UNIVERSIDAD DE ORIENTE

NÚCLEO DE MONAGAS

ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

MODELO GEOESTADÍSTICO DE LA DEMANDA NETA DE RIEGO PARA CULTIVOS HORTÍCOLAS EN LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO GUARAPICHE, ESTADO MONAGAS.

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO POR

VIVIAN MARIA DELVALLE ANDUJAR LEZAMA

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO AGRÓNOMO

Maturín, abril 2018

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS

ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
SUB-COMISIÓN DE TRABAJO DE GRADO

ACTA DE EVALUACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO

CTG-EIA-IA- 2018

MODALIDAD: TESIS DE GRADO

ACTA N° 1873

En Maturín, siendo las **10:00** (**a.m.**) del día **13** de **abril** del **2018** reunidos en la Sala de Economía Agrícola *Campus*: **Los Guaritos** del Núcleo de Monagas de la Universidad de Oriente, los miembros del jurado profesores: **Víctor Malavé** (Asesor Académico), **Nelson José Montaño Mata** (Jurado), **José Alexander Gil Marín** (Jurado). A fin de cumplir con el requisito parcial exigido por el Reglamento de Trabajo de Grado vigente para obtener el Título de ***Ingeniero Agrónomo,*** *se procedió a la presentación del Trabajo de Grado,* titulado: **"MODELO GEOESTADÍSTICO DE LA DEMANDA NETA DE RIEGO PARA CULTIVOS HORTÍCOLAS EN LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO GUARAPICHE, ESTADO MONAGAS."** Por la Bachiller: **VIVIAN MARIA DELVALLE ANDUJAR LEZAMA, C.I: 20.564.639**. El jurado, luego de la discusión del mismo acuerdan calificarlo como:

APROBADO

Prof. **Nelson José Montaño Mata**. Dr.
C.I.: 4.505.457
Jurado

Prof. **José Alexander Gil Marín**. Dr.
C.I.: 8.469.845
Jurado

Prof. **Víctor Malavé**. MSc.
C.I.: 8.895.244
Asesor Académico

Prof. **Nelson José Montaño Mata**. Dr.
C.I.: 4.505.457
Sub-Comisión de Trabajo de Grado

Prof. **Jesús Acosta**. MSc.
C.I.: 11.005.240
Jefe de Departamento (E)

Según establecido en resolución de Consejo Universitario N° 934/2009 de fecha 11/06/2009 y Artículo 13 Literal J del Reglamento de Trabajo de Grado de la Universidad de Oriente. *NOTA: Para que esta acta tenga validez debe ser asentada en la hoja N°- XXX del XX° libro de Actas de Trabajos de Grado del Departamento de Ingeniería de Agronómica, EIA de la Universidad de Oriente y estar debidamente firmada por el (los) asesor (es) y miembros del jurado.

DEL PUEBLO VENIMOS / HACIA EL PUEBLO VAMOS

DEDICATORIA

Al culminar esta carrera es un honor y un grato orgullo dedicar mi trabajo de grado a un ser maravilloso que se plació en crearme y darme la vida, ser especial, digno de gloria y honra, extraordinario y sobrenatural, mi PADRE y AMIGO fiel "DIOS", que nunca me abandona, que está conmigo en las buenas y en las malas, que me instruye y me guía, me protege, me llena de su paz, amor, vida y salud.

A una mujer extraordinaria: Aides María Marcano Rosal mi abuela, amiga, mi héroe, mi ejemplo a seguir quien marco mi vida, me inculco los mejores valores, gracias a ella y a todo lo que me enseño hoy me siento orgullosa de quien soy, TE EXTRAÑO mi vieja siempre estarás presente en mi vida, TE AMO.

A el hombre más importante de mi vida ABRAHAM JOSUE GOITIA ANDUJAR mi hijito precioso, mi primogénito, mi tesoro más preciado, mi compañero quien ha sido y es mi motivación, inspiración, felicidad, mi motivo de lucha y superación.

Vivian María Delvalle Andújar Lezama

"Solo entendemos el milagro de la vida cuando permitimos que pase lo inesperado"

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco con todo mi corazón al **Padre, Hijo y Espíritu Santo**, porque sin ellos el logro de esta gran meta no hubiese sido posible, a ti Padre celestial por ser mi luz y mi pastor, a ti Jesús por ser mi fiel amigo, y a ti Espíritu Santo por ser mi consolador cuando más lo necesito.

A mi abuela, madre, amiga, y confidente **Aides María Marcano Rosal** por su apoyo, amor, comprensión, consejos y por la confianza que deposito en mí cuando todos me dieron la espalda, gracias mi héroe por creer que esta meta algún día se haría realidad, mi triunfo es tuyo lo que soy es gracias a ti porque todo lo que sé, tú me lo enseñaste y sé que donde quiera que estés te sientes orgullosa de tu nieta.

Al hombre que pone mi mundo maravillosamente de cabeza, que me motiva y me inspira a luchar cuando ya me siento sin fuerzas mi hijo bello **Abraham Josué Goitia Andujar.**

A la Universidad de Oriente, mi segundo hogar por permitirme formar parte de su gran casa de estudios para mi crecimiento personal y profesionalmente.

A la Escuela de Agronomía, y a todos sus docentes por haber contribuido con mi formación profesional.

A MIS PROFESORES, PADRES, AMIGOS Y COLEGAS VÍCTOR HUGO MALAVÉ Y MARÍA ÁNGELA DÍAZ D´ARTHENAY, por tenerme tanta, tanta, tannnnnta paciencia, haberme permitido ser su tesista, por sus valiosos conocimientos aportados y el apoyo brindado, tiempo dedicado, disponibilidad y

valiosas contribuciones para la exitosa culminación; sinceramente estaré eternamente agradecida, los admiro y respeto muuuuuuuuuuuuuchisimo, se les quiere.

A todos los que forman parte de mi familia, gracias por formar parte de mi vida, por su apoyo, consejos, valores, ejemplo de perseverancia y constancia que los caracterizan y que me inculcaron siempre y que me han permitido ser una mejor persona.

A todos mis amigos y amigas en especiales a Astrid Astudillo, Dimas Ramírez, Albanis Ortega, Katerin Maita, Evelis Fuentes y Alberlinys Aguilera por el apoyo brindado a lo largo de estos años y los sacrificios que han hecho para colaborar para el cumplimiento de mis metas, por su comprensión en todo momento, porque a pesar de las circunstancias y las adversidades han sabido comprenderme y nunca me han fallado.

A mi Prof. María Silva, una persona que de manera muy especial me brindo su ayuda y su apoyo incondicional, me abrió las puertas de su institución brindándome la oportunidad de estudiar y trabajar, creer en mi cuando más nadie lo hizo, GRACIAS mi más profundo agradecimiento y respeto.

Vivian María Delvalle Andújar Lezama

INDICE GENERAL

DEDICATORIA ..... **iii**
AGRADECIMIENTOS ..... **iv**
INDICE GENERAL ..... **vi**
LISTA DE CUADROS ..... **ix**
LISTA DE FIGURAS ..... **x**
RESUMEN ..... **xii**
SUMMARY ..... **xiii**
INTRODUCCIÓN **1**
OBJETIVOS **3**
OBJETIVO GENERAL 3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS 3
MARCO TEÓRICO **4**
ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN 4
ESTADO MONAGAS 6
CUENCA DEL RÍO GUARAPICHE 6
DESCRIPCIÓN DEL CULTIVO 8
Cultivo de ají (Capsicum chinenses Jacq.) 8
Cultivo de berenjena (Solanum melongena L.) 9
Cultivo de tomate (Lycopersicum esculentum Mill) 10
Cultivo de pimentón (Capsicum annuum L.) 11
SUELO 12
PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS 12
Textura 12
Agua en el Suelo 14
CONSTANTES HÍDRICAS DEL SUELO 15
Punto de marchitez permanente 15
La capacidad de campo 16
El agua aprovechable 16
EVAPOTRANSPIRACIÓN 17
COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc) 18
RIEGO 19
Frecuencia de riego 19
Necesidades de riego 20
Necesidades netas 20
Necesidades totales 21
Demanda neta de riego 21
CROPWAT 8.0 23
SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION (SRTM) 24
SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) 24

Importancia de los Sistemas de Información Geográfica 25
INTERPOLACIÓN 25
MÉTODOS DIRECTOS DE INTERPOLACIÓN 26
MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL (MED ó DEM) 26
GRASS (Geographic Resources Analysis Support System) 27
MARCO METODOLÓGICO 29
ÁREA DE ESTUDIO 29
TIPO DE INVESTIGACIÓN 30
EQUIPOS UTILIZADOS PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN 30
ESQUEMA METODOLÓGICO 31
Fase I. Recolección de información preliminar 31
Modelo Topográfico de Radar Aerotransportado (SRTM) 31
Información climática 33
Información edafológica 33
Fase II. -Procesamiento cartográfico de la información básica 33
Creación de un Directorio, una Location y un mapaset en Grass GIS 33
Carga y visualización de imágenes satelitales 34
Tratamiento previo de imágenes satelitales 34
Delimitación de la cuenca hidrográfica como espacio de trabajo 35
Manejo cartográfico de la base de datos edafoclimática 37
Fase III. -Procesamiento de datos 38
Cálculo de la Evapotranspiración Real (ETR= PE – S) 39
Cálculo de la precipitación efectiva (PE) 39
Cálculo de la capacidad de almacenamiento del agua en el suelo (S) 40
Cálculo de la evapotranspiración real (ETr) 41
Cálculo de la evapotranspiración de referencia (ETo) y evapotranspiración del cultivo (ETc) 41
Cálculo de la demanda neta de riego 42
RESULTADOS Y DISCUSIONES 43
MODELO DISTRIBUIDO DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL EFECTIVA SOBRE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO GUARAPICHE. 43
CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE AGUA EN LOS SUELOS EN LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RIO GUARAPICHE 47
Lámina neta del cultivo de ají (Capsicum chinenses Jacq) 49
Lámina neta del cultivo de tomate (Lycopersicum esculentum Mill) 50
Lámina neta del cultivo de berenjena (Solanum melongena L.) 51
Lámina neta del cultivo de pimentón (Capsicum annuum L.) 52
Lámina neta de los cultivos hortícolas 53
EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL DE CUATRO CULTIVOS HORTÍCOLAS (ají (Capsicum chinenses), TOMATE (Lycopersicum esculentum Mill.), BERENJENA (Solanum melongena L.), Y PIMENTÓN

(Capsicum annuum L.), A PARTIR DE LA ECUACIÓN DE PENMAN-MONTEITH (FAO-PM). 54
Evapotranspiración real del cultivo de ají (Capsicum chinenses) 54
Evapotranspiración real tomate (Lycopersicum esculentum Mill)..... 55
Evapotranspiración real berenjena (Solanum melongena L.)..... 56
Evapotranspiración real pimentón (Capsicum annuum L.) 57
Evapotranspiración real para cultivos hortalizas 58
REPRESENTACIONES CARTOGRÁFICAS BAJO EL ENFOQUE DE UN MODELO DISTRIBUIDO, LAS NECESIDADES DE AGUA PARA EL DESARROLLO DE AJÍ (*Capsicum chinenses*), TOMATE (*Lycopersicum esculentum* Mill), BERENJENA (*Solanum melongena* L.), Y PIMENTÓN (*Capsicum annuum* L.), EN LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO GUARAPICHE 60
Necesidades de agua para el desarrollo del cultivo de ají (Capsicum chinenses) 61
Necesidades de agua para el desarrollo del cultivo de berenjena (Solanum melongena L.) 64
Necesidades de agua para el desarrollo del cultivo de pimentón (Capsicum annuum L.)..... 67
Necesidades de agua para el desarrollo del cultivo de tomate (Lycopersicum esculentum Mill)..... 70
Necesidades de agua para el desarrollo del cultivo hortícolas 73
CONCLUSIONES..... 76
REFERENCIAS..... 79
ANEXOS..... 83
HOJAS METADATOS..... 110

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación textural..... 13
Cuadro 2. Relación de la textura del suelo con los parámetros de riego: capacidad de campo, punto de marchitez permanente y lámina de agua útil. 14
Cuadro 3. Promedios mensual de precipitación efectiva (mm) arrojados por el Cropwat de las estaciones climatológicas bajo estudio del estado Monagas. 45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación relativa de la cuenca del rio Guarapiche, estado Monagas. 29
Figura 2. Mapa promedio de precipitación efectiva mensual de la cuenca alta y media del rio Guarapiche del estado Monagas. 46
Figura 3. Mapa con el agua útil o agua económicamente aprovechable de la cuenca alta y media del rio Guarapiche del estado Monagas. 48
Figura 4. Mapa de lámina neta o agua económicamente aprovechable para el cultivo de ají (*Capsicum chinenses*) de la cuenca alta y media del rio Guarapiche del estado Monagas. 49
Figura 5. Mapa de lámina neta o agua económicamente aprovechable para el cultivo de tomate *(Lycopersicum esculentum* Mill) de la cuenca alta y media del rio Guarapiche del estado Monagas. 50
Figura 6. Mapa de lámina neta o agua económicamente aprovechable para el cultivo de berenjena (*Solanum melongena* L.) de la cuenca alta y media del rio Guarapiche del estado Monagas. 51
Figura 7. Mapa de lámina neta o agua económicamente aprovechable para el cultivo de pimentón (*Capsicum annuum* L.) de la cuenca alta y media del rio Guarapiche del estado Monagas. 52
Figura 8. Mapa de lámina neta o agua económicamente aprovechable para hortalizas en la cuenca alta y media del rio Guarapiche del estado Monagas. 53
Figura 9. Mapa de evapotranspiración real del cultivo de ají (*Capsicum chinenses*) de la cuenca alta y media del rio Guarapiche del estado Monagas. 55
Figura 10. Mapa de evapotranspiración real del cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) de la cuenca alta y media del rio Guarapiche del estado Monagas. 56
Figura 11. Mapa de evapotranspiración real del cultivo de berenjena (*Solanum melongena* L.) de la cuenca alta y media del rio Guarapiche del estado Monagas. 57
Figura 12. Mapa de evapotranspiración real del cultivo de pimentón (*Capsicum annuum* L.) de la cuenca alta y media del rio Guarapiche del estado Monagas. 58
Figura 13. Mapa de evapotranspiración real para cultivos hortícolas en la cuenca alta y media del rio Guarapiche del estado Monagas. 59
Figura 14. Mapas de la demanda neta de riego para el cultivo de ají (*Capsicum chinenses*) en la etapa inicial, media y final, en la cuenca alta y media del rio Guarapiche del estado Monagas. 63

Figura 15. Mapas de la demanda neta de riego para el cultivo de berenjena (*Solanum melongena* L.) en la etapa inicial, media y final, en la cuenca alta y media del rio Guarapiche del estado Monagas..... 66
Figura 16. Mapas de la demanda neta de riego para el cultivo de pimentón (*Capsicum annuum* L.) en la etapa inicial, media y final, en la cuenca alta y media del rio Guarapiche del estado Monagas..... 69
Figura 17. Mapas de la demanda neta de riego para el cultivo de tomate (Lycopersicum esculentum Mill) en la etapa inicial, media y final, en la cuenca alta y media del rio Guarapiche del estado Monagass. 72
Figura 18. Mapas de la demanda neta de riego para los cultivos hortícolas en la etapa inicial, media y final, en la cuenca alta y media del rio Guarapiche del estado Monagas..... 75

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

MODELO GEOESTADÍSTICO DE LA DEMANDA NETA DE RIEGO PARA CULTIVOS HORTÍCOLAS EN LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO GUARAPICHE, ESTADO MONAGAS.

Autor:
Vivian María Delvalle Andujar Lezama

Asesor:
Ing. Agr. Víctor Malavé

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue diseñar un Geodatabase para cuantificar la demanda neta de riego para cultivos hortícolas tales como: tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.), berenjena (*Solanum melongena* L.), ají (*Capsicum chinenses.)* y pimentón (*Capsicum annuum* L. *)* en la cuenca alta y media del río Guarapiche mediante modelos geoestadísticos del tipo distribuido, basándose en un Modelo Digital de Terreno Superficial, usando la variable climática de temperatura mínima, temperatura máxima, precipitación y de suelo la textura, toda esta información fue generada, procesada y manejada en un entorno de trabajo SIG, basado en una Geodatabase. Mediante métodos de análisis espacial, se obtuvo como resultado una serie de mapas que permite visualizar el comportamiento para cada variable en estudio. Obteniendo la distribución de la precipitación efectiva mínimas categorizadas como meses secos los meses de febrero, marzo y abril y los meses lluviosos los meses de junio julio y agosto, las precipitaciones mínimas se reflejan en el municipio Cedeño, y las precipitaciones máximas predominan en los municipios Maturín y Punceres. La cuenca presenta sitios con distintas capacidades para retener agua por lo que las estrategias de riego serán diferentes. La mayor evapotranspiración del cultivo ocurre en la fase media con valor de 17.97 cm y la menor evapotranspiración del cultivo ocurre en la etapa inicial con valor de 8.28 cm. La mayor demanda se encuentra en los municipios Acosta, Piar y norte del municipio Cedeño disminuyendo en el centro de este municipio con un leve incremento hacia el municipio Ezequiel Zamora, mientras que la menor demanda de riego se presenta hacia los municipios Punceres y Maturín.

Palabras Claves: Geodatabase. Sistema de Información geográfica (SIG), demanda neta de riego (DNR), lámina neta, evapotranspiración.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

GEOSTATISTIC MODEL OF NET DEMAND FOR IRRIGATION FOR HORTICULTURAL CROPS IN THE HIGH AND AVERAGE BASIN OF THE RIVER GUARAPICHE, STATE MONAGAS.

Author: Vivian María Delvalle Andujar Lezama

Advisor: Ing. Agr. Víctor Malavé

SUMMARY

The objective of this work was to design a Geodatabase to quantify the net irrigation demand for horticultural crops such as: tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.), Eggplant (*Solanum melongena* L.), chili pepper (*Capsicum chinenses.*) And paprika (*Capsicum annuum* L.) in the upper and middle basin of the Guarapiche river using geostatistical models of the distributed type, based on a Digital Model of Surface Soil, using the climatic variable of minimum temperature, maximum temperature, precipitation and soil texture, all this information was generated , processed and managed in a GIS work environment, based on a Geodatabase. Using spatial analysis methods, we obtained as a result a series of maps that allows us to visualize the behavior for each variable under study. Obtaining the distribution of effective precipitation minimum categorized as dry months the months of February, March and April and the rainy months the months of June July and August, minimum rainfall is reflected in the municipality Cedeño, and maximum rainfall prevails in municipalities Maturín and Punceres. The basin has sites with different capacities to retain water, so the irrigation strategies will be different. The highest evapotranspiration of the crop occurs in the middle phase with a value of 17.97 cm and the lowest evapotranspiration of the crop occurs in the initial stage with a value of 8.28 cm. The greatest demand is found in the Acosta, Piar and northern municipalities of the Cedeño municipality, decreasing in the center of this municipality with a slight increase towards the Ezequiel Zamora municipality, while the lower demand for irrigation occurs towards the municipalities of Punceres and Maturín.

Keywords: Geodatabase, Geographic Information System (GIS), net irrigation demand (DNR), net sheet, evapotranspiration.

INTRODUCCIÓN

El rápido crecimiento de la población mundial ha hecho que el empleo del agua sea de vital importancia, particularmente para aumentar la producción alimentaria; por ser este recurso hídrico uno de los factores naturales y ambientales que más incide sobre el desarrollo de los cultivos, es importante controlar su uso para asegurar la productividad, sobre todo en las regiones con suelos de calidad.

La disponibilidad de agua en el suelo es el factor restrictivo principal para el crecimiento y desarrollo de los cultivos en período de sequía. La falta de agua, durante las etapas de crecimiento en las que se definen los componentes principales del rendimiento de los cultivos, causa importantes pérdidas sobre la producción. Cabe destacar que, el contenido de agua necesario durante el período crítico de un cultivo, es mayor al requerido en el resto de su ciclo fenológico. Cuando el volumen de agua en el suelo, durante el período crítico, no alcanza un determinado porcentaje de agua disponible, podría afectar negativamente el rendimiento potencial de los cultivos.

El avance en las tecnologías de la información da una serie de conocimientos que facilita el proceso de toma de decisiones, lo que permite promover el empleo del procedimiento marcado en tecnología de última generación de procesamiento de base de datos como lo son: los SIG (Sistemas de Información Geográfica), la Teledetección, y GPS (sistema de posicionamiento global). Tres disciplinas que permiten adquirir una información de manera muy completa, con Teledetección y GPS se obtienen los datos y con SIG se procesan. Esto permite ampliar conocimientos de manera que tengan una variada gama de opciones de desarrollo profesional.

En atención a esto, se presenta esta investigación con la intención de brindar a los usuarios (entes públicos y privados, productores agrícolas, así como investigadores y estudiantes que se preparan en el sector de producción agrícola) la información geográfica sobre requerimiento hídrico de una importante zona del estado Monagas, en una base de datos que permita la sistematización y óptimo manejo de la información; estas facilidades redundarán en un mejor desempeño en la gestión de la cuenca del río Guarapiche del estado Monagas, ofreciendo una herramienta muy versátil e importante en cuanto al riego y la toma de decisiones sobre los recursos naturales.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Cuantificar la demanda neta de riego para cultivos hortícolas en la cuenca alta y media del río Guarapiche mediante modelos geoestadísticos del tipo distribuido.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Generar el modelo distribuido de la precipitación pluvial efectiva sobre la cuenca alta y media del río Guarapiche con el método del Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.
- Cuantificar la capacidad de almacenamiento de agua en los suelos de la cuenca alta y media del río Guarapiche utilizando técnicas de interpolación geoestadística.
- Calcular la evapotranspiración real de cuatro cultivos hortícolas (ají (*Capsicum chinenses* Jacq.), tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.), berenjena (*Solanum melongena* L.), y pimentón (*Capsicum annuum* L.), a partir de la ecuación de Penman-Monteith (FAO-PM).
- Describir, a través de representaciones cartográficas bajo el enfoque de un modelo distribuido, las necesidades de agua para el desarrollo de ají (*Capsicum chinenses* Jacq.), tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill), berenjena (*Solanum melongena* L.), y pimentón (*Capsicum annuum* L.), en la cuenca alta y media del río Guarapiche.

MARCO TEÓRICO

ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Para una investigación es necesario tener antecedentes relacionados con el tema que se está tratando, por esa razón se toma en cuenta a Fuentes (2004), el cual realizó un estudio donde se obtuvieron y analizaron parámetros morfométricos de las cuencas del parque nacional Pico de Tancítaro, en México. El estudio fue realizado por el Instituto Nacional de Ecología (INE) ayudando a establecer las bases hidrológicas del análisis ambiental en el Pico de Tancítaro con miras a la planeación y ordenamiento del parque nacional. Se realizó una división en cuencas hidrológicas y se aplicaron y compararon un total de seis índices hidrológicos y nueve parámetros hidrológicos a esto se compararon entre si cada una de las cuencas obteniéndose clases de valores para homogeneizar los datos y así generar el análisis correspondiente de cada cuenca.

Por otra parte, Ramírez y Valenzuela (1998), afirman que la utilidad de conocer los períodos sensibles del cultivo al déficit hídrico, radica en su uso como una herramienta en la toma de decisiones. Con los resultados obtenidos se llegó a la conclusión que de este modo, es posible administrar el recurso hídrico en períodos de escasez, asignando el agua acorde al estado fenológico de los diferentes cultivos, de manera de minimizar los daños en la producción.

Brito (1996), en su trabajo experimental, realizado en el sistema de riego "Santa Elena de las Piñas" del Valle del río Guarapiche en una parcela perteneciente a la organización campesina "El Anauco", estudio el efecto de 3 frecuencias de riego para 4 cultivares de maní. El análisis económico mostró que el tratamiento FR-9 días con el cultivar India-39 produjo el mayor ingreso neto. Se encontraron valores de mayor

evapotranspiración actual diaria (ETA) para los tratamientos con mayor disponibilidad de agua.

Albornoz (1980), cálculo de la demanda neta de riego en Monagas y zonas circunvecinas; analizando datos climatológicos de diferentes zonas del estado Monagas y otras localidades seleccionadas, a fin de establecer criterios para cálculos de rendimientos determinando las demandas de riego de 53 estaciones climatológicas ubicadas en el estado Monagas y algunas zonas circunvecinas, usando las fórmulas desarrolladas por Freddy Rondón para el cálculo de evapotranspiración, evaporación y precipitación las calculó usando, e indica que el periodo seco oscila en los meses de enero hasta abril mientras que el periodo de lluvia entre mayo hasta septiembre u octubre, siendo las estaciones de san Félix y Temblador las que registran precipitación efectiva menor con un valor anual de 719.0 mm. También concluyo que la época de riego propiamente dicha va de diciembre hasta mayo, donde los requerimientos netos de riego (déficit), son sumamente elevados indicando con esto que a pesar de que en algunas zonas llueva, esta no es suficiente para satisfacer la demanda de los cultivos aun en mínima porción. En cuanto al requerimiento de riego en función a los índices de humedad disponible dice que a medida que el nivel de probabilidad se hace más exigente, disminuye la precipitación probable y el índice de humedad disponible aumentando el déficit, mientras que la evapotranspiración se mantiene constante, siendo la zona de temblador con menor requerimiento de riego.

Torrealba y Rodríguez (2012), en su trabajo de investigación “Diseño de una geodatabase para el análisis morfométrico de las cuencas hidrográficas del estado Monagas año 2011”, trabajaron en un entorno de trabajo SIG (Sistema de Información Geográfica) y con el software Grass Gis, explican y afirman que tanto el SIG como el Grass Gis les facilitó el cálculo y realización de su trabajo de investigación, además, concluyen que el análisis en su mayoría, las cuencas

hidrográficas del estado Monagas mantienen óptimos niveles en cuanto a densidad y disponibilidad de agua.

ESTADO MONAGAS

El estado Monagas posee una superficie de 28.900 km^2, el cual representa el 3,17% del territorio nacional, limita al Norte con el estado Sucre, al Sur con los estados Bolívar y Anzoátegui, al Este con el estado Delta Amacuro, y al Oeste con el estado Anzoátegui. Su capital es Maturín y sus principales ciudades son: Temblador, Caripito, Caicara de Maturín, Jusepín, San Antonio (INE, 2013).

Sigue explicando que Monagas dispone de una importante red hidrográfica que nace en el macizo del Turimiquire (río Amana, río San Juan y sus afluentes) y en las mesetas del centro y el sur (ríos Guanipa, El Tigre y Uracoa). Esa red drena hacia el océano Atlántico mediante dos vertientes; una que escurre directamente al mar y otra que corre hacia el río Orinoco. A la vertiente del océano Atlántico pertenece la cuenca el río San Juan con el río Guarapiche y el Caripe, principales abastecedores de agua de las poblaciones del Norte del estado.

CUENCA DEL RÍO GUARAPICHE

En el estado Monagas, existen numerosos ríos de poca profundidad que pueden ser divididos en dos cuencas principales. La primera que le recorre de norte a sur, se conoce como la cuenca del río San Juan. Aquí se destaca el río Guarapiche, que nace en la montaña y que junto a los ríos San Juan y Caripe se convierten en los principales abastecedores de agua de la región. La segunda la conforman los ríos Amana y Punceres, nacen en el macizo del Turimiquire, provenientes del estado Anzoátegui y completan esta cuenca río Colorado y río de Oro (Bermúdez, 2009).

De igual manera sigue explicando que la disponibilidad promedio de agua del estado se encuentra alrededor de los 3.840 millones de m^3, provenientes casi en su totalidad del valle del río Guarapiche, donde se encuentra el embalse de el Guamo, el cual le provee a Monagas abundantes recursos hídricos, que son aprovechados para la construcción de un sistema de riego y la planificación de zonas de saneamiento para el control de las inundaciones.

Por otra parte Rondón (2008), habla que el río Guarapiche nace en la quebrada Monte Bonito, en el cerro Pabellón, del sistema montañoso del Turimiquire, en la parte Noreste del estado Monagas, a una altitud de mil cien metros sobre el nivel del mar (1100 m.s.n.m), a este confluyen los ríos Colorado, Guatatal, río de Oro y Aragua, conformando una cuenca hidrográfica con trescientos veinticuatro mil cuatrocientos treinta y ocho (324.438) hectáreas, recorriendo tres municipios: Acosta, Cedeño y Maturín. Se calculan que doscientas cincuenta mil (250.000) personas viven a sus márgenes, en el caso específico del municipio Cedeño, sirve a los agricultores para el riego de las siembras de maíz, hortalizas, realizar pesca; proporciona agua para el consumo humano a los habitantes del pueblo de Caicara, San Félix, y caseríos de los Cardones y Guarapiche.

Sigue explicando que el valle que forma el río, se caracteriza por poseer una vegetación muy variada, formaciones arborescentes; arbustas y herbáceas, las cuales guardan una relación estrecha con la distribución espacial de las lluvias anuales. En su mayor parte, el valle ha sido intervenido por el hombre para la instalación de cultivos de secano o de riego y de pastos artificiales.

La fuente de polución detectada en el río Guarapiche la constituyen estaciones de servicios, balnearios y drenajes de centros poblados como San Antonio, Caicara y Maturín. El uso agrícola de área de influencia del río introduce a los fertilizantes y biocidas como factores de polución, sin embargo este parámetro es menos importante

como contaminante que las descargas domesticas de la concentración de la población. (M.A.R.N.R, 1984).

DESCRIPCIÓN DEL CULTIVO

Cultivo de ají (Capsicum chinenses Jacq.)

La planta de ají (*Capsicum chinenses* Jacq) es un semi arbusto de forma variable y alcanza entre 0.60 m a 1.50 m de altura, dependiendo principalmente de la variedad, de las condiciones climáticas y del manejo. Es monoica, tiene los dos sexos incorporados en una misma planta, y es autógama, es decir que se autofecunda; aunque puede experimentar hasta un 45% de polinización cruzada, es decir, ser fecundada con el polen de una planta vecina. Por esta misma razón se recomienda sembrar semilla híbrida certificada cada año (Nuez, F. 1996).

Nuez, F. (1996), el tallo puede tener forma cilíndrica o prismática angular, glabro, erecto y con altura variable, según la variedad. Esta planta posee ramas dicotómicas o seudo dicotómicas, siempre una más gruesa que la otra (la zona de unión de las ramificaciones provoca que éstas se rompan con facilidad). Este tipo de ramificación hace que la planta tenga forma umbelífera (de sombrilla).las hojas son simples, alternas, pequeñas, con limbo oval lanceolado de bordes, lisos, color verde oscuro, aovadas, enteras, glabras y pecíolos comprimidos.

Nuez, F. (1996), este cultivo tiene una raíz pivotante, que luego desarrolla un sistema radicular lateral muy ramificado que puede llegar a cubrir un diámetro de 0.90 a 1.20 m, en los primeros 0.6 m de profundidad del suelo.

Nuez, F. (1996), la semilla de este cultivo se encuentra adherida a la planta en el centro del fruto. Es de color blanco crema, de forma aplanada, lisa, reniforme, cuyo

diámetro alcanza entre 2.5 y 3.5 mm. El porcentaje de germinación generalmente es alta y puede mantenerse por 4 a 5 años bajo buenas condiciones de conservación.

Nuez, F. (1996), las flores son actinomorfas, hermafroditas, con cáliz de 6 sépalos, Corola color blanco verduzco o blanco amarillento y pedicelos generalmente múltiples, de 6 pétalos y 6 estambres insertos en la garganta de la corola, el estigma generalmente está nivel de las anteras, lo que facilita la autopolinización. La polinización cruzada por los insectos es de un 80 % por lo que las variedades pierden su pureza genética rápidamente. Tiene ovario súpero. Están localizadas en los puntos donde se ramifica el tallo o axilas, encontrándose en número de una a cinco por cada ramificación.

Nuez, F. (1996), el fruto es una baya, con dos a cuatro lóbulos, con una cavidad entre la placenta y la pared del fruto, siendo la parte aprovechable de la planta. Tiene forma globosa, rectangular, cónica o redonda. Existe una diversidad de formas y tamaños en los frutos, pero generalmente se agrupan en alargados y redondeados y tamaño variable, su color es verde al principio y luego cambia con la madurez a amarillo o rojo púrpura en algunas variedades. La constitución anatómica del fruto está representada básicamente por el pericarpio y la semilla. En casos de polinización insuficiente se obtienen frutos deformes.

Cultivo de berenjena (Solanum melongena L.)

La berenjena (*Solanum melongena* L.) pertenece a la familia Solanaceae, es una planta perenne de crecimiento indeterminado con tallos erguidos y vellosos de entre 50 a 100 cm de altura. Sus frutos son bayas alargadas de pulpa esponjosa y semillas de color amarillo. Su cáscara es delgada, color violáceo. Es poco exigente en suelos, debido a que posee un potente y profundo sistema radicular. Sin embargo se desarrolla en forma óptima en suelos franco a franco arcilloso, con una profundidad

de 40 a 60 cm. desarrolla un abundante follaje, siendo una fertilización óptima la base para una alta productividad. En cuanto al riego se recomienda utilizar riego tecnificado para aumentar la eficiencia del uso del agua ante la escasez de este elemento, utilizando elementos tales como cinta y goteros (González, 2014).

Cultivo de tomate (Lycopersicum esculentum Mill)

Alcázar (1995), el tomate es la hortaliza más cultivada en todo el mundo y la de mayor valor económico. Su demanda aumenta continuamente y con ella su cultivo, producción y comercio. Es cultivado en muchas zonas, con amplia variabilidad de condiciones de clima y suelo, tanto para producción en estado fresco como para uso agroindustrial.

Alcázar (1995), el cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) puede presentar básicamente dos hábitos de crecimiento: determinado e indeterminado. La planta indeterminada es la normal y se caracteriza por tener un crecimiento extensivo, postrado, desordenado y sin límite. En ella, los tallos presentan segmentos uniformes con tres hojas (con yemas) y una inflorescencia, terminando siempre con un ápice vegetativo. A diferencia de esta, la planta determinada tiene tallos con segmentos que presentan progresivamente menos hojas por inflorescencia y terminan en una inflorescencia, lo que resulta en un crecimiento limitado.

El sistema radical alcanza una profundidad de hasta 40 hasta 150 cm, con una raíz pivotante y muchas raíces secundarias. Sin embargo, bajo ciertas condiciones de cultivo, se daña la raíz pivotante y la planta desarrolla resulta en un sistema radical fasciculado, en que dominan raíces adventicias y que se concentran en los primeros 30 cm del perfil (Alcázar 1995).

Cultivo de pimentón (Capsicum annuum L.)

Rosales et al, (2007) el pimentón (*Capsicum annuum* L*)*, es una planta herbácea perenne, con ciclo de cultivo anual de porte variable entre los 0,5 metros (en determinadas variedades de cultivo al aire libre) y más de 2 metros (gran parte de los híbridos cultivados en invernadero).

Rosales et al, (2007) el sistema radicular es pivotante y profundo (dependiendo de la profundidad y textura del suelo), con numerosas raíces adventicias, y su profundidad es de 40 a 100 cm. El tallo principal tiene un crecimiento limitado y erecto. A partir de cierta altura ("cruz") emite 2 o 3 ramificaciones (dependiendo de la variedad) y continua ramificándose de forma dicotómica hasta el final de su ciclo (los tallos secundarios se bifurcan después de brotar varias hojas, y así sucesivamente).

Las hojas son entera, lampiña y lanceolada, con un ápice muy pronunciado (acuminado) y un pecíolo largo y poco aparente. El haz es glabro (liso y suave al tacto) y de color verde más o menos intenso (dependiendo de la variedad) y brillante. El nervio principal parte de la base de la hoja, como una prolongación del pecíolo, del mismo modo que las nerviaciones secundarias que son pronunciadas y llegan casi al borde de la hoja. La inserción de las hojas en el tallo tiene lugar de forma alterna y su tamaño es variable en función de la variedad, existiendo cierta correlación entre el tamaño de la hoja adulta y el peso medio del fruto (Rosales et al, 2007).

Las flores aparecen solitarias en cada nudo del tallo, con inserción en las axilas de las hojas. Son pequeñas y constan de una corola blanca. La polinización es autógama, aunque puede presentarse un porcentaje de alogamia que no supera el 10%. Los frutos son de tipo baya hueca, semicartilaginosa y deprimida, de color variable (verde, rojo, amarillo, naranja, violeta o blanco); algunas variedades van

pasando del verde al anaranjado y al rojo a medida que van madurando. Su tamaño es variable, pudiendo pesar desde escasos gramos hasta más de 500 gramos. Las semillas se encuentran insertas en una placenta cónica de disposición central. Son redondeadas, ligeramente reniformes, de color amarillo pálido y longitud variable entre 3 y 5 centímetros (Rosales et al, 2007).

SUELO

Según FAO-SAFR (2002), el suelo es un cuerpo tridimensional que ocupa la parte superior de la corteza terrestre y que tiene propiedades diferentes de las del material rocoso subyacente debido a las interacciones del clima, los organismos vivos (incluido el ser humano), el material de roca madre y el relieve a lo largo de períodos de tiempo.

Se establecen distinciones entre suelos en función de sus características internas, gradiente, complejidad de la pendiente, microtopografía y pedregrosidad y rocosidad de la superficie. El concepto de "suelo" es más concreto que "tierra": el suelo es uno de los atributos de la tierra. El suelo contiene material vivo, aire y agua, además puede albergar vegetación (FAO-SAFR, 2002).

PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS

Textura

Brack (2009), señala que la textura depende de la proporción de partículas minerales de diversos tamaños presentes en el suelo. Las partículas minerales se clasifican por tamaño en tres grupos:

- **Arena:** diámetro entre 0,05 a 2 mm. Puede ser gruesa, fina y muy fina. Los granos de arena son ásperos al tacto y no forman agregados estables, porque conservan su individualidad.
- **Limo:** diámetro entre 0,002 y 0,5 mm. Al tacto es como la harina o el talco, y tiene alta capacidad de retención de agua.
- **Arcilla:** diámetro inferior a 0,002 mm. Al ser humedecida es plástica y pegajosa; cuando seca forma terrones duros.

Se considera que un suelo presenta buena textura cuando, la proporción de los elementos que lo constituyen, le brindan a la planta la posibilidad de ser un soporte que permita un buen desarrollo radicular y brinde un adecuado nivel de nutrientes, en el cuadro 1 se muestra la clasificación textural con 12 categorías de acuerdo al tamaño de las partículas (Black, 2007).

Cuadro 1. Clasificación textural

Clasificación textural		
Categoría	Simbología	Clase
1	a	Arenoso
2	aF	Arenoso Franco
3	Fa	Franco Arenoso
4	F	Franco
5	FL	Franco Limoso
6	L	Limoso
7	F Ar a	Franco – Arcillo - Arenoso
8	F Ar	Franco Arcilloso
9	F Ar L	Franco – Arcillo - limoso
10	Ar a	Arcillo Arenoso
11	Ar L	Arcillo Limoso
12	A	Arcilloso

Fuente: FAO (2015).

La relación entre la textura de suelo y los valores de capacidad de campo y punto de marchitez permanente fue establecida por Israelsen y Hansen (1965) citados por Bolinaga (1999). Del material reportado por estos investigadores, se extrajo los elementos de interés para esta investigación que se incluyen en el cuadro 02.

Cuadro 2. Relación de la textura del suelo con los parámetros de riego: capacidad de campo, punto de marchitez permanente y lámina de agua útil.

Textura del suelo	Capacidad de campo (%)	Punto de Marchitez P. (%)	Agua útil (cm/m)
Arenoso	(6 a 12) promedio 9	(2 a 6) promedio 4	(7 a 10) promedio 8
Franco arenoso	(10 a 18) promedio 14	(4 a 8) promedio 6	(9 a 15) promedio 12
Franco	(18 a 26) promedio 22	(8 a 12) promedio 10	(14 a 19) promedio 17
Franco arcilloso	(23 a 31) promedio 27	(11 a 15) promedio 13	(17 a 22) promedio 19
Arcillo arenoso	(27 a 35) promedio 31	(13 a 17) promedio 15	(18 a 23) promedio 23
Arcilloso	(31 a 39) promedio 35	(15 a 19) promedio 17	(20 a 25) promedio 23

Fuente: Bolinaga (1999).

Agua en el Suelo

Hankset (1980), comenta que la cantidad de agua que posea el suelo es una de sus características más específicas y está determinada, fundamentalmente, por su textura, su contenido de materia orgánica, la composición de sus fracciones mineral y orgánica y el arreglo que presente el medio físico edáfico, por el aporte que se le haga natural (lluvia) o artificialmente (riego) de ella, así como por el consumo causado por la evapotranspiración.

Por su parte Fuentes (1998), expresa que las plantas extraen del suelo el agua que necesitan. Es necesario, por tanto, conocer la capacidad del suelo para almacenar agua, con el fin de reponer la cantidad extraída.

Los suelos con mucho contenido de arcillas retienen más cantidad de agua que los suelos arenosos. Los suelos arenosos tienen una gran proporción de poros grandes, que están ocupados por mucho aire y poca agua, mientras que los suelos arcillosos tienen una gran proporción de poros pequeños, que almacenan más agua que aire (Fuentes, 1998).

La disponibilidad de agua es uno de los principales factores que gobiernan el desarrollo de los cultivos. A su vez, el contenido de humedad afecta marcadamente a la tasa de difusión de oxígeno, a la temperatura y a la resistencia mecánica de un suelo. El agua ocupa el espacio poroso del suelo, y es retenida en la matriz del suelo por varios tipos de fuerzas (Hankset, 1980).

Para extraer agua, una planta debe superar esas fuerzas, que son muy reducidas cuando el contenido de humedad es cercano a la saturación, y se incrementan en la medida en que el suelo se seca. La relación entre el contenido de humedad expresado como el porcentaje del volumen del suelo que está ocupado por agua y el potencial de agua en el suelo expresado como la cantidad de energía requerida para llevar esa agua al estado libre es una propiedad fundamental de un suelo conocida como la curva característica de retención de humedad. La forma de esta curva es función de la estructura del suelo, entre otros factores (Hankset, 1980).

CONSTANTES HÍDRICAS DEL SUELO

Punto de marchitez permanente se define como el contenido de humedad del suelo al cual la planta se marchita irreversiblemente; el agua del suelo en este punto, está retenida a -15 atm, aproximadamente (Porta et al, 1999). También se puede definir como a partir de la capacidad de campo, el agua del suelo se va perdiendo progresivamente por evaporación y absorbido por las plantas, hasta que llega un momento en el que las plantas ya no pueden absorber más agua y se marchitan. Se

dice entonces que el suelo ha alcanzado el punto de marchitamiento. El suelo contienen todavía una cierta cantidad de agua que las plantas no puede utilizar (Fuentes, 1998).

La capacidad de campo es el contenido de humedad con que queda el suelo, luego de que sus macroporos han drenado completamente el agua; se llega a esta condición de humedad luego de dejar drenar el suelo saturado, entre 48 y 72 horas; el agua en esta condición está retenida a tensiones comprendidas entre -0,1 y -0,3 atm (Porta et al, 1999).

El agua aprovechable se tiene que es la humedad disponible que presenta el suelo retenida entre el punto de marchitez permanente y la capacidad de campo (Porta et al, 1999). Es el agua retenida por el suelo y que puede ser absorbida por las plantas. El agua disponible es igual a la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitamiento, en la ecuación 1 se observa claramente (Fuentes, 1998).

Agua disponible = Capacidad de campo – Punto de marchitamiento (Ec.1)

El agua se desplaza por el suelo con una serie de movimientos que en líneas generales, se pueden considerar como descendentes y ascendentes. Para los primeros utiliza los poros de mayor tamaño, en general superiores a 8 mm y con preferencia los que superan los 30 mm. Los movimientos ascendentes se realizan por capilaridad y el tamaño necesario está por debajo del mínimo para los descendentes. Por esta razón el nivel de humedad del suelo varía de unos puntos a otros y su distribución espacial es lo que se conoce como Perfil Hídrico, cuya forma se va modificando continuamente si bien existen algunos modelos relacionados con las diferentes estaciones del año (Porta et al, 1999).

Fuentes (1998), también asegura que con respecto a la cantidad de agua almacenada en el suelo, que varía de una forma constante, se pueden distinguir las siguientes fases:

- **Suelo saturado:** Después de un riego abundante o una lluvia copiosa, el agua ocupa todos los poros del suelo, tanto los grandes como los pequeños. Se dice entonces que el suelo está saturado.
- **Suelo seco:** A partir del punto de marchitamiento, el suelo pierde agua por evaporación cuando se le deja secar al aire; pero todavía queda una cierta cantidad de agua que solo se puede sacar sometiendo al suelo a un secado de varias horas en una estufa.
- **Agua sobrante:** Es el agua que no puede ser retenida por el suelo y cae por su propio peso hacia las capas más bajas. Esta agua no puede ser utilizada por las plantas porque está situada en una región del suelo fuera del alcance de las raíces.
- **Agua no disponible:** Es el agua retenida por el suelo con tanta fuerza que las plantas no pueden absorber. Esta agua es la que permanece en el suelo a partir del punto de marchitamiento.

EVAPOTRANSPIRACIÓN

La FAO (2009), comenta que el concepto de evapotranspiración incluye tres diferentes definiciones: evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo), evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ETc), y evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ETc aj). ETo es un parámetro relacionado con el clima que expresa el poder evaporante de la atmósfera.

ETc se refiere a la evapotranspiración en condiciones óptimas presentes en parcelas con un excelente manejo y adecuado aporte de agua y que logra la máxima

producción de acuerdo a las condiciones climáticas. ETc requiere generalmente una corrección, cuando no existe un manejo óptimo y se presentan limitantes ambientales que afectan el crecimiento del cultivo y que restringen la evapotranspiración, es decir, bajo condiciones no estándar de cultivo (FAO, 2009).

Para lograr un uso eficiente del agua de riego, el dato básico que debe conocerse es el consumo de agua del cultivo en cuestión para un periodo de tiempo determinado. Intentando cuantificar este consumo se define el término evapotranspiración (ET), como la cantidad de agua que el suelo pierde bien como consecuencia directa de la evaporación o bien debido a la transpiración de las plantas (Sánchez, 1992).

COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc)

El coeficiente de cultivo describe las variaciones de la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando, desde la siembra hasta la cosecha, por ser dependiente de las características anatómicas, morfológicas y fisiológicas de la planta. El Kc varía con el período de crecimiento de la planta y con el clima; igualmente, depende de la capacidad de la planta para extraer agua del suelo, según su estado de desarrollo vegetativo (Valverde, 2007).

El Coeficiente de Cultivo (Kc) es el resultado de la relación entre la evapotranspiración de un cultivo (ETc), durante una etapa definida, con la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo). Su fórmula es:

$$Kc = Etc / ETo \qquad \text{(Ec.2)}$$

Donde:

Kc = Coeficiente de Cultivo.

ETc = Evapotranspiración del cultivo.

ETo = Evapotranspiración del cultivo de referencia.

RIEGO

El riego se puede definir como el manejo apropiado del agua en el terreno, con el objetivo de suministrarle a la planta la humedad necesaria para su desarrollo vegetativo a fin de lograr la producción óptima (Guzmán, 1981).

Torres (2002), comenta que para el desarrollo y alimentación adecuada de la planta es esencial el agua. Su manejo es un aspecto central en la agricultura, aún más si se tiene en cuenta que hay zonas en donde de manera natural el recurso está limitado o, por los cambios climáticos sufridos en los últimos tiempos en el planeta, es un recurso escaso y costoso. Desde este punto de vista, se aconseja analizar la posibilidad de implementar sistemas de riego, con lo que se mejora el rendimiento y la calidad de las cosechas.

Frecuencia de riego

Fuentes (1999), comenta que este se refiere al intervalo de tiempo o de días que deben pasar entre riegos sucesivos. La condición ideal es que el riego se ejecute cuando el contenido de agua disponible en el suelo sea lo suficientemente alto, de manera que el suelo puede suministrarle agua con la rapidez necesaria para comenzar las exigencias de la planta sin que esta sufra ningún trastorno que puede reducir el rendimiento o calidad del producto cosechado.

Asi mismo explica que la frecuencia de riego depende de la lámina neta en milímetros (LNR) y el uso consuntivo máximo diario (Ucd), en milímetros. Se considera como una función del suelo y el cultivo. De acuerdo con el autor antes citado, la fórmula para calcular este factor está dada por la siguiente relación:

$$FR = LNR\ (mm) / Ucd\ (mm/dia) \qquad (Ec.3)$$

Donde:

FR = Frecuencia de riego en días.

LNR = Lámina neta de riego en mm.

Ucd = Uso consuntivo diario en mm.

Necesidades de riego

Según Bolinaga (1999), la cantidad de agua que demanda la agricultura bajo riego, depende de tres parámetros fundamentales: el clima, el área bajo riego y los cultivos correspondientes.

También comenta que durante la etapa de crecimiento de un cultivo, este requiere de una cantidad de agua que se denomina uso consuntivo. Este requerimiento es suplido por la lluvia y por la humedad que el suelo es capaz de conservar y el resto, si fuese necesario, debe ser suministrado en forma artificial; es decir, mediante el riego. Es pues indispensable conocer el uso consuntivo de la planta, para determinar las demandas de riego.

Necesidades netas

Fuentes (1998), expresa que las necesidades netas de riego vienen dadas por la fórmula:

$$Nn = ET\ (cultivo) - Pe \qquad (Ec.4)$$

Donde:

N_n= Necesidades netas.

ET (cultivo)= Necesidades de cultivo (evapotranspiración del cultivo).

P_e= Precipitación efectiva

Necesidades totales

FAO (2015), ha conducido reuniones con expertos en el área de riego a nivel mundial, generando como resultado de dichas reuniones, varias publicaciones, entre las que destaca la relacionada con el empleo de la fórmula de Penman-Monteith.

$$URC = Etc - P - DS \qquad (Ec.5)$$

Dónde:

URC = Uso consuntivo del agua de riego necesario para satisfacer la demanda del cultivo (mm).

ETc = Evapotranspiración potencial del cultivo (mm).

P = Precipitación efectiva (mm).

DS = Variación de la humedad del suelo (mm).

Demanda neta de riego

Fuente (1999), explica que la demanda neta de riego se entiende como la cantidad de agua que debe agregarse al sistema, que sumada a la precipitación más el agua disponible en el suelo, iguale al uso consuntivo o ETc.

$$DNR = ETc - ETr \qquad (Ec.6)$$

Con la condición siguiente:

- Si ETr < ETc, existirá una demanda de riego, propiamente conocida como DNR.
- Si ETr > ETc, no existirá demanda de riego, ya que formalmente existiría mayor cantidad disponible que la requerida por el cultivo.

Donde:

- DNR= Demanda neta de riego.
- ETc = Evapotranspiración del cultivo.
- ETr = Evapotranspiración real.

La evapotranspiración real (ETr) viene dada, según Bolinaga (1999) por las relaciones que se muestran a continuación:

$$ETr = PE - S \qquad \text{(Ec.7)}$$

Donde:

- S es la capacidad de almacenamiento de agua por parte del suelo
- PE es la precipitación efectiva.

La PE (precipitación efectiva) Bolinaga (1999), comenta que este término no debe confundirse con el concepto hidrológico de precipitación efectiva, pues él se refiere básicamente a aquella porción de la precipitación P que está disponible para la planta y no al porcentaje de lluvia que escurre.

La PE se calcula usando el método propuesto por el Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (SCS-USDA):

$$PE = Pt\ (125 - 0.2\ Pt / 125) \text{ para } Pt < 250 \text{ mm} \quad \text{(Ec.8)}$$

$$PE = 125 + 0.1\ Pt \text{ para } Pt > 250 \text{ mm} \quad \text{(Ec.9)}$$

Donde:

- PE= Precipitación efectiva mensual (mm).
- Pt= Precipitación total mensual (mm).

CROPWAT 8.0

Pomares (2013), lo define como un programa informático de la FAO para el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos. Es lo que denominamos diseño agronómico de riego, es el paso previo al cálculo hidráulico del riego. Consiste en calcular los turnos, caudales y tiempos de riego basándose en las necesidades de agua del cultivo que viene determinado por el tipo de suelo, clima y cultivo.

Según la FAO (2017), es un programa de ordenador para el cálculo de los requerimientos de agua de cultivo y las necesidades de riego basándose en los datos del suelo, el clima y la cosecha. Además, el programa permite el diseño de horarios de riego para diferentes condiciones de gestión y el cálculo de un programa de suministro de agua para los diferentes patrones de cosechas. CROPWAT 8.0 también puede utilizarse para evaluar las prácticas de riego de los agricultores y para estimar el rendimiento de los cultivos en virtud de las condiciones tanto de secano como de regadío.

SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION (SRTM)

La Universidad de Maryland (2011), especifica que el Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) es un proyecto internacional realizado por la National Geospatial-Intelligence Agency (NGA), la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio de Estados Unidos (NASA), la Agencia Espacial Italiana (ASI) y el Centro Aeroespacial Alemán (DLR) que consistió en un sistema de radar especialmente modificado que voló a bordo del transbordador espacial Endeavour en una misión de 11 días en febrero de 2000 obteniendo datos de elevación en una escala casi global para generar la más completa base de datos de alta resolución digital topográfico de la tierra.

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

Vílchez (2000), lo explica como un sistema de información que trata con información georeferenciada, es decir, procesa datos de eventos o entidades geoespaciales con el fin de generar nueva información mediante operaciones de manipulación y análisis que ayude a la toma de decisiones. Por lo tanto, un SIG maneja las propiedades espaciales y no espaciales de las entidades o eventos geoespaciales: posición, geometría, topología, tiempo y atributos.

Bosque (1997), lo define como un conjunto de dispositivos de almacenamiento, análisis, utilización de las numerosas informaciones del territorio disponible en formato digital. Están constituidas por un conjunto de componentes informáticos (físicos y lógico), medios y procedimientos preparados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelo, representación y salida de datos sobre el territorio.

Importancia de los Sistemas de Información Geográfica

Los Sistemas de Información Geográficos constituyen una herramienta que le permite al usuario hacer indagaciones espaciales y visualizar la información deseada con el auxilio de planos. Además permite que personas pertenecientes a diversos grupo u organizaciones incluya su información en una base de datos común, lo cual genera una gran cooperación entre los diferentes grupos, menos duplicaciones en la recolección de la información, mayor eficiencia en la búsqueda de información y posiblemente el aprendizaje de cosas nuevas cuando se conjuntan los diversos tipos de datos en la forma SIG y se cuenta con la representación completa de toda la información (McCormac, 2007).

INTERPOLACIÓN

La interpolación es un proceso por el cual se define un valor en un punto cualquiera a partir de los valores conocidos en algunos puntos dados. Por ejemplo: se tiene temperatura, presión y viento en distintas localidades que cuentan con estaciones meteorológicas y se quiere estimar el clima en un pueblo cualquiera (Calvo, 2011).

Bosque (1997), señala que la interpolación se puede definir como un procedimiento que permite calcular el valor de una variable en una posición del espacio (punto no muestral, con un valor estimado), conociendo los valores de esa variable en otras posiciones del espacio (puntos muéstrales, con valores reales). Se trata de una técnica de gran utilidad y de aplicación a una amplia variedad de cuestiones diferentes.

Sigue explicando que los procedimientos de interpolación son muy distintos según se desee obtener el modelo “raster” o el modelo “TIN”. Igualmente existen diferencias en cuanto a cuál es la organización de la información de partida: puntos o líneas.

MÉTODOS DIRECTOS DE INTERPOLACIÓN

- Generación de polígonos de Thiesen: es un procedimiento de tipo local, ya que sólo se usa un punto muestral en el cálculo de la altura en cada lugar. (Bosque, 1997).
- Medias móviles con ponderación por la distancia: se trata de seleccionar en torno a cada punto una serie de tipo muestral y realizar la media aritmética de sus alturas. (Bosque, 1997).

MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL (MED ó DEM)

Vilchez (2000), comenta que un modelo de elevación digital se define como una representación digital de una porción de la superficie terrestre, donde cada punto de la mima está definida por su posición planialtimétrica (X, Y, Z). Donde la coordenada Z (altura) es tratada como atributo asociado a la posición planimetríca X, Y.

El autor antes citado sigue afirmando que a partir de estos modelos, pueden realizarse análisis como visibilidad, producción de mapas dependientes, aspectos, perfiles, cálculos de volúmenes, etc.

GRASS (Geographic Resources Analysis Support System)

El programa GRASS, llamado así por sus siglas en ingles Geographic Resources Analysis Support System, es software SIG de código abierto y gratuito que se encuentra bajo licencia GNU General Public License (publicada por la Free Software Foundation) que incluye herramientas para el almacenamiento, actualización, visualización y análisis de datos espaciales; así como para la modelización de variables. Fue diseñado con visa a la planificación territorial pero su amplia gama de aplicaciones se extiende a los campos de la ingeniería, hidrología, geología, física, estadística, teledetección y aplicaciones empresariales (Universidad de Murcia, 2006).

Sigue explicando, que GRASS es un potente software SIG capaz de realizar el manejo de información en formatos raster y vectorial, análisis de imágenes de satélite, enlace a bases de datos y utilización de paquetes estadísticos SIG. Todas estas funcionalidades se resumen las siguientes características del programa:

- Capacidad para leer y escribir mapas y tablas de datos en los formatos compatibles con otro software SIG.
- Permite escribir y desarrollar un código fuente propia a los usuarios a través de librerías y los manuales de programador.
- La gran potencia en el manejo de datos raster, con un gran número de herramientas que le permiten funcionar como un entorno de modelización espacial.
- Posee la capacidad de modelar procesos como la transformación lluvia-escorrentía, construcción de líneas de flujo, análisis de estabilidad de taludes y análisis espacial permitiendo que por sus características multifuncionales, los usuarios pueden crear sus propios mapas a partir del análisis de datos.

- Maneja la información tanto a nivel bidimensional como tridimensional.
- GRASS contiene un amplio conjunto de herramientas para el análisis y modelización hidrológica, análisis de cuencas, obtención de número de curva, análisis de avenidas, características de los cauces y redes de drenaje, etc.
- La potencia de otros programas pueden integrarse a GRASS para generar gráficos y estadísticas.
- Puede utilizar datos de campo como entrada de modelos o simular parámetros a partir de datos numéricos.

MARCO METODOLÓGICO

ÁREA DE ESTUDIO

La región bajo estudio está ubicada en la zona centro norte del estado Monagas, y se extiende desde su extremo oeste hasta su extremo este, haciendo un recorrido, desde su nacimiento, en dirección norte-sur para luego cambiar a dirección oeste este hasta su desembocadura.

La cuenca del rio Guarapiche nace en el piedemonte del Turimiquire, y se ubica entre los municipios Cedeño, Acosta, Maturín, Piar y Punceres, teniendo su desembocadura en el caño Francés que a su vez, es un tributario del río San Juan. Se encuentra circunscrita en las coordenadas 10°11´ y 09°44´ Latitud norte y 63°50´ y 62°52´ de Longitud oeste; una representación gráfica de la ubicación relativa del área en estudio se muestra en la figura 1.

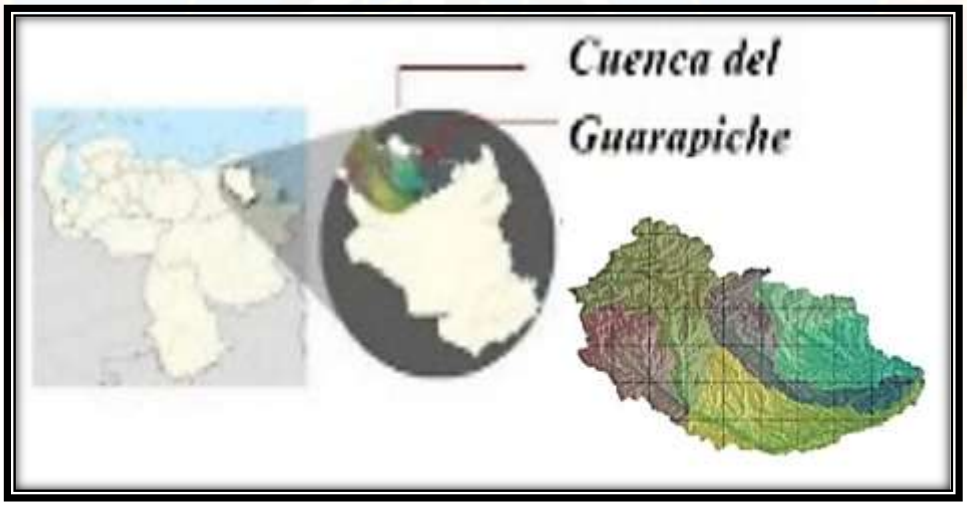


Figura 1. Ubicación relativa de la cuenca del rio Guarapiche, estado Monagas.

TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente es una investigación de campo y documental. Tiene el carácter de investigación de campo ya que se describe un problema de la realidad. Una de las incógnitas que se presentan a la hora de adelantar un proyecto agrícola que implique el uso de agua como uno de los principales insumos, es conocer qué cantidad de agua es requerida para comenzar dicho proyecto.

Esa cantidad se compara con la cantidad disponible en las diferentes fuentes de abastecimiento de agua y a partir de ahí se decide entre uno u otro proyecto agrícola en función de las potencialidades de desarrollo.

Se usaron datos primarios tomados de la realidad, tales como los datos climáticos (temperatura mínima, temperatura máxima, la precipitación) y datos de suelo (textura).

EQUIPOS UTILIZADOS PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Los equipos empleados para conducir esta investigación, son los que se mencionan a continuación:

- Una computadora con sistema operativo Windows 7 Ultimate con un procesador Intel Dual Core de 2.8GHZ, 4GB de Memoria RAM y 500GB de disco duro, también cuenta en su sistema con 64 bit de imagen.
- Impresora de tinta continúa Modelo Canon.

ESQUEMA METODOLÓGICO

Esta investigación se desarrolló en tres fases:

- La primera consistió en la recolección de información preliminar.
- La segunda en el procesamiento cartográfico de dicha información.
- La última fase consistió en el procesamiento de los datos de cada variable.

Fase I. Recolección de información preliminar

Modelo Topográfico de Radar Aerotransportado (SRTM)

Para el procesamiento de la información requerida en cuanto al material cartográfico se usó el modelo digital de elevación conocido por sus siglas en inglés como SRTM.

Para acceder al portal web Global Land Cover Facility (GLCF) de la Universidad de Maryland de Estados Unidos, el cual proporciona esencialmente datos de teleobservación por satélite y los productos que explican la cobertura del suelo desde un nivel local a nivel global. Se realiza mediante la aplicación de la siguiente dirección web: http://glcf.umiacs.umd.edu/.

Una vez con el portal abierto, se hizo selección de “Data and Products” encontrada en la parte superior de la pantalla.

Seguidamente aparece una nueva pestaña la cual muestra los distintos datos disponibles y las misiones a las cuales pertenecen, se hizo selección de los datos SRTM. Mostrando una nueva ventana con algunos datos sobre la calidad y distintos

productos disponibles para este conjunto, dando distintas opciones para su ubicación y la selección del sistema de coordenadas, se eligió la opción “Download via Search and Preview Tool (ESDI)” por ser la herramienta más práctica, debido a que ya se tenía una idea clara sobre la ubicación espacial de la zona de estudio.

La aplicación ESDI (traducida del inglés como Interfaz para Datos sobre Ciencias de la Tierra), da tres opciones para realizar la ubicación de las descargas, entre las cuales se eligió el Buscador de Mapas (Map Search), dando acceso de esta forma a una nueva ventana donde se indicó el grupo de datos de interés (Elevation Data) y dentro de este la categoría de datos a utilizar (SRTM, WRS2 Tiles). Eligiendo la opción Zoom In () y dando click en la ventana del mapa mundial mostrado, se seleccionó la región de la cual se desea obtener los datos (Venezuela).

Se utilizó Zoom In hasta obtener una vista clara de todo el cubrimiento de datos SRTM para la zona del estado Monagas, con la ayuda de la herramienta “Select” () haciendo la selección de cada uno de los recuadros que representaban el cubrimiento de las imágenes SRTM. Para acceder a la selección, pre visualización y descarga de las imágenes se ejecutó a través de la opción “Preview & Download” de la ventana “Date/Type”.

Esta nueva ventana mostró una vista previa de la imagen seleccionada (esquina superior izquierda), su ubicación relativa con respecto a las imágenes que la rodean (esquina superior derecha) y un listado que el contenido de las 18 imágenes preseleccionadas anteriormente, cada una de ellas, con una serie de detalles sobre su fecha de adquisición, conjunto de datos, nivel de detalle, tipo de archivo y nivel de tratamiento previo.

Una vez elegidas las imágenes pertenecientes a la zona de estudio, se presionó "Download" para la descarga.

Información climática

Los datos de precipitación y temperatura del área en estudio, fueron tomados del portal web del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología accediendo a él a través de la dirección www.inameh.gob.ve

Se usaron los valores promedios mensual para todas las estaciones climatológicas distribuidas dentro y alrededor del área en estudio. Cada estación fue georreferenciada y sus datos incluidos en una base de datos organizada bajo el enfoque de un sistema de información geográfico.

Información edafológica

Esta información es el producto de investigación desarrollada durante más de 20 años, generada por el personal de edafología que labora en la Escuela de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Oriente, que ha sido organizada y está disponible para su consulta en diferentes fuentes, principalmente a través de la red de bibliotecas de la Universidad, se encuentra resumida y especificada por Maza (2012).

Fase II. -Procesamiento cartográfico de la información básica

Creación de un Directorio, una Location y un mapaset en Grass GIS

Para una buena organización en la estructura de trabajo en el software Grass GIS es necesario definir un Directorio, donde es almacenado toda la información geográfica base y la generada. Para este fin se creó una carpeta llamada SRTM en el

escritorio dentro de la cual estaban contenidas las imágenes previamente descargadas y descomprimidas. Luego se ejecutó el programa Grass GIS versión 7.0.4 y se redireccionó el directorio de datos SIG a la dirección "C:\Users\VIVIAN\Documents\grassdata".

Para definir la Location se utilizó como archivo georreferenciado uno de los SRTM. Luego de creada la Location se importó al programa la información del relieve (SRTM), del clima (temperatura y precipitación) y de suelo (textura).

Carga y visualización de imágenes satelitales

En la LOCATION ya generada se procedió a importar los mapas que contienen el modelo digital de elevación del área de interés. De acuerdo con la nomenclatura que aparecen en el portal web de la GLCF son las secciones de mapas identificadas con las direcciones: 0153, 0253, 0154 y 0254.

Seguidamente se superpusieron los mapas ingresados en la sección anterior y de inmediato se le asignó una nueva paleta de colores y se seleccionó el identificado como "srtm", esto se realizó accediendo a través de la interfaz gráfica a la ruta: *Raster/ Administrar colores/ Tablas de color*.

Tratamiento previo de imágenes satelitales

Todos los archivos SRTM importados a la base de datos poseen ciertas celdas nulas, es decir, celdas que no presentan datos, cada celda con datos faltantes puede representar un error potencial en los posteriores pasos, por lo cual se procedió a su corrección.

Para la corrección del modelo digital de elevación y eliminar las fallas que pudo tener el sistema que hizo la captura de las altitudes en la fase de campo se hizo a través de la interfaz gráfica del GRASS-GIS a la ruta: *Raster/ Modelado Hidrológico/ Mapa sin depresiones y líneas de flujo* (*r.fill.dir).*

Una vez llenos todos los campos requeridos por el módulo r.fill.dir, se generó un nuevo archivo de las imágenes SRTM con las celdas nulas rellenas. Este procedimiento se repitió con cada una de los archivos, asignándole a los archivos corregidos la paleta de colores "srtm" disponible en el software.

Delimitación de la cuenca hidrográfica como espacio de trabajo

Para poder realizar de forma correcta la delimitación del área de trabajo (cuenca alta y media del río Guarapiche) se unieron los cuatros segmentos SRTM previamente procesados a fin de disponer del área global donde se encuentra ubicada la cuenca de interés.

Se utilizó la herramienta para unión de mapas raster denominada "Path" siguiendo la ruta: *Raster/ Superponer rater /Une mapas raster (Path),* en el menú de la interfaz gráfica.

Usando la ruta de comandos *Raster/Modelado hidrológico/Análisis de cuencas hidrográficas (r.wathershed)* se dispuso del módulo que permite obtener los segmentos de corrientes, el mapa de drenaje y el mapa con las sub cuencas hidrográficas de los diferentes segmentos de corrientes o ríos.

El número de segmentos de corrientes así como el número de sub cuencas es controlado en el cálculo del software a través de la opción "umbral" disponible en el módulo, el cual es un número que define la magnitud de estos elementos en el

espacio. A mayor umbral se obtienen sub cuencas de mayor dimensión espacial. Cuando el umbral es relativamente pequeño se obtienen segmentos de río relativamente cortos considerando el espacio.

Se trabajó con diferentes números de umbral hasta obtener la delimitación del área de interés en la dimensión espacial adecuada según el conocimiento que se tiene de la misma.

Partiendo del polígono que delimita la cuenca del río Guarapiche en su totalidad, se procedió hacer la división en tres sub cuencas para obtener así la cuenca alta, la cuenca media y la cuenca baja. Por lo que en esta investigación generó nueva información sobre las cuencas alta y media del río Guarapiche.

Obtenidas las coordenadas de los puntos correspondientes a la salida de las cuencas alta y media del río Guarapiche, se procedió a generar dichas cuencas a través de la interfaz gráfica a la ruta: *Raster/ Modelado hidrologico/ creación de cuencas hidrográficas (r.water.oulet)*. Este módulo requiere el ingreso del mapa de drenaje de la zona en estudio anteriormente generado.

Este mapa se elaboró usando el módulo de GRASS identificado como r.wathershed, ingresando en él como mapa de entrada, el modelo digital de elevación de toda la zona en estudio, e indicando como umbral para el desarrollo del mapa de drenaje, así como los mapas de los cauces de los ríos que serán requeridos para la delimitación de las cuenca alta y media del Guarapiche.

El umbral se escogió de modo que permitiera visualizar en su totalidad la red de cauces presentes en el espacio de la cuenca, y que muestran toda su continuidad. Para eso fue necesario probar con varios umbrales hasta lograr obtener el número que permita dicha visualización.

Para la división de la cuenca se observó el desarrollo vertical del río Guarapiche desde su nacimiento hasta su desembocadura en el Caño Francés, lo cual se dividió en tres secciones. La primera división, medida desde el nacimiento hacia aguas abajo, lo que indica la altitud del punto de salida de la cuenca alta.

De igual forma se procedió con la delimitación de la cuenca media. Observando en el desarrollo vertical del perfil topográfico, dónde se ubica la segunda división, que indica el punto de salida de la cuenca media que es el punto de inicio de la cuenca baja.

El mapa generado se instaló en la LOCATION como una máscara para indicarle al programa que a partir de este punto, todos los cálculos se realizarán sólo dentro del espacio indicado en este nuevo mapa. El módulo usado a través de la interfaz gráfica a la ruta: *Raster/r.mask* para generar la máscara.

Manejo cartográfico de la base de datos edafoclimática

Una vez ya generada el área de estudio, que son las dos sub cuencas (alta y media), formalmente establecidas como una máscara para delimitar dicha área como exclusiva área de cálculo, se importaron los datos climáticos y los datos de suelo en la LOCATION preparados como tablas elaborados en archivos texto, conformadas por tres columnas. Las dos primeras columnas son las coordenadas de cada estación climatológica, y la tercera columna es el valor de cada variable en particular.

Se prepararon tablas con esas tres columnas para las variables climáticas de los promedios mensual de precipitación efectiva arrojados por el Cropwat de las estaciones climatológicas bajo estudio (cuadro 3), evapotranspiración de referencia (ETo) (mm/mes) proporcionados por el software Cropwat de cada estación

climatológica bajo estudio (cuadro 10), así como también la variable textura (cuadro 5).

El ingreso de estos datos bajo el ambiente de GRASS, se realizó usando el módulo de la interfaz gráfica a la ruta: *Archivo/Importar datos raster/importación y cuadriculado de puntos x,y,z ASCII (r.in.xyz).*

Luego de importados todos los archivos textos con los datos de cada variable climática y edáfica, se interpolaron los datos, tomando en cuenta que originalmente son datos puntuales, asignados en el espacio mediante un par de coordenadas (las coordenadas de cada estación climatológica y las coordenadas de cada sitio de muestreo), que deben ser distribuidos en el espacio para generar el modelo de representación distribuido propiamente dicho.

La interpolación de todas las variables se realizó utilizando el módulo de la interfaz gráfica a la ruta: *Raster/Interpolar superficie/IDW a partir de punto raster (r.surf.idw).* El cual aplica el método del inverso del cuadrado de la distancia ponderada sobre los datos puntuales ingresados en el proceso de importación. Cada operación de interpolación generó un mapa consistente en una malla o matriz con valores interpolados de cada variable. El software Grass Gis asigna de forma automática la paleta de colores para cada mapa generado.

Fase III. -Procesamiento de datos

Como resultado de esta investigación se calcula las necesidades de agua para el desarrollo de ají (*Capsicum chinenses*), tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill), berenjena (*Solanum melongena* L.), y pimentón (*Capsicum annuum* L.), en la cuenca alta y media del río Guarapiche, usando la ecuación 6.

Primero se calculó la cantidad de agua que realmente está disponible para ser consumida, la cual se identifica como evapotranspiración real (ETr) que se define como la parte del agua almacenada en el suelo que puede ser consumida por las plantas. La "PE" se calculó con el software Cropwat y la "S" partiendo de la clasificación textural de suelo y la relación de ésta con el almacenamiento de agua en el perfil de suelo.

Posteriormente se calculó la evapotranspiración del cultivo (ETc), calculando primero la ETo (evapotranspiración del cultivo de referencia) para los doce meses del año de cada estación climatológica (cuadro 10), y estos valores se procesan con el respectivo Kc de los cultivos. Ambos cálculos se procesaron con el enfoque de modelo distribuido, es decir, para todos los píxel que conforman la cuenca.

Usando la ecuación 6 se procede a calcular la demanda neta de riego para los cultivos de ají (*Capsicum chinenses*), tomate (*Solanum lycopersicum* Mill.), berenjena (*Solanum melongena* L.), y pimentón (*Capsicum annuum* L.), obteniendo así los mapas de demanda neta de riego.

Cálculo de la Evapotranspiración Real (ETR= PE – S)

Cálculo de la precipitación efectiva (PE)

A través del portal del software CROPWAT 8.0 en el módulo precipitación configurando en settings/opcions, "*Rainfall/USDA soil conservation service*" aceptar, se cargaron los datos de precipitación al programa, los cuales se descargaron del portal del INAMEH.

Ya procesados los datos de precipitación (cuadro 4), en el Cropwat se obtuvo la precipitación efectiva de cada estación climatológica y para cada mes del año (cuadro

3), calculando el promedio de precipitación efectiva a cada estación climatológica. Esos datos se prepararon en archivos textos e importados a ambiente GRASS, posteriormente los datos se pasaron de mm a cm.

Cálculo de la capacidad de almacenamiento del agua en el suelo (S)

Con los datos de suelo, exclusivamente los relacionados con textura, se definió el volumen de almacenamiento de agua, de acuerdo con la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente.

Los datos de textura con clasificación de doce clases texturales del estado Monagas (cuadro 5) se prepararon en archivos textos importados e interpolados en ambiente GRASS, el mapa interpolado de textura del espacio de interés fue reclasificado, reasignando las texturas a las clases texturales indicadas en el cuadro 6, reduciendo así de doce clases texturales a seis clases texturales a través de la interfaz gráfica a la ruta: *Raster/Cambiar valores de categorías y etiquetas/Reclasificar (r.reclass),* posteriormente, con otro código de programación, se ejecutó la transformación de las categorías de valores.

Según lo anterior, los píxeles que mostraron textura del tipo arenosa recibieron una reclasificación, cambiando el valor de textura arenosa por el valor de agua útil de 8 cm/m. Todos los píxeles que mostraron textura franco arenosa recibieron como nueva categoría el valor 12 cm/m; así de esa forma se manejaron las cuatro texturas restantes, de esta manera se obtuvo el mapa de disponibilidad de agua.

La cantidad de agua económicamente aprovechable por los cultivos está relacionada con los valores calculados en el párrafo anterior afectados por el porcentaje de agotamiento y la profundidad radical del cultivo de interés, de esta manera se obtuvo la lámina neta de cada cultivo.

Se usó como porcentaje de agotamiento para todos los casos un valor de 0.5 en atención a lo sugerido por Bolinaga (1999). Para cada cultivo se desarrolló un cálculo de agua requerida. Esta cantidad de agua así calculada recibe el nombre de demanda neta. Esta multiplicación se realizó a través de la interfaz gráfica a la ruta: *Raster/Calculadora de mapas raster (r.mapcalc).*

Cálculo de la evapotranspiración real (ETr)

La ETr es lo que realmente puede ser evaporado, o dicho en otras palabras: sólo se puede evaporar lo que exista en el sistema suelo-atmósfera. El agua que puede ser evaporada es aquella que se encuentra en el suelo, disponible para las plantas, y aquella parte de la precipitación conocida como precipitación efectiva.

Con el mapa de capacidad de almacenamiento y de recipitacion efectiva (PE), dichas variable distribuida en el espacio, igualmente interpolando se ejecutó la ecuación 7 generando el mapa de evapotranspiración real para cada cultivo estudiado y en promedio para cultivos hortícolas.

Cálculo de la evapotranspiración de referencia (ETo) y evapotranspiración del cultivo (ETc)

La ETo se calculó empleando el software sugerido por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO); Cropwat, el cual es un programa que permite el cálculo de muchas variables de tipo climática para los cultivos, entre ellas se puede nombrar la evapotranspiración de referencia y la ETc (Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar), así como también la precipitación que en conjunto permiten la visualización gráfica de los meses secos.

Al ingresar al software Cropwat se configuró en *setting/options*, para seleccionar la fórmula con la que se trabajaría. Para este caso se utilizó la ruta: *"climate/EToPenman-Monteith (other data etimated)"*. Esta configuración consistió en modificar la modalidad de cálculos a partir de la temperatura máxima (cuadro 8) y temperatura mínima (cuadro 7), y así presentar los valores de ETo en mm/periodo (cuadro 9).

Se preparó el archivo y fue importado en al software Grass Gis y transformados de mm a cm, para formar parte de la base de datos y desarrollar los cálculos de necesidades de agua (demanda) a partir de él. Con cada archivo se generó una interpolación usando el método del inverso de la distancia ponderada.

Cálculo de la demanda neta de riego

Usando la calculadora de mapas de GRASS se procedió a ejecutar la ecuación 6 obteniendo así la demanda neta de riego de los cultivos (ají (*Capsicum chinenses*), tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.), berenjena (*Solanum melongena* L.), y pimentón (*Capsicum annuum* L.), así como en promedio para cultivos hortícolas, distribuidos en el espacio.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

El objetivo general de este estudio fue cuantificar la demanda neta de riego para cultivos hortícolas en la cuenca alta y media del río Guarapiche mediante modelos geoestadísticos del tipo distribuido; todos los mapas resultados de esta investigación y que se interpretan en esta sección se encuentran fundamentados en los anexos del trabajo de investigación.

MODELO DISTRIBUIDO DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL EFECTIVA SOBRE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO GUARAPICHE.

En los datos arrojados por el software Cropwat (Cuadro 3), muestra el promedio de la precipitación efectiva, usando los datos de precipitación aportados por la web del INAMET correspondiente al lapso de tiempo de 1977–2007, se calculó el promedio de precipitación para cada estación climatológica y cada mes del año (cuadro 4), y usando el método propuesto por el Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (SCS-USDA), se calculó la precipitación efectiva.

De acuerdo con el promedio de las estaciones climatológicas en el área de estudio (cuadro 8) se obtuvo la mayor precipitación total anual de 1375.4 mm en la estación de Caripito siendo los meses húmedos junio, julio y agosto con una precipitación máxima de 156,3 mm, 154.4 mm y 149.0 mm, respectivamente.

Sin embargo según los promedios mensuales de temperatura mínima se registra la estación de san Félix con el valor de menor precipitación anual de 684,7 mm siendo esta zona la que contiene los meses más secos del año: febrero, marzo y abril con precipitaciones de 9.9 mm, 11.0 mm y 23.2 mm.

Así también, la precipitación pluvial efectiva promedio mensual máxima coincide con la estación climatológica de Caripito con una precipitación efectiva de 114.62 mm y la precipitación pluvial efectiva promedio mensual mínima coincide con la estación de san Félix teniendo precipitación de 57.06 mm.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la investigación realizada por Albornoz (1980), los resultados concuerdan con esta investigación ya que este concluyo que el periodo seco oscila en los meses de enero hasta abril y que el periodo de lluvia es entre mayo hasta septiembre u octubre. Así también obtuvo como resultado que las zonas de san Félix y Temblador son las estaciones del estado Monagas que registran precipitación anual de 719.0 mm por los que las registra como las estaciones con menor precipitación efectiva.

Gráficamente, usando el software Grass Gis, en la figura 2 se muestra un mapa raster interpolado resultante de la precipitación efectiva (cuadro 3) de la zona en estudio donde se visualizan los valores de precipitación que oscilan entre 57.06 mm y 102.99 mm.

Las máximas precipitaciones se observan en la zona este de los municipios Maturín y Punceres, mientras que las precipitaciones mínimas se reflejan al oeste de la cuenca en el municipio Cedeño con 57.06 mm.

De acuerdo con el análisis estadístico, el histograma indicó una distribución asimétrica positiva, donde los valores están concentrados entre 57 y 102 mm/mes, y el gráfico de caja mostro variabilidad en los datos con sesgos hacia los valores menores, mostrando la mediana de 73.93 mm y datos atípicos hacia la derecha cercano al valor máximo.

Cuadro 3. Promedios mensual de precipitación efectiva (mm) arrojados por el Cropwat de las estaciones climatológicas bajo estudio del estado Monagas.

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Precipitación total	Prec. Ef. mensual
Barranca del Orinoco	76.1	36.8	36.2	34.7	84.3	128.1	115.1	100.8	67.0	55.7	77.0	95.8	907.6	75.63
Temblador-Aereopuerto	50.2	27.5	19.5	34.3	67.8	114.7	118.3	110.6	85.2	58.2	74.2	69.0	829.4	69.12
La Margarita	93.1	61.6	53.2	50.1	108.4	154.1	149.4	149.8	146.9	135.7	143.2	123.2	1368.6	114.05
Tierra Blanca	65.7	62.8	41.4	62.8	73.1	101.4	127.0	125.4	125.3	107.7	121.6	107.0	1121.2	93.43
Caripe	65.0	29.7	25.9	32.5	77.8	117.9	120.7	127.5	100.7	94.5	24.7	65.6	882.5	73.54
Caripito	97.0	48.4	46.2	64.0	113.3	156.3	154.4	149.0	141.4	137.1	142.1	126.3	1375.4	114.62
Aparicio	18.9	12.1	14.8	23.4	57.5	97.5	111.8	115.4	97.1	91.4	67.7	49.0	756.6	63.05
El Guamo	23.1	15.0	20.4	31.9	73.1	108.7	117.2	118.8	102.5	102	89.5	59.8	862.1	71.84
Viento Fresco	27.1	14.3	11.4	25.4	71.8	128.0	121.8	107.0	92.7	83.6	69.7	52.0	804.7	67.06
Aragua de Maturín	33.7	14.8	17.2	26.9	70.1	121.2	121.2	108.4	100.5	90.6	69.9	56.2	830.6	69.22
San Félix	17.3	9.9	11.0	23.2	56.3	99.2	90.8	101.1	91.0	82.3	65.5	37.1	684.7	57.06
Cachipo	62.7	37.2	32.8	43.9	106.9	144.7	149.2	153.1	122.1	127.8	137.2	128.1	1245.8	103.82
Maturín-Aeropuerto	51.3	29.2	23.8	39.1	89.5	138.9	136.8	124.9	103.1	87.5	96.3	88.6	1009	84.08
Aguasay	33.8	18.9	13.7	24.5	63.2	124.4	128.3	129.3	107.0	86.8	69.7	52.3	851	70.92
El Tejero	28.7	17.4	12.4	26.7	60.4	128.7	127.2	111.8	85.3	79.6	67.1	50.8	796.1	66.34
La Pinta	33.7	22.3	24.6	42.9	81.7	132.6	124.5	128.2	96.5	108.9	89.5	69.0	954.3	79.53
Santa Rita	48.3	28.5	19.3	25.2	55.8	122.1	120.4	103.0	83.2	69.8	83.2	78.2	836.8	69.73
La Centella	53.3	27.6	19.1	27.1	72.6	123.8	144.7	121.2	105.0	86.4	82.3	78.2	941.1	78.425
San José de Buja	61.9	42.6	30.5	41.8	87.0	143.1	135.0	131.0	93.4	105.7	110.4	99.5	1082	90.17
El Silencio	51.3	35.1	19.5	27.6	75.5	121.1	110.7	126.5	94.5	73.7	74.3	77.5	887.4	73.95
Joaquín	37.2	20.6	14.7	26.4	79.7	130.6	132.8	131.0	107.7	92.3	85.0	64.6	922.7	76.89
Los Cinco Cruce	82.1	74.5	51.6	67.4	76.5	138.9	147.4	98.4	122.1	123.2	114.1	109.9	1206.1	100.51

Estación con precipitación más alta

Estación con precipitación más baja

Meses lluviosos: azul

Meses secos:

Verde

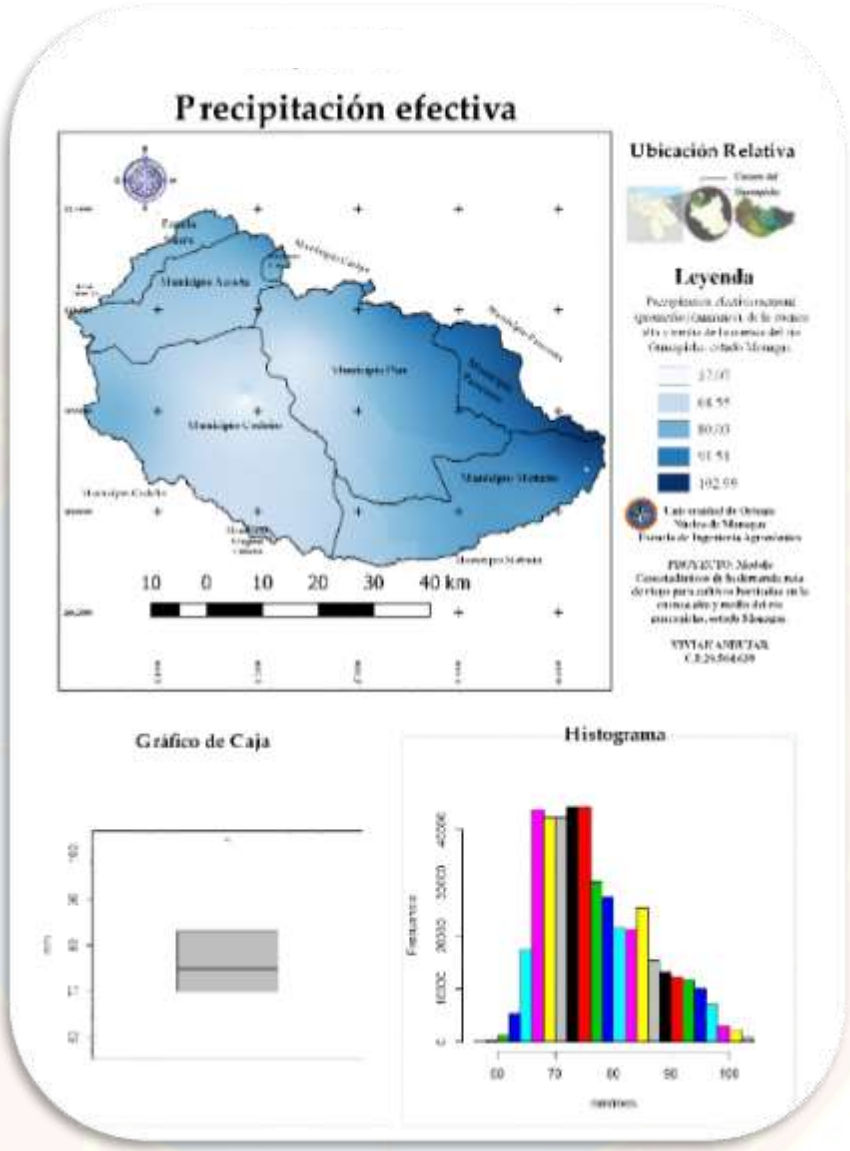


Figura 2. Mapa promedio de precipitación efectiva mensual de la cuenca alta y media del rio Guarapiche del estado Monagas.

CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE AGUA EN LOS SUELOS EN LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RIO GUARAPICHE

En el anexo 2 se muestra las seis clases texturales presentes en la cuenca alta y media del rio Guarapiche, donde se visualiza que al norte de la cuenca predominan los suelos que van de franco arcilloso (FAr) a suelos arcillosos (Ar), mientras que al sur de la cuenca predominan los suelos con texturas que oscilan desde arenosos (a) hasta suelos francos (F), pasando por franco arenosos (Fa).

El mapa de agua útil o agua económicamente aprovechable de la cuenca alta y media del rio Guarapiche está distribuida como se muestra en la figura 3, donde la menor capacidad de almacenamiento de agua en el suelo se encuentra entre los municipios Maturín, Punceres, Cedeño, Ezequiel Zamora y el sur del municipio Piar con disponibilidad de agua de 8 cm/m. Esto es debido a la clase textural franco arcillosa (FAr) predominante en los suelos de los municipios mencionados.

Por otra parte, los mayores valores de agua económicamente aprovechable se encuentran en zonas puntuales del municipio Piar con 17 cm/m. Coincidiendo con los suelos que poseen textura arcillosa (A). Por ende tienen mayor retención de agua.

El promedio de la capacidad de almacenamiento de agua en los suelos de la cuenca alta y media del rio Guarapiche es de 12 cm/m ubicados al norte de la cuenca abarcando los municipios Acosta, Caripe, Piar y sur del estado Sucre.

El análisis estadístico mostro asimetría con inclinación a la derecha en dos grupos, poca variabilidad en los datos con una mediana de 8 cm/m. En este sentido, estos datos se comparan con los obtenidos por Maza (2012) quien expresa que los suelos del norte del estado Monagas son suelos francos hasta arcillosos por ser relieves montañosos mientras que al sur predominan los suelos francos y arenosos.

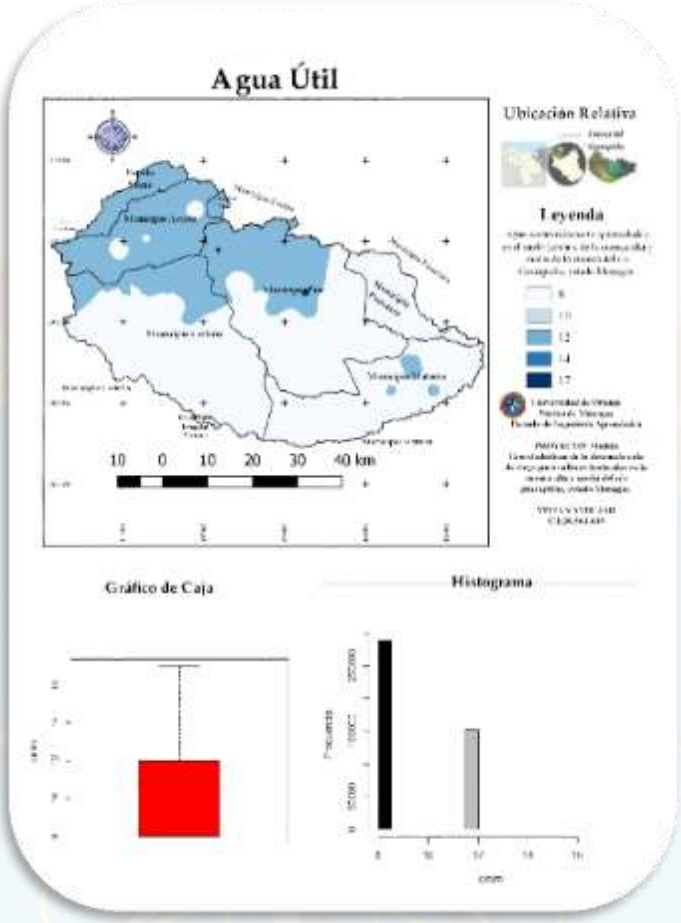


Figura 3. Mapa con el agua útil o agua económicamente aprovechable de la cuenca alta y media del rio Guarapiche del estado Monagas.

El balance de agua en el suelo requiere de una sección de control, determinada por la superficie del suelo y la profundidad de enraizamiento, dentro del cual existen cambios en el contenido de agua del suelo en función de la precipitación y el riego, las ganancias o pérdidas de agua por escorrentía superficial, las ganancias o pérdidas por percolación profunda y la evapotranspiración. Se establece así una capacidad del suelo para almacenar agua, pero a la vez una capacidad del suelo para conducir el agua hacia las raíces de las plantas.

Para la obtención de evapotranspiración real es necesario calcular esta capacidad de almacenamiento del suelo denominada como lámina neta de los cultivos, esta se calculó en ambiente Grass multiplicando el mapa de agua útil por la profundidad estimada de cada cultivo por el porcentaje de agotamiento usando un valor de 0.5 en atención a lo sugerido por Bolinaga (1999).

Lámina neta del cultivo de ají (Capsicum chinenses Jacq)

La figura 4 por medio del software Grass Giss, la lámina neta del cultivo de ají dulce (*Capsicum* chinenses Jacq), en la cuenca del río Guarapiche posee una lámina neta de 5.10 cm en zonas puntuales del municipio Piar, siendo esta la mayor lámina neta. Entre los municipios Maturín, Punceres, Cedeño, Ezequiel Zamora y el sur del municipio Piar la menor lámina con 2.40 cm.

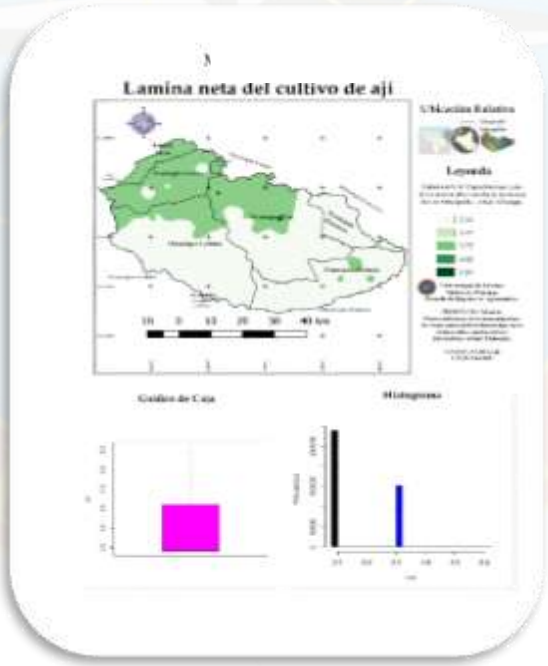


Figura 4. Mapa de lámina neta o agua económicamente aprovechable para el cultivo de ají (*Capsicum chinenses*) de la cuenca alta y media del rio Guarapiche del estado Monagas.

Lámina neta del cultivo de tomate (Lycopersicum esculentum Mill)

En la figura 5, se muestra la distribución de la lámina neta para el cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill), donde la menor lámina se visualiza en los municipios Maturín, Punceres, Cedeño, Ezequiel Zamora y el sur del municipio Piar con lámina de 3.80 cm, mientras que la mayor se registra con 8.07 cm en zonas puntuales en el municipio Piar.

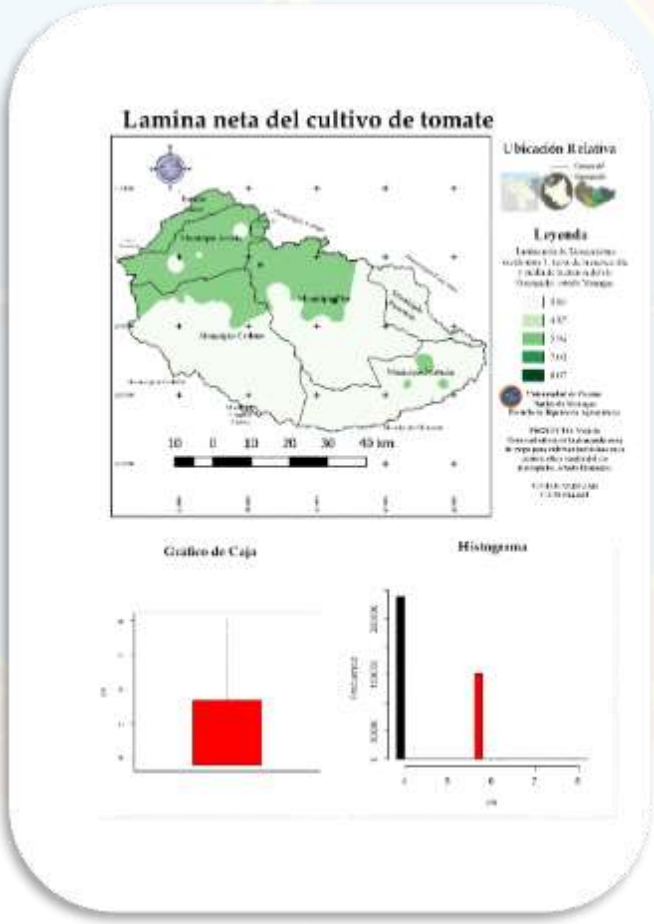


Figura 5. Mapa de lámina neta o agua económicamente aprovechable para el cultivo de tomate *(Lycopersicum esculentum* Mill) de la cuenca alta y media del rio Guarapiche del estado Monagas.

Lámina neta del cultivo de berenjena (Solanum melongena L.)

El mapa resultado de la lámina neta del cultivo de berenjena (*Solanum melongena* L.), señalado en la figura 6, muestra la lámina de 2.00 cm en zonas puntuales del municipio Piar siendo esta la menor lamina y la mayor de 4.25 cm en los municipios Maturín, Punceres, Cedeño, Ezequiel Zamora y el sur del municipio Piar.

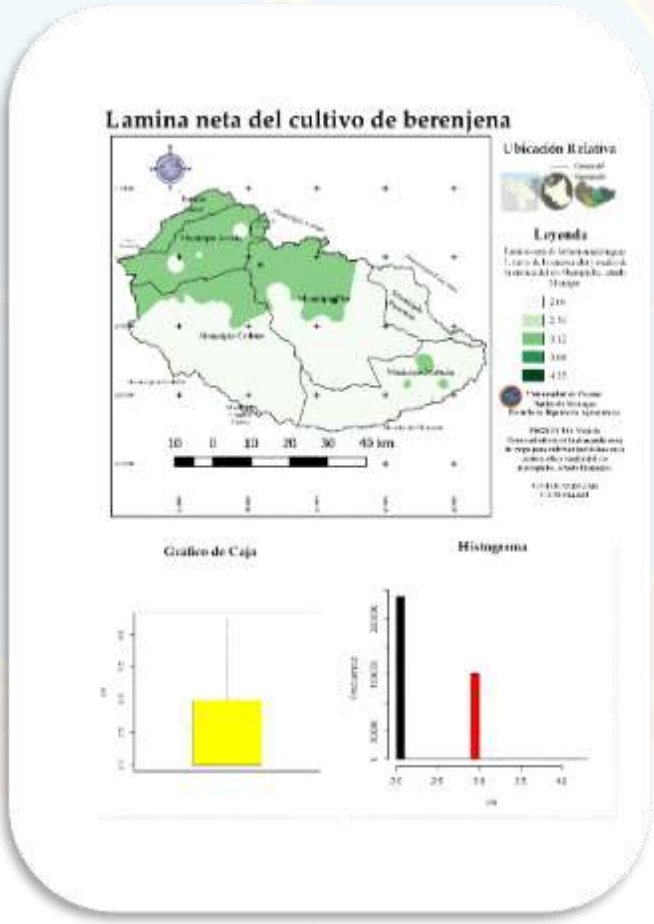


Figura 6. Mapa de lámina neta o agua económicamente aprovechable para el cultivo de berenjena (*Solanum melongena* L.) de la cuenca alta y media del rio Guarapiche del estado Monagas.

Lámina neta del cultivo de pimentón (Capsicum annuum L.)

En la figura 7, se muestra la distribución de la lámina neta para el cultivo de pimentón (*Capsicum annuum* L.), donde la menor lamina se visualiza en los municipios Maturín, Punceres, Cedeño, Ezequiel Zamora y el sur del municipio Piar con lamina de 2.80 cm, mientras que la mayor se registra con 5.95 cm en zonas puntuales del municipio Piar.

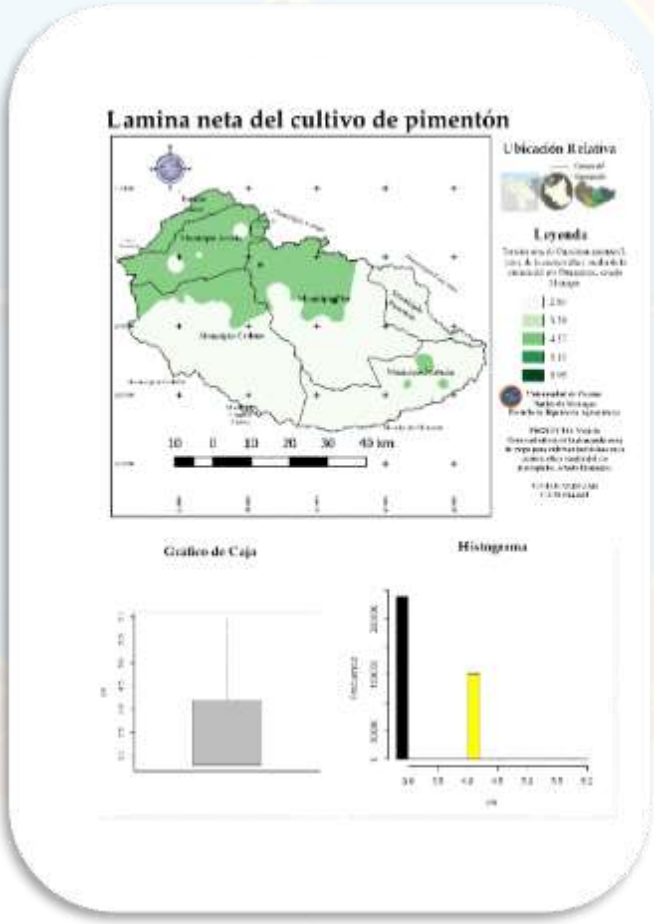


Figura 7. Mapa de lámina neta o agua económicamente aprovechable para el cultivo de pimentón (*Capsicum annuum* L.) de la cuenca alta y media del rio Guarapiche del estado Monagas.

Lámina neta de los cultivos hortícolas

Los resultados obtenidos por medio del software Grass Giss la lámina neta para cultivos hortícolas representado en la figura 8, en la cuenca del rio Guarapiche se visualiza que la mayor lámina neta de 5.52 cm se encuentra en zonas puntuales del municipio Piar, mientras que entre los municipios Maturín, Punceres, Cedeño, Ezequiel Zamora y el sur del municipio Piar se encuentra la menor lámina con 2.60 cm.

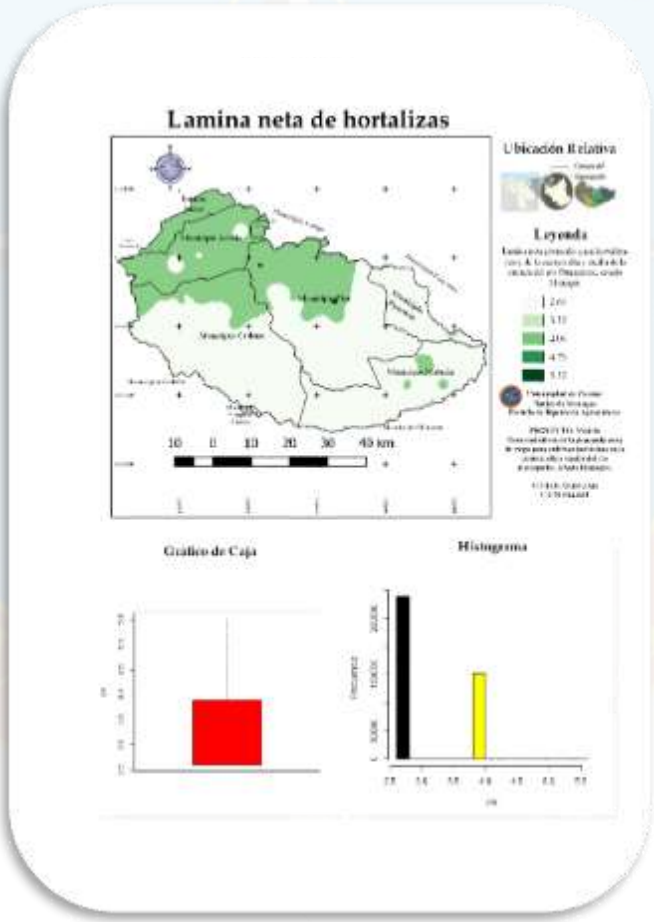


Figura 8. Mapa de lámina neta o agua económicamente aprovechable para hortalizas en la cuenca alta y media del rio Guarapiche del estado Monagas.

Con estos resultados se cuantifica la capacidad de almacenamiento de agua en los suelos de la cuenca alta y media del río Guarapiche, utilizando técnicas de interpolación geoestadística. Es así como se tienen distintas capacidades para retener el agua en el suelo, por lo que las estrategias de riego serán diferentes en función de la mayor o menor proporción de agua en los poros del suelo, y su disponibilidad para la planta se define de acuerdo al tipo de suelo.

EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL DE CUATRO CULTIVOS HORTÍCOLAS (ají (Capsicum chinenses), TOMATE (Lycopersicum esculentum Mill.), BERENJENA (Solanum melongena L.), Y PIMENTÓN (Capsicum annuum L.), A PARTIR DE LA ECUACIÓN DE PENMAN-MONTEITH (FAO-PM).

Con los datos de temperatura mínima y temperatura máxima obtenidos a través del portal web del INAMEH y utilizando el software Cropwat 8.0, se calculó la evapotranspiración de referencia (ETo) a partir de la ecuación de Penman-Monteith (FAO-PM), y luego utilizando la ecuación 7 se obtuvo los mapas de evapotranspiración real para cada uno de los cultivos.

Evapotranspiración real del cultivo de ají (Capsicum chinenses)

En el mapa resultante de la evapotranspiración real del cultivo de ají (*Capsicum chinenses*) representado en la figura 9 los valores oscilan entre 2.01 cm y 7.89 cm, donde la mayor evapotranspiración real se refleja en los municipios Maturín y Punceres, disminuyendo de manera degradada hacia el sur de la cuenca, los valores menores se presentan en los municipios Acosta, Caripe, parte del estado Sucre y el norte de Cedeño y Piar, registrándose de manera puntual en este municipio la menor ETr con 2.01 cm.

El análisis estadístico mostró mediana de 4.60 cm, y frecuencia asimétrica sesgada a la derecha.

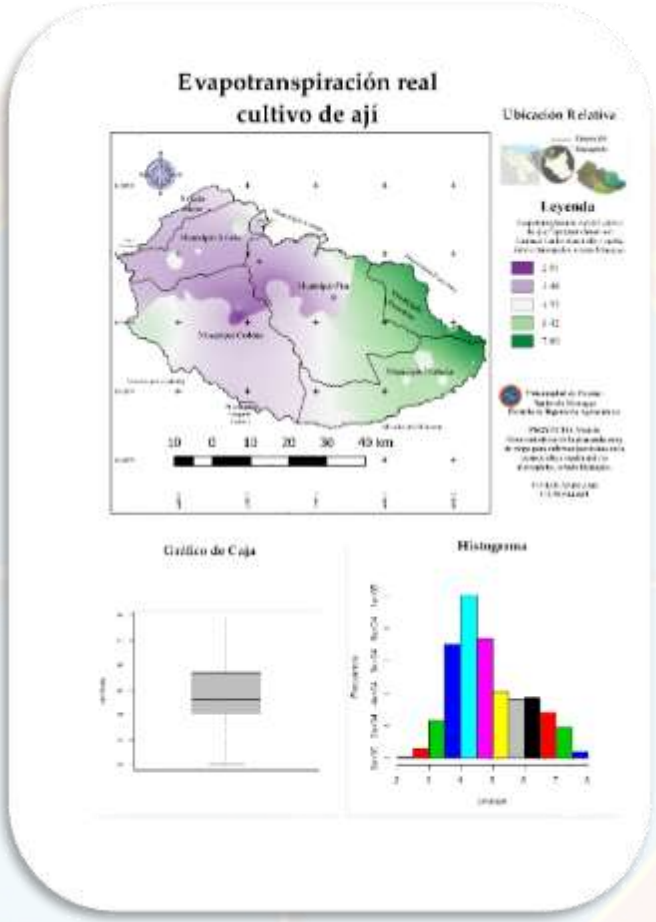


Figura 9. Mapa de evapotranspiración real del cultivo de ají (*Capsicum chinenses*) de la cuenca alta y media del rio Guarapiche del estado Monagas.

Evapotranspiración real tomate (Lycopersicum esculentum Mill)

La evapotranspiración real del cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) representado en la figura 10 los valores oscilan entre -0.95 cm y 6.49 cm, donde la menor evapotranspiración real se refleja de manera puntual en el municipio Piar y

la mayor evapotranspiración real se visualiza en los municipios Maturín y Punceres con una evapotranspiración real de 6.49 cm.

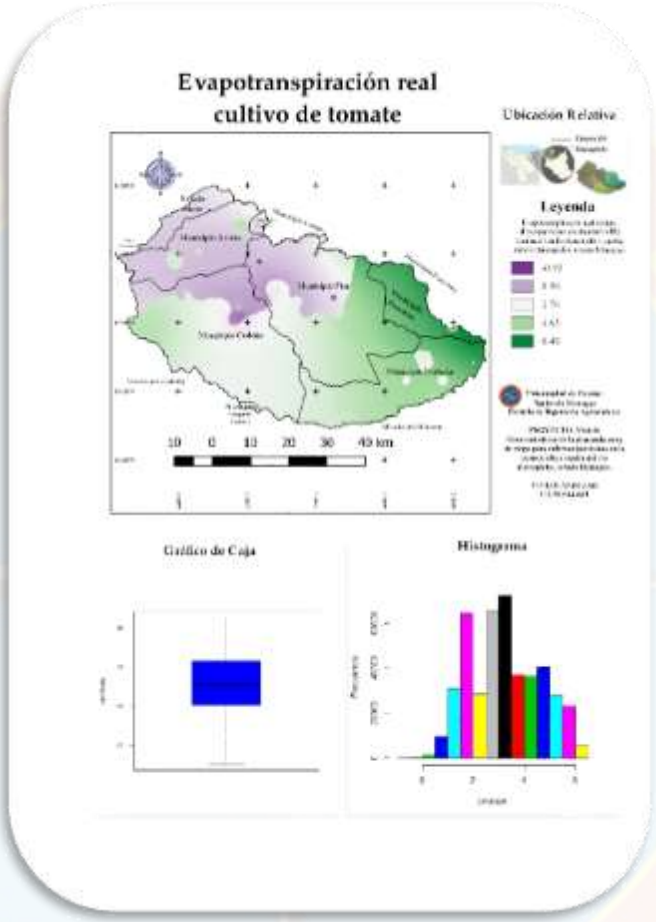


Figura 10. Mapa de evapotranspiración real del cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) de la cuenca alta y media del rio Guarapiche del estado Monagas.

Evapotranspiración real berenjena (Solanum melongena L.)

La figura 11 representa la evapotranspiración real del cultivo de berenjena (*Solanum melongena* L.), reflejando los menores valores de forma degradada al norte de la cuenca del rio Guarapiche siendo la menor de manera puntual en el municipio

Piar con valor de 2.70 cm, los mayores valores se visualizan en los municipios Maturín y Punceres con evapotranspiración real de 8.29 cm. El análisis estadístico se visualizó mediana de 5.06 cm con asimetría sesgada a la derecha.

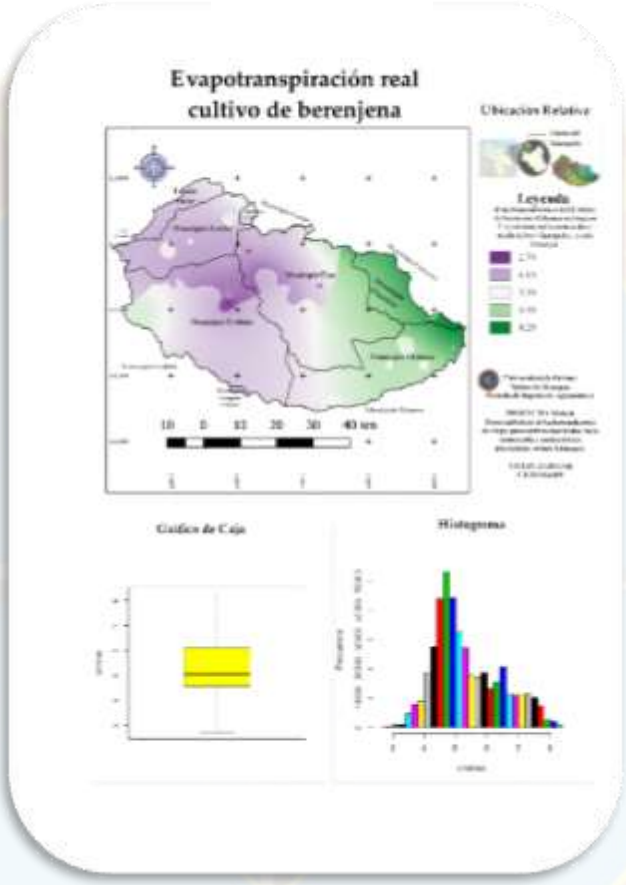


Figura 11. Mapa de evapotranspiración real del cultivo de berenjena (*Solanum melongena* L.) de la cuenca alta y media del rio Guarapiche del estado Monagas.

Evapotranspiración real pimentón (Capsicum annuum L.)

La evapotranspiración real del cultivo de pimentón (*Capsicum annuum* L.) se representa en la figura 12 los valores oscilan entre 1.16 cm y 7.49 cm, donde la mayor evapotranspiración real se refleja en los municipios Maturín y Punceres, disminuyendo de manera degradada hacia el sur de la cuenca y la evapotranspiración

real menor de 1.16 cm. El análisis estadístico mostró mediana de 4.16 cm y frecuencia asimétrica sesgada a la derecha.

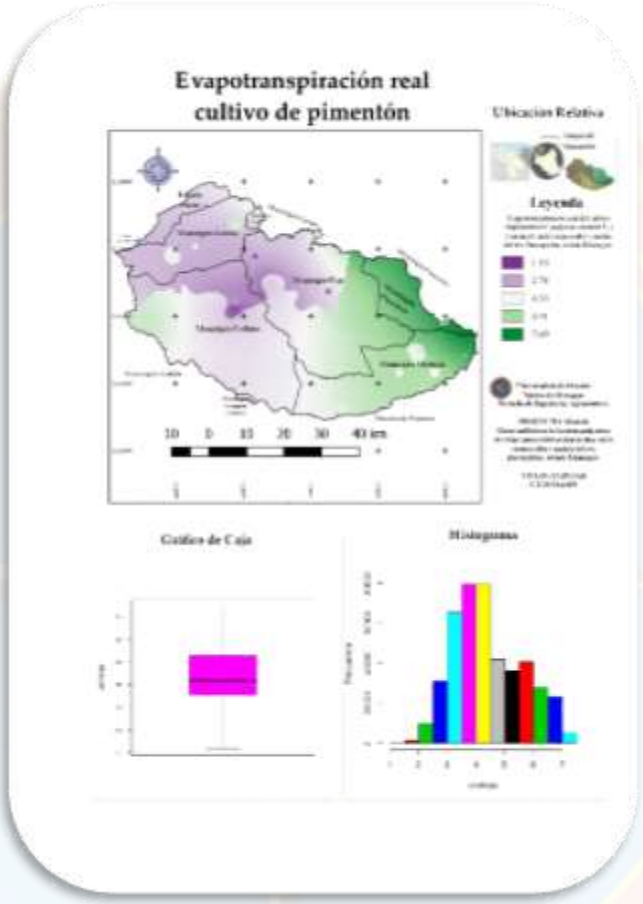


Figura 12. Mapa de evapotranspiración real del cultivo de pimentón (*Capsicum annuum* L.) de la cuenca alta y media del rio Guarapiche del estado Monagas.

Evapotranspiración real para cultivos hortalizas

Para los cultivos hortícolas la evapotranspiración real representado en la figura 13 los valores oscilan entre 1.59 cm y 7.69 cm, donde la mayor evapotranspiración real se refleja en los municipios Punceres y Maturín, disminuyendo de manera degradada hacia el sur de la cuenca; la menor evapotranspiración real se refleja al

norte de la cuenca con degradación en los municipios Acosta, Estado Sucre y norte de los municipios Cedeño y Piar, siendo menor valor reflejado de manera puntual en el municipio Piar con 1.59 cm. El análisis estadístico mostró mediana de 4.38 cm y frecuencia asimétrica sesgada a la derecha.

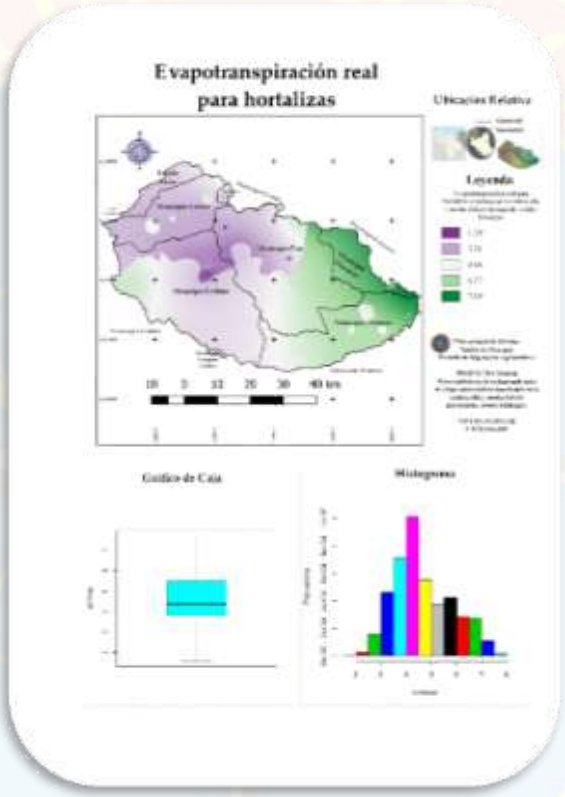


Figura 13. Mapa de evapotranspiración real para cultivos hortícolas en la cuenca alta y media del rio Guarapiche del estado Monagas.

REPRESENTACIONES CARTOGRÁFICAS BAJO EL ENFOQUE DE UN MODELO DISTRIBUIDO, LAS NECESIDADES DE AGUA PARA EL DESARROLLO DE AJÍ (*Capsicum chinenses*), TOMATE (*Lycopersicum esculentum* Mill), BERENJENA (*Solanum melongena* L.), Y PIMENTÓN (*Capsicum annuum* L.), EN LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO GUARAPICHE

Para poder cumplir con su ciclo fenológico, los cultivos dependen fuertemente del agua, cuyo consumo está controlado por la energía radiante proveniente del sol y la energía del viento que favorece los cambios de estado de líquido a vapor (Santibáñez, 1994). Por otra parte, la fuente de agua se encuentra en el suelo, a partir del cual las plantas extraen el agua según sus requerimientos. Se establece así un flujo suelo-planta-atmósfera, el cual requiere de un balance de agua y energía para entender el estado hídrico y las necesidades de agua del vegetal (Evett, 1999).

La necesidad de agua para cada uno de los cultivos seleccionados se calculó basándose en la ecuación 6, apoyándose en el software del Sistema de Información Geográfica Grass Gis para realizar el álgebra de mapas y obtener los mapas resultantes de la demanda neta de riego en la cuenca alta y media del rio Guarapiche.

La evapotranspiración del cultivo (Etc) se calculó multiplicando los datos de evapotranspiración potencial (ETo) y coeficiente de cultivo (Kc) en sus tres etapas: inicial, media y final. La ETo se calculó a través del software Cropwat 8.0 utilizando los datos de temperatura mínima y temperatura máxima obtenidas a través del portal web del INAMEH.

Se elaboraron tres mapas para mostrar la evapotranspiración de los cultivos (ETc) en sus tres etapas. En el anexo 7 se muestran los mapas resultantes de la evapotranspiración del cultivo donde se visualiza que la menor evapotranspiración

del cultivo ocurre en la etapa inicial con un valor de 8.28 cm coincidiendo en las tres etapas que la menor ETc ocurre hacia la zona este de los municipios Maturín y Punceres y la mayor evapotranspiración ocurre en la fase media con un valor de 17.97 cm.

En las tres etapas del cultivo, la mayor evapotranspiración de cultivo coincide en la zona oeste del municipio Cedeño.

Necesidades de agua para el desarrollo del cultivo de ají (Capsicum chinenses)

La mayor demanda de agua en el cultivo de ají (*Capsicum chinenses*) ocurre en la fase media con valores que oscilan entre 7.58 y 15.57 cm/m debido a que en esa etapa el cultivo está en pleno crecimiento, desarrollando el follaje y fortaleciendo las raíces por lo que extrae mayor cantidad de agua, tanto así que su coeficiente del cultivo es de 1.15 siendo este el más elevado de acuerdo con la FAO (2015).

Dentro de la fase media del cultivo los mayores valores están concentrados en el municipio Piar, debido a que en esa zona las precipitaciones son escasas en comparación, con el resto de la cuenca, oscilando entre los 600 y 800 mm anuales ocasionando esto que la evapotranspiración del cultivo sea mayor y por ende se tenga una mayor demanda de riego. Las menores demandas de riego se presentan hacia los municipios Punceres y Maturín donde las precipitaciones son mayores (entre 1200 y 1300 mm anuales) en toda la zona este de la cuenca.

En la fase inicial del cultivo de ají, la demanda de riego es de 3.34 hasta 10.64 cm/m en toda la cuenca alta y media del rio Guarapiche. En esta fase el cultivo se encuentra en la etapa de semillero, trasplante hasta el crecimiento de sus primeras hojas donde el Kc del cultivo es de 0.60 de acuerdo con la FAO (2015).

En esta fase inicial del cultivo los mayores valores están concentrados en los municipios Acosta, Piar y norte del municipio Cedeño disminuyendo en el centro de este municipio con un leve incremento hacia el municipio Ezequiel Zamora.

Las zonas con mayor necesidad de riego son las que presentan precipitaciones escasas en comparación, con el resto de la cuenca, oscilando entre los 600 y 800 mm anuales, ocasionando esto que la evapotranspiración del cultivo sea mayor y por ende se tenga una mayor demanda de riego. La menor demanda de riego se presenta hacia los municipios Punceres y Maturín donde las precipitaciones son mayores (entre 1200 y 1300 mm anuales) en toda la zona este de la cuenca.

Con respecto a la necesidad de riego en la fase final del cultivo de ají, la lámina de agua a aplicar se encuentra entre 3.14 y 10.21 cm/m en toda la cuenca alta y media del rio Guarapiche. En esta fase el cultivo se encuentra en la etapa de floración hasta la fructificación donde el coeficiente del cultivo es equivalente a 0.80 de acuerdo con la FAO (2015).

En esta fase final del cultivo los valores más elevados están distribuidos en los municipios Acosta, Piar y norte del municipio Cedeño disminuyendo en el centro de este municipio con un leve incremento hacia el municipio Ezequiel Zamora. Las zonas con mayor necesidad de riego son las que presentan precipitaciones escasas en comparación, con el resto de la cuenca, con una variación entre 600 y 800 mm anuales, ocasionando que la evapotranspiración del cultivo sea mayor y por ende requiera una mayor demanda de riego.

La menor demanda de riego, al igual que en las otras fases del cultivo de ají, se presenta hacia los municipios Punceres y Maturín donde las precipitaciones son mayores (entre 1200 y 1300 mm anuales) en toda la zona este de la cuenca, exigiendo una menor demanda de riego .

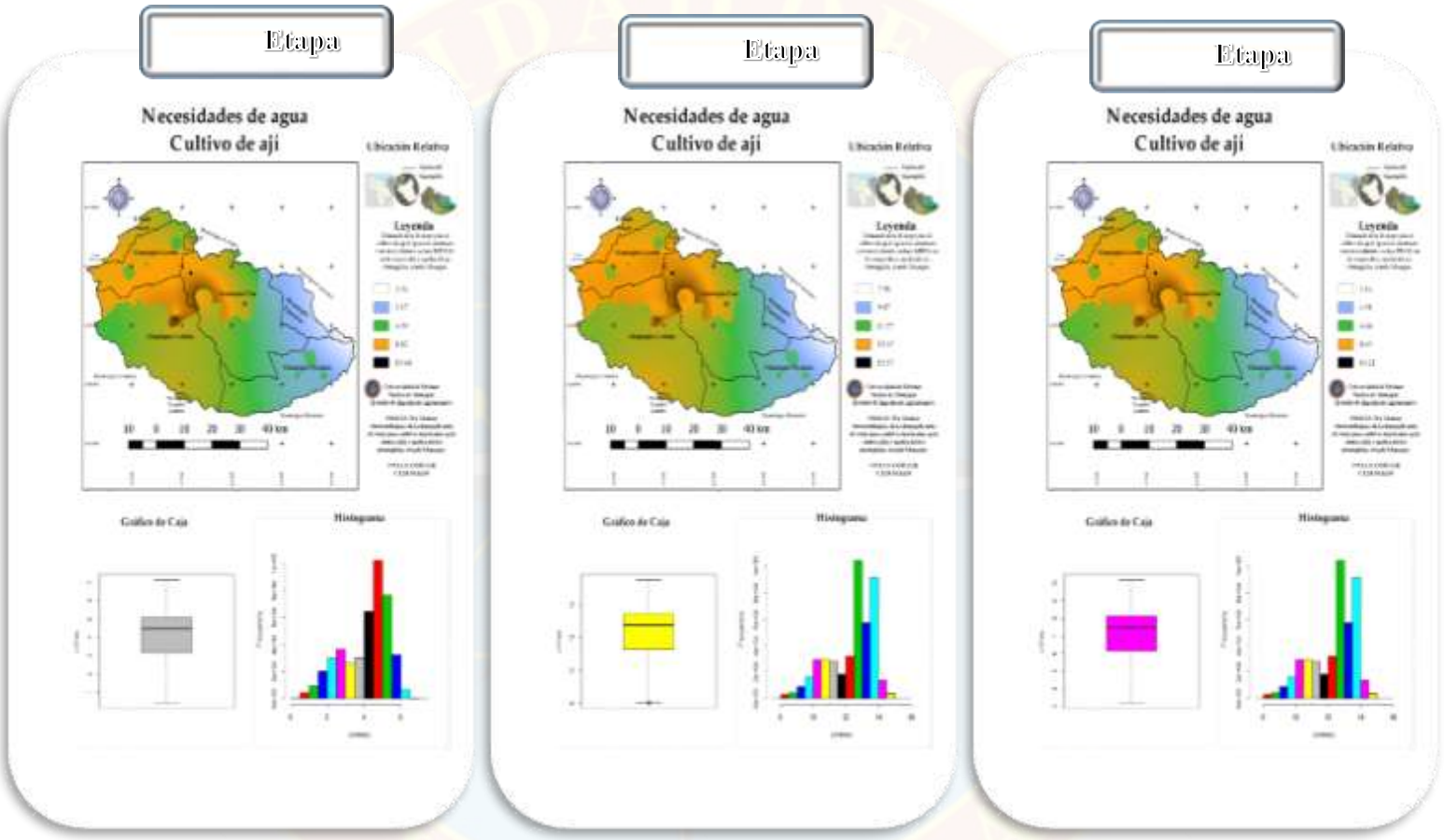


Figura 14. Mapas de la demanda neta de riego para el cultivo de ají (*Capsicum chinenses*) en la etapa inicial, media y final, en la cuenca alta y media del rio Guarapiche del estado Monagas.

Necesidades de agua para el desarrollo del cultivo de berenjena (Solanum melongena L.)

El cultivo de berenjena requiere la mayor demanda de agua en la fase media con valores que oscilan entre 7.58 y 14.72 cm/m debido a que en esa etapa el cultivo se encuentra en crecimiento, desarrollando el follaje y fortaleciendo las raíces por lo que requiere mayor cantidad de agua, tanto así que su coeficiente del cultivo es de 1.15 siendo este el más elevado de acuerdo con la FAO (2015).

En la fase media del cultivo los valores mayores se reflejan en el municipio Piar, debido a que en esa zona las precipitaciones son escasas en comparación, con el resto de la cuenca, oscilando entre los 600 y 800 mm anuales ocasionando esto que la evapotranspiración del cultivo sea mayor y por ende se tenga una mayor demanda de riego. Las menores demandas de riego se presentan hacia los municipios Punceres y Maturín donde las precipitaciones son mayores (entre 1200 y 1300 mm anuales) en toda la zona este de la cuenca.

En la fase inicial del cultivo de berenjena, la demanda de riego es de -0.01 hasta 6.31 cm/m en toda la cuenca alta y media del rio Guarapiche. En esta fase el cultivo se encuentra en la etapa de semillero, trasplante hasta el crecimiento de sus primeras hojas donde el Kc del cultivo es de 0.60 de acuerdo con la FAO (2015).

Los mayores valores en esta fase inicial del cultivo están concentrados en los municipios Acosta, Piar y norte del municipio Cedeño disminuyendo en el centro de este municipio con un leve incremento hacia el municipio Ezequiel Zamora.

Las zonas con mayor necesidad de riego son las que presentan precipitaciones escasas en comparación, con el resto de la cuenca, oscilando entre los 600 y 800 mm anuales, ocasionando esto que la evapotranspiración del cultivo sea mayor y por ende

se tenga una mayor demanda de riego. La menor demanda de riego se presenta hacia los municipios Punceres y Maturín donde las precipitaciones son mayores (entre 1200 y 1300 mm anuales) en toda la zona este de la cuenca.

Con respecto a la necesidad de riego en la fase final del cultivo de berenjena, la lámina de agua demandada se encuentra entre 2.74 y 9.36 cm/m en toda la cuenca alta y media del rio Guarapiche. En esta fase el cultivo se encuentra en la etapa de floración hasta la fructificación donde el coeficiente del cultivo es equivalente a 0.80 de acuerdo con la FAO (2015).

En esta fase final del cultivo los valores más elevados están distribuidos en los municipios Acosta, Piar y norte del municipio Cedeño disminuyendo en el centro de este municipio con un leve incremento hacia el municipio Ezequiel Zamora. Las zonas con mayor necesidad de riego son las que presentan precipitaciones escasas en comparación, con el resto de la cuenca, con una variación entre 600 y 800 mm anuales, ocasionando que la evapotranspiración del cultivo sea mayor y por ende requiera una mayor demanda de riego.

La menor demanda de riego, al igual que en las otras fases del cultivo de berenjena, se presenta hacia los municipios Punceres y Maturín donde las precipitaciones son mayores (entre 1200 y 1300 mm anuales) en toda la zona este de la cuenca, exigiendo una menor demanda de riego .

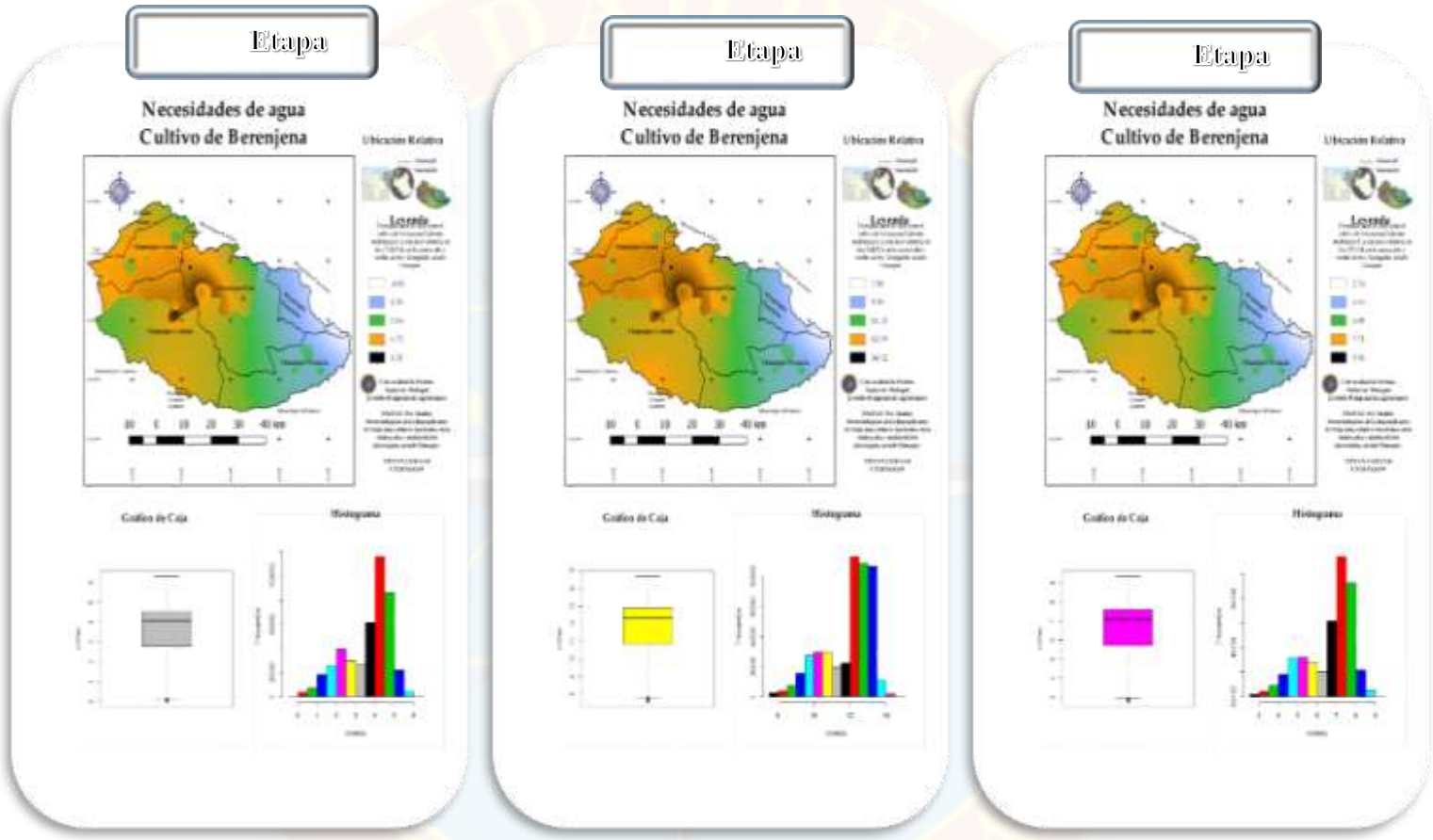


Figura 15. Mapas de la demanda neta de riego para el cultivo de berenjena (*Solanum melongena* L.) en la etapa inicial, media y final, en la cuenca alta y media del rio Guarapiche del estado Monagas

Necesidades de agua para el desarrollo del cultivo de pimentón (Capsicum annuum L.)

La mayor demanda de agua para el cultivo de pimentón ocurre en la fase media con valores que oscilan entre 9.48 y 14.80 cm/m debido a que en esa etapa el cultivo está en pleno crecimiento, desarrollando el follaje y fortaleciendo las raíces por lo que extrae mayor cantidad de agua, tanto así que su coeficiente del cultivo es de 1.15 siendo este el más elevado de acuerdo con la FAO (2015).

Dentro de la fase media del cultivo los mayores valores están concentrados en el municipio Piar, debido a que en esa zona las precipitaciones son escasas en comparación, con el resto de la cuenca, oscilando entre los 600 y 800 mm anuales ocasionando esto que la evapotranspiración del cultivo sea mayor y por ende se tenga una mayor demanda de riego. Las menores demandas de riego se presentan hacia los municipios Punceres y Maturín donde las precipitaciones son mayores (entre 1200 y 1300 mm anuales) en toda la zona este de la cuenca.

En la fase inicial del cultivo de pimentón, la demanda de riego es de 0.78 hasta 8.01 cm/m en toda la cuenca alta y media del rio Guarapiche. En esta fase el cultivo se encuentra en la etapa de semillero, trasplante hasta el crecimiento de sus primeras hojas donde el Kc del cultivo es de 0.60 de acuerdo con la FAO (2015).

En esta fase inicial del cultivo los mayores valores están concentrados en los municipios Acosta, Piar y norte del municipio Cedeño disminuyendo en el centro de este municipio con un leve incremento hacia el municipio Ezequiel Zamora.

Las zonas con mayor necesidad de riego son las que presentan precipitaciones escasas en comparación, con el resto de la cuenca, oscilando entre los 600 y 800 mm anuales, ocasionando esto que la evapotranspiración del cultivo sea mayor y por ende

se tenga una mayor demanda de riego. La menor demanda de riego se presenta hacia los municipios Punceres y Maturín donde las precipitaciones son mayores (entre 1200 y 1300 mm anuales) en toda la zona este de la cuenca.

Con respecto a la necesidad de riego en la fase final del cultivo de pimentón, la lámina de agua a aplicar se encuentra entre 3.54 y 11.06 cm/m en toda la cuenca alta y media del rio Guarapiche. En esta fase el cultivo se encuentra en la etapa de floración hasta la fructificación donde el coeficiente del cultivo es equivalente a 0.80 de acuerdo con la FAO (2015).

En esta fase final del cultivo los valores más elevados están distribuidos en los municipios Acosta, Piar y norte del municipio Cedeño disminuyendo en el centro de este municipio con un leve incremento hacia el municipio Ezequiel Zamora. Las zonas con mayor necesidad de riego son las que presentan precipitaciones escasas en comparación, con el resto de la cuenca, con una variación entre 600 y 800 mm anuales, ocasionando que la evapotranspiración del cultivo sea mayor y por ende requiera una mayor demanda de riego.

La menor demanda de riego, al igual que en las otras fases del cultivo de pimentón, se presenta hacia los municipios Punceres y Maturín donde las precipitaciones son mayores (entre 1200 y 1300 mm anuales) en toda la zona este de la cuenca, exigiendo una menor demanda de riego .

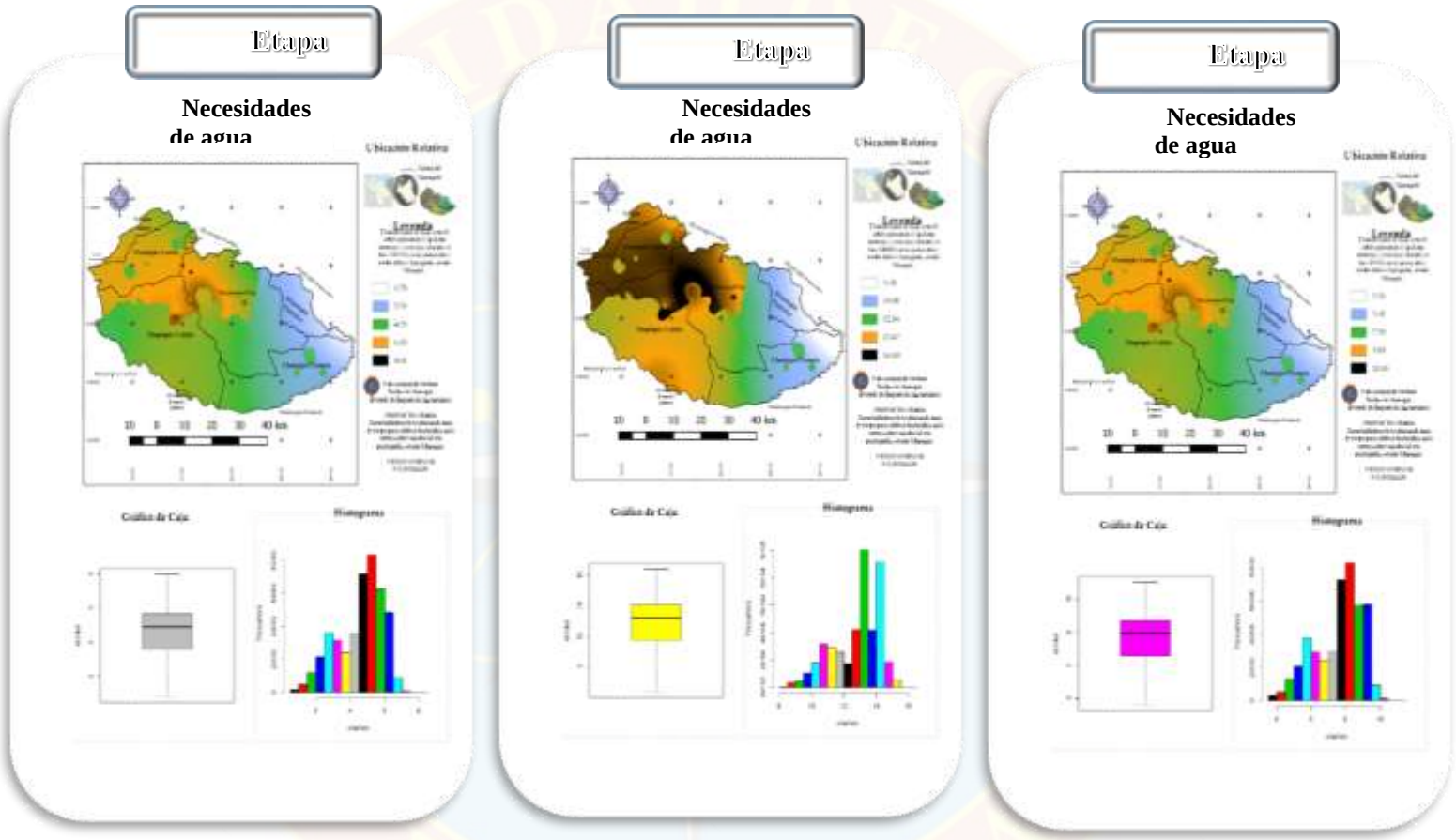


Figura 16. Mapas de la demanda neta de riego para el cultivo de pimentón (*Capsicum annuum* L.) en la etapa inicial, media y final, en la cuenca alta y media del rio Guarapiche del estado Monagas.

Necesidades de agua para el desarrollo del cultivo de tomate (Lycopersicum esculentum Mill)

El cultivo de tomate requiere la mayor demanda de agua en la fase media con valores que oscilan entre 9.38 y 18.54 cm/m debido a que en esa etapa el cultivo se encuentra en crecimiento, desarrollando el follaje y fortaleciendo las raíces por lo que requiere mayor cantidad de agua, por lo que su coeficiente del cultivo es de 1.15 siendo este el más elevado de acuerdo con la FAO (2015).

Los valores mayores de la fase media del cultivo se reflejan en el municipio Piar, debido a que en esa zona las precipitaciones son escasas en comparación, con el resto de la cuenca, oscilando entre los 600 y 800 mm anuales ocasionando esto que la evapotranspiración del cultivo sea mayor y por ende se tenga una mayor demanda de riego. Las menores demandas de riego se presentan hacia los municipios Punceres y Maturín donde las precipitaciones son mayores (entre 1200 y 1300 mm anuales) en toda la zona este de la cuenca.

En la fase inicial del cultivo de tomate, la demanda de riego es de 1.78 hasta 10.13 cm/m en toda la cuenca alta y media del rio Guarapiche. En esta fase el cultivo se encuentra en la etapa de semillero, trasplante hasta el crecimiento de sus primeras hojas donde el coeficiente del cultivo es equivalente a 0.60 de acuerdo con la FAO (2015).

Los mayores valores en esta fase inicial del cultivo están concentrados en los municipios Acosta, Piar y norte del municipio Cedeño disminuyendo en el centro de este municipio con un leve incremento hacia el municipio Ezequiel Zamora.

Las zonas con mayor necesidad de riego son las que presentan precipitaciones escasas en comparación, con el resto de la cuenca, oscilando entre los 600 y 800 mm

anuales, ocasionando esto que la evapotranspiración del cultivo sea mayor y por ende se tenga una mayor demanda de riego. La menor demanda de riego se presenta hacia los municipios Punceres y Maturín donde las precipitaciones son mayores (entre 1200 y 1300 mm anuales) en toda la zona este de la cuenca.

Con respecto a la necesidad de riego en la fase final del cultivo de tomate, la lámina de agua demandada se encuentra entre 4.54 y 13.19 cm/m en toda la cuenca alta y media del rio Guarapiche. En esta fase el cultivo se encuentra en la etapa de floración hasta la fructificación donde el coeficiente del cultivo es equivalente a 0.80 de acuerdo con la FAO (2015).

En esta fase final del cultivo los valores más elevados están distribuidos en los municipios Acosta, Piar y norte del municipio Cedeño disminuyendo en el centro de este municipio con un leve incremento hacia el municipio Ezequiel Zamora. Las zonas con mayor necesidad de riego son las que presentan precipitaciones escasas en comparación, con el resto de la cuenca, con una variación entre 600 y 800 mm anuales, ocasionando que la evapotranspiración del cultivo sea mayor y por ende requiera una mayor demanda de riego.

La menor demanda de riego, al igual que en las otras fases del cultivo de tomate, se presenta hacia los municipios Punceres y Maturín donde las precipitaciones son mayores (entre 1200 y 1300 mm anuales) en toda la zona este de la cuenca, exigiendo una menor demanda de riego .

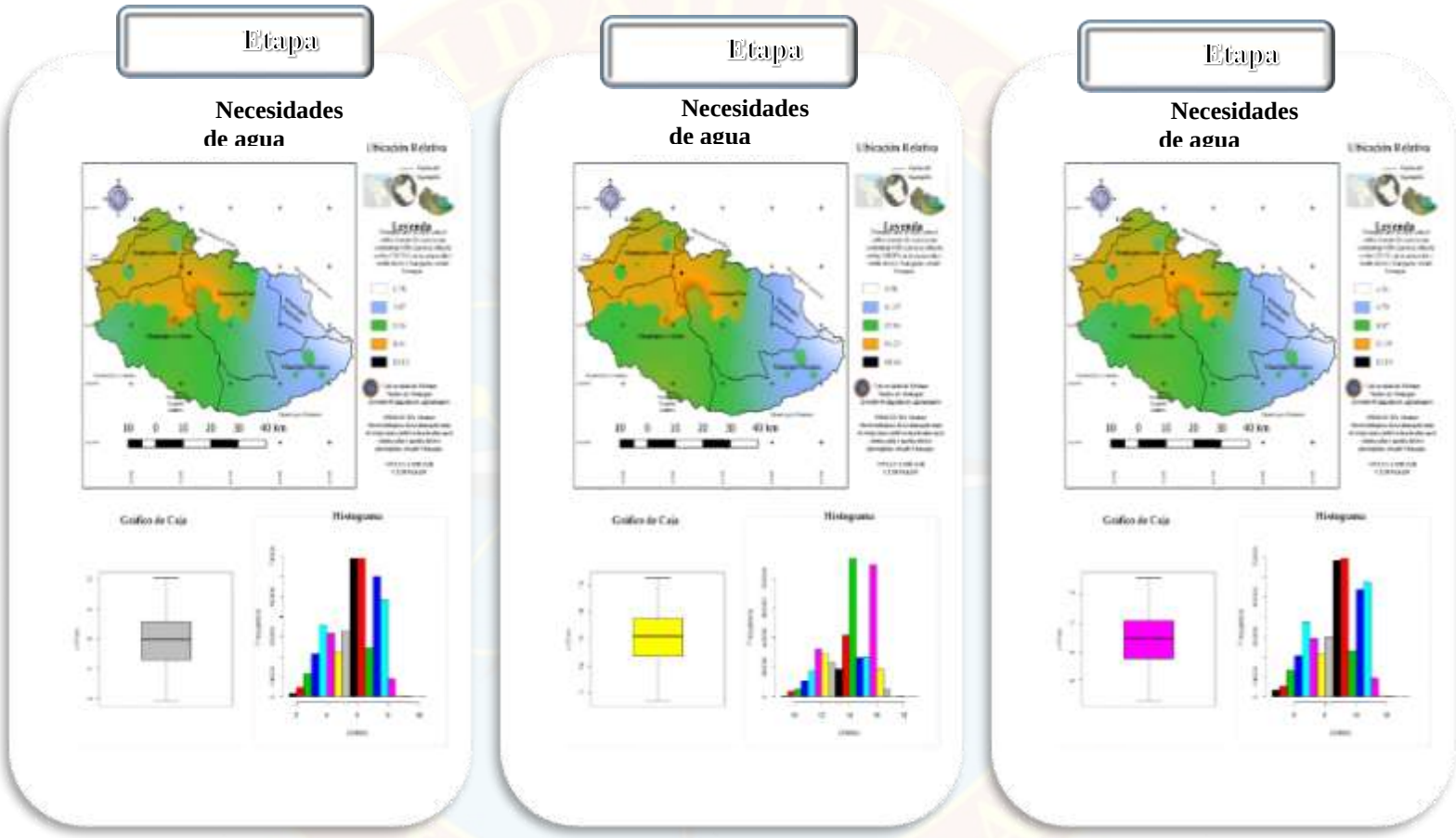


Figura 17. Mapas de la demanda neta de riego para el cultivo de tomate (Lycopersicum esculentum Mill) en la etapa inicial, media y final, en la cuenca alta y media del rio Guarapiche del estado Monagass.

Necesidades de agua para el desarrollo del cultivo hortícolas

La mayor demanda de agua para los cultivos hortícolas ocurre en la fase media con valores que oscilan entre 8.18 y 15.99 cm/m debido a que en esa etapa el cultivo está en pleno crecimiento, desarrollando el follaje y fortaleciendo las raíces por lo que extrae mayor cantidad de agua, tanto así que su coeficiente del cultivo es de 1.15 siendo este el más elevado de acuerdo con la FAO (2015).

Dentro de la fase media del cultivo los mayores valores están concentrados en el municipio Piar, debido a que en esa zona las precipitaciones son escasas en comparación, con el resto de la cuenca, oscilando entre los 600 y 800 mm anuales ocasionando esto que la evapotranspiración del cultivo sea mayor y por ende se tenga una mayor demanda de riego. Las menores demandas de riego se presentan hacia los municipios Punceres y Maturín donde las precipitaciones son mayores (entre 1200 y 1300 mm anuales) en toda la zona este de la cuenca.

En la fase inicial de los cultivos horticolas, la demanda de riego es de 0.58 hasta 7.58 cm/m en toda la cuenca alta y media del rio Guarapiche. En esta fase el cultivo se encuentra en la etapa de semillero, trasplante hasta el crecimiento de sus primeras hojas donde el Kc del cultivo es de 0.60 de acuerdo con la FAO (2015).

En esta fase inicial del cultivo los mayores valores están concentrados en los municipios Acosta, Piar y norte del municipio Cedeño disminuyendo en el centro de este municipio con un leve incremento hacia el municipio Ezequiel Zamora.

Las zonas con mayor necesidad de riego son las que presentan precipitaciones escasas en comparación, con el resto de la cuenca, oscilando entre los 600 y 800 mm anuales, ocasionando esto que la evapotranspiración del cultivo sea mayor y por ende se tenga una mayor demanda de riego. La menor demanda de riego se presenta hacia

los municipios Punceres y Maturín donde las precipitaciones son mayores (entre 1200 y 1300 mm anuales) en toda la zona este de la cuenca.

Con respecto a la necesidad de riego en la fase final del cultivo de los cultivos horticolas, la lámina de agua a aplicar se encuentra entre 3.34 y 10.64 cm/m en toda la cuenca alta y media del rio Guarapiche. En esta fase el cultivo se encuentra en la etapa de floración hasta la fructificación donde el coeficiente del cultivo es equivalente a 0.80 de acuerdo con la FAO (2015).

En esta fase final del cultivo los valores más elevados están distribuidos en los municipios Acosta, Piar y norte del municipio Cedeño disminuyendo en el centro de este municipio con un leve incremento hacia el municipio Ezequiel Zamora. Las zonas con mayor necesidad de riego son las que presentan precipitaciones escasas en comparación, con el resto de la cuenca, con una variación entre 600 y 800 mm anuales, ocasionando que la evapotranspiración del cultivo sea mayor y por ende requiera una mayor demanda de riego.

La menor demanda de riego, al igual que en las otras fases del cultivo horticoles, se presenta hacia los municipios Punceres y Maturín donde las precipitaciones son mayores (entre 1200 y 1300 mm anuales) en toda la zona este de la cuenca, exigiendo una menor demanda de riego .

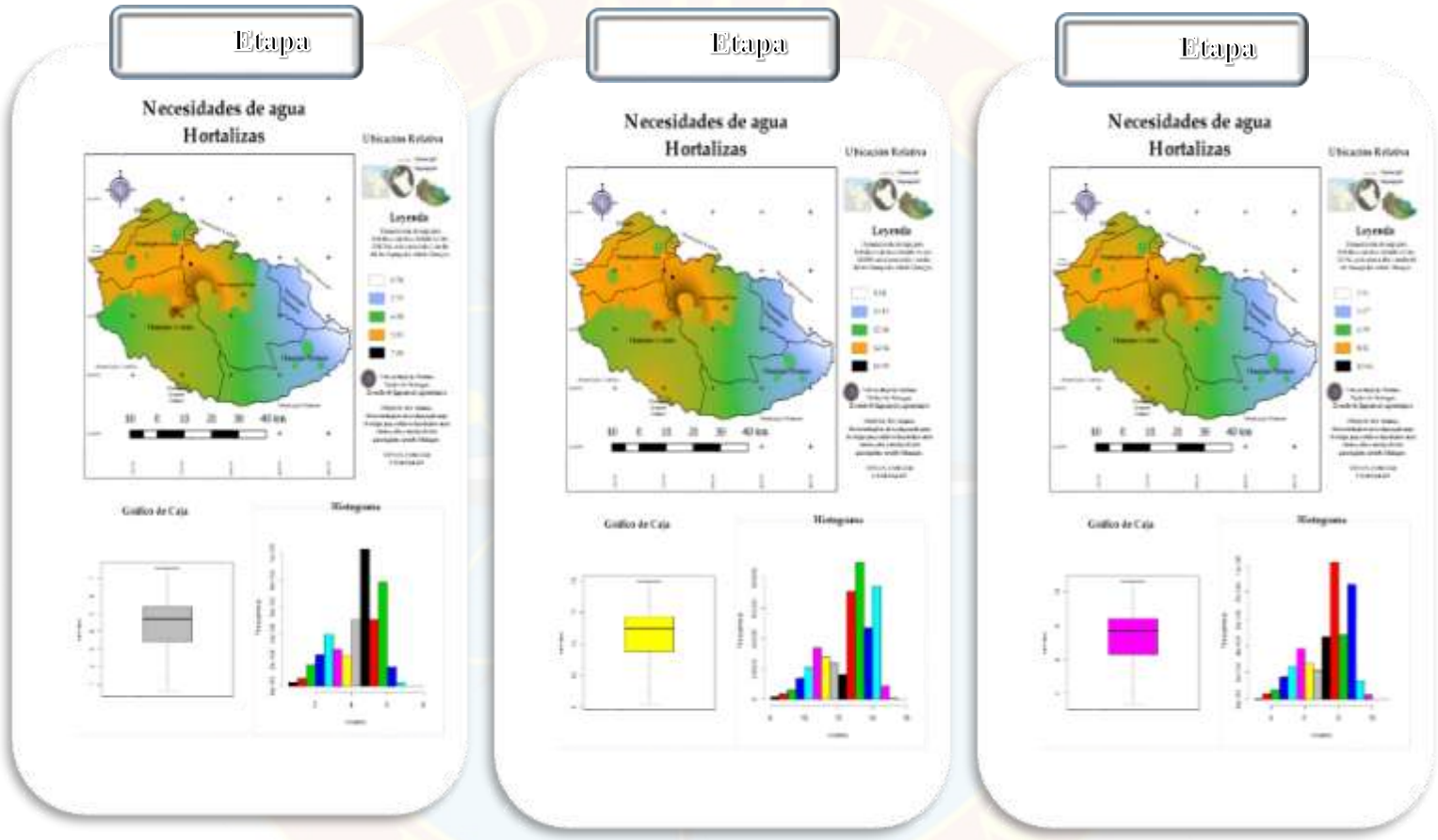


Figura 18. Mapas de la demanda neta de riego para los cultivos hortícolas en la etapa inicial, media y final, en la cuenca alta y media del rio Guarapiche del estado Monagas.

CONCLUSIONES

Procesado los resultados generados como consecuencia de la aplicación de las técnicas de investigación utilizada en el desarrollo del presente trabajo y todos los procesos con el programa GRASS se concluye lo siguiente:

- Los meses con menor precipitación son los meses de febrero, marzo y abril, las precipitaciones mínimas se reflejan al oeste de la cuenca del rio Guarapiche en el municipio Cedeño, mientras que las precipitaciones máximas predominan en la zona este de los municipios Maturín y Punceres.
- Los municipios Maturín, Punceres, Cedeño, Ezequiel Zamora y el sur del municipio Piar poseen suelos con clase textural franco arcillosa (FAr), los cuales presenta la menor capacidad de almacenamiento de agua en el suelo con disponibilidad de agua de 8 cm/m.
- El municipio Piar presenta la mayor capacidad de almacenamiento de agua en el suelo con disponibilidad de agua de 17 cm/m presentando suelo con clase arcillosa (A).
- La cuenca presenta sitios con distintas capacidades para retener agua por lo que las estrategias de riego serán diferentes.
- La mayor lamina neta de los cultivos en la cuenca alta y media del rio Guarapiche se encuentra de manera puntual en el municipio piar y la menor en los municipios Maturín, Punceres, Cedeño, Ezequiel Zamora y el sur del municipio Piar.
- La lamina neta del cultivo de ají dulce (*Capsicum chinenses*), en la cuenca oscila entre 2.40 y 5.10 cm, el tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) entre 3.80 y 8.07 cm, la berenjena (*Solanum melongena* L.) entre 2.00 y 4.25 cm, el pimentón (*Capsicum annuum* L.) entre 2.80 y 5.95 cm, los cultivos hortícolas entre 2.60 y 5.52 cm, donde los mayores valores se presentan de manera

puntual en el municipio piar y los menores valores en los municipios Maturín, Punceres, Cedeño, Ezequiel Zamora y el sur del municipio Piar.

- La evapotranspiración real del cultivo de ají dulce (*Capsicum chinenses*), en la cuenca oscila entre 2.01 cm y 7.89 cm, el tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) entre -0.95 cm y 6.49 cm, la berenjena (*Solanum melongena* L.) entre 2.70 cm 8.29 cm, el pimentón (*Capsicum annuum* L.) entre 1.16 cm y 7.49 cm, los cultivos hortícolas entre 1.59 cm y 7.69 cm, donde la mayor evapotranspiración real se presentan en los municipios Maturín y Punceres y los menores en los municipios Acosta, Caripe, parte del estado Sucre y el norte de Cedeño y Piar.
- La mayor evapotranspiración del cultivo ocurre en la fase media con valor de 17.97 cm y la menor evapotranspiración del cultivo ocurre en la etapa inicial con valor de 8.28 cm.
- La demanda neta de riego del cultivo de ají dulce (*Capsicum chinenses*), en la cuenca alta y media del rio Guarapiche se encuentra entre 3.34 y 10.64 cm en fase inicial, 7.58 y 15.57 cm en su fase media, y 3.14 hasta 10.21 cm en fase final.
- La demanda neta de riego del cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) en la cuenca alta y media del rio Guarapiche se encuentra entre 1.78 y 10.13 cm en fase inicial, 9.38 y 18.54 cm en su fase media, y 4.54 y 13.19 cm en fase final.
- La demanda neta de riego del cultivo de berenjena (*Solanum melongena* L.) en la cuenca alta y media del rio Guarapiche se encuentra entre -0.01 y 6.31 cm en fase inicial, 7.58 y 14.72 cm en su fase media, y 2.74 hasta 9.36 cm en fase final.
- La demanda neta de riego del cultivo de pimentón (*Capsicum annuum* L) en la cuenca alta y media del rio Guarapiche se encuentra entre 0.78 y 8.01 cm en fase inicial, 9.48 y 14.80 cm en su fase media, y 3.54 y 11.06 cm en fase final.

- La demanda neta de riego del cultivo de los cultivos hortícolas en la cuenca alta y media del rio Guarapiche se encuentra entre 0.58 hasta 7.58 cm en fase inicial, 8.18 y 15.99 cm en su fase media, y 3.34 hasta 10.64 cm en fase final en fase inicial
- La mayor demanda se encuentra en los municipios Acosta, Piar y norte del municipio Cedeño disminuyendo en el centro de este municipio con un leve incremento hacia el municipio Ezequiel Zamora, mientras que la menor demanda de riego se presenta hacia los municipios Punceres y Maturín.

REFERENCIAS

ALBORNOZ, A. (1980). Calculó de la demanda neta de riego en Monagas y zonas circunvecinas. Universidad de Oriente, Estado Monagas.

ALCÁZAR, J. (1995). Anatomía y fisiología de la planta. En: El cultivo del tomate. Edición Mundí-Prensa. 793 p.

AZCUE, M. y SOTO E. (2004). Régimen de precipitación en Montalbán, Estado Carabobo, Venezuela. 2004. Agronomía Tropical.

BERMÚDEZ, N. (2009). Diagnóstico ambiental de la microcuenca del Río Colorado, cuenca alta del Río Guarapiche, municipio Acosta, Estado Monaga*s*. Universidad Gran Mariscal de Ayacucho- Núcleo Maturín.

BLACK, C. (2007) Relaciones suelo-planta. México, CRAT. v.1.

BOLINAGA, I. (1999). Proyectos de Ingeniería Hidráulica volumen 1. Fundación polar caracas-Venezuela.

BOSQUE, J. (1997). Sistema de Información Geográfica. Ediciones Rialp, S.A. Madrid.

BRACK, A. (2009). Propiedades Físicas del Suelo. Enciclopedia Ecología del Perú. [Documento en línea] disponible en: http://www.monografias.com/trabajos81/cambios-fisicos-quimicos-biologicos-suelo/cambios-fisicos-quimicos-biologicos-suelo2.shtml [Consulta: 2015, Junio].

BRITO, J. (1996). "Efectos de 3 frecuencias de riego sobre algunas características agronómicas en cuatro genotipos de maní (*Arachis hipogaea* L) en el Valle del río Guarapiche del estado Monagas".

CALVO, N. (2011). Interpolación. Computación Gráfica- FICH. [PDF en línea]. Disponible en: http://www.cimec.org.ar/~ncalvo/interpolacion_doc.pdf [Consulta: 2015, Junio].

EVETT, S. (1999). Energy and water balances at soil-plant-atmosphere interfaces. pp: A129-A182. In: Sumner, M. (Ed.). Handbook of Soil Science. CRC Press. Boca Raton, USA.

FAO. (2009). Evapotranspiración del cultivo. [Documento en línea] Disponible en: http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm [Consulta: 2015, Junio].

FAO. (2015). Propiedades Físicas del Suelo. [Documento en línea] disponible en: http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/ [Consulta: 2015, Junio].

FAO. (2017). CROPWAT calcula la cantidad de agua necesaria para el riego de campos de cultivo Propiedades Físicas del Suelo. [Documento en línea] disponible en: https://cropwat.informer.com/Descargar-gratis/ Consulta: 2017, Noviembre].

FAO-SAFR. (2002). Irrigation Manual Module 1, Irrigation Development: a Multifaceted Process, By: Andreas Savva & Karen Frenken [Documento en línea] Disponible: http://www.riego.org/glosario/suelo-fao/ [Consulta: 2015, Junio].

FUENTES. (1998). Curso de riego para regantes. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Edición Mundi- prensa Libros S.A. Madrid.

FUENTES, L. (1999). Técnicas de Riego. 2da edición, Editorial Mundi, España.

FUENTES. (2004). "Dirección en Manejo Integral de Cuencas". Instituto Nacional de Ecología de México. [Documento en línea] Disponible: http://www.ine.gob.mx/descargas/cuencas/morfometria_pico_tancitaro.pdf [Consulta: 2015, noviembre].

GÓMEZ, J. (2012). Evaluación de dos cultivares de pimentón (*capsicum annuum l.)* en condiciones de riego por goteo y acolchado plástico, en el sistema de riego perú-san Vicente, municipio Maturín del estado Monagas.

GONZÁLEZ, E. (2014). Agronomía del Cultivo de la Berenjena (*Solanum melongena* L.). Edición N° 54. Chile.

GUZMAN, A. (1981). Consideraciones generales sobre riego y drenaje. Universidad de Oriente. Departamento de Agronomía y Zootecnia. Jusepín. Monagas.

HANKSET, R. 1980. Applied soil physics: Soil water and temperature applications. Springer- Verlag. Berlín. 159 p.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, INE. (2013). XIV Censo Nacional de Población y Vivienda, Resultados por Entidad Federal y Municipio del Estado Monagas. [Documento en línea]. http://www.ine.gov.ve/documentos/Demografia/CensodePoblacionyVivienda/pdf/monagas.pdf. [Consulta: 2014, enero].

LOPEZ, M. (2013). Propiedades hidráulicas de un suelo arenoso de sabana después de cinco años de aplicación de prácticas agroecológicas. Trabajo de Grado. Facultad de Agronomía, UCV, Maracay.

MCCORMAC, J. (2007). Topografía. Primera edición. Limusa, S.A.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y LOS RECURSOS NO RENOVABLES (1984). Caracterización físico-química de las aguas de 13 ríos del Estado Monagas y T.F.D.A. Serie informes científicos zona 12/IC/58.

NUEZ, F. Y OTROS (1996). Cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Ediciones Mundi-Prensa Madrid-España. 586 p.

POMARES, M. (2013). Diseño agronómico de riego con Cropwat [Documento en línea] Disponible: http://www.softwariego.com/diseno-agronomico-de-riego-con-cropwat/ [Consulta: 2015, Junio].

PORTA, J., LÓPEZ, M., Y ROQUERO, C. (1999). Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente. Segunda Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, Barcelona, México.

RAMÍREZ, G. Y VALENZUELA, A. (1998). "Desarrollo de sistemas de riego en el secano interior y costero. Componente nacional: Capacitación y Difusión de Tecnologías de riego". Universidad de Concepción, Facultad de Ingeniería Agrícola. Documento en línea] Disponible: http://www.fotossintese.net/pdf/Necessidades%20de%20Agua%20de%20los%20Cultivos.pdf [Consulta: 2015, Junio].

RONDÓN, C. (2008). Análisis ambiental del Rio Guarapiche como fuente de abastecimiento de agua de la ciudad de Maturín Estado Monagas. Universidad de Margarita- Nueva Esparta.

ROSALES, M. Y OTROS, (2007). Capacitación agrícola para el pequeño productor en los cultivos de ají pimentón y yuca. Secretaria de desarrollo agropecuario. Estado Zulia, Venezuela.

SÁNCHEZ, T. (1992). Métodos para el estudio de la evaporación y evapotranspiración. Cuadernos Técnicos de la Sociedad Española de Geomorfología. Geoforma Ediciones. Logroño.

SANTIBAÑEZ, F. 1994. Balance hídrico y demandas de riego. pp: V1-V22. En: II Curso Interamericano Diseño de Proyectos de Riego y Drenaje. Universidad de Chile. Santiago, Chile.

TORREALBA, M. Y RODRÍGUEZ, D. (2012). Diseño de una geodatabase para el análisis morfométrico de las cuencas hidrográficas delo estado Monagas año 2011. Universidad Gran Mariscal de Ayacucho- Núcleo Maturín.

TORRES, C. (2002). Granja Integral Autosuficiente. En su: Manual Agropecuario. Colombia. Editorial UMERIN S.A. 1093 p.

UNIVERSIDAD DE MARYLAND (2011). Sitio Web Universidad de Maryland, España: http://www.um.es/srtm/ [Consulta: 2014, febrero]

UNIVERSIDAD DE MURCIA (2006). SIGMUR: SIG y Teledetección en la Universidad de Murcia. de Sitio Web Universidad de Murcia, España: http://www.um.es/geograf/sigmur/ [Consulta: 2016, abril]

VALVERDE, J.; (2007). Riego y drenaje. Editorial de la Universidad Estatal a Distancia (EUNED), Costa Rica. 224 p.

VELEZ J. Y MOREIRA A. (2015). Determinación del momento óptimo de riego en pimentón (Capsicum annuum L.) en el campus de la Espammfl. Escuela superior politécnica agropecuaria de Manabí.

VILCHEZ, J. (2000). Introducción a los Sistemas de Información Geoespacial. Universidad de Los Andes, Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico. Mérida-Venezuela.

ANEXOS

Cuadro 04. Promedios de precipitación (mm) en el periodo de registro 1977 – 2007 de las estaciones climatológicas bajo estudio del estado Monagas.

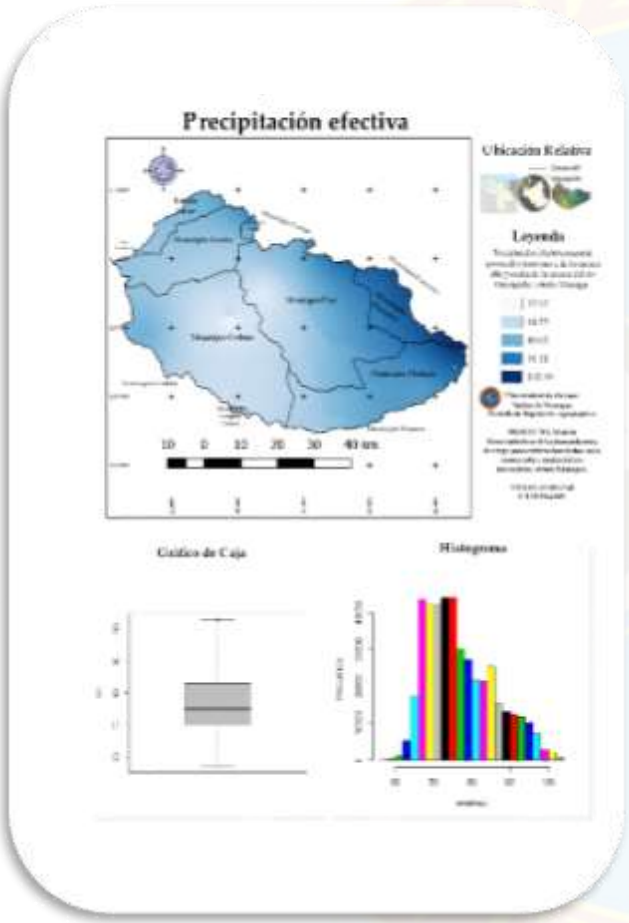
Estaciones	Coord. Norte	Coord. Este	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL	MENSUAL
Barranca del Ori	961874.32	590703.65	88.70	39.30	38.60	36.90	100.40	179.80	152.10	126.40	76.30	61.80	89.90	118.10	1108.30	92.36
Tembladór-Aeropuerto	996339.743	542675.011	54.98	28.80	20.16	36.42	77.42	151.27	158.44	143.50	101.77	64.97	86.03	78.99	1002.75	83.56
La Margarita	1126187.64	460375.03	113.78	69.26	58.71	54.90	139.49	290.88	246.88	248.83	236.06	199.34	222.27	168.78	2049.23	179.77
Tierra Blanca	1131194.58	438354.21	74.56	70.78	44.60	70.79	84.55	127.29	177.16	173.67	173.52	138.28	165.28	136.94	1437.58	119.80
Caripe	1123445.58	443818.23	73.72	31.26	27.10	34.36	90.94	157.63	163.42	178.39	126.19	116.06	25.75	74.50	1195.86	99.66
Caripito	1118415.09	490776.49	119.90	52.88	50.18	72.37	148.65	312.71	294.09	245.31	216.10	203.11	218.46	175.61	2109.40	175.78
Aparicio	1107253.88	439095.39	19.53	12.25	15.18	24.32	64.07	120.93	145.78	152.83	120.23	111.16	77.29	53.54	917.17	76.43
El Guamo	1122244.09	439253.90	23.98	15.43	21.12	33.65	84.57	140.14	156.27	159.48	129.22	128.40	108.25	66.95	1062.47	88.54
Viento Fresco	1080075.59	427421.21	28.38	14.64	11.56	26.50	82.68	179.69	165.75	136.90	113.20	99.36	79.92	57.26	995.88	82.99
Aragua de Maturín	1101724.77	429656.21	35.71	15.18	17.67	28.18	80.44	164.38	168.42	139.64	125.79	109.97	80.17	62.39	1028.63	85.72
San Félix	1100189.06	429656.25	17.77	10.10	11.19	24.08	62.58	123.59	110.30	126.82	110.45	97.53	74.38	39.58	808.49	67.37
Cachipo	1097665.198	493230.757	70.74	39.68	34.74	47.54	136.93	227.74	246.25	281.15	166.35	179.15	203.38	179.80	1758.26	146.52
Maturín-Aeropuerto	1078658.978	480065.935	56.35	30.72	24.84	41.94	108.20	208.46	202.24	172.50	130.20	105.15	118.96	106.84	1306.45	108.87
Aguasay	1042106.64	418725.86	35.85	19.45	13.98	24.53	71.27	171.36	180.44	182.75	136.96	104.17	79.93	57.64	1078.35	89.86
El Tejero	1066102.92	426296.89	30.15	17.93	12.70	27.86	67.70	181.25	177.65	145.78	101.89	93.60	76.48	55.81	988.80	82.40
La Pinta	1096250.49	405525.71	35.81	23.23	25.56	46.30	96.64	191.03	171.58	180.01	119.19	140.40	108.34	78.99	1216.14	101.35
Santa Rita	1035473.59	494318.14	52.73	29.94	19.86	26.25	61.87	166.38	162.78	130.11	98.78	80.03	98.79	91.70	1019.20	84.93
La Centella	1011979.93	492117.54	58.85	28.90	19.67	28.39	83.76	170.09	227.44	164.43	133.45	103.47	97.53	91.61	1207.64	100.64
San José de Buja	1055032.34	533326.83	69.72	46.03	32.21	45.10	104.52	221.69	197.28	186.90	114.34	134.68	143.32	124.09	1419.84	118.32
El Silencio	1013673.92	520682.91	56.37	37.28	20.24	28.89	87.78	164.27	143.76	176.07	116.06	85.41	86.19	90.71	1093.09	91.09
Joaquín	991874.43	470128.57	39.73	21.33	15.10	27.58	93.75	185.88	191.48	186.88	138.28	112.59	101.51	73.23	1187.39	98.95
Los Cinco Cruces	1135257.50	452719.43	97.20	86.46	56.84	76.94	89.16	208.30	238.08	122.39	166.53	168.81	150.19	142.26	1673.93	139.50

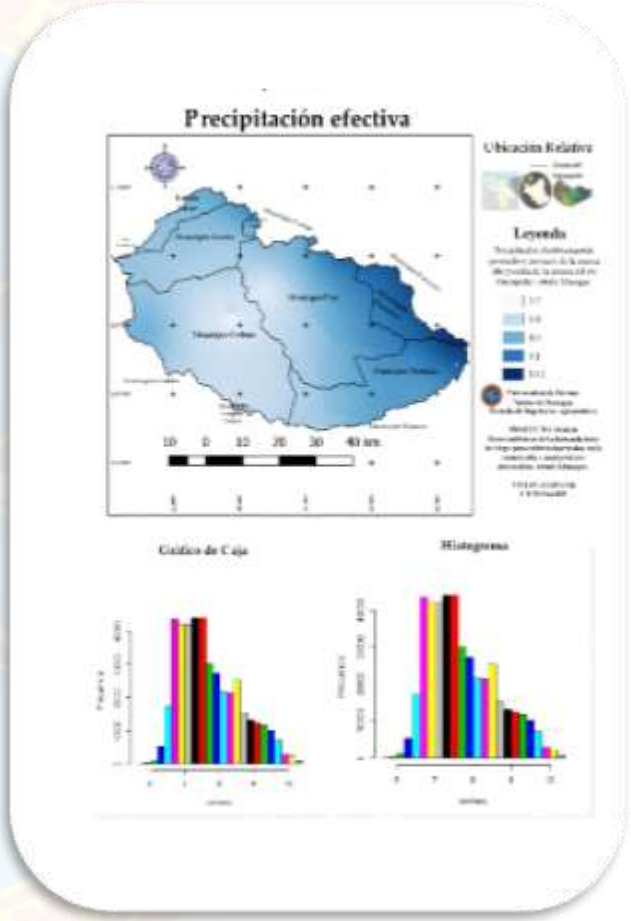
Fuente: INAMEH (2015).

Cuadro 03. Promedios mensual de precipitación efectiva (mm) arrojados por el Cropwat de las estaciones climatológicas bajo estudio del estado Monagas.

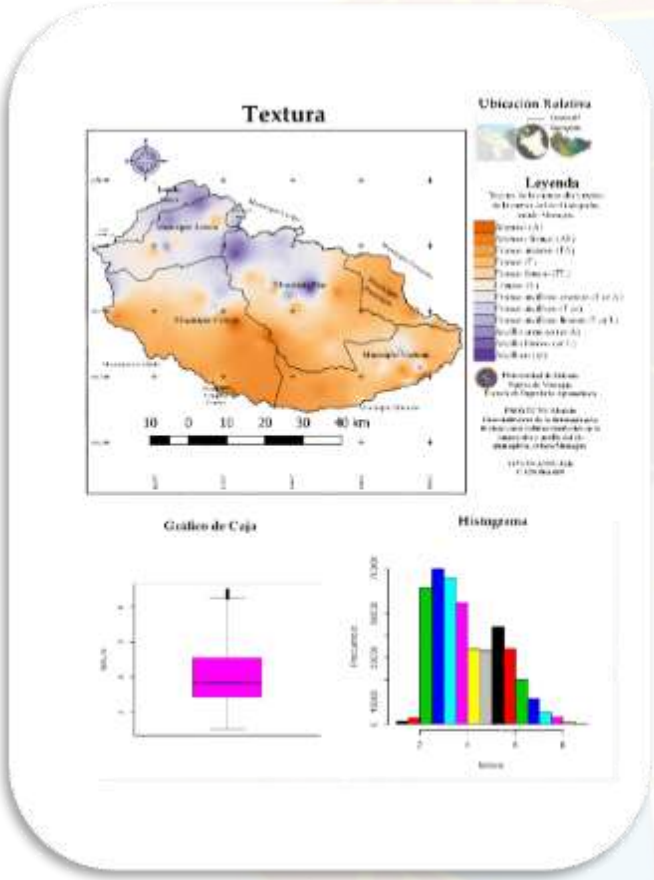
MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Precipitación total	Prec. Ef. mensual
Barranca del Orinoco	76.1	36.8	36.2	34.7	84.3	128.1	115.1	100.8	67.0	55.7	77.0	95.8	907.6	75.63
Tembladór-Aereopuerto	50.2	27.5	19.5	34.3	67.8	114.7	118.3	110.6	85.2	58.2	74.2	69.0	829.4	69.12
La Margarita	93.1	61.6	53.2	50.1	108.4	154.1	149.4	149.8	146.9	135.7	143.2	123.2	1368.6	114.05
Tierra Blanca	65.7	62.8	41.4	62.8	73.1	101.4	127.0	125.4	125.3	107.7	121.6	107.0	1121.2	93.43
Caripe	65.0	29.7	25.9	32.5	77.8	117.9	120.7	127.5	100.7	94.5	24.7	65.6	882.5	73.54
Caripito	97.0	48.4	46.2	64.0	113.3	156.3	154.4	149.0	141.4	137.1	142.1	126.3	1375.4	114.62
Aparicio	18.9	12.1	14.8	23.4	57.5	97.5	111.8	115.4	97.1	91.4	67.7	49.0	756.6	63.05
El Guamo	23.1	15.0	20.4	31.9	73.1	108.7	117.2	118.8	102.5	102	89.5	59.8	862.1	71.84
Viento Fresco	27.1	14.3	11.4	25.4	71.8	128.0	121.8	107.0	92.7	83.6	69.7	52.0	804.7	67.06
Aragua de Maturín	33.7	14.8	17.2	26.9	70.1	121.2	121.2	108.4	100.5	90.6	69.9	56.2	830.6	69.22
San Félix	17.3	9.9	11.0	23.2	56.3	99.2	90.8	101.1	91.0	82.3	65.5	37.1	684.7	57.06
Cachipo	62.7	37.2	32.8	43.9	106.9	144.7	149.2	153.1	122.1	127.8	137.2	128.1	1245.8	103.82
Maturín-Aeropuerto	51.3	29.2	23.8	39.1	89.5	138.9	136.8	124.9	103.1	87.5	96.3	88.6	1009	84.08
Aguasay	33.8	18.9	13.7	24.5	63.2	124.4	128.3	129.3	107.0	86.8	69.7	52.3	851	70.92
El Tejero	28.7	17.4	12.4	26.7	60.4	128.7	127.2	111.8	85.3	79.6	67.1	50.8	796.1	66.34
La Pinta	33.7	22.3	24.6	42.9	81.7	132.6	124.5	128.2	96.5	108.9	89.5	69.0	954.3	79.53
Santa Rita	48.3	28.5	19.3	25.2	55.8	122.1	120.4	103.0	83.2	69.8	83.2	78.2	836.8	69.73
La Centella	53.3	27.6	19.1	27.1	72.6	123.8	144.7	121.2	105.0	86.4	82.3	78.2	941.1	78.425
San José de Buja	61.9	42.6	30.5	41.8	87.0	143.1	135.0	131.0	93.4	105.7	110.4	99.5	1082	90.17
El Silencio	51.3	35.1	19.5	27.6	75.5	121.1	110.7	126.5	94.5	73.7	74.3	77.5	887.4	73.95
Joaquín	37.2	20.6	14.7	26.4	79.7	130.6	132.8	131.0	107.7	92.3	85.0	64.6	922.7	76.89
Los Cinco Cruce	82.1	74.5	51.6	67.4	76.5	138.9	147.4	98.4	122.1	123.2	114.1	109.9	1206.1	100.51

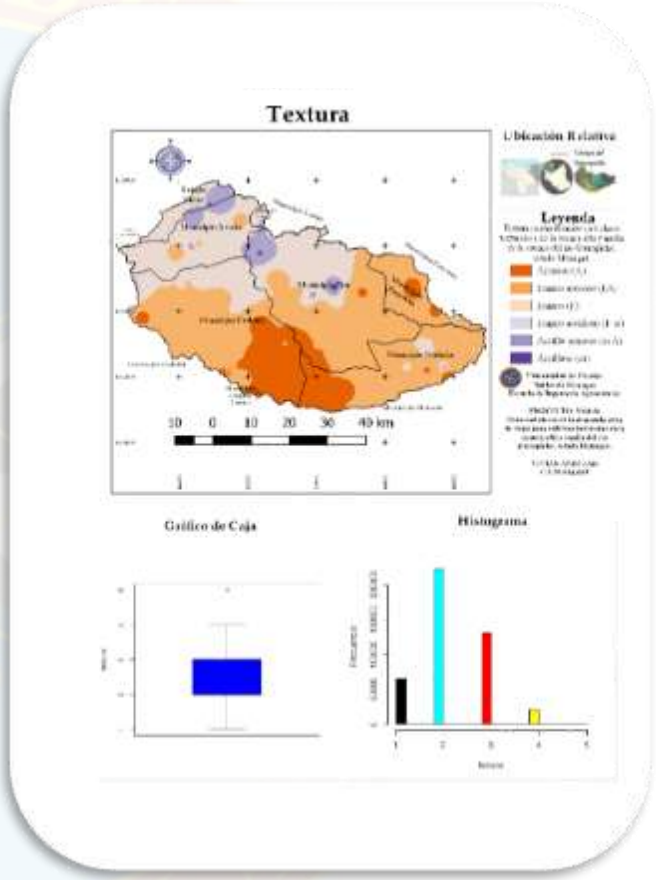
Anexo 01. Mapa de precipitación efectiva





Anexo 02. Mapas de textura





Cuadro 05. Promedios texturales de localidades del estado Monagas.

Localidad	Coord. Norte	Coord. Este	promedio
Aguasay	1042106.64	418725.86	3.00
Altamira	1027599.27	412728.01	2.25
Aricagua	1132312.00	401575.00	2.50
Boca de Tonoro	1051556.46	428579.63	2.50
Campo O	1056341.00	409233.00	2.00
Carrizalito	1045424.19	440680.83	2.00
El Arenal	1024406.91	422360.96	3.00
El Guamo	1039745.33	416833.78	2.00
El Pinal	1036707.12	406759.93	2.00
La Florida	1042287.05	426937.86	1.50
La Inglesa	1035264.37	422186.15	1.50
La Madera	1035273.05	421513.72	3.00
La Pulvia	1040648.12	430576.96	2.00
Las Gaviotas	1011384.60	459917.93	3.50
Oritupano	1002685.16	447313.88	3.20
Periquito	1022938.43	404978.02	2.50
Tonoro	1053915.38	411104.28	2.50
Cocollar	1122948.00	417850.00	7.50
Culantrillar	1114968.00	414220.00	2.00
El Guamo	1122244.09	439253.90	1.00
El Manguito	1115213.88	414419.25	6.00
Guanaguana	1114020.93	435174.92	8.66
Las Piñas	1115781.76	417143.92	7.50
Los Caballos	1116541.67	419006.67	4.00
San Antonio	1118806.16	420084.67	4.75
Padillero	1061776.85	429221.79	2.50
San Pablo	1042881.00	448740.00	1.00
Santa Bárbara	1063024.47	434991.45	2.50

Mata de Venado	993542.00	543576.00	5.00
Via Uverito	960829.00	544215.00	1.00
Isla de Guara	991916.08	594281.42	7.33
Sur Monagas	933966.00	534931.00	2.00
Uracoa	944605.48	572221.15	6.00
Cachipo	1096600.57	485642.60	5.50
El Pinto	1103367.73	465585.53	2.50
La Bruja	1101367.08	471819.56	3.00
Mesa de Punceres	1103247.24	461683.95	2.00
Miraflores	1101540.61	471130.04	3.00
Punceres	1094336.90	487207.22	2.50
Quiriquire	1103326.14	474362.82	2.00
Tropical	1097890.00	481457.00	2.00
Aragua	1102439.46	448976.94	7.00
Alto Los Perez	1105421.83	445099.27	7.00
Aparicio	1107253.88	439095.39	3.50
Buena Vista	1104294.84	445014.59	2.50
Chaguaramal	1087865.42	460107.65	4.00
La Toscana	1084496.88	466606.44	4.00
Mesa Antonia	1104554.00	454649.00	9.00
Mesa de Punceres	1103104.03	458595.02	4.00
Orocual	1092309.47	459533.11	3.00
Pozo Aragua	1099035.83	442898.88	4.00
Rio Chiquito	1117177.46	446901.07	6.33
Taguaya	1099273.83	450672.59	3.00
Agua Clarita	982848.58	517747.81	3.00
Agua Negra	1030752.03	474184.22	2.00
Altamira de T.	1076138.71	497083.42	2.50
Amana	1066372.32	483960.48	2.00

Amana del Tamar.	1066269.99	488817.16	3.00
Amarilis	1064913.91	462143.71	2.50
Araguaneyes	1072698.09	518031.48	3.00
Aribi	1018742.69	420290.18	2.50
Bajo Guarapiche	1078721.00	480200.98	6.40
Barranca	1081751.04	464346.49	3.00
Bejucales	1079377.06	442988.86	2.00
Boquerón	1080076.38	479900.31	2.50
Buena Vista	1022772.67	468719.43	3.00
Campo Alegre	1080440.92	484404.59	1.00
Caratal del T	999150.50	477026.99	1.00
Centellita san J	1017845.37	494315.74	1.00
Chispero	1018273.95	520001.81	2.00
Corocitos	1081963.54	445581.53	2.00
Costo Abajo	1082960.13	473248.88	5.25
Costo Arriba	1087246.08	477929.91	6.33
Cruz De la P.	1075076.05	468674.29	3.00
Curiepe	1050268.17	468956.92	2.00
El Blanquero	1036589.98	497306.47	3.00
El Chispero	1018485.95	518497.65	1.50
El Corozo	1071805.57	457451.69	2.50
El Costo	1086404.70	475831.18	3.50
El Furrial	1071322.81	451985.49	2.50
El Maitero	1018549.04	445776.00	2.00
El Merey	1067379.08	503769.05	2.75
El Rosillo	1068505.66	485659.78	2.50
El Silencio	1079470.58	484735.34	2.00
El Zamuro	1064431.03	489979.59	6.33
Guanipa San J	1058908.67	487798.84	1.00

Guarapiche	1078722.01	480200.18	3.00
Guayabal	1083401.15	472083.21	3.50
Hormiga	1090569.26	503783.18	3.00
Jusepín	1079213.18	450848.86	2.50
La Esperanza	986534.71	523.650.88	3.00
La Guacharaca	1036992.96	444464.21	2.50
La Morrocoya	1052452.96	513762.99	3.00
La Pica	1083121.58	493995.64	3.50
La Puente	1073567.43	476213.04	2.00
Laguna Grande	1080555.33	494534.61	3.00
Las Piñas	1081819.22	478885.50	2.00
Los Cortijos	1080164.42	484283.00	1.00
Maturín	1077516.28	476907.09	2.50
Medina	1075563.68	441207.41	2.00
Morichal	1075515.43	480281.94	1.00
Morichal Largo	1010558.36	523364.47	1.50
Morichito	1019321.44	401089.08	1.00
Paraesito	1081565.72	486077.43	3.00
Parare	1069137.17	481478.85	1.00
Pericoco	1025569.14	457505.61	2.00
Pueblo Libre	1072924.14	462499.15	2.50
Rincón de Monagas	1070883.45	491637.22	3.66
Rio Tigre	1032723.55	503221.50	1.50
Rusio Viejo	1076422.48	457283.44	2.00
Sabaneta	1078261.53	462646.31	2.50
San Agustín	1081659.69	493950.02	3.00
San Pablo	1042099.35	453941.80	2.00
San Vicente	1073965.09	468097.52	4.20
Santa Bárbara	1022794.41	511061.57	1.50

Santa Elena	1082515.85	483332.60	7.50
Santa Rita	1036639.74	495423.89	3.50
UDO	1075155.36	479109.41	3.00
Viboral	1085545.89	485363.92	2.66
Vuelta Larga	1086597.17	498919.73	5.66
Agua Clara	990886.02	525541.83	2.50
Chaguaramas	957166.57	526425.98	1.00
La Danta	985997.00	545130.00	2.50
Las Alhuacas Tabas.	1006279.00	557038.00	3.33
Mata de Venado	993870.34	541017.15	4.00
Mata Negra	9992908.61	530488.89	1.00
Temblador	994933.82	537743.57	2.50
Alto de San J.	1096439.31	404314.82	2.00
Areo	1077718.06	413669.61	2.50
Caicarita	1077196.84	434239.22	2.00
Canaguaima	1089827.73	427419.50	3.00
Capachito	1057670.89	408160.32	2.50
Capacho	1073270.93	395593.20	1.50
Cardones	1096814.84	431410.99	3.00
Guatata	1099390.12	429583.79	6.00
La Laguna	1090578.46	443205.58	1.00
La Llanera	1103430.26	431248.90	6.33
La Meseta	1078604.34	431117.82	3.00
La Morita	1101978.90	398975.38	11.00
La Tigra	1089228.46	441873.26	2.66
Las Piñas	1094573.98	434916.34	1.00
Los Pozos	1086015.53	416212.65	2.66
Quebrada Seca	1104843.09	432315.37	6.00
Rio de Oro	1094180.00	411794.00	3.00

San Carlos	1089004.47	405291.36	3.00
San José Areo	1078815.00	404935.00	2.50
San Juan	1093709.88	407106.35	2.50
San Ramón	1069375.65	412291.99	2.50
Casupal	1066148.25	424038.05	2.50
El Carito	1066692.71	438710.80	1.00
La Dominga	1073625.79	430197.04	2.00
Punta Gorda	1067536.76	422130.20	2.00
Queregua	1062379.00	420757.00	3.00
San Jose de Amana	1066447.27	435320.37	2.33
Azagua	1109007.36	487657.24	2.00
Caripito	1118415.09	490776.49	5.66
Boquerón	1128600.16	442109.80	4.00
Buena Vista	1127993.17	446806.38	6.33
Campo Claro	1129380.55	451501.28	3.00
Caripe	1124483.50	443520.01	6.16
El Guacharo	1127798.78	425502.02	8.00
El Palmar	1136717.69	453656.61	4.00
Guanota	1129721.23	443504.40	6.33
Teresen	1127345.84	447782.00	3.00

Fuente: Maza, (2012)

Cuadro 06. Clasificación textural analizada.

Reclasificación Textural												
12 clases texturales	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Simb.	a	aF	Fa	F	FL	L	F A a	F A	F A L	A a	a L	A
6 clases texturales	1		2		3		4		5		6	
Categorías de la reclasificación	(1 – 2,5)		(2,6 – 4,5)		(4,6 – 6,5)		(6,6 – 8,5)		(8,6 – 10,5)		(10,6 – 12)	
Simb.	a		Fa		F		F A		A a		A	
Agua útil (cm/m)	8		12		17		19		23		23	

Cuadro 7. Kc para hortalizas.

Kc para hortalizas		
Fase inicial	Fase medio	Fase final
0.60	1.15	0.80

Fuente: FAO, (2009).

Cuadro 8. Promedios mensuales de temperatura máxima (°C) en el periodo de registro 1977 – 2007 de las estaciones climatológicas bajo estudio del estado Monagas.

MESES	Coord. Norte	Coord. Este	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
Barranca del O.	961874.32	590703.65	31.38	31.50	32.46	32.94	32.40	33.27	33.20	33.38	33.07	32.98	32.36	31.54	34.74
Tembladór-Ae	996339.743	542675.011	31.49	31.89	32.80	33.26	32.65	33.23	33.21	33.36	33.03	32.95	33.30	31.45	34.66
La Margarita	1126187.64	460375.03	30.11	30.98	31.84	31.96	30.28	33.33	30.26	31.12	30.41	30.70	31.84	31.75	31.66
Tierra Blanca	1131194.58	438354.21	28.81	29.96	31.10	30.75	29.85	29.42	28.78	30.32	29.58	29.91	30.61	29.71	31.12
Caripe	1123445.58	443818.23	28.47	29.65	30.83	30.93	29.69	32.74	28.37	30.11	29.36	29.69	30.24	29.36	30.99
Caripito	1118415.09	490776.49	31.55	32.06	32.97	33.42	32.77	33.20	32.22	33.34	33.01	32.94	33.27	31.39	34.61
Aparicio	1107253.88	439095.39	32.17	32.95	33.72	33.90	32.60	32.66	32.85	32.79	32.28	32.38	33.01	32.59	33.45
El Guamo	1122244.09	439253.90	31.88	32.46	33.04	33.17	31.62	31.85	32.32	32.37	31.79	31.96	32.94	32.41	32.87
Viento Fresco	1080075.59	427421.21	32.16	31.44	33.92	34.15	32.96	33.18	33.00	32.94	32.46	32.53	33.03	32.60	33.70
Aragua de Maturín	1101724.77	429656.21	30.81	32.39	33.32	33.73	33.01	33.13	33.22	33.30	32.95	32.90	33.20	31.23	34.50
San Félix	1100189.06	429656.25	32.04	32.48	33.96	34.26	33.27	32.86	33.15	33.12	32.70	32.72	33.07	30.42	34.06
Cachipo	1097665.198	493230.757	31.49	31.88	32.88	33.26	32.65	33.22	33.21	33.36	33.03	32.95	33.30	31.45	34.65
Maturín-Aer	1078658.978	480065.935	30.81	32.39	33.32	33.73	33.01	33.13	33.22	33.30	32.95	32.90	33.20	31.23	34.50
Aguasay	1042106.64	418725.86	32.16	31.44	33.92	34.15	32.96	33.18	33.00	32.94	32.46	32.53	33.03	32.60	33.70
El Tejero	1066102.92	426296.89	32.16	33.05	33.93	34.09	32.92	32.60	33.01	32.94	32.47	32.53	33.03	32.60	33.71
La Pinta	1096250.49	405525.71	31.88	32.46	33.04	33.17	31.62	31.85	32.32	32.37	31.79	31.96	32.94	32.41	32.87
Santa Rita	1035473.59	494318.14	31.49	31.88	32.88	32.26	32.65	33.22	33.21	33.36	33.03	32.95	33.30	31.45	34.65
La Centella	1011979.93	492117.54	31.66	32.33	33.25	33.68	32.96	33.15	33.22	33.31	32.96	32.91	33.21	31.26	34.52
San José de Bu	1055032.34	533326.83	31.43	31.68	32.62	33.09	32.52	33.25	33.21	33.37	33.06	32.97	33.33	31.50	34.71
El Silencio	1013673.92	520682.91	31.36	31.79	32.71	33.18	32.58	33.23	33.21	33.26	33.09	32.96	33.31	31.47	34.68
Joaquín	991874.43	470128.57	31.83	32.62	33.67	34.04	33.21	33.04	33.20	33.24	32.86	32.84	33.14	30.97	34.33
Los Cinco C	1135257.50	452719.43	30.11	30.98	31.84	31.96	30.28	33.33	30.26	31.12	30.41	30.70	31.84	31.75	31.66

Fuente: INAMEH (2015).

Cuadro 9. Promedios mensuales de temperatura mínima (°C) en el periodo de registro 1977 – 2007 de las estaciones climatológicas bajo estudio del estado Monagas.

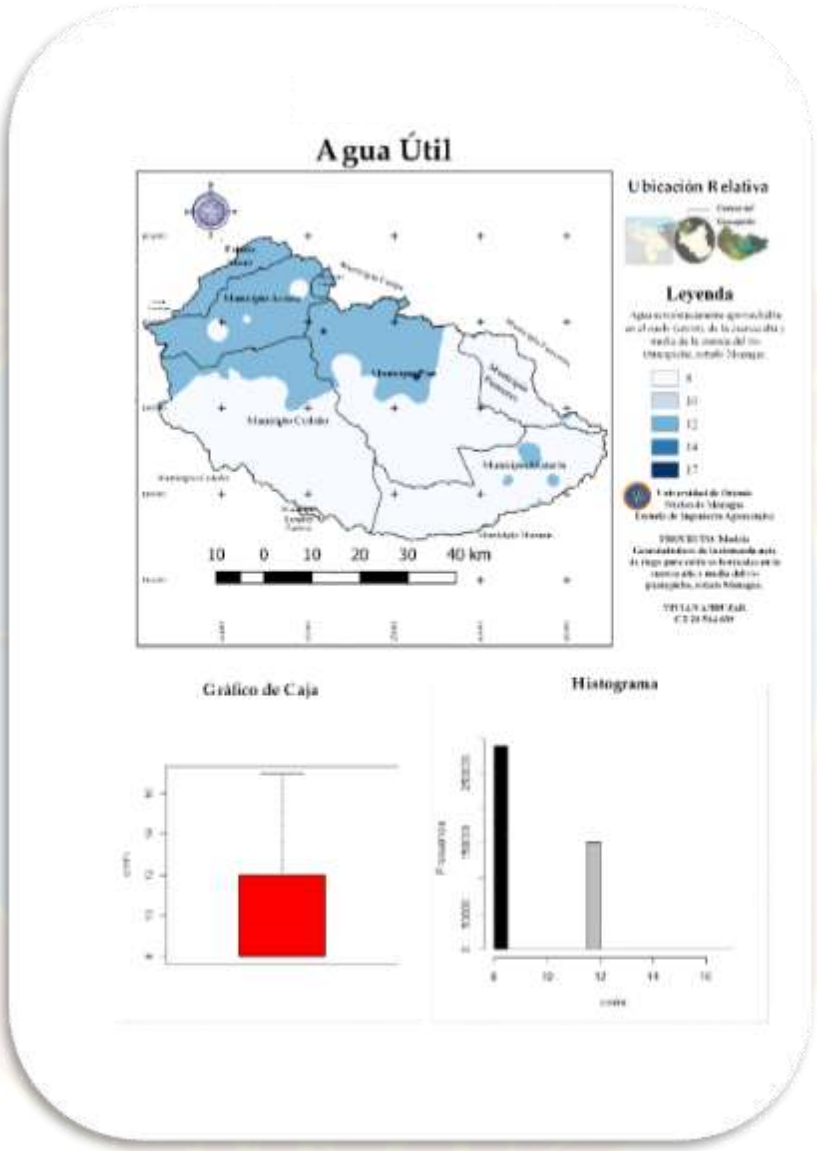
MESES	Coord. Norte	Coord. Este	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
Barranca del O	961874.32	590703.65	20.76	20.80	21.64	22.53	22.68	22.39	22.42	22.61	22.81	22.89	22.35	20.95	21.66
Temblador-Ae	996339.743	542675.011	20.55	20.78	21.40	22.36	22.50	22.22	22.16	22.33	22.54	22.86	22.13	20.75	21.56
La Margarita	1126187.64	460375.03	13.26	11.29	13.32	12.00	16.21	16.23	15.83	15.67	17.26	15.81	14.36	13.63	14.29
Tierra Blanca	1131194.58	438354.21	11.94	10.21	11.95	13.02	15.08	15.11	15.12	14.98	17.61	15.68	13.75	12.46	13.00
Caripe	1123445.58	443818.23	11.63	10.11	11.63	12.74	14.81	14.85	14.96	14.83	17.80	15.65	13.50	12.19	12.70
Caripito	1118415.09	490776.49	20.44	20.75	21.27	22.22	22.40	22.13	22.02	22.18	22.39	22.84	22.01	20.63	21.35
Aparicio	1107253.88	439095.39	17.60	17.89	18.06	18.94	19.96	19.83	18.96	18.92	19.27	19.16	19.04	17.78	18.56
El Guamo	1122244.09	439253.90	16.19	15.55	16.49	17.37	18.74	18.67	17.76	17.66	18.45	18.04	17.62	16.39	17.17
Viento Fresco	1080075.59	427421.21	18.21	18.7	18.75	19.63	20.48	20.33	19.54	19.54	19.99	19.83	19.67	18.38	19.15
Aragua de Maturín	1101724.77	429656.21	20.15	20.65	20.95	21.89	22.18	21.90	21.67	21.81	22.03	22.80	21.70	20.34	21.07
San Félix	1100189.06	429656.25	19.10	19.85	19.74	20.65	21.24	21.05	20.46	20.52	20.78	22.5	20.58	19.27	20.03
Cachipo	1097665.198	493230.757	20.55	20.78	21.40	22.35	22.50	22.22	22.16	22.33	22.54	22.86	22.12	20.75	21.46
Maturín-Aero	1078658.978	480065.935	20.15	20.65	20.95	21.89	22.18	21.90	21.67	21.81	22.03	22.80	21.70	20.34	21.07
Aguasay	1042106.64	418725.86	18.21	18.7	18.75	19.63	20.48	20.33	19.54	19.54	19.99	19.83	19.67	18.38	19.15
El Tejero	1066102.92	426296.89	18.23	18.81	18.77	19.66	20.50	20.34	19.56	19.56	19.86	19.78	19.69	18.40	19.06
La Pinta	1096250.49	405525.71	16.19	15.55	16.49	17.37	18.74	18.67	17.76	17.66	18.45	18.04	17.62	16.78	17.17
Santa Rita	1035473.59	494318.14	20.55	20.78	21.40	22.35	22.50	22.22	22.16	22.33	22.54	22.86	22.12	20.75	21.46
La Centella	1011979.93	492117.54	20.21	20.68	21.01	21.95	22.20	21.95	21.74	21.88	22.10	22.81	21.76	20.40	21.12
San José de Buja	1055032.34	533326.83	20.67	20.80	21.54	22.50	22.60	22.31	22.30	22.48	22.69	22.88	22.25	20.86	21.57
El Silencio	1013673.92	520682.91	20.61	20.78	21.47	22.43	22.55	22.27	22.23	22.41	22.62	22.88	22.19	20.80	21.51
Joaquín	991874.43	470128.57	19.76	20.43	20.50	21.35	21.82	21.58	21.20	21.31	21.54	22.72	21.33	19.94	20.68
Los Cinco Cru	1135257.50	452719.43	12.92	10.86	12.96	13.96	15.92	15.95	15.64	15.48	17.30	15.94	14.58	13.32	13.96

Fuente: INAMEH (2015)

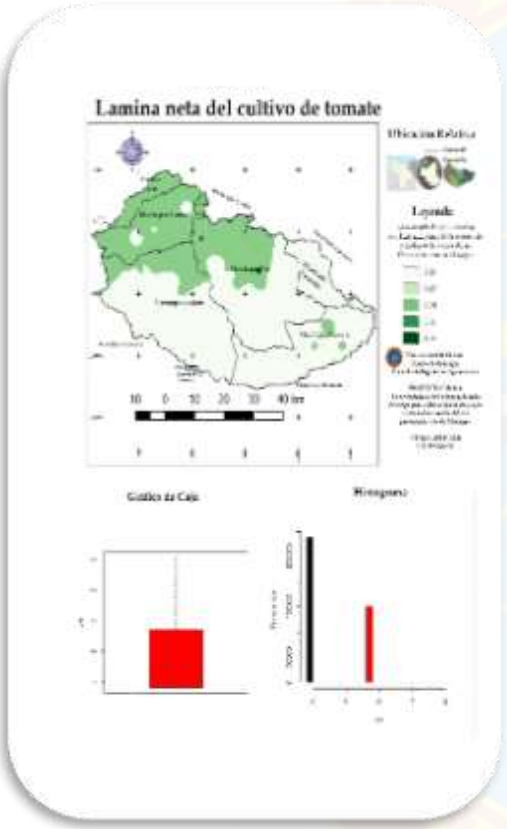
Cuadro 10. ETo (mm/mes) proporcionados por el cropwat de las estaciones climatológicas bajo estudio del estado Monagas.

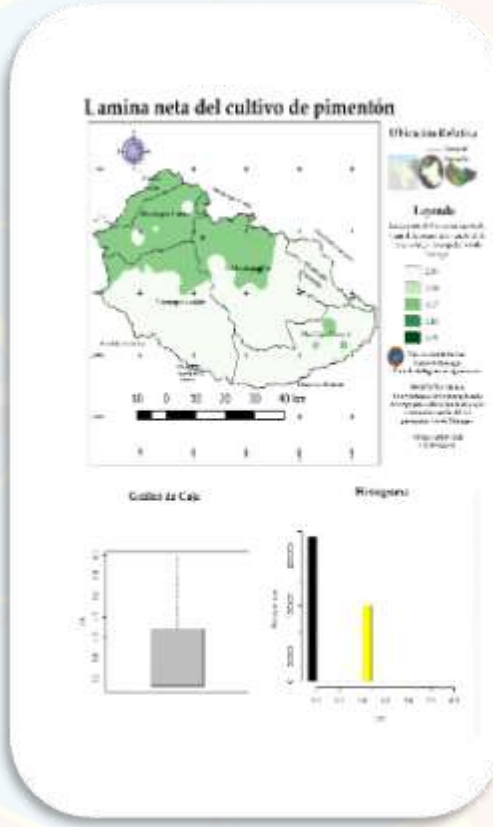
MESES	Coord. Norte	Coord. Este	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL	MENSUAL
Barranca del Orinoco	961874.32	590703.65	126,28	121,10	145,28	143,12	140,60	143,07	149,87	151,20	142,09	139,29	125,00	124,34	1651,25	137,60
Tembladór-Ae	996339.743	542675.011	127,58	124,19	149,79	147,22	144,34	143,92	150,29	153,01	142,58	138,76	133,19	123,97	1678,83	139,90
La Margarita	1126187.64	460375.03	144,04	149,18	175,85	179,93	155,81	173,85	158,83	166,41	147,57	153,17	149,30	150,11	1904,06	158,67
Tierra Blanca	1131194.58	438354.21	139,26	145,69	174,73	168,56	158,99	149,14	149,23	162,53	139,81	148,15	143,98	140,47	1820,54	151,71
Caripe	1123445.58	443818.23	138,42	143,71	173,37	168,79	167,67	151,08	180,49	148,73	142,49	144,78	138,76	144,52	1842,82	153,57
Caripito	1118415.09	490776.49	126,40	123,91	151,01	149,48	147,30	145,92	143,12	153,60	143,14	137,46	131,78	122,33	1675,44	139,62
Aparicio	1107253.88	439095.39	142,97	142,26	172,61	169,83	158,94	153,13	164,42	165,81	152,73	151,68	142,15	142,98	1859,49	154,96
El Guamo	1122244.09	439253.90	145,74	146,59	172,83	170,40	156,19	151,90	165,34	168,28	152,65	151,83	146,60	146,20	1874,55	156.21
Viento Fresco	1080075.59	427421.21	141,54	128,70	170,71	168,25	159,31	154,73	162,98	164,13	154,90	149,97	139,39	141,28	1836,30	153,03
Aragua de Ma	1101724.77	429656.21	122,48	127,25	156,10	154,37	150,42	146,59	154,12	156,12	145,14	138,09	133,55	123,20	1707,43	142.29
San Félix	1100189.06	429656.25	135,77	131,26	167,02	164,80	158,15	148,93	159,36	161,02	148,62	137,97	137,87	121,49	1772,27	147,69
Cachipo	1097665.198	493230.757	141,54	122,69	149,73	147,36	144,90	145,36	150,98	153,30	142,33	137,95	131,96	122,58	1674,82	139,57
Maturín-Aer	1078658.978	480065.935	122,47	127,16	155,84	153,95	149,86	146,01	153,53	155,63	144,81	137,93	133,58	123,25	1704,02	142,00
Aguasay	1042106.64	418725.86	142,02	128,97	170,83	168,11	158,99	154,34	162,60	163,34	151,05	150,10	140,80	141,82	1832,96	152.75
El Tejero	1066102.92	426296.89	141,25	139,77	171,25	168,24	158,32	149,31	162,74	163,64	151,89	150,04	139,88	141,50	1837,84	153,15
La Pinta	1096250.49	405525.71	146,71	146,77	172,95	170,39	156,10	151,77	165,23	168,24	152,65	152,85	146,80	145,34	1875,80	156,32
Santa Rita	1035473.59	494318.14	127,08	123,23	150,32	138,54	144,26	144,89	150,56	153,12	142,49	138,46	132,72	123,44	1669,11	139.09
La Centella	1011979.93	492117.54	130,13	127,58	156,02	153,07	149,37	145,40	152,84	155,36	144,26	138,45	134,29	124,12	1710,89	142,57
San José de Buja	1055032.34	533326.83	114,96	112,94	147,55	144,76	142,47	144,58	149,64	155,24	142,08	138,31	132,34	122,88	1647,77	137.31
El Silencio	1013673.92	520682.91	126,23	123,06	148,43	145,98	143,51	144,04	149,62	152,00	133,45	138,36	132,92	124,07	1661,66	138,47
Joaquín	991874.43	470128.57	132,97	130,95	162,11	159,42	153,62	145,96	155,48	157,24	155,02	138,59	135,97	124,12	1751,44	145,95
Las Cinco Cr	1135257.50	452719.43	145,17	150,26	175,93	174,05	158,05	174,68	159,73	167,26	147,58	152,43	148,77	151,29	1905,19	158,76

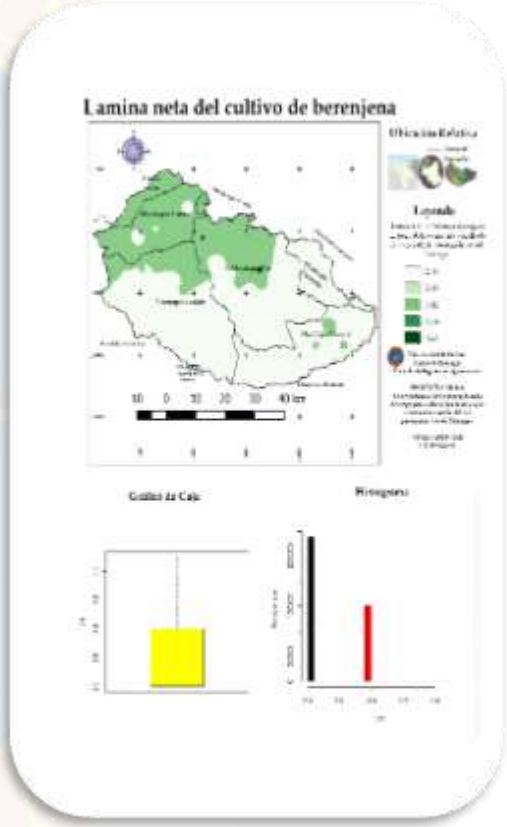
Anexo 03. Mapa de agua económicamente aprovechable



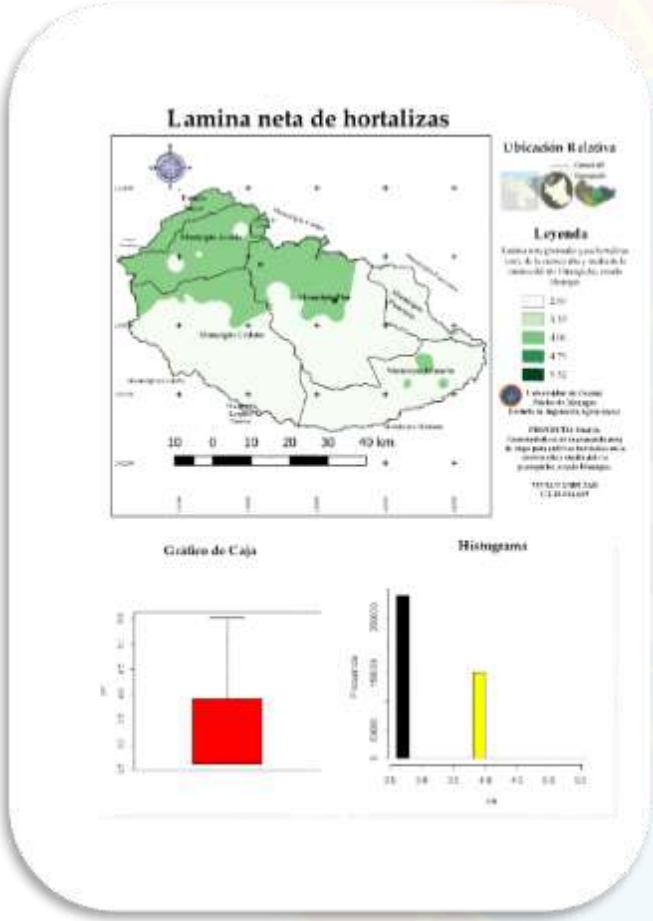
Anexo 04. Mapas de lámina neta

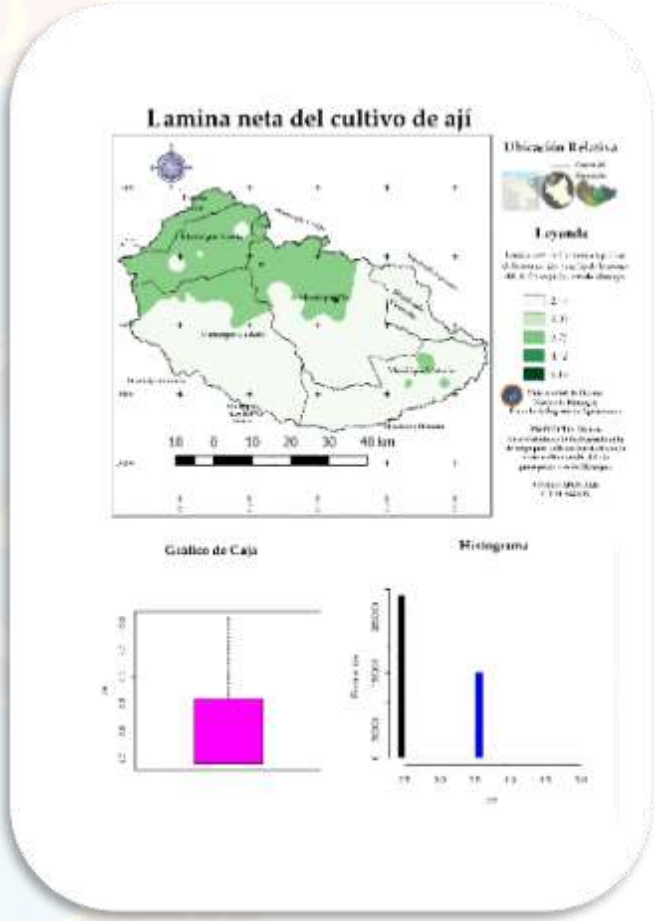




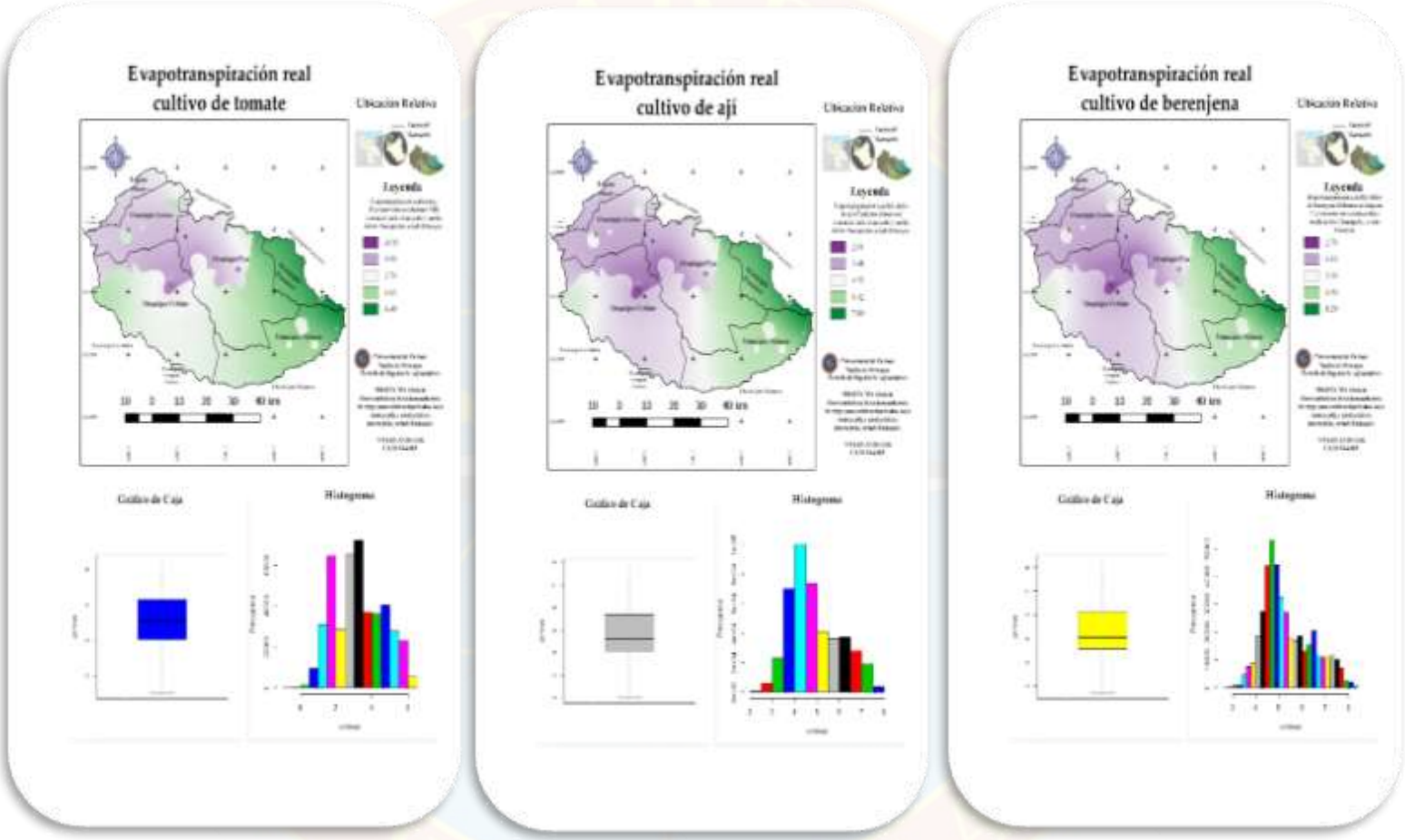


Anexo 04. Mapas continuación de lámina neta

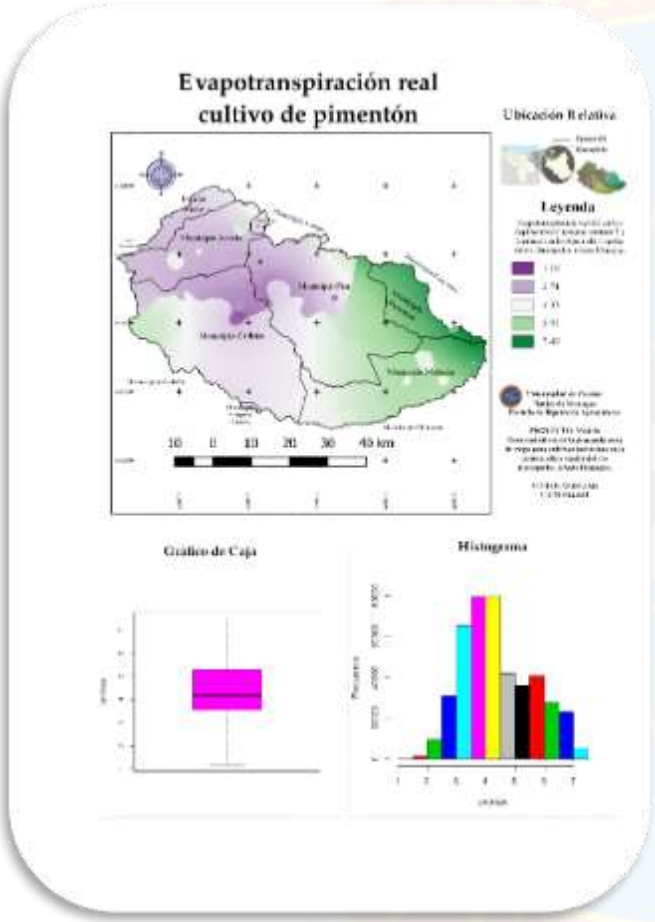


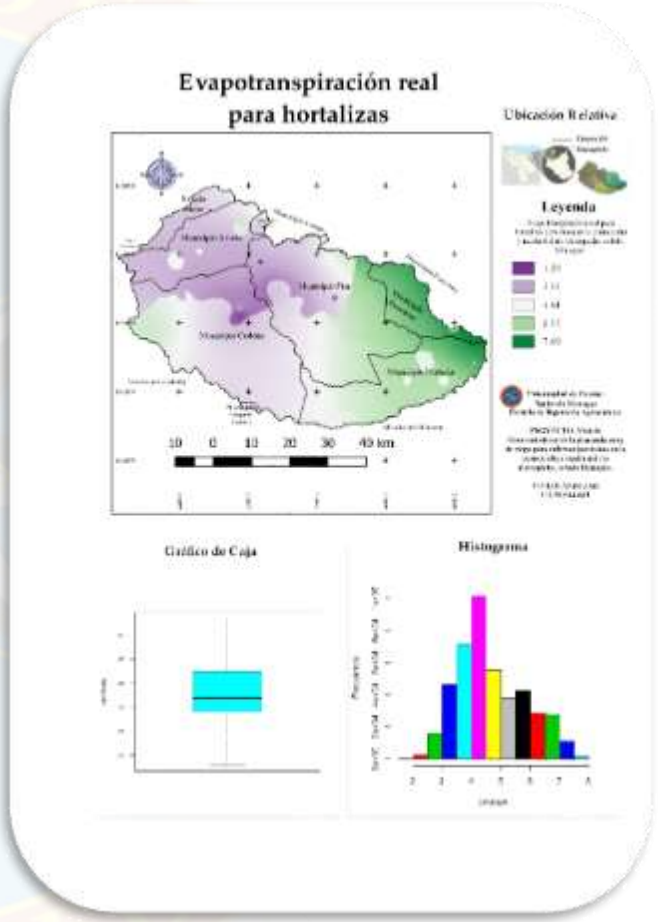


Anexo 05. Mapas de evapotranspiración real

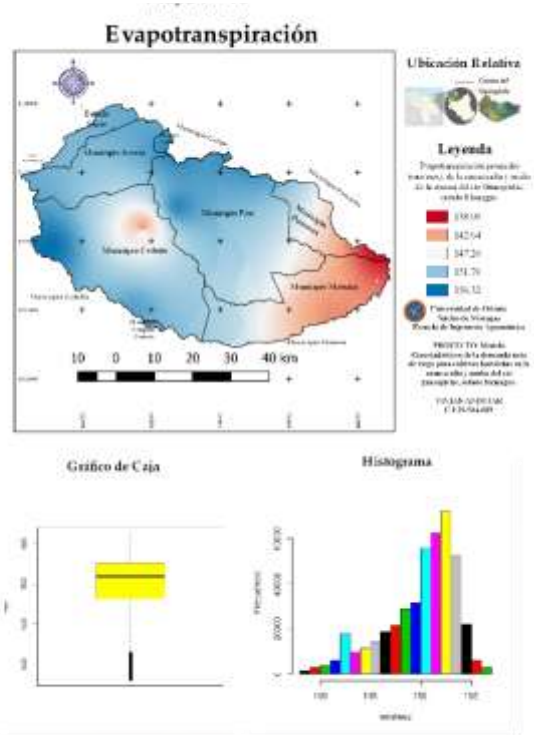


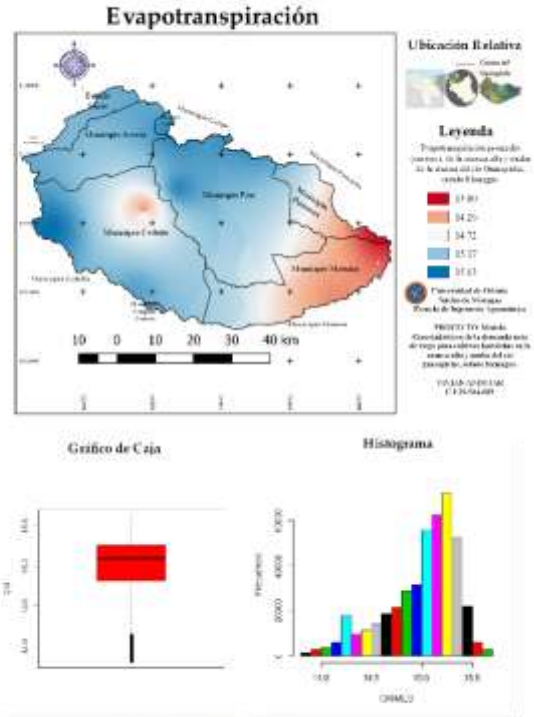
Anexo 05. Continuación de mapas de evapotranspiración real





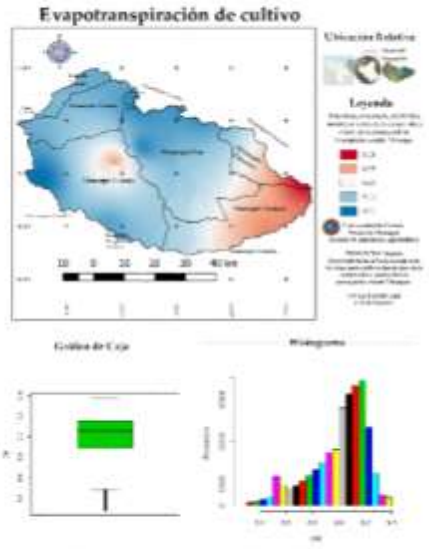
Anexo 06. Mapa de evapotranspiración



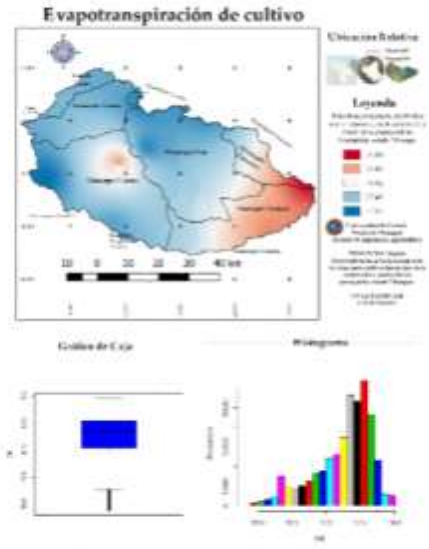


Anexo 07. Mapas de evapotranspiración de cultivo

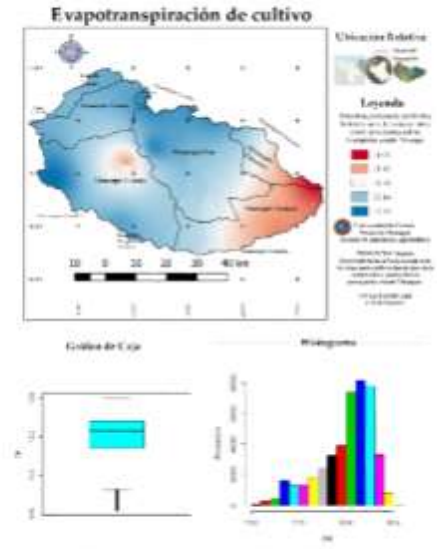
Etapa



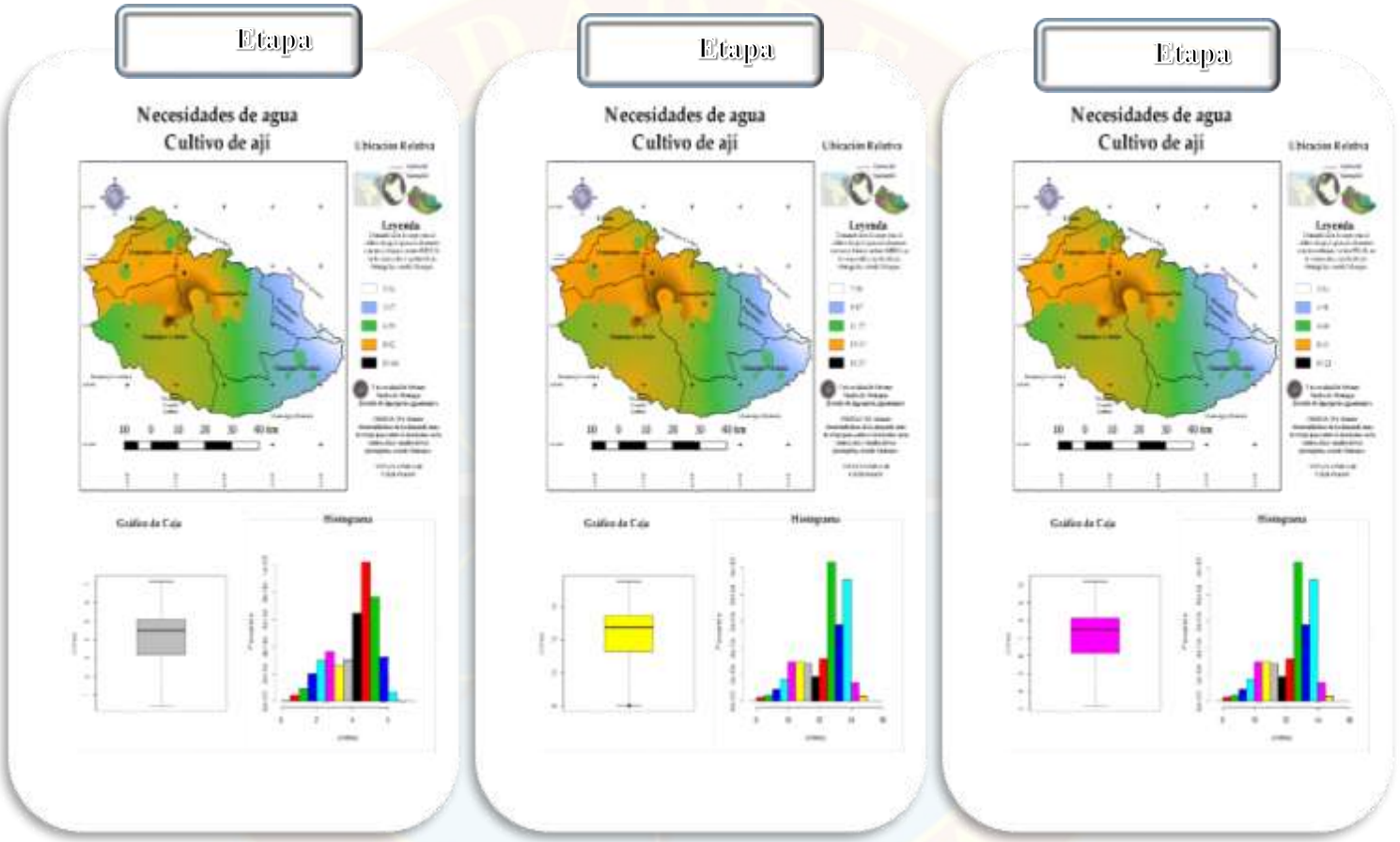
Etapa



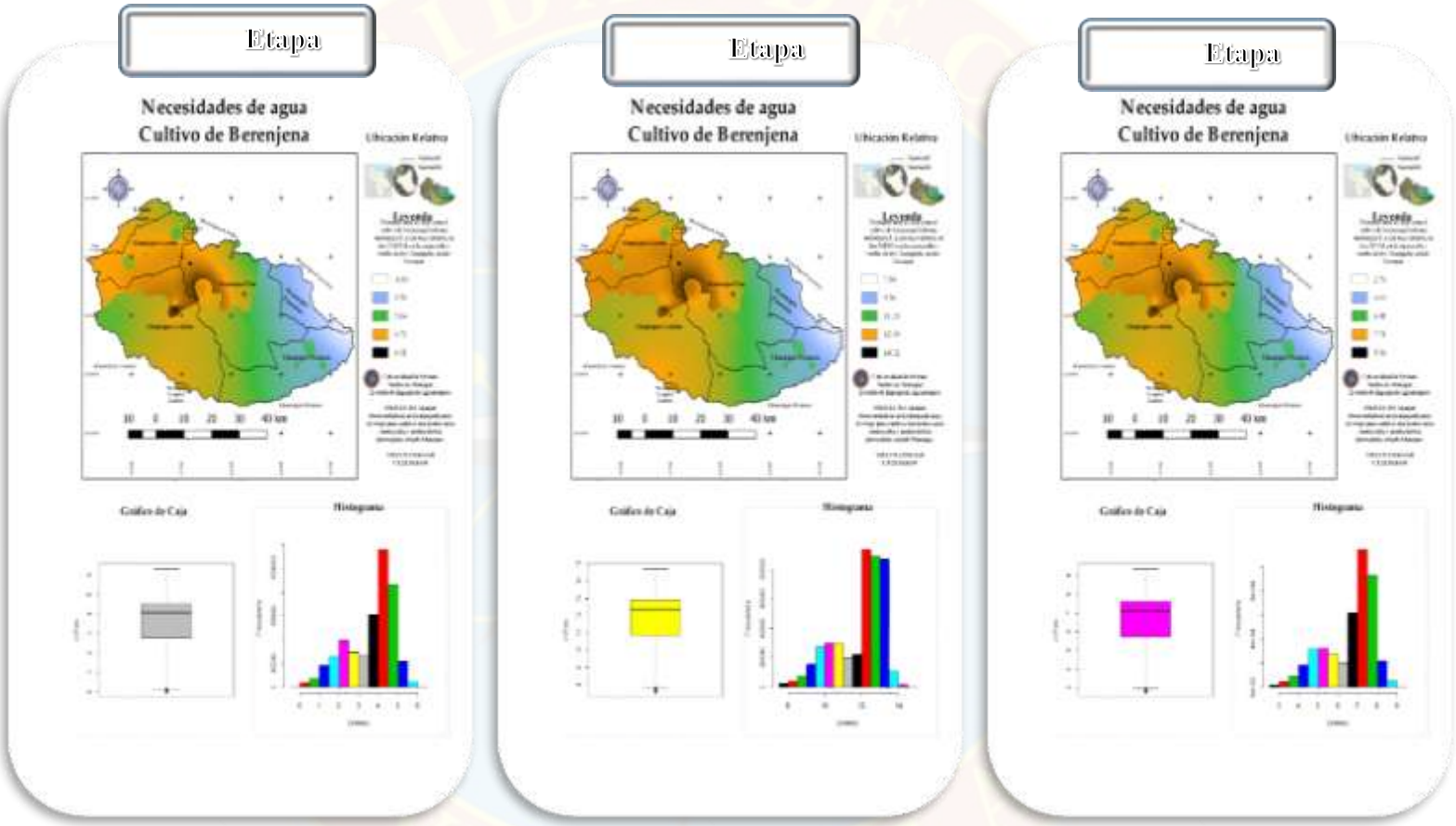
Etapa



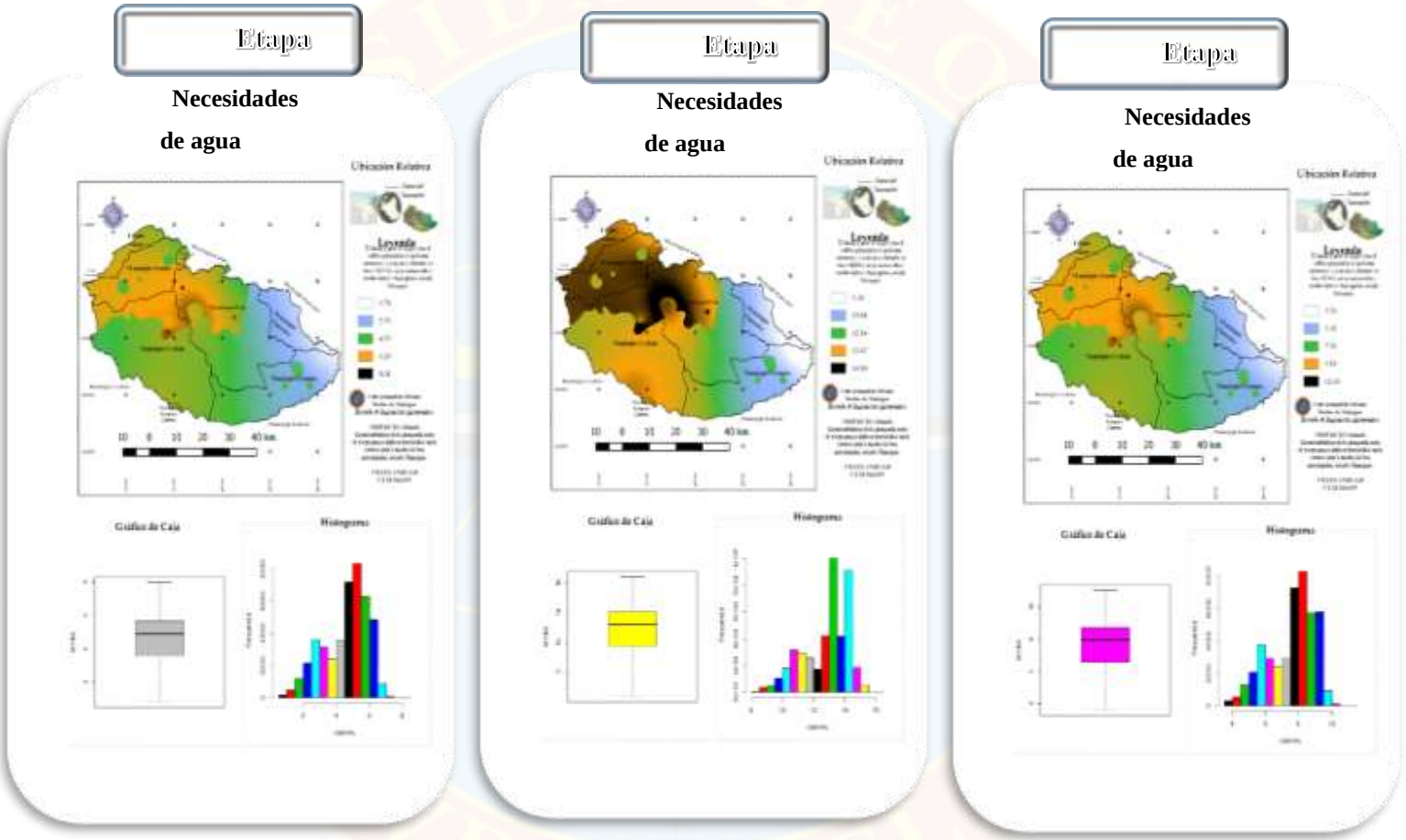
Anexo 08. Mapas de demanda neta de riego en el cultivo de ají



Anexo 09. Mapas de demanda neta de riego en el cultivo de berenjena



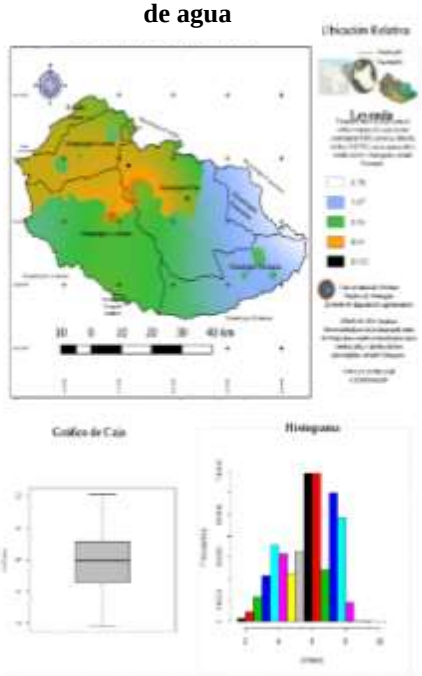
Anexo 10. Mapas de demanda neta de riego en el cultivo de pimentón



Anexo 11. Mapas de demanda neta de riego en el cultivo de tomate

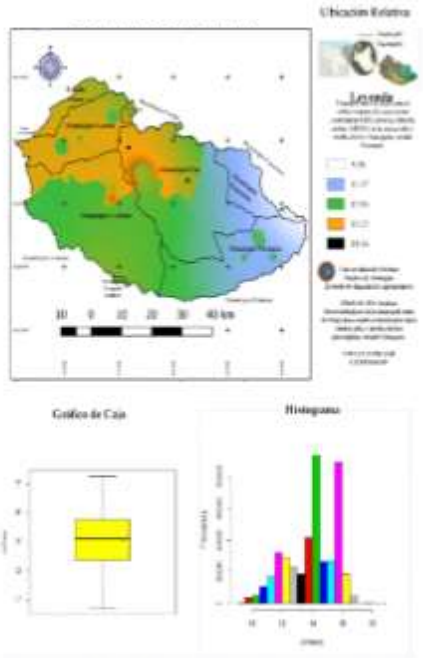
Etapa

Necesidades de agua



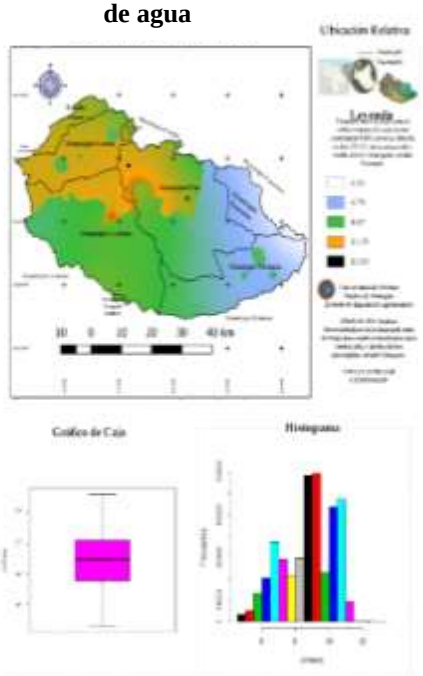
Etapa

Necesidades de agua

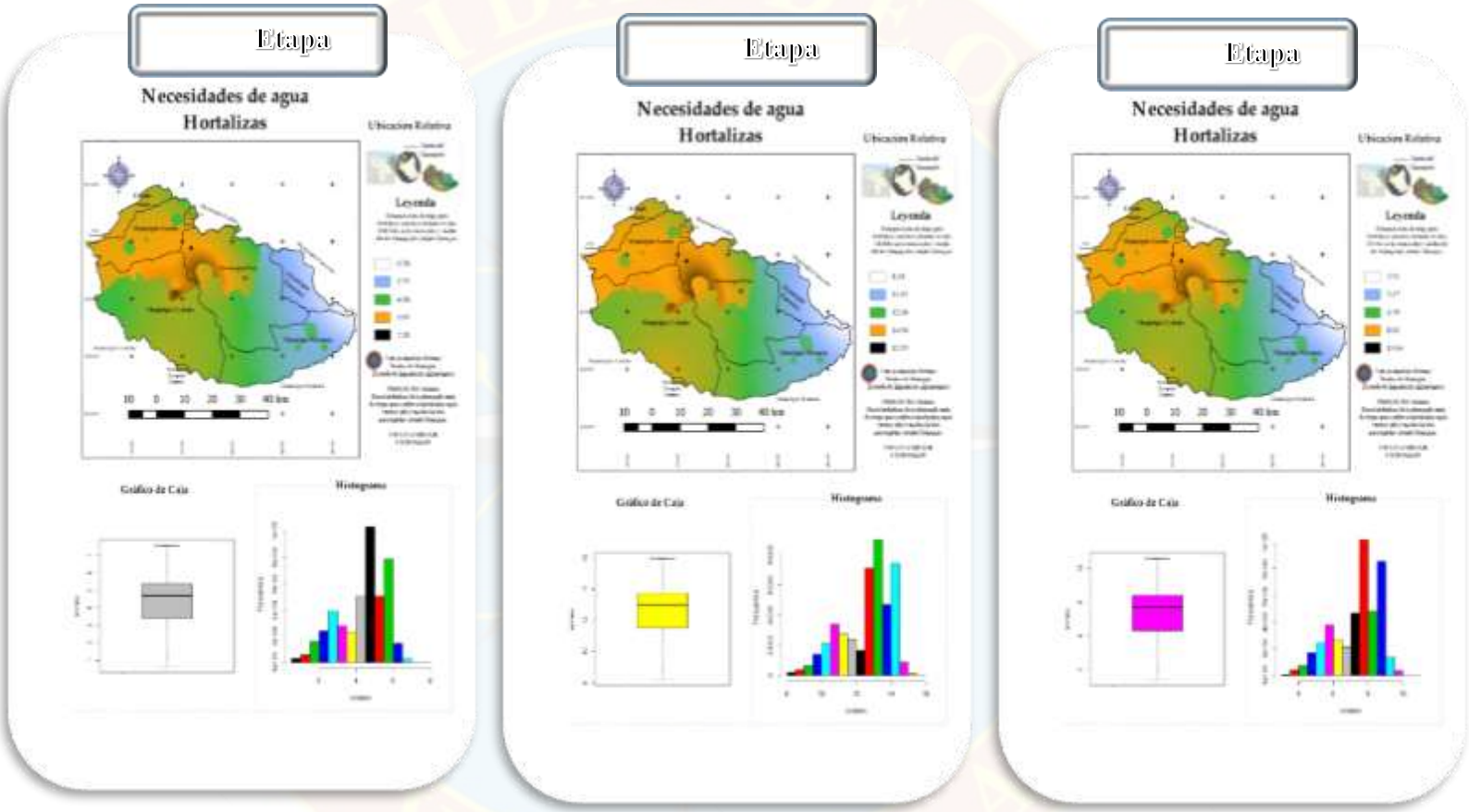


Etapa

Necesidades de agua



Anexo 12. Mapas de demanda neta de riego para hortícolas



HOJAS METADATOS

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

Título	**Modelo geoestadístico de la demanda neta de riego para cultivos hortícolas en la cuenca alta y media del río guarapiche, estado Monagas.**

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

Autor(es)

Apellidos y Nombres	**Código CVLAC / e-mail**	
Andújar Lezama Vivian María Delvalle	**CVLAC**	**C.I:** 20.564.639
	e-mail	lideryprofeta@hotmail.com

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 número de la Cedula de Identidad). El campo e-mail es completamente opcional y depende de la voluntad de los autores.

Palabras o frases claves:

geodatabase
sistema de información geográfica (sig)
demanda neta de riego (dnr)
evapotranspiración
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 subárea. El representante de la subcomisión solicitará esta información a los miembros del jurado.

Resumen (Abstract):

El objetivo del presente trabajo fue diseñar un Geodatabase para cuantificar la demanda neta de riego para cultivos hortícolas tales como: tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.), berenjena (*Solanum melongena* L.), ají (*Capsicum chinenses*.) y pimentón (*Capsicum annuum* L.) en la cuenca alta y media del río Guarapiche mediante modelos geoestadísticos del tipo distribuido, basándose en un Modelo Digital de Terreno Superficial, usando la variable climática de temperatura mínima, temperatura máxima, precipitación y de suelo la textura, toda esta información fue generada, procesada y manejada en un entorno de trabajo SIG, basado en una Geodatabase. Mediante métodos de análisis espacial, se obtuvo como resultado una serie de mapas que permite visualizar el comportamiento para cada variable en estudio. Obteniendo la distribución de la precipitación efectiva mínimas categorizadas como meses secos los meses de febrero, marzo y abril y los meses lluviosos los meses de junio julio y agosto, las precipitaciones mínimas se reflejan en el municipio Cedeño, y las precipitaciones máximas predominan en los municipios Maturín y Punceres. La cuenca presenta sitios con distintas capacidades para retener agua por lo que las estrategias de riego serán diferentes. La mayor evapotranspiración del cultivo ocurre en la fase media con valor de 17.97 cm y la menor evapotranspiración del cultivo ocurre en la etapa inicial con valor de 8.28 cm. La mayor demanda se encuentra en los municipios Acosta, Piar y norte del municipio Cedeño disminuyendo en el centro de este municipio con un leve incremento hacia el municipio Ezequiel Zamora, mientras que la menor demanda de riego se presenta hacia los municipios Punceres y Maturín.

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

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Víctor Malavé	**ROL**	**CA** ☐ **AS** ■ **TU** ☐ **JU** ☐
	CVLAC	**C.I.** 8895244
	e-mail	Vmalave@udo.edu.ve
José Alexander Gil	**ROL**	**CA** ☐ **AS** ☐ **TU** ☐ **JU** ■
	CVLAC	**C.I** 8.469.879
	e-mail	Jalexgil2005@hotmail.com
Nelson J. Montaño M.	**ROL**	**CA** ☐ **AS** ☐ **TU** ☐ **JU** ■
	CVLAC	**C.I**. 4505457
	e-mail	Nelsonmontao6@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	04	13

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 usuando 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_ALVM2018

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 Scientiarium 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

CU Nº 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 Nº 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.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SISTEMA DE BIBLIOTECA
RECIBIDO POR
FECHA 5/8/09 HORA 5:20 PM

Cordialmente,

JUAN A. BOLAÑOS CURIEL
Secretario

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SECRETARÍA
CONSEJO UNIVERSITARIO

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/maruja

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

De acuerdo al Artículo 41 del reglamento de Trabajos de Grado:

Los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quién deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización.

Vivian Andujar

Autor

MSc. Ing. Victor Malavé

Asesor