100)
Q2000=quantile(preci2000, probs = c(25,75)/100)
Q2001=quantile(preci2001, probs = c(25,75)/100)
Q2002=quantile(preci2002, probs = c(25,75)/100)
Q2003=quantile(preci2003, probs = c(25,75)/100)
Q2004=quantile(preci2004, probs = c(25,75)/100)
Q2005=quantile(preci2005, probs = c(25,75)/100)
```

```
cuartiles=rbind(Q1996,
Q1997,Q1998,Q1999,Q2000,
Q2001,Q2002,Q2003,Q2004,Q2005)
cuartiles
```

- ✓ **Código resumen general (mínimo, máximo, mediana, media, desviación estándar y cálculos de cuartiles).**

```
resumengeneral=cbind(minimo,maximo,mediana,media,desviacionestandar,
cuartiles) resumengeneral
rownames(resumengeneral)=c("1996",
"1997","1998","1999","2000","2001",
"2002","2003","2004","2005")
resumengeneral
```

- ✓ **Código cálculo de regresión sobre matrices, ejemplo con diez matrices de valores fijos.**

```
m1<-as.matrix(preci1996)
m2<-as.matrix(preci1997)
m3<-as.matrix(preci1998)
m4<-as.matrix(preci1999)
m5<-as.matrix(preci2000)
m6<-as.matrix(preci2001)
m7<-as.matrix(preci2002)
m8<-as.matrix(preci2003)
m9<-as.matrix(preci2004)
m10<-as.matrix(preci2005)

tiempo=c(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10)
tiempo=as.matrix(tiempo)
todas_bandas<-cbind(m1,m2,m3,m4,m5,m6,m7,m8,m9,m10)
todas_bandas
prediccion1<-matrix(nrow=nrow(todas_bandas),ncol=1)
coefi<-matrix(nrow=nrow(todas_bandas),ncol=1)
```

- ✓ **En el "for" que se muestra en las siguientes líneas corre el modelo polinomio de grado dos, el cual genera la predicción para la fecha dada, y calcula el coeficiente de determinación para cada predicción.**

```
for (i in 1:nrow(todas_bandas))
  {
    fecha<-as.numeric(tiempo)
    indice<-as.numeric(todas_bandas[i,])

    modelo2=lm(indice~fecha+I(fecha^2))
```

- ✓ **código predicción para el modelo poli nómico de grado 2 aquí debe ajustarse el número del año sobre el cual se quiere la predicción.**

```
prediccion1[i,]<-predict.lm(modelo2,data.frame(fecha=11))
  }
```

- ✓ **Código resumen numérico del modelo.**

```
summary(modelo2)
```

- ✓ **Código resumen numérico de predicción.**

```
summary(prediccion1)
```

- ✓ **Código resumen numérico de todas_bandas.**

```
summary(todas_bandas)
```

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

MODELO DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIO GUARAPICHE PARA EL PERIODO 1996-2005

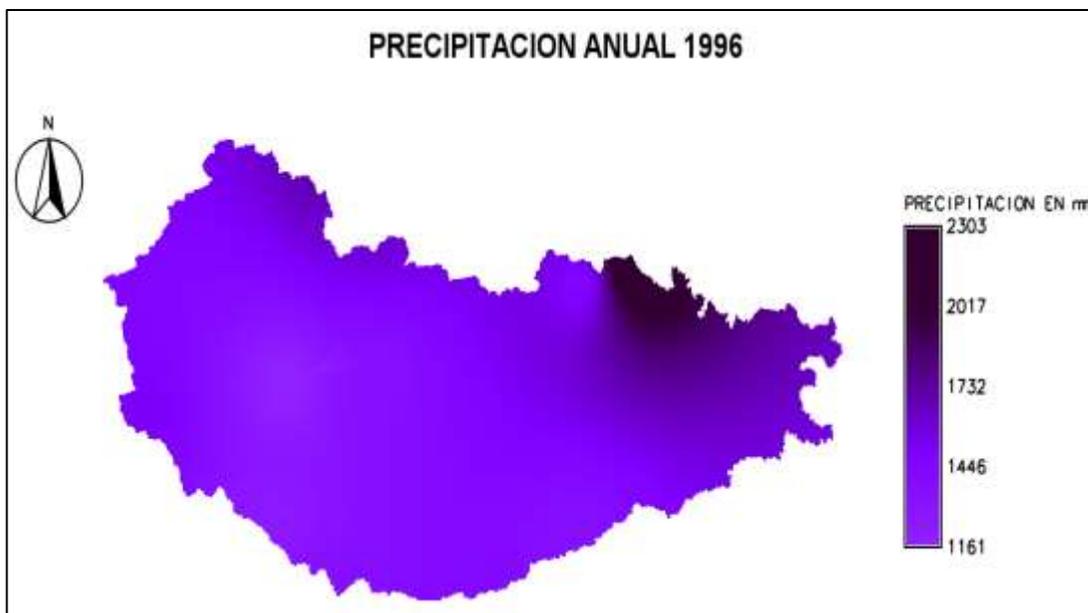


Figura 59. Mapa interpolado de precipitación anual 1996

El año 1996 los valores mayores de precipitación se observan para la zona noreste de la cuenca con valores que oscilan entre 2017 y 2303 mm/año. El resto de la cuenca muestra una distribución relativamente uniforme de la precipitación con valores que fluctúan entre 1161 1732 mm/año.

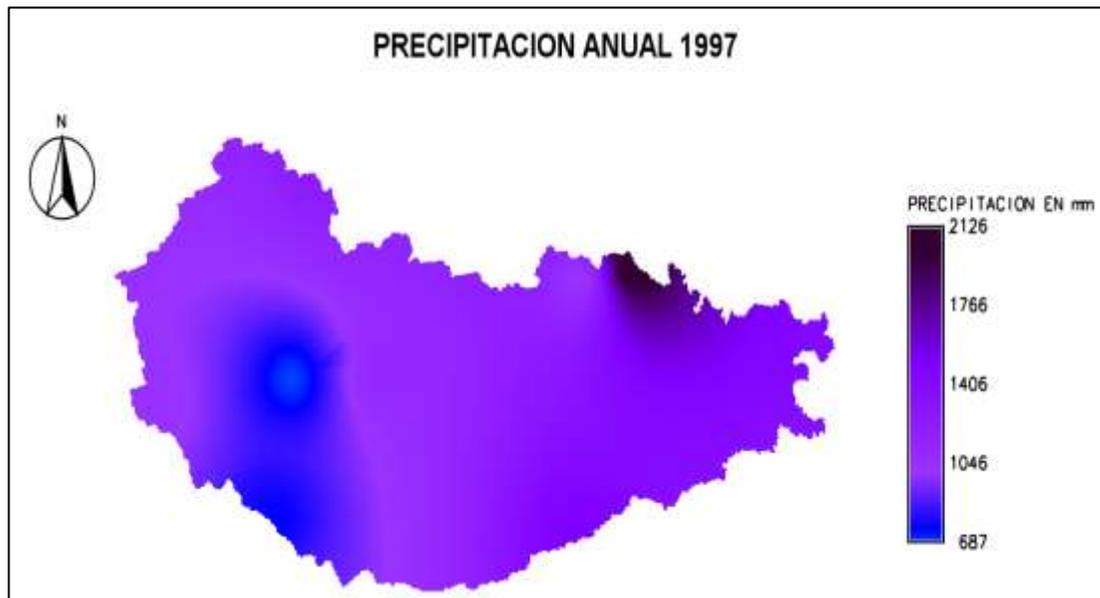


Figura 60. Mapa interpolado de precipitación anual 1997

El año 1997 los valores mayores de precipitación se observan para la zona noreste con valores que oscilan entre 1776 y 2126 mm/año. Los valores menores se observan en la zona suroeste de la cuenca con valores que fluctúan entre 687 y 1046 mm/año. El resto de la cuenca muestra una distribución relativamente uniforme de la precipitación con valores que oscilan entre 1046 y 1766 mm/año.

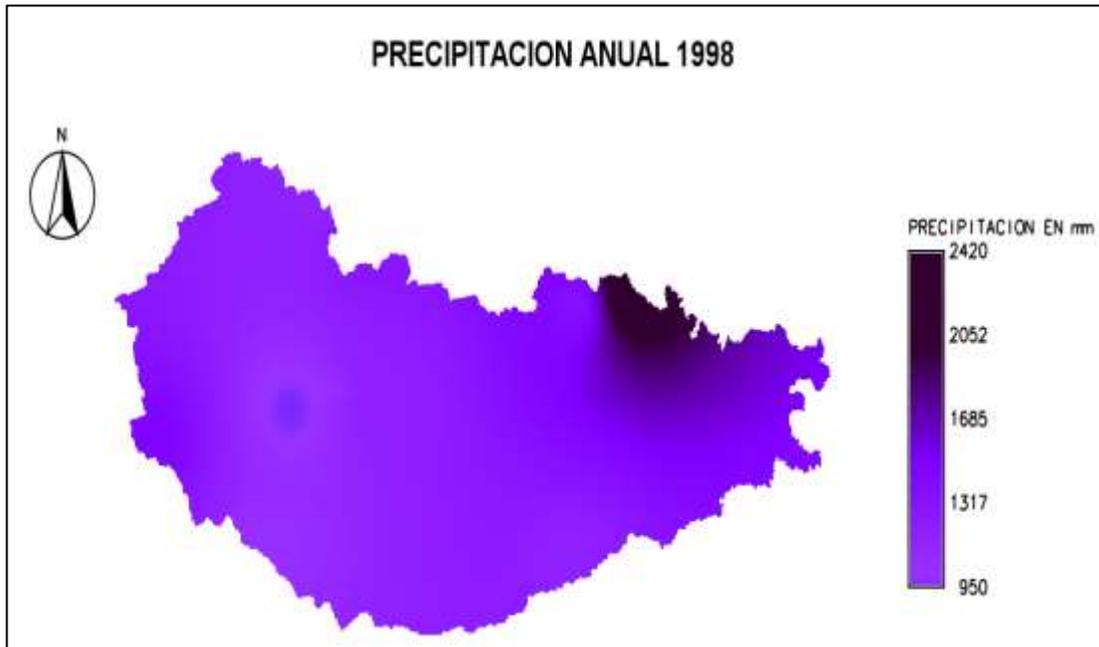


Figura 61. Mapa interpolado de precipitación anual 1998

El año 1998 los valores mayores de precipitación se observan para la zona noreste de la cuenca con valores que oscilan entre 2052 y 2420 mm/año. El resto de la cuenca muestra una distribución relativamente uniforme de la precipitación con valores que fluctúan entre 950 1685 mm/año.

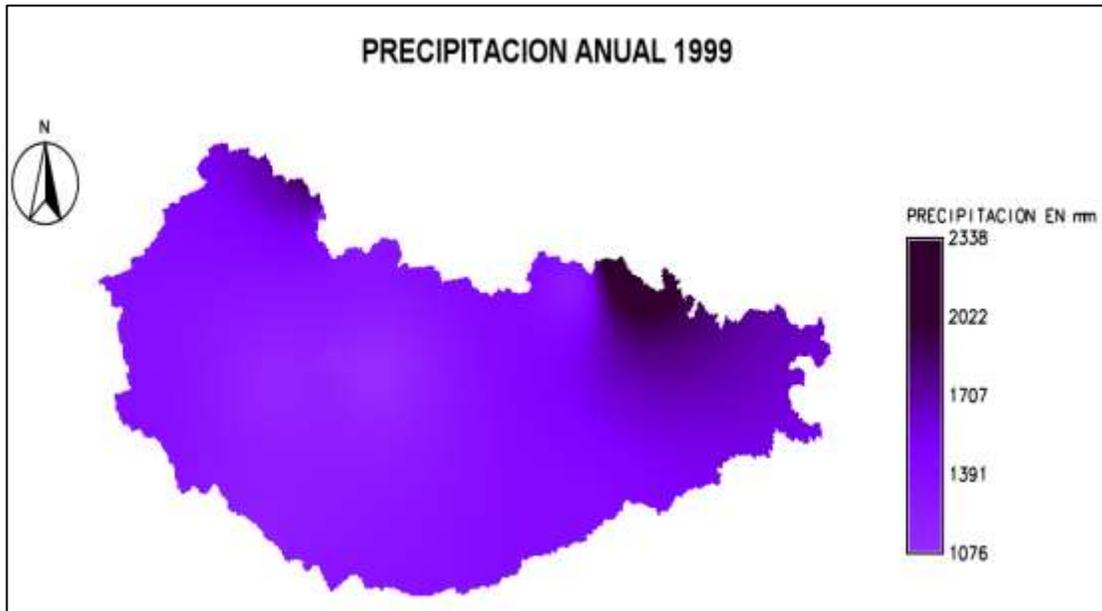


Figura 62. Mapa interpolado de precipitación anual 1999

El año 1999 los valores mayores de precipitación se observan para la zona noreste de la cuenca con valores que fluctúan entre 2022 y 2338 mm/año. El resto de la cuenca muestra una distribución relativamente uniforme de la precipitación con valores que oscilan entre 1076 1707 mm/año.

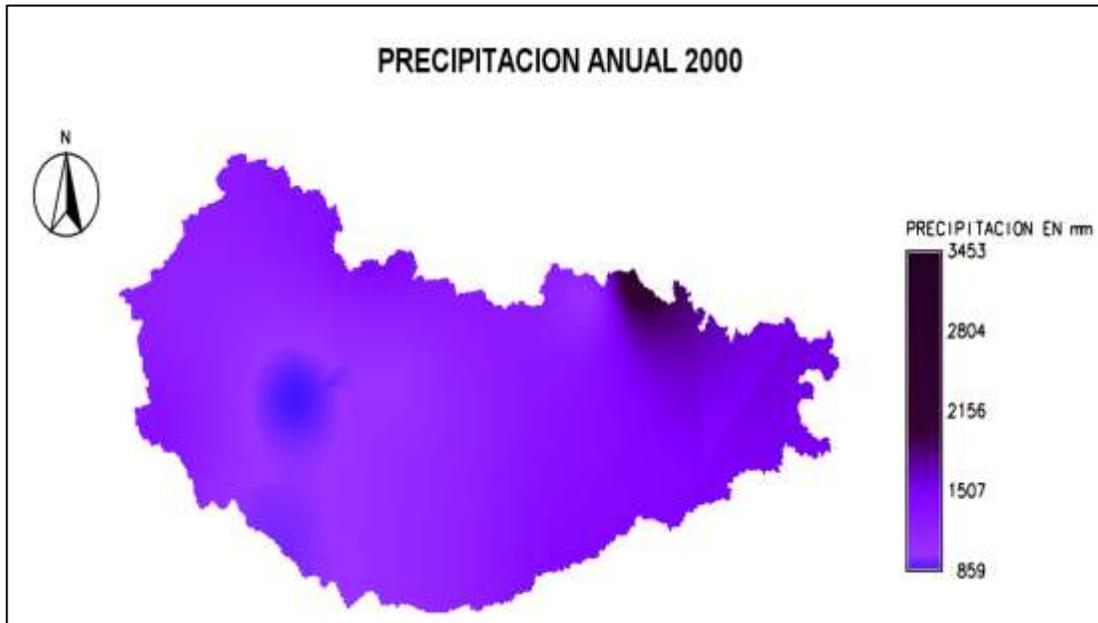


Figura 63. Mapa interpolado de precipitación anual 2000

El año 2000 los valores mayores de precipitación se observan para la zona noreste de la cuenca con valores que oscilan entre 2156 y 3453 mm/año. Los valores menores se observan en la zona suroeste de la cuenca con valores de 859 mm/año. El resto de la cuenca muestra una distribución relativamente uniforme de la precipitación con valores que fluctúan entre 1507 y 2156 mm/año.

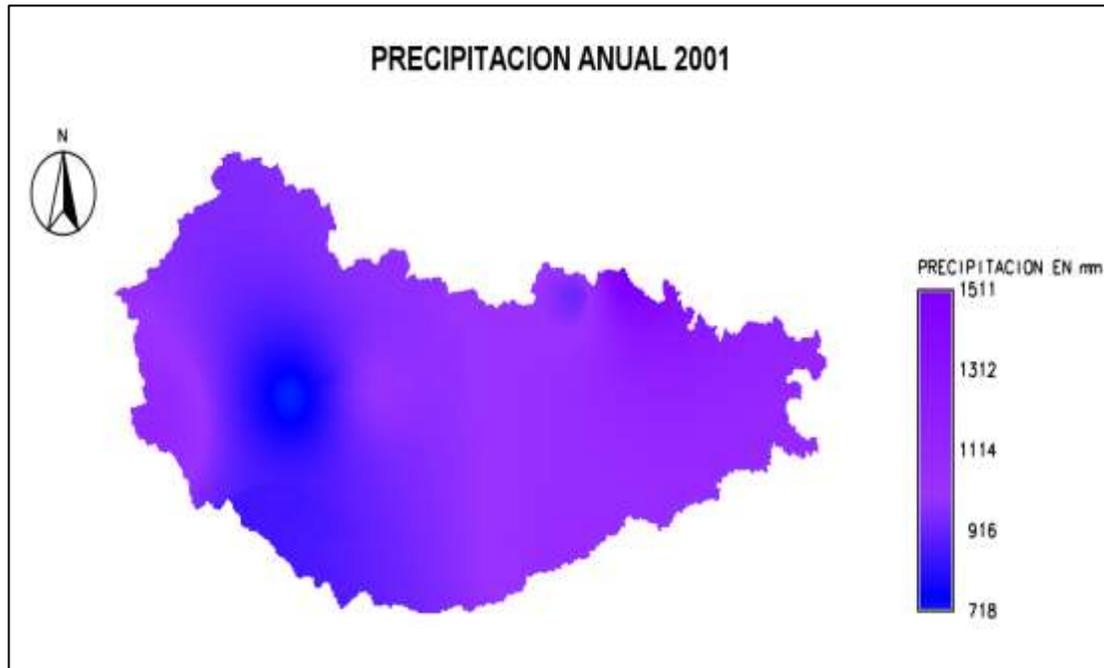


Figura 64. Mapa interpolado de precipitación anual 2001

El año 2001 la mayor precipitación se observan con valores que oscilan entre 1312 y 1511 mm/año. Los valores menores se observan en la zona suroeste de la cuenca con valores que fluctúan entre 718 y 916 mm/año. El resto de la cuenca muestra una distribución relativamente uniforme de la precipitación con valores que fluctúan entre 916 y 1312 mm/año.

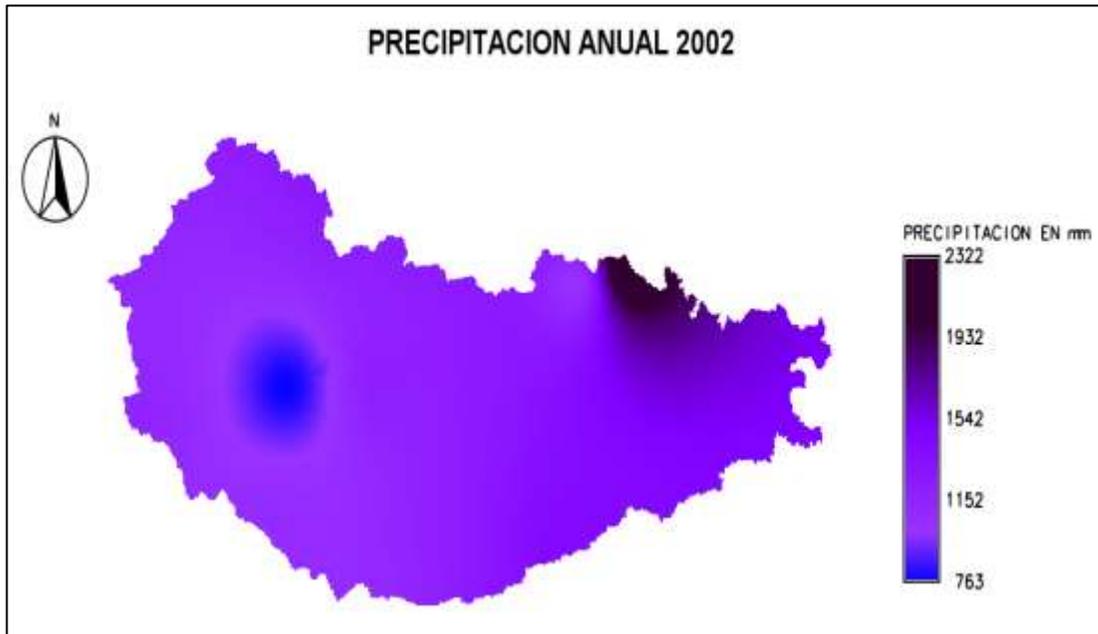


Figura 65. Mapa interpolado de precipitación anual 2002

El año 2002 los valores mayores de precipitación se observan para la zona noreste de la cuenca con valores que oscilan entre 1932 y 2322 mm/año. Los valores menores se observan en la zona suroeste de la cuenca con valores de 763 mm/año. El resto de la cuenca muestra una distribución relativamente uniforme de la precipitación con valores que fluctúan entre 1152 y 1932 mm/año.

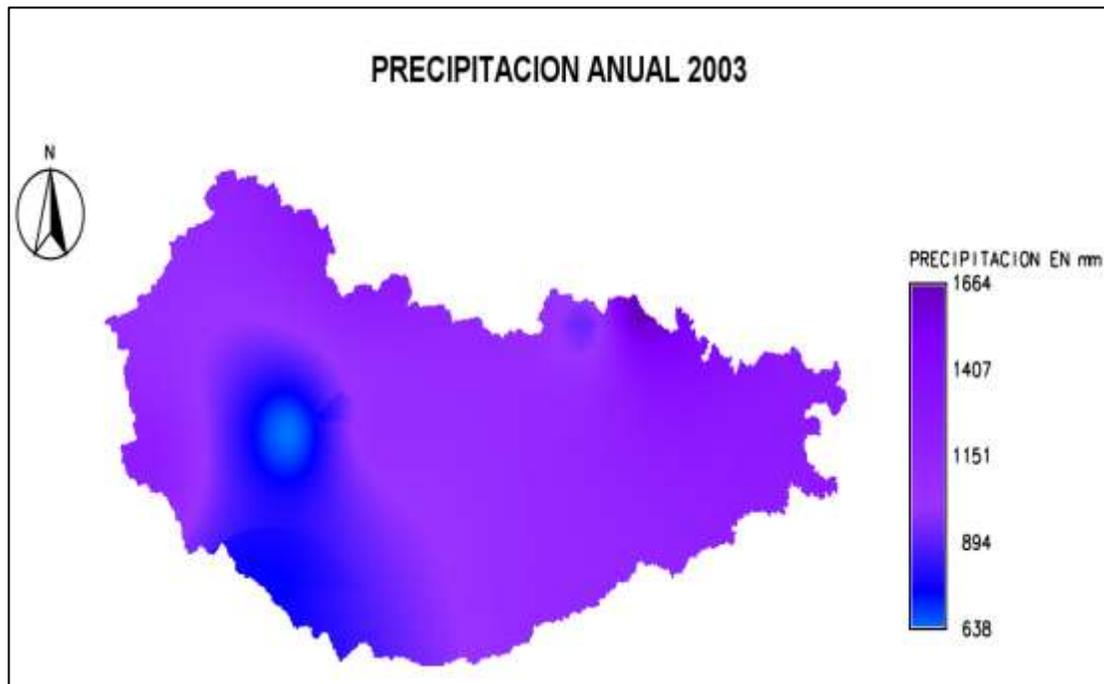


Figura 66. Mapa interpolado de precipitación anual 2003

El año 2003 la mayor precipitación se observan con valores que oscilan entre 1407 y 1664 mm/año. Los valores menores se observan en la zona suroeste de la cuenca con valores que fluctúan entre 638 y 894 mm/año. El resto de la cuenca muestra una distribución relativamente uniforme de la precipitación con valores que fluctúan entre 894 y 1407 mm/año.

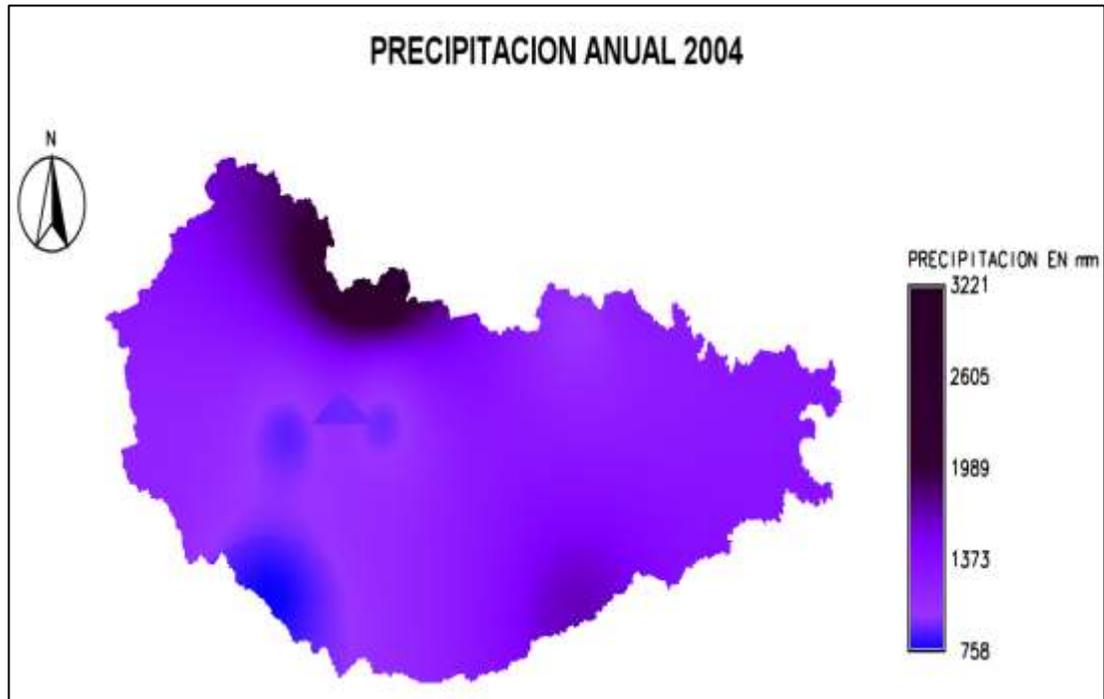


Figura 67. Mapa interpolado de precipitación anual 2004

El año 2004 los valores mayores de precipitación se observan para la zona noroeste de la cuenca con valores que oscilan entre 1989 y 3221 mm/año. Los valores menores se observan en la zona suroeste de la cuenca con valor de 758 mm/año. El resto de la cuenca muestra una distribución relativamente uniforme de la precipitación con valores que fluctúan entre 1373 y 1989 mm/año.

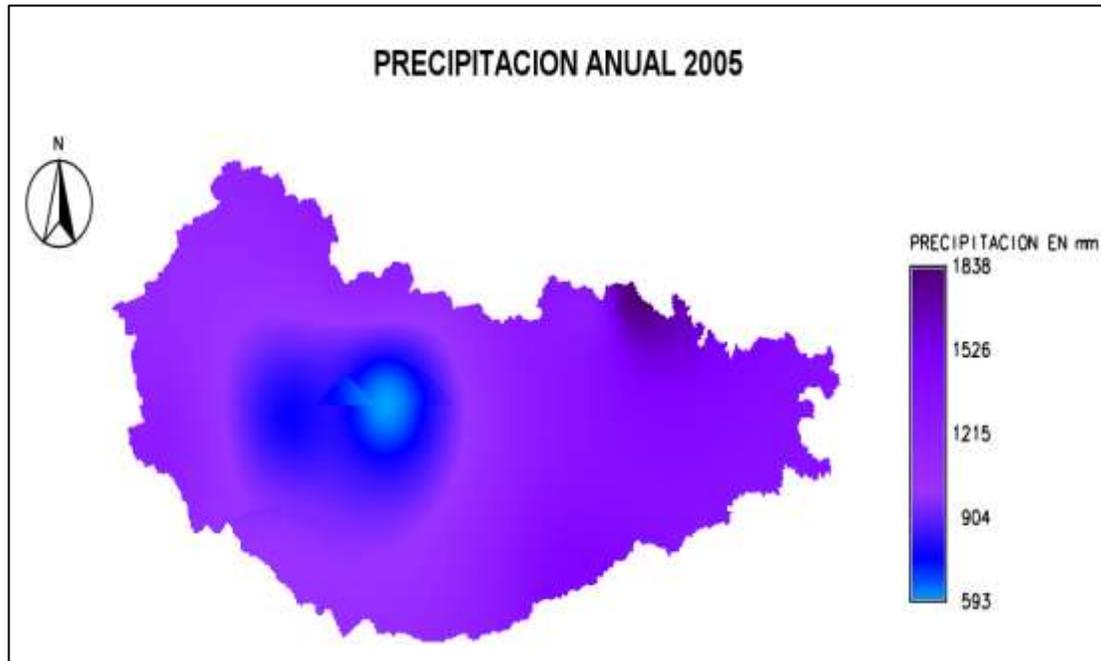


Figura 68. Mapa interpolado de precipitación anual 2005

El año 2005 la mayor precipitación se observan con valores que oscilan entre 1526 y 1838 mm/año. Los valores menores se observan en la zona noroeste de la cuenca con valores que oscilan entre 593 y 904 mm/año. El resto de la cuenca muestra una distribución relativamente uniforme de la precipitación con valores que fluctúan entre 904 y 1526 mm/año.

MODELO DE REGRESIÓN LINEAL APLICABLE A LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIO GUARAPICHE PARA LA PREDICCIÓN DEL RÉGIMEN DE PRECIPITACIÓN

Se hizo tres corridas con el programa “R” las cuales se pueden observar en las Figuras 69, 70 y 71. El resumen de la característica del modelo de regresión seleccionado “modelo2” para el desarrollo de esta investigación se observa en la Figura 70 donde puede extraerse los

coeficientes de las variables independientes donde se tomó los valores de las “fechas” e “Intercept” para darle forma a la ecuación, resultando ser de grado dos.

```
> summary(modelo1)

Call:
lm(formula = indice ~ fecha)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-225.85  -72.73   27.65   98.92  140.34

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  1308.27     90.85   14.401 5.28e-07 ***
fecha        -17.90     14.64   -1.223  0.256
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 133 on 8 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.1575,    Adjusted R-squared:  0.05215
F-statistic: 1.495 on 1 and 8 DF,  p-value: 0.2562

> |
```

Figura 69. Ventana resumen numérico del “modelo1”

```
> summary(modelo2)

Call:
lm(formula = indice ~ fecha + I(fecha^2))

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-176.06  -88.29   10.52   80.81  177.69

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  1445.183     154.653   9.345 3.34e-05 ***
fecha        -86.361     64.590   -1.337  0.223
I(fecha^2)     6.223      5.722   1.088  0.313
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 131.5 on 7 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2793,    Adjusted R-squared:  0.07333
F-statistic: 1.356 on 2 and 7 DF,  p-value: 0.3179

> |
```

Figura 70. Ventana resumen numérico del “modelo2”

```

> summary(modelo3)

Call:
lm(formula = indice ~ fecha + I(fecha^2) + I(fecha^3))

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-170.420  -97.342    4.868   93.149  163.115

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 1377.9667   273.4756   5.039  0.00236 **
fecha       -26.7438   204.9829  -0.130  0.90046
I(fecha^2)  -6.7028    42.2810  -0.159  0.87924
I(fecha^3)   0.7834    2.5354   0.309  0.76778
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 140.9 on 6 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2905,    Adjusted R-squared:  -0.06418
F-statistic: 0.8191 on 3 and 6 DF,  p-value: 0.5289

> |

```

Figura 71. Ventana resumen numérico del “modelo3”

Ecuación estimada:

$$y = -86,361X + 6,223X^2 + 1445,183$$

Dónde:

y= precipitación

X= tiempo expresado en año

Se tomó en cuenta que el coeficiente de determinación “ $R^2\%$ ”, el cual mide la confiabilidad del modelo de regresión usado.

El coeficiente de determinación:

$$R^2\% = 27,93\%$$

Este coeficiente de variación indica que el 27,93% de la variación observada en la variable dependiente precipitación es explicada por la variable independiente tiempo expresado en años. El carácter predictivo del modelo es muy bajo.

```

>
> #resumen numerico de prediccion1 y fecha 11
>
> summary(prediccion1)
      V1
Min.   : 657.9
1st Qu.:1051.7
Median :1252.7
Mean   :1214.6
3rd Qu.:1347.4
Max.   :2139.1
> summary(todas_bandas)|
      V1          V2          V3          V4          V5
Min.   :1161    Min.   : 687    Min.   : 950    Min.   :1076    Min.   : 859
1st Qu.:1382    1st Qu.:1008    1st Qu.:1183    1st Qu.:1285    1st Qu.:1101
Median :1458    Median :1128    Median :1237    Median :1370    Median :1228
Mean   :1486    Mean   :1166    Mean   :1308    Mean   :1408    Mean   :1256
3rd Qu.:1561    3rd Qu.:1366    3rd Qu.:1411    3rd Qu.:1490    3rd Qu.:1389
Max.   :2303    Max.   :2126    Max.   :2420    Max.   :2338    Max.   :2134
      V6          V7          V8          V9          V10
Min.   : 718    Min.   : 763    Min.   : 638    Min.   : 758    Min.   : 593
1st Qu.: 940    1st Qu.:1106    1st Qu.: 984    1st Qu.:1126    1st Qu.: 997
Median : 986    Median :1204    Median :1076    Median :1275    Median :1124
Mean   :1002    Mean   :1251    Mean   :1067    Mean   :1294    Mean   :1148
3rd Qu.:1068    3rd Qu.:1389    3rd Qu.:1158    3rd Qu.:1378    3rd Qu.:1344
Max.   :1511    Max.   :2322    Max.   :1664    Max.   :2913    Max.   :1838
> |

```

Figura 72. Ventana resumen numérico de predicción fecha 11 resumen numérico de todas_bandas

En una evaluación para el año siguiente al último de la base de datos disponible el modelo de simulación arroja como valor mínimo de 657,9 mm de precipitación en todo el espacio geográfico de la cuenca hidrográfica y un valor máximo de 2139,1 mm, los cuales pueden compararse con la base de datos disponibles los cuales están circunscrito dentro de esta, en el presente ensayo se evaluó un modelo de regresión lineal de grado superior que arrojaron resultados considerados alejados de la base de datos que se utilizó.

```

> #resumen numerico de prediccion2 y fecha 12
>
> summary(prediccion2)
      V1
Min.   : 542
1st Qu.:1077
Median :1297
Mean   :1251
3rd Qu.:1369
Max.   :2428
> summary(todas_bandas)|
      V1          V2          V3          V4          V5
Min.   :1161    Min.   : 687    Min.   : 950    Min.   :1076    Min.   : 859
1st Qu.:1382    1st Qu.:1008    1st Qu.:1183    1st Qu.:1285    1st Qu.:1101
Median :1458    Median :1128    Median :1237    Median :1370    Median :1228
Mean   :1486    Mean   :1166    Mean   :1308    Mean   :1408    Mean   :1256
3rd Qu.:1561    3rd Qu.:1366    3rd Qu.:1411    3rd Qu.:1490    3rd Qu.:1389
Max.   :2303    Max.   :2126    Max.   :2420    Max.   :2338    Max.   :2134
      V6          V7          V8          V9          V10
Min.   : 718    Min.   : 763    Min.   : 638    Min.   : 758    Min.   : 593
1st Qu.: 940    1st Qu.:1106    1st Qu.: 984    1st Qu.:1126    1st Qu.: 997
Median : 986    Median :1204    Median :1076    Median :1275    Median :1124
Mean   :1002    Mean   :1251    Mean   :1067    Mean   :1294    Mean   :1148
3rd Qu.:1068    3rd Qu.:1389    3rd Qu.:1158    3rd Qu.:1378    3rd Qu.:1344
Max.   :1511    Max.   :2322    Max.   :1664    Max.   :2913    Max.   :1838
> |

```

Figura 73. Ventana resumen numérico de predicción fecha 12 resumen numérico de todas_bandas

En una evaluación para dos años posterior al último de la base de datos disponible el modelo de simulación arroja como valor mínimo de 542 mm de precipitación en todo el espacio geográfico de la cuenca hidrográfica y un valor máximo de 2428 mm, los cuales pueden compararse con la base de datos disponibles los cuales están circunscrito dentro de esta, en el presente ensayo se evaluó un modelo de regresión lineal de grado superior que arrojaron resultados considerados alejados de la base de datos que se utilizó.

```

> #resumen numerico de prediccion3 y fecha 13
>
> summary(prediccion3)
  V1
Min.  : 415.3
1st Qu.:1112.0
Median :1307.7
Mean   :1297.5
3rd Qu.:1441.5
Max.   :2756.7
> summary(todas_bandas)|
  V1          V2          V3          V4          V5
Min.   :1161   Min.    : 687   Min.    : 950   Min.    :1076   Min.    : 859
1st Qu.:1382   1st Qu.:1008   1st Qu.:1183   1st Qu.:1285   1st Qu.:1101
Median :1458   Median :1128   Median :1237   Median :1370   Median :1228
Mean   :1486   Mean    :1166   Mean    :1308   Mean    :1408   Mean    :1256
3rd Qu.:1561   3rd Qu.:1366   3rd Qu.:1411   3rd Qu.:1490   3rd Qu.:1389
Max.   :2303   Max.    :2126   Max.    :2420   Max.    :2338   Max.    :2134
  V6          V7          V8          V9          V10
Min.   : 718   Min.    : 763   Min.    : 638   Min.    : 758   Min.    : 593
1st Qu.: 940   1st Qu.:1106   1st Qu.: 984   1st Qu.:1126   1st Qu.: 997
Median : 986   Median :1204   Median :1076   Median :1275   Median :1124
Mean   :1002   Mean    :1251   Mean    :1067   Mean    :1294   Mean    :1148
3rd Qu.:1068   3rd Qu.:1389   3rd Qu.:1158   3rd Qu.:1378   3rd Qu.:1344
Max.   :1511   Max.    :2322   Max.    :1664   Max.    :2913   Max.    :1838
> |

```

Figura 74. Ventana resumen numérico de predicción fecha 13 resumen numérico de todas_bandas

En una evaluación para tres años posterior al último de la base de datos disponible el modelo de simulación arroja como valor mínimo de 415,3 mm de precipitación en todo el espacio geográfico de la cuenca hidrográfica y un valor máximo de 2756,7 mm, los cuales pueden compararse con la base de datos disponibles los cuales están circunscrito dentro de esta, en el presente ensayo se evaluó un modelo de regresión lineal de grado superior que arrojaron resultados considerados alejados de la base de datos que se utilizó.

MODELO CARTOGRÁFICO DE SIMULACIÓN MATEMÁTICO DEL RÉGIMEN DE PRECIPITACIÓN PLUVIAL DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIO GUARAPICHE

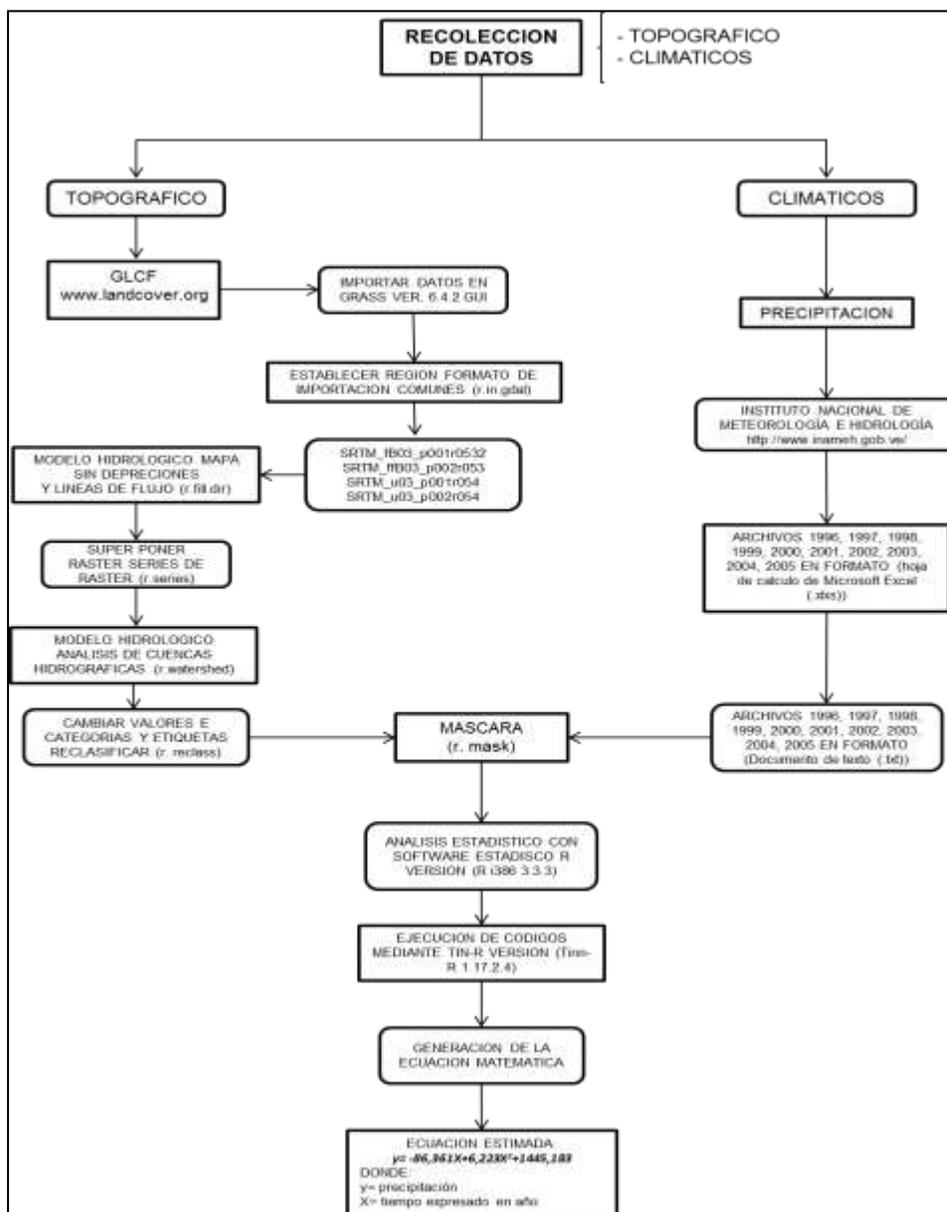


Figura 75. Modelo cartográfico que describe el proceso de simulación matemático del régimen de precipitación pluvial de la cuenca hidrográfica del río Guarapiche

En la Figura 75 se representa el modelo cartográfico que describe el proceso de simulación matemático del régimen de precipitación pluvial de la cuenca hidrográfica del río Guarapiche en el estado Monagas, usando el Sistemas de Información Geográfica (SIG), la cual señala la base de datos primarios, y los procesos que cada etapa contempla, los nombres de los mapas de entrada y los métodos que sobre ellos se ejecutan, y los mapas de salida que contienen los resultados de precipitación por año.

CONCLUSIONES

Basado en el análisis geo estadístico del comportamiento multi temporal de los modelos distribuidos de la precipitación pluvial de la cuenca hidrográfica del rio Guarapiche para el periodo 1996-2005 puede observarse que es posible afirmar que el mayor rango de precipitación ocurrió en la zona noreste de la cuenca mientras los menores rango de precipitación se pueden observar en el suroeste de la cuenca. El resto muestra una distribución relativamente uniforme de la precipitación.

El modelo de regresión lineal seleccionado para la predicción de la precipitación es de grado dos y tiene la forma $(y=-86,361X+6,223X^2+1445,183)$, donde “y” es la precipitación y “X” es tiempo expresado en año, con la finalidad de tener y aportar una herramienta que nos permita mediante el programa estadístico conocido como *software R* predecir el comportamiento sobre nuestra área de estudio. Basados en la base de datos disponibles se tomó en cuenta que al momento de predecir, se pueden obtener tres posible resultados de precipitación en donde puede aumentar, disminuir o mantenerse igual.

Se estableció un modelo cartográfico que orienta a la elaboración del modelo matemático de predicción de la precipitación pluvial de la cuenca hidrográfica del rio Guarapiche donde se presenta como insumo el modelo digital de elevación de la cuenca y los registro pluviométrico de las estaciones meteorológicas ubicadas en el área de influencia de la misma evaluándose la eficiencia de aplicación del mismo y constatando su funcionalidad.

REFERENCIAS

- Ataroff, M. y L. Sanchez. (1999). Precipitación, interacción y escorrentía en cuatro ambientes de la cuenca media del rio El Valle, estado Táchira, Venezuela, Táchira Venezuela, (Documento en línea). Disponible en: <http://www.ciens.ula.ve/icae/publicaciones/agroecologia/pdf/ataroff2000b.pdf> (Consultado: Febrero, 2017).
- Caballero, F. (2011). Selección de modelos mediante criterio de información en análisis factorial. Aspectos teóricos y computacionales, Granada, (Documento en línea). Disponible en: <https://hera.ugr.es/tesisugr/19964808.pdf> (Consultado: Noviembre, 2017).
- Cabrero, Y. y A. García. (2015). Análisis estadístico de datos especiales con QGIS y R, Madrid España, (Documento en línea). Disponible en: <https://books.google.co.ve/books?id=gYXtCgAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false> (Consultado: Octubre, 2016).
- Cisneros, J. (2011). Introducción a los sistemas de información geográfica, Documento en línea). Disponible en: http://cienciaconciencia.org.ve/wp-content/uploads/2011/06/intro_sig_unidad_2_2.pdf (Consultado: Febrero, 2017).
- Constitución de la República Bolivariana de Venezuela. (Gaceta Oficial Extraordinaria N° 5.453 de la República Bolivariana de Venezuela. Caracas, viernes 24 de marzo de 2000) (Consultado: Febrero, 2017).
- Díaz, M. (2002). Geoestadística Aplicada. Instituto de Geofísica y Astronomía, CITMA, Cuba. (Documento en línea). Disponible en: <http://mmc2.geofisica.unam.mx/cursos/geoest/GeoEstadistica.pdf> (Consultado: Febrero, 2017).
- Fondo Nacional para Edificaciones Penitenciarias (FONEP), (2008). Conceptos básicos de sistemas de información geográfica, (Documento en línea). Disponible en: <http://fonep.gob.ve/sig.php> (Consultado: Enero, 2017).

- García, F. (1995). Lecciones prácticas de cálculos numéricos, Madrid España, (Documento en línea). Disponible en: https://books.google.co.ve/books?id=PQx_gRBLH11YC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false (Consultado: Febrero, 2017).
- Hernández J. y L. Lanza. (2009). Concepto de manejo integral de cuencas hidrográficas, universidad de oriente núcleo de Anzoátegui escuela de ingeniería y ciencias aplicadas departamento de ingeniería civil, Barcelona Venezuela, (Documento en línea). Disponible en: <http://ri.bib.udo.edu.ve/bitstream/123456789/1015/1/TESIS.%20Concepto%20de%20manejo%20integral%20de%20cuencas%20hidrograficas.pdf> (Consultado: Febrero, 2017).
- Hernández N.; F. Soto, y A. Caballero. (2009). Modelos de simulación de cultivos: Características y usos, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, (Documento en línea). Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362009000100014&script=sci_abstract (Consultado: Enero, 2017).
- Ley de Aguas. (Gaceta Oficial N° 38.595 del 2 de enero de 2007). (Consultado: Febrero, 2017).
- Ley Orgánica de Ambiente (Gaceta Oficial Extraordinaria N° 5.833 de la República Bolivariana de Venezuela. Caracas, viernes 22 de diciembre de 2006) (Consultado: Febrero, 2017).
- Marcano L.; J. Quiroz (1969). Enseñanza e investigación a nivel de postgrado en ingeniería agrícola en américa latina, universidad nacional agraria la molina, Lima Perú, (Documento en línea). Disponible en: <https://books.google.co.ve/books?id=m5EgAQAAIAAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false> (Consultado: Enero, 2017).
- Ordoñez J. (2011). Cartilla técnica: ciclo hidrológico, Sociedad geográfica de Lima, Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2012-08841 Lima Perú, (Documento en línea). Disponible en: http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm_Files/Publicaciones/Varios/Ciclo_Hidrologico.pdf (Consultado: Enero, 2017).

- Ordoñez J. (2011). Cartilla técnica: aguas subterráneas - acuíferos, Sociedad geográfica de Lima, Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2012-08846 Lima Perú, (Documento en línea). Disponible en: <http://conselva.org/wp-content/uploads/2016/07/Ordo%C3%B1ez-G%C3%A1lves.-2011.-Qu%C3%A9-es-cuenca-hidrol%C3%B3gica-2.pdf> (Consultado: Febrero, 2017).
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (1969). Enseñanza e investigación a nivel de post-grado en ingeniería agrícola en América Latina, La Molina, Lima, Perú, (Documento en línea). Disponible en: <https://books.google.co.ve/books?id=m5EgAQAIAAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false> (Consultado: Enero, 2017).
- Ovalles, Y.; E. Méndez, y G. Ramírez. (2008). Ordenación de cuencas hidrográficas. Un reto al conocimiento, la acción y la gestión, Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Escuela de Ingeniería Forestal, Mérida Venezuela, (Documento en línea). Disponible en: http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/30290/1/nota_tecnica1.pdf (Consultado: Febrero, 2017).
- Rapallo, R. (2003). Utilización de Sistemas de Información Geográfica para la Seguridad Alimentaria Sostenible en Zonas Marginadas de Honduras, Nicaragua y Guatemala, universidad politécnica de Madrid escuela técnica superior de ingenieros agrónomos departamento de proyectos y planificación rural, Madrid España, (Documento en línea). Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/TC/TCA/ESP/pdf/rapallo/Bloque%20I.II.pdf> (Consultado: Febrero, 2017).
- Silva, O. (2009). Evaluación del Modelo de Simulación SWAT para la Producción de Agua en una Cuenca Hidrográfica Prioritaria de la Región Central de Venezuela. Caso: Cuenca Media del Río Pao, Maracay, Venezuela, (Documento en línea). Disponible en: <file:///C:/Documents%20and%20Settings/Administrador/Mis%20documentos/Downloads/SWAT%20Pao%20V3.1.pdf> (Consultado: Febrero, 2017).

- Soto, M. (2001). Calibración de dos modelos de simulación integral de cuenca, para la hoya hidrológica del río Purapel, estación Nirivilo, Talca, Chile, (Documento en línea). Disponible en: http://eias.entalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/tesis_de_grado/soto.pdf (Consultado: Febrero, 2017).
- Uriarte, R. (2003). Introducción al uso y programación del sistema estadístico R. (Documento en línea). Disponible en: <http://cran.r-project.org/doc/contrib/curso-R.Diaz-Uriarte.pdf>. (Consultado: Enero, 2017).
- Venables, W. y D. Smith. (2009). Un Ambiente de Programación de Análisis de Datos y gráficos. (Documento en línea). Disponible en: <http://www.r-project.org/>. (Consultado: Enero 2017).
- Villegas, P. (2013). Análisis Morfométrico de una cuenca, (Documento en línea). Disponible en: <http://www.aguaysig.com/2013/10/analisis-morfometrico-de-una-cuenca.html> (Consultado: Enero, 2017).

ANEXOS

Cuadro 1. Estaciones climatológicas, coordenadas de las mismas y datos de precipitación para el año 1996

Nombre de las Estaciones Climatológicas	Coordenadas Este	Coordenadas Norte	Valores de Precipitación anual (mm)
TIERRA BLANCA	439461,39	1131569,85	1786,7
CARIPE	443403,29	1123424,17	1606,1
CARIPITO	490261,29	1116930,88	2303,1
EL GUAMO	480216,78	1114324,47	1456,6
VIENTO FRESCO	426580,09	1080455,12	1249,3
SAN FELIX	429360,79	1100567,24	1161,3
MATURIN AEROPUERTO	479923,42	1079005,71	1356,7
AGUASAY	420100,54	1041922,64	1203,9
EL TEJERO	426247,78	1066481,05	1457,1
LA PINTA	405295,03	1096629,04	1524,9
SANTA RITA	494205,01	1035851,32	1208,7
LA CENTELLA	492217,83	1012357,91	1532,1
SAN JOSE DE BUJA	533075,84	1055213,32	1475,5
EL SILENCIO	520446,41	1014051,52	1410,2
ARAGUA DE MATURIN	446073,63	1102073,63	1356,5

Cuadro 2. Estaciones climatológicas, coordenadas de las mismas y datos de precipitación para el año 1997

Nombre de las Estaciones Climatológicas	Coordenadas Este	Coordenadas Norte	Valores de Precipitación anual (mm)
TIERRA BLANCA	439461,39	1131569,85	1347,8
CARIPE	443403,29	1123424,17	1132,9
CARIPITO	490261,29	1116930,88	2126,8
EL GUAMO	480216,78	1114324,47	1015,0
VIENTO FRESCO	426580,09	1080455,12	750,6
SAN FELIX	429360,79	1100567,24	687,8
MATURIN AEROPUERTO	479923,42	1079005,71	1504,0
AGUASAY	420100,54	1041922,64	1189,7
EL TEJERO	426247,78	1066481,05	890,3
LA PINTA	405295,03	1096629,04	1034,8
SANTA RITA	494205,01	1035851,32	1008,6
LA CENTELLA	492217,83	1012357,91	1062,0
SAN JOSE DE BUJA	533075,84	1055213,32	1272,0
EL SILENCIO	520446,41	1014051,52	1087,4
ARAGUA DE MATURIN	446073,63	1102073,63	1106,0

Cuadro 3. Estaciones climatológicas, coordenadas de las mismas y datos de precipitación para el año 1998

Nombre de las Estaciones Climatológicas	Coordenadas Este	Coordenadas Norte	Valores de Precipitación anual (mm)
TIERRA BLANCA	439461,39	1131569,85	1035,0
CARIPE	443403,29	1123424,17	1343,5
CARIPITO	490261,29	1116930,88	2420,1
EL GUAMO	480216,78	1114324,47	1348,0
VIENTO FRESCO	426580,09	1080455,12	1029,5
SAN FELIX	429360,79	1100567,24	950,8
MATURIN AEROPUERTO	479923,42	1079005,71	1179,6
AGUASAY	420100,54	1041922,64	1292,4
EL TEJERO	426247,78	1066481,05	1118,1
LA PINTA	405295,03	1096629,04	1486,9
SANTA RITA	494205,01	1035851,32	960,7
LA CENTELLA	492217,83	1012357,91	1260,5
SAN JOSE DE BUJA	533075,84	1055213,32	1301,7
EL SILENCIO	520446,41	1014051,52	1100,1
ARAGUA DE MATURIN	446073,63	1102073,63	1199,2

Cuadro 4. Estaciones climatológicas, coordenadas de las mismas y datos de precipitación para el año 1999

Nombre de las Estaciones Climatológicas	Coordenadas Este	Coordenadas Norte	Valores de Precipitación anual (mm)
TIERRA BLANCA	439461,39	1131569,85	2185,0
CARIPE	443403,29	1123424,17	1205,1
CARIPITO	490261,29	1116930,88	2338,6
EL GUAMO	480216,78	1114324,47	1272,4
VIENTO FRESCO	426580,09	1080455,12	1218,6
SAN FELIX	429360,79	1100567,24	1134,5
MATURIN AEROPUERTO	479923,42	1079005,71	1397,8
AGUASAY	420100,54	1041922,64	1527,2
EL TEJERO	426247,78	1066481,05	1372,5
LA PINTA	405295,03	1096629,04	1367,0
SANTA RITA	494205,01	1035851,32	1321,5
LA CENTELLA	492217,83	1012357,91	1516,2
SAN JOSE DE BUJA	533075,84	1055213,32	1366,2
EL SILENCIO	520446,41	1014051,52	1549,0
ARAGUA DE MATURIN	446073,63	1102073,63	1076,7

Cuadro 5. Estaciones climatológicas, coordenadas de las mismas y datos de precipitación para el año 2000

Nombre de las Estaciones Climatológicas	Coordenadas Este	Coordenadas Norte	Valores de Precipitación anual (mm)
TIERRA BLANCA	439461,39	1131569,85	1377,8
CARIPE	443403,29	1123424,17	1478,1
CARIPITO	490261,29	1116930,88	2134,7
EL GUAMO	480216,78	1114324,47	1061,3
VIENTO FRESCO	426580,09	1080455,12	945,0
SAN FELIX	429360,79	1100567,24	859,4
MATURIN AEROPUERTO	479923,42	1079005,71	1440,6
AGUASAY	420100,54	1041922,64	1016,7
EL TEJERO	426247,78	1066481,05	934,9
LA PINTA	405295,03	1096629,04	1323,2
SANTA RITA	494205,01	1035851,32	1113,7
LA CENTELLA	492217,83	1012357,91	3453,8
SAN JOSE DE BUJA	533075,84	1055213,32	1652,3
EL SILENCIO	520446,41	1014051,52	1049,3
ARAGUA DE MATURIN	446073,63	1102073,63	1024,2

Cuadro 6. Estaciones climatológicas, coordenadas de las mismas y datos de precipitación para el año 2001

Nombre de las Estaciones Climatológicas	Coordenadas Este	Coordenadas Norte	Valores de Precipitación anual (mm)
TIERRA BLANCA	439461,39	1131569,85	977,2
CARIPE	443403,29	1123424,17	990,0
CARIPITO	490261,29	1116930,88	1511,3
EL GUAMO	480216,78	1114324,47	938,0
VIENTO FRESCO	426580,09	1080455,12	861,0
SAN FELIX	429360,79	1100567,24	718,6
MATURIN AEROPUERTO	479923,42	1079005,71	1076,8
AGUASAY	420100,54	1041922,64	818,0
EL TEJERO	426247,78	1066481,05	861,8
LA PINTA	405295,03	1096629,04	1124,7
SANTA RITA	494205,01	1035851,32	749,5
LA CENTELLA	492217,83	1012357,91	1173,5
SAN JOSE DE BUJA	533075,84	1055213,32	1096,3
EL SILENCIO	520446,41	1014051,52	794,4
ARAGUA DE MATURIN	446073,63	1102073,63	996,6

Cuadro 7. Estaciones climatológicas, coordenadas de las mismas y datos de precipitación para el año 2002

Nombre de las Estaciones Climatológicas	Coordenadas Este	Coordenadas Norte	Valores de Precipitación anual (mm)
TIERRA BLANCA	439461,39	1131569,85	1334,3
CARIPE	443403,29	1123424,17	1203,9
CARIPITO	490261,29	1116930,88	2322,8
EL GUAMO	480216,78	1114324,47	1026,6
VIENTO FRESCO	426580,09	1080455,12	1088,6
SAN FELIX	429360,79	1100567,24	763,6
MATURIN AEROPUERTO	479923,42	1079005,71	1419,3
AGUASAY	420100,54	1041922,64	883,5
EL TEJERO	426247,78	1066481,05	982,1
LA PINTA	405295,03	1096629,04	1140,9
SANTA RITA	494205,01	1035851,32	1270,8
LA CENTELLA	492217,83	1012357,91	1230,7
SAN JOSE DE BUJA	533075,84	1055213,32	1544,1
EL SILENCIO	520446,41	1014051,52	1030,3
ARAGUA DE MATURIN	446073,63	1102073,63	1212,3

Cuadro 8. Estaciones climatológicas, coordenadas de las mismas y datos de precipitación para el año 2003

Nombre de las Estaciones Climatológicas	Coordenadas Este	Coordenadas Norte	Valores de Precipitación anual (mm)
TIERRA BLANCA	439461,39	1131569,85	1368,2
CARIPE	443403,29	1123424,17	1262,2
CARIPITO	490261,29	1116930,88	1664,1
EL GUAMO	480216,78	1114324,47	934,0
VIENTO FRESCO	426580,09	1080455,12	752,9
SAN FELIX	429360,79	1100567,24	638,4
MATURIN AEROPUERTO	479923,42	1079005,71	1117,8
AGUASAY	420100,54	1041922,64	715,8
EL TEJERO	426247,78	1066481,05	711,4
LA PINTA	405295,03	1096629,04	1224,6
SANTA RITA	494205,01	1035851,32	1075,7
LA CENTELLA	492217,83	1012357,91	1356,9
SAN JOSE DE BUJA	533075,84	1055213,32	1413,6
EL SILENCIO	520446,41	1014051,52	897,2
ARAGUA DE MATURIN	446073,63	1102073,63	1065,6

Cuadro 9. Estaciones climatológicas, coordenadas de las mismas y datos de precipitación para el año 2004

Nombre de las Estaciones Climatológicas	Coordenadas Este	Coordenadas Norte	Valores de Precipitación anual (mm)
TIERRA BLANCA	439461,39	1131569,85	1669,5
CARIPE	443403,29	1123424,17	3221,3
CARIPITO	490261,29	1116930,88	1251,3
EL GUAMO	480216,78	1114324,47	1022,0
VIENTO FRESCO	426580,09	1080455,12	758,8
SAN FELIX	429360,79	1100567,24	905,6
MATURIN AEROPUERTO	479923,42	1079005,71	1669,5
AGUASAY	420100,54	1041922,64	974,7
EL TEJERO	426247,78	1066481,05	893,3
LA PINTA	405295,03	1096629,04	1161,6
SANTA RITA	494205,01	1035851,32	920,5
LA CENTELLA	492217,83	1012357,91	862,1
SAN JOSE DE BUJA	533075,84	1055213,32	1452,6
EL SILENCIO	520446,41	1014051,52	890,5
ARAGUA DE MATURIN	446073,63	1102073,63	934,3

Cuadro 10. Estaciones climatológicas, coordenadas de las mismas y datos de precipitación para el año 2005

Nombre de las Estaciones Climatológicas	Coordenadas Este	Coordenadas Norte	Valores de Precipitación anual (mm)
TIERRA BLANCA	439461,39	1131569,85	1285,1
CARIPE	443403,29	1123424,17	1242,5
CARIPITO	490261,29	1116930,88	1838,0
EL GUAMO	480216,78	1114324,47	1245,2
VIENTO FRESCO	426580,09	1080455,12	999,0
SAN FELIX	429360,79	1100567,24	759,3
MATURIN AEROPUERTO	479923,42	1079005,71	1478,4
AGUASAY	420100,54	1041922,64	1031,4
EL TEJERO	426247,78	1066481,05	1150,3
LA PINTA	405295,03	1096629,04	1241,8
SANTA RITA	494205,01	1035851,32	1029,7
LA CENTELLA	492217,83	1012357,91	1133,9
SAN JOSE DE BUJA	533075,84	1055213,32	1392,9
EL SILENCIO	520446,41	1014051,52	713,9
ARAGUA DE MATURIN	446073,63	1102073,63	593,4

HOJAS METADATOS

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 1/6

Título	SIMULACIÓN MATEMÁTICA DEL RÉGIMEN DE PRECIPITACIÓN PLUVIAL DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIO GUARAPICHE
---------------	--

El Título es requerido. El subtítulo o título alternativo es opcional.

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Suarez Aranguren Orlando	CVLAC	C.I: 18.908.692
José	e-mail	Aaramones47@gmail.com
	CVLAC	C.I:
	e-mail	

Se requiere por lo menos los apellidos y nombres de un autor. El formato para escribir los apellidos y nombres es: "Apellido1 InicialApellido2., Nombre1 InicialNombre2". Si el autor esta registrado en el sistema CVLAC, se anota el código respectivo (para ciudadanos venezolanos dicho código coincide con el numero de la Cedula de Identidad). El campo e-mail es completamente opcional y depende de la voluntad de los autores.

Palabras o frases claves:

simulación
mapas
cuenca
grass gis
cuenca
tesis de grado

El representante de la subcomisión de tesis solicitará a los miembros del jurado la lista de las palabras claves. Deben indicarse por lo menos cuatro (4) palabras clave.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Sub-área
Tecnología y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Agronómica

Debe indicarse por lo menos una línea o área de investigación y por cada área por lo menos un sub área. El representante de la subcomisión solicitará esta información a los miembros del jurado.

Resumen (Abstract):

El presente trabajo se llevó a cabo con la finalidad de diseñar un modelo de simulación aplicable al régimen de precipitación pluvial de la cuenca hidrográfica del río Guarapiche. Para ello se utilizó el programa *Grass Gis versión 6.4.2 GUI* como instrumento principal para facilitar el manejo, procesamiento y análisis de datos topográficos y climáticos. Mediante el empleo de técnicas y métodos de análisis espacial, se obtuvo como resultado una serie de datos exportado del mismo, los cuales fueron utilizados posteriormente en el programa estadístico *software R versión R i386 3.3.3* con la finalidad de obtener la regresión lineal aplicable a la cuenca hidrográfica del río Guarapiche. El resultado de esta investigación es un sistema dinámico que obedece a una función matemática en el que a partir de datos bases de precipitación por año permitirán simular la misma en años futuros.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
MSc. Víctor Malavé	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	C.I. 8.895.244
	e-mail	victorhugomalave@gmail.com
Dr. Ángel Martínez	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	C.I. 3.172.672
	e-mail	Angel1639@hotmail.com
MSc. Nadiezhda López	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	C.I 16.807.661
	e-mail	maturinster@gmail.com

Se requiere por lo menos los apellidos y nombres del tutor y los otros dos (2) jurados. El formato para escribir los apellidos y nombres es: "Apellido1 InicialApellido2., Nombre1 InicialNombre2". Si el autor esta registrado en el sistema CVLAC, se anota el código respectivo (para ciudadanos venezolanos dicho código coincide con el numero de la Cedula de Identidad).. La codificación del Rol es: CA = Coautor, AS = Asesor, TU = Tutor, JU = Jurado.

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2018	01	26

Fecha en formato ISO (AAAA-MM-DD). Ej: 2005-03-18. El dato fecha es requerido.

Lenguaje: spa Requerido. Lenguaje del texto discutido y aprobado, codificado usando ISO 639-2. El código para español o castellano es spa. El código para ingles en. Si el lenguaje se especifica, se asume que es el inglés (en).

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo
NMOTTG_SAOJ2018

Caracteres permitidos en los nombres de los archivos: **A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 _ - .**

Alcance:

Espacial: _____ (opcional)

Temporal: _____ (opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo:

Ingeniero Agrónomo

Dato requerido. Ejemplo: Licenciado en Matemáticas, Magister Scientiarum en Biología Pesquera, Profesor Asociado, Administrativo III, etc

Nivel Asociado con el trabajo: Ingeniería

Dato requerido. Ejs: Licenciatura, Magister, Doctorado, Post-doctorado, etc.

Área de Estudio:

Tecnología y ciencias aplicadas

Usualmente es el nombre del programa o departamento.

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

Universidad de Oriente Núcleo Monagas

Si como producto de convenciones, otras instituciones además de la Universidad de Oriente, avalan el título o grado obtenido, el nombre de estas instituciones debe incluirse aquí.

Hoja de metadatos para tesis y trabajos de Ascenso- 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN°0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI - 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

RECIBIDO POR 
FECHA 5/8/09 HORA 5:20 PM

Cordialmente,

JUAN A. BOLANOS CURREL
Secretario



C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YOC/manaja

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 6/6
Derechos:

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicado CU-034-2009): "Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad, y solo podrán ser utilizados a otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo Respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización."



ORLANDO JOSE SUAREZ ARANGUREN

Autor



ING. VICTOR MALEVE

Asesor