

ANÁLISIS ESPACIAL DE FACTORES AGROCLIMÁTICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE ZONAS ÓPTIMAS PARA CULTIVO DE PLÁTANO EN EL MUNICIPIO LÍBANO TOLIMA

SPATIAL ANALYSIS OF AGROCLIMATIC FACTORS FOR DETERMINATION OF OPTIMAL ZONES FOR PLANTAIN FARMING IN THE TOWN OF LIBANO, TOLIMA

Ledy Jazmin Arboleda Padilla
Ingeniera Catastral y Geodesta
Ledy.arb@gmail.com

RESUMEN

La variabilidad espacial de los factores que influyen en la producción agrícola ha sido un elemento importante que hasta hace algunos años era manejado básicamente por los campesinos a los que su experiencia en el Agro les ha permitido analizar dichos factores de forma intuitiva, sencilla y tradicional. Hoy con la llegada de nuevos conceptos, tecnologías y software se habla de agricultura moderna o también llamada Agricultura de precisión en donde es posible aplicar tecnologías y herramientas tendientes a maximizar el uso del suelo para el Agro. El presente trabajo analiza espacialmente los factores climáticos que intervienen en el cultivo de plátano determinando con ello las zonas óptimas para la siembra de este importante alimento en el Municipio de Líbano en el Departamento del Tolima. Para este análisis se seleccionan las variables

climatológicas que presentan mayor incidencia en la vida útil y calidad de la plantación y se espacializa la información obtenida de las estaciones meteorológicas, con el fin de observar su variabilidad en la zona de estudio. Se realiza la determinación de las zonas óptimas utilizando herramientas Geoestadísticas y lógica difusa, se comparan los resultados obtenidos por cada método, se validan ambos análisis y finalmente se presentan a través de mapas temáticos.

Palabras clave: Agricultura de precisión, Lógica difusa, Análisis espacial, climatológicas, cultivo, plátano.

ABSTRACT

The spatial variability of the factors that influence agricultural production has been an important element that until a few years ago was managed

basically by farmers who their agriculture experience has allowed to analyze those factors in intuitive, simple and traditional way. Today, with the arrival of new concepts, technologies and software, it is talking about modern agriculture or as well called precision agriculture when is possible to apply technologies and tools tending to maximize the ground use for agriculture. Present work analyzes in space, weather factors that intervene in plantain farming determining with it the optimal zones for seedtime of this important aliment in the town of Líbano in the department of Tolima. For this analysis, the climatological variables that are most influencing in lifespan and plantation quality are selected, and meteorological stations information is specialized in order to observe their variability in study zone. Determination of optimal zones are done using geo-statistical tools and fuzzy logic, each method results is compared, both analysis are validated and finally are presented through a thematics maps.

Key words: Precision Agriculture, Fuzzy logic, Spatial Analysis, Climatological, Farming, Plantain.

INTRODUCCIÓN

La Geoestadística y la Lógica difusa como herramientas de análisis espacial constituyen un tema importante en todos los proyectos geomáticos que se realizan en el mundo, desde 1984 cuando se aplicó el análisis espacial para analizar los casos de cólera que se presentaron en Londres. La tecnología, la metodología y las herramientas a

utilizar dependerán de la información básica disponible para su análisis y del resultado que se desea obtener.

Su aplicación en los sistemas de producción agrícola está supeditada básicamente a la disposición de la información necesaria para los distintos análisis, teniendo en cuenta que el desarrollo, la producción y la vida útil de cualquier cultivo son el resultado de la interacción entre los distintos factores ambientales.

En Colombia la actividad agrícola es un sector importante en la economía, aportando trabajo para muchas personas, en un país en el que más del 22% de la población se dedica a esta actividad, es importante buscar el fortalecimiento de la actividad con apoyo de las tecnologías y herramientas con las que se cuentan hoy en día, es conveniente hacer breves diagnósticos con el fin de analizar y detectar problemas que puedan ser analizados y solucionados por medio de estas herramientas. Es importante que las prácticas culturales en la actividad agrícola estén de la mano con los distintos estudios que se han realizado y que muestran resultados importantes en el mejoramiento no solo de la calidad de los productos sino en el aprovechamiento del suelo.

El plátano es uno de los cultivos más importantes en el mundo, es evidentemente un producto tradicional en las plantaciones campesinas colombianas y es además un producto básico en la canasta familiar, la influencia que ejercen distintos factores climáticos sobre este cultivo son dignos de analizar de tal forma que se puedan

describir patrones de comportamiento a partir de la generación de modelos y que al aplicarlo se obtengan respuestas significativas en términos de producción, de impactos ambientales, de estrategias de manejo sobre rendimientos y costos.

1. ANTECEDENTES

Los estudios que en el campo agrícola se han realizado apoyados en el análisis espacial, han sido enfocados a cubrir todo lo que encierra el concepto de agricultura de precisión en cuanto a manejo del suelo, al estudio de sus propiedades, aplicación variable de insumos, predicción de rendimientos y ubicación de sitio específico, además de analizar la distribución de las variables climáticas que afectan los cultivos en general, todo esto bajo el análisis de la variabilidad espacial y temporal de cada cultivo en particular.

En Venezuela se llevó a cabo el estudio de la variabilidad espacial de la salinidad del suelo, en los que se analizaron los cambios en la calidad del suelo por mal manejo del sistema de riego proveniente de aguas residuales, se tomaron 254 muestras de suelo del estrato superficial con el fin de determinar por medio de análisis de laboratorio la salinidad en cada muestra, luego usando herramientas geoestadísticas se determinó la variabilidad espacial de las sales para determinar los niveles de afectación del suelo, encontrando que aproximadamente el 40% de las áreas cultivadas en la zona de estudio están potencialmente afectados por la salinidad lo que

incide directamente en la productividad de los cultivos. [1]

Darío Antonio Castañeda por su parte en su trabajo desarrollado sobre la evaluación de métodos estadísticos para el desarrollo de una propuesta de manejo por sitio específico para banano hace énfasis en como el desarrollo y los avances tecnológicos, además de la información y el análisis a la misma, han permitido ubicar espacialmente varias características del Agro-ecosistema relacionadas con la producción. Para él, el uso combinado de herramientas Sig, geoestadística y análisis de imágenes es la mejor forma para explicar y predecir patrones de comportamiento. Su trabajo inicio determinando las propiedades del suelo importantes en la producción del Banano, por medio de regresión lineal seleccionar las propiedades del suelo que más se relacionaron con el peso de los racimos de banano para poder predecir la producción con mayor precisión. [2]

En un estudio realizado en Costa Rica sobre la comparación de interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de pH , Ca (Calcio), CICE (Capacidad de intercambio catiónico efectiva) y P(Fósforo) en el suelo, se concluye que en su caso de estudio la alta densidad de muestreo no permitió una marcada diferencia entre ambos métodos, por lo que considera interesante incorporar más parámetros del suelo para observar el comportamiento general de cada interpolador. [3]

En otros estudios más enfocados al análisis de las tendencias climáticas,

encontramos el trabajo de Cuantificación e interpolación de tendencias locales de temperatura y precipitación en zonas alto andinas de Cundinamarca y Boyacá (Colombia), cuyo objetivo es cuantificar las tendencias de temperaturas máximas y mínimas y la precipitación media utilizando herramientas de interpolación geostatística. [4]

El análisis espacial es sin duda una herramienta valiosa en el análisis de información, cuenta con múltiples aplicaciones y hoy por hoy ofrece una alternativa significativa en la toma de decisiones.

2. AREA DE ESTUDIO

La zona de estudio se localiza al norte del Departamento del Tolima, su cabecera está situada sobre los 4° 55' de latitud norte y los 75° 04' de longitud al oeste de Greenwich. [5]

Límites del municipio: Norte: con los municipios de Villahermosa y Armero

Occidente: con el municipio de murillo

Oriente: con los municipios de Lérida y Santa Isabel

Sur: con el municipio de santa Isabel.

Extensión total: 299.44 Km²

Extensión área urbana: 3.28 Km²

Extensión área rural: 296.16 Km²

Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar): 1.565

Temperatura media: 20° C

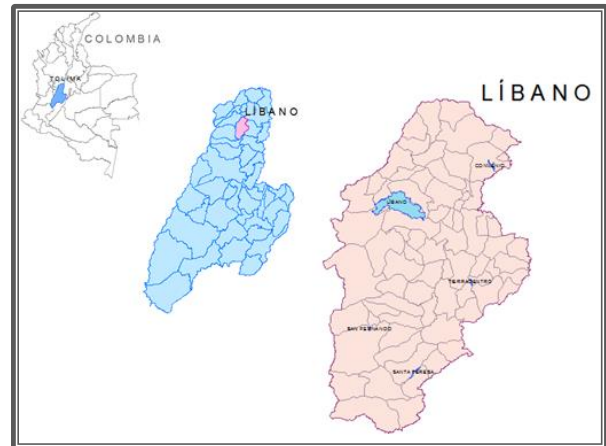


Figura 1. Localización del Municipio de estudio
Fuente: Autor

3. ECOLOGÍA DEL CULTIVO

El clima Colombiano es un factor óptimo para el desarrollo del cultivo de plátano, sin embargo está determinado por aspectos geográficos y atmosféricos que incluye precipitaciones, temperatura, Sistema de vientos, Humedad relativa, radiación solar y altitud. Estos Factores presentan en Colombia un desarrollo de climas y microclimas que pueden favorecer o afectar la producción agrícola por su influencia directa en el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

El cultivo de plátano es cultivable en casi todas las regiones colombianas, sin embargo requiere unas condiciones óptimas tendientes a mejorar la calidad y el rendimiento.

Precipitación: El cultivo de plátano requiere para su normal crecimiento y buena producción de 120 a 150 mm de lluvia mensual o entre 1800 a 2200 mm anuales bien distribuidos para su desarrollo metabólico.

Temperatura: La temperatura óptima para el cultivo de plátano es de 26°C,

sin embargo la temperatura ideal puede estar en un intervalo entre 18°C – 27°C. Este factor es importante en la frecuencia de emisión de las hojas y puede alargar o acortar el ciclo vegetativo.

Humedad Relativa: Este factor tiene una incidencia indirecta en el cultivo ya que la humedad puede favorecer la incidencia de enfermedades foliares, para ello debe estar en un rango entre 60 – 85%.

Brillo solar: Es un factor importante para el desarrollo de las yemas, es importante que las distancias de siembra no sean muy pequeñas puesto que esto afectaría el crecimiento y prolongaría el ciclo vegetativo, la poca luminosidad es ambiente propicio para problemas fitosanitarios. El cultivo de plátano requiere un brillo solar entre 4 – 6 horas diarias o entre 120 – 185 horas mensuales.

Vientos: Cuando la velocidad del viento excede los 20Km/h produce rasgado en las hojas, lo que genera un riesgo para la producción de la planta.

Altitud: Este factor influye de forma directa en el periodo vegetativo del cultivo, puede prolongarse 10 días por cada 100 metros de altura sobre el nivel del mar. La altitud adecuada para la siembra esta desde el nivel del mar hasta los 2000 m. A partir de la altitud se clasifica las variedades: Hartón (0 – 1000 m.s.n.m), Dominico – Hartón (1100 – 1300 m.s.n.m) y Dominico (1350 – 1800 m.s.n.m). [6]

4. METODOLOGIA

4.1. DATOS E INFORMACIÓN A UTILIZAR

Los datos de los factores agroclimáticos fueron tomados por las estaciones meteorológicas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia – IDEAM para un periodo de tiempo de 20 años entre 1990 y 2010. La información fue suministrada en formato (.txt) que contiene: - precipitación: información de 9 estaciones - Temperatura: información de 5 estaciones - Humedad Relativa: Información de 5 estaciones. - Brillo solar: Información de 3 estaciones. Adicionalmente se tiene la cartografía básica del municipio: Límite municipal, veredas, drenajes y curvas de nivel que nos definen la zona de estudio. La variable Viento fue tomada y digitalizada del Atlas de viento y energía Eólica de Colombia. [7]

4.2. MÉTODO DE INTERPOLACIÓN

Se aplicó el método de interpolación IDW para representar las variables, puesto que este método es muy usado en casos en los que se cuenta con poca información y cuando los puntos de muestra están muy espaciados.

4.2.1. IDW (Inverse Distance Weighted)

Este método está basado principalmente en la inversa de la distancia elevada a una potencia matemática. Se asigna mayor peso a los puntos de muestra que están más cerca de la celda que está siendo

interpolada, en tanto que la variable que se representa cartográficamente disminuye su influencia a mayor distancia desde su ubicación de muestra. Este parámetro de potencia permite controlar la influencia de los puntos conocidos sobre los valores interpolados basándose en la distancia.

La carga se le asigna a puntos de observación mediante el uso de un poder de carga (peso) que controla la forma en que los factores declinan a medida que aumenta la distancia desde los nuevos puntos. Entre mayor sea el poder de la carga, los puntos de efecto alejados del punto nuevo tendrán menos efecto durante la interpolación. A medida que el poder aumenta, el valor del nuevo punto se acerca al valor del punto más cercano al punto de observación. **Cressie (1989).** [8]

4.3. GENERACIÓN DE LOS MAPAS DE TENDENCIA PARA LAS VARIABLES CLIMATOLÓGICAS

Se utilizó el método de Interpolación determinístico IDW para interpolar la tendencia de acumulado anual y promedio mensual de las variables climáticas analizadas. Para la generación de las superficies de cada una de las variables se utilizó un coeficiente de potencia $p=2$, este método tiende a producir patrones cerrados alrededor de los puntos muestreados; sin embargo este método es aplicado puesto que la base de datos usada para este análisis es pequeña y la distancia de muestreo es muy grande.

4.3.1. Precipitación: acumulado anual (mm)

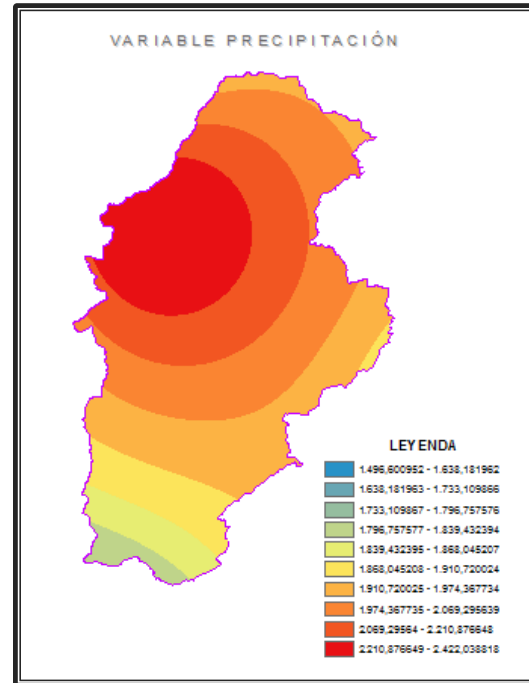


Figura 2. Modelo interpolación Precipitación
Fuente: Autor

4.3.2. Temperatura: promedio mensual (°C)

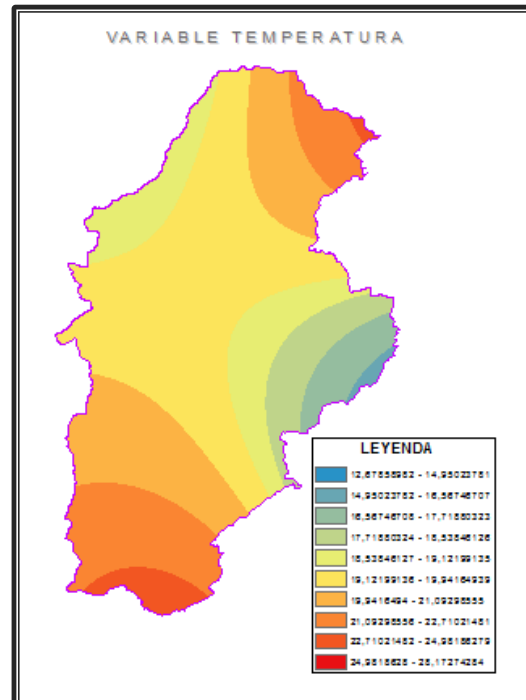


Figura 3. Modelo interpolación Temperatura

Fuente: Autor

4.3.3. Humedad relativa: Promedio mensual (%)

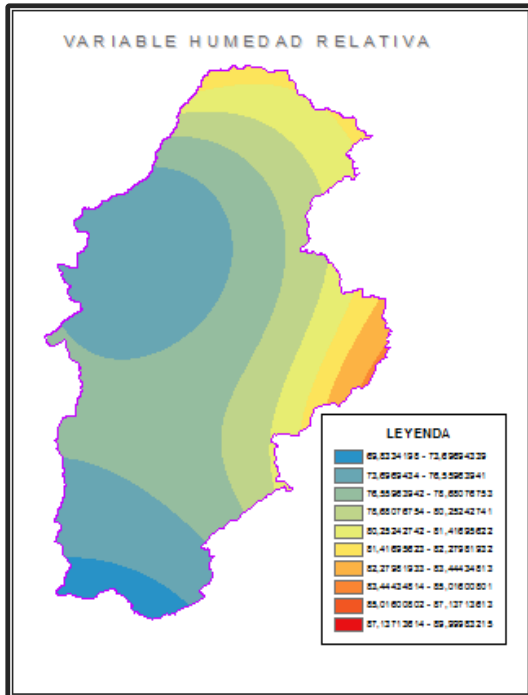


Figura 4. Modelo interpolación Humedad Relativa
Fuente: Autor

4.3.4. Brillo solar: Promedio mensual (horas)

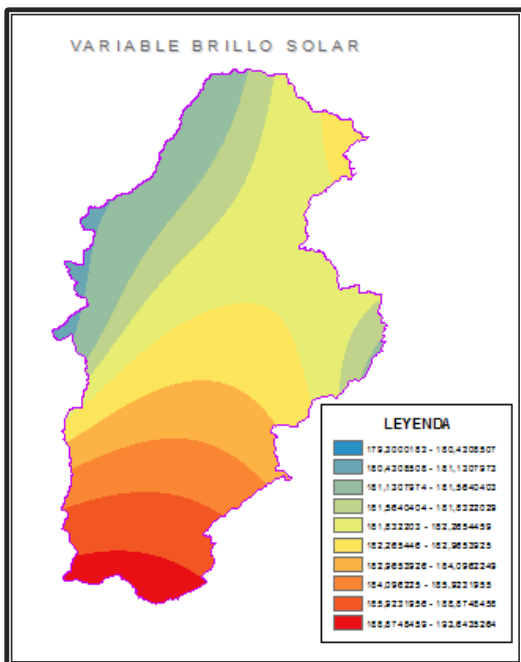


Figura 5. Modelo interpolación Brillo solar
Fuente: Autor

4.3.5. Vientos: promedio mensual (m/s)

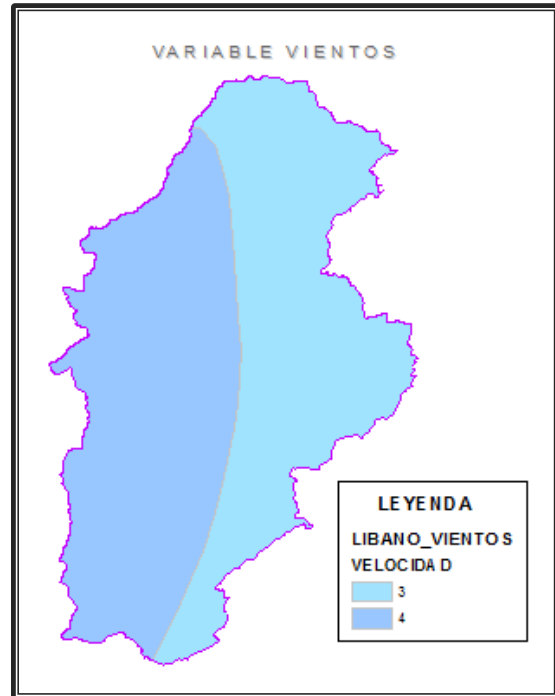


Figura 6. Modelo interpolación Vientos
Fuente: Autor

4.3.6. Altitud: curvas de nivel (m)

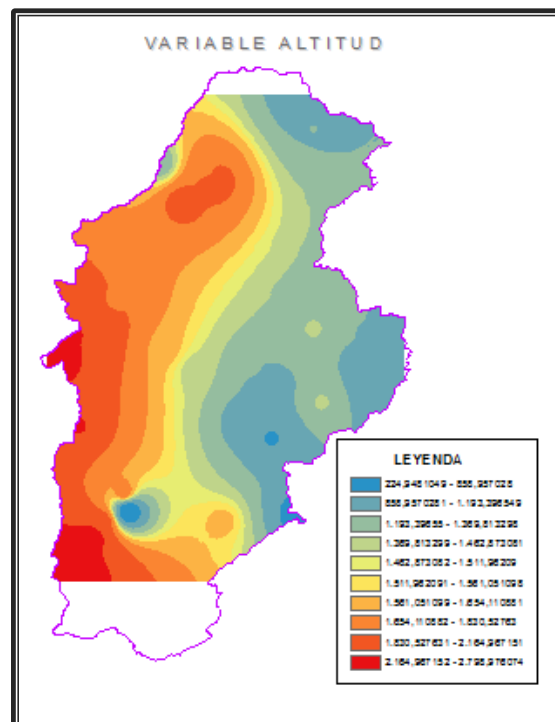


Figura 7. Modelo interpolación Altitud
Fuente: Autor

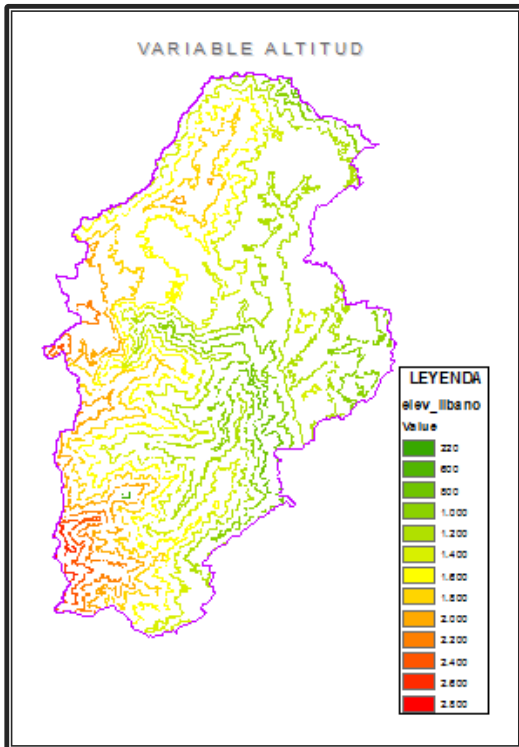


Figura 8. Curvas de Nivel
Fuente: Autor

4.4. LÓGICA DIFUSA

La lógica difusa es una metodología que permite trabajar con información que no es exacta, no tiene límites claros, en el que no existe un modelo matemático o una solución simple, en el que información es ambigua, imprecisa, con ruido o incompleta, en general la lógica difusa es un sistema matemático que modela funciones no lineales. Surge por la imprecisión para describir y analizar los fenómenos que encontramos en el diario vivir, en donde se expresan conceptos como alto, bajo, caliente, frío, dulce, amargo, etc., que son percibidos de manera diferente por cada persona. Por ejemplo: para una persona en Alaska el concepto de caliente puede ser arriba de 10°C, mientras que para un colombiano caliente puede estar arriba de los

30°C, por esta razón los conjuntos Caliente, Tibio y Frío que no tienen límites bien definidos son llamados Conjuntos Difusos. [9]

Está basada en 4 conceptos fundamentales como se observa en la Figura 9:

- Variables lingüísticas
- Conjuntos difusos
- Valor lingüístico
- Función de pertenencia

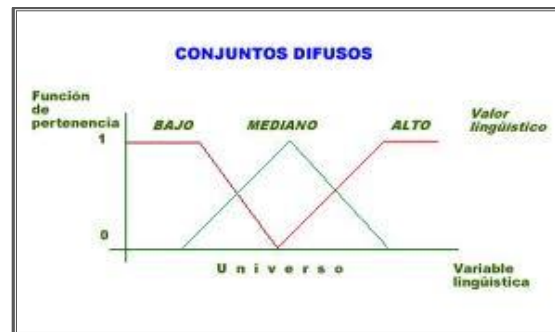


Figura 9. Conjunto difuso
Fuente: Autor

El diagrama de procesos describe una entrada de información que inicia con el proceso de fusificación en el que se convierten los valores reales en valores difusos, luego en el proceso de inferencia se representan las reglas que definen el sistema, se procede a la defusificación en la que se adecuan por distintos métodos los valores difusos generados en la inferencia para finalmente generar una salida como lo muestra la Figura 10.

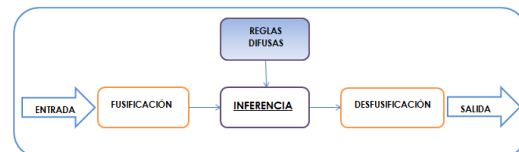


Figura 10. Proceso de Lógica difusa
Fuente: Autor

4.4.1. Generación de modelo por lógica difusa

Para la generación del modelo se utilizó el software matemático Matlab, que ofrece un entorno de desarrollo sencillo para este tipo de análisis.

Se realiza el proceso de fuzzyficación traduciendo de los valores reales de las variables a la lógica difusa a través de funciones de membresía como se observa en la Figura 11, para ello se definen los valores lingüísticos y los intervalos de los conjuntos difusos para cada una de las variables como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Definición función de membresía

CONCEPTOS PARA FUNCIÓN DE MEMBRESÍA			
VARIABLE	RANGO	CONJUNTO DIFUSO	
PRECIPITACIÓN	0 – 3000 mm	BAJA	<1400
		MODERADA	$1300 \leq P_m \leq 1700$
		ALTA	≥ 1600
TEMPERATURA	0 – 40°C	FRÍO	<15
		TEMPLADO	$12 \leq T_t \leq 25$
		CÁLIDO	≥ 24
HUMEDAD RELATIVA	0 – 100%	BAJA	<70
		MEDIA	$65 \leq HR_m \leq 76$
		ALTA	≥ 75
BRILLO SOLAR	0 – 200h	POCA INTENSIDAD	<180
		MODERADAMENTE INT	$150 \leq BS_{mi} \leq 190$
		MUY INTENSO	≥ 185
VIENTOS	0 – 30m/s	MODERADO	<10
		FUERTE	$9 \leq B_{smi} \leq 16$
		MUY FUERTE	≥ 15
ALTITUD	0 – 3000m.s.n.m	BAJA	<1000
		MEDIA	$9000 \leq BS_{mi} \leq 2200$
		ELEVADA	≥ 2000
VARIABLE DE SALIDA	0 – 100	APTO	<50
		NO APTO	≥ 45

Fuente: Autor Ledy J. Arboleda, 2014

A partir de la información de la función de membresía de cada una de las variables se definen las reglas difusas para cada grado de pertenencia asociado a la medición de cada una de las variables, estas proposiciones permiten expresar el conocimiento que se dispone sobre la relación entre las variables de entrada y la variable de salida; es decir, la relación de las variables climatológicas para generar zonas óptimas para el cultivo de plátano, esto se verá reflejado en el editor de reglas como se muestra en la figura 12.

Para el proceso de defusificación se toman los valores difusos generados

en la inferencia y por el método de Centroide (calcula promedio ponderado de la salida) se obtiene la salida.

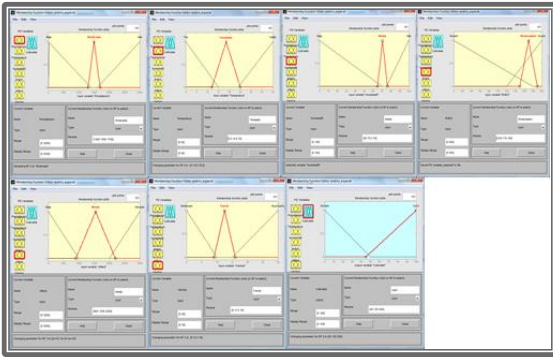


Figura 11. Función de membresía para las variables
Fuente: Autor

La definición de las reglas difusas se realiza a partir de la interacción entre las variables o condiciones óptimas que deben cumplir estas variables para que la zona estudiada sea catalogada como apropiada para la plantación del cultivo de plátano, observar Figura 12.



Figura 12 Definición de Reglas de modelo
Fuente: Autor

5. ANALISIS Y RESULTADOS

Resultados Interpolación IDW: Como resultado de la generación de los mapas de tendencia se encuentra que el comportamiento de las variables en la zona de estudio.

Precipitación: El mapa de tendencia muestra que la distribución de las lluvias tiende a ser mayor hacia los límites del municipio de estudio con el municipio de Villahermosa y tienden a bajar el volumen de precipitación hacia santa Isabel y Lérica.

Temperatura: La variable alcanza su máxima temperatura de 24°C en el municipio hacia las veredas Delicias y Tiestos en el Norte y El Diamante y El Retiro en el sur del municipio.

Humedad Relativa: Esta variable presenta un poco distribución en el municipio aproximadamente un rango de humedad entre el 70 correspondiente a las veredas la Gregorita y el agrado respectivamente y el 85% en la zona que limita con el municipio de Lérica.

Brillo solar: La iluminación en el municipio presenta una buena distribución, entre 179 horas promedio mensuales de iluminación en las zonas cercanas al municipio de Villahermosa y de 193 horas promedio mensual en la zona que limita con Santa Isabel y Murillo.

Vientos: Esta variable presenta valores bajos en la velocidad del viento entre 3 y 4 m/s básicamente.

Altitud: El municipio se encuentra en una zona montañosa donde la altura varía entre los 200 m.s.n.m en las veredas El suspiro limitando con Lérica y Delicias y Tiestos limitando con Armero, por su parte la zona más elevada se localiza en límites con el municipio de Murillo.

Teniendo las variables espacializadas se realiza la delimitación de las zonas óptimas para el cultivo de plátano por medio de la calculadora Raster herramienta de software ArcGis, los resultados se muestran en el mapa temático mostrado en la Figura 13.

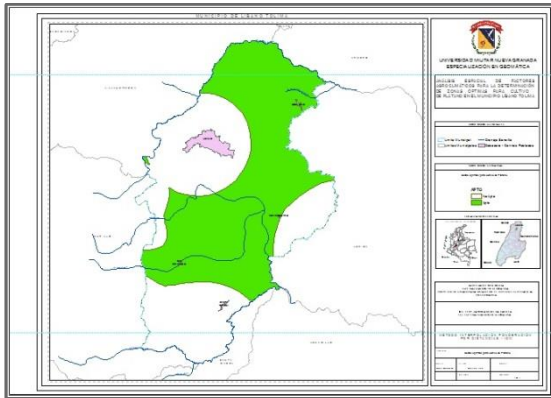


Figura 13. Zonas óptimas cultivo – Método Interpolación IDW
Fuente: Autor

Resultados Análisis por Lógica difusa:
Como resultado del proceso de fusificación – inferencia – defusificación y salida se evaluó el modelo lógico diseñado en Matlab para cada una de las veredas del municipio, asumiendo que cada variable en cada pequeña zona veredal se comporta de forma homogénea, este modelo se evalúa obteniendo un valor promedio por variable para cada vereda y así obtenemos la característica de apto o no apto para plantación de Plátano. Los resultados se muestran en el Mapa temático de la figura 14.

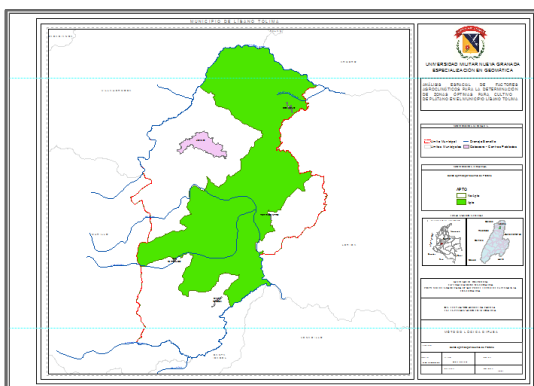
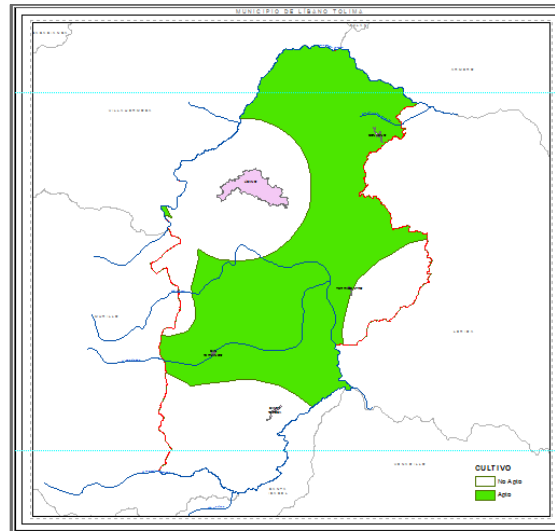


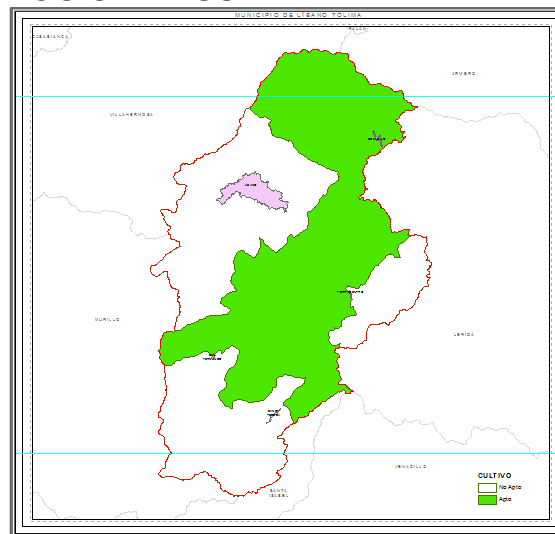
Figura 14. Zonas óptimas cultivo – Método Lógica difusa
Fuente: Autor

En la comparación de ambos métodos tenemos lo siguiente:

IDW:



LÓGICA DIFUSA:



La ampliación de los resultados permite observar claramente que la zona óptima para la plantación del cultivo de plátano es la misma obtenida por ambos métodos.

6. CONCLUSIONES

En términos generales puede concluirse que los métodos usados para la determinación de las zonas óptimas para cultivar plátano en el municipio de Líbano son satisfactorios en la medida en que al conocer de la zona de estudio observados la coincidencia de estos resultados con las áreas cultivadas con plátano en la actualidad, sin olvidar que esas plantaciones han sido ubicadas por la experiencia de los campesinos de la zona.

Al finalizar el análisis espacial se define una zona óptima para el cultivo de plátano que corresponde a 42 de las 75 veredas que componen el municipio, distribuidas a lo largo del mismo, esto refleja las buenas condiciones medio ambientales que tiene la zona analizada.

Por otra parte los resultados de este trabajo muestran como estos métodos pueden ser aplicables al análisis de sitio de cualquier cultivo en el su buen desarrollo dependa de la interrelación de este tipo de factores.

AGRADECIMIENTOS

A mi hija y a mi esposo por su incondicional apoyo y comprensión, a mis padres y hermanos por la buena energía transmitida, al profesor Ing. Jorge Alberto Valero por sus valiosas explicaciones y aportes, al profesor Jorge Luis Corredor por su constante acompañamiento y apoyo en la consecución de parte de la información, al Instituto de Hidrología,

Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia – IDEAM gracias por la información facilitada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] F. R. y. F. Navas, «VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA SALINIDAD EN SUELOS REGADOS CON AGUAS RESIDUALES DEL SISTEMA DE RIEGO TAIGUAIGUAY, VENEZUELA,» *Interciencia*, nº 5, pp. 357-362, 2010.
- [2] D. A. Castañeda, «Evaluación de métodos estadísticos para el desarrollo de una propuesta de manejo por sitio específico para banano,» Medellín, 2011.
- [3] C. H. y. F. S. Mario Villatoro, «Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de pH, Ca, CICE y P del suelo,» 2008.
- [4] B. A. A. P. F. B. y. M. A. Edwin Rojas, «Cuantificación e interpolación de tendencias locales de temperatura y precipitación en zonas alto andinas de Cundinamarca y Boyac'a,» *Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, nº 11, pp. 173-182, 2010.
- [5] Alcaldía de Líbano Tolima, «libano-tolima,» [En línea]. Available: <http://www.libano-tolima.gov.co>. [Último acceso: 17 Abril 2014].
- [6] CORPOICA, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria -, Manejo sostenible del cultivo de plátano, Bucaramanga: Produmedios, 2006.
- [7] Unidad de Planeación Minero Energética - UPME E instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, Atlas de viento y energía Eólica de Colombia, Bogotá, 2006.

- [8] A. B. Leguizamón, «Modelos geoespaciales de la distribución de las variables climatológicas en el territorio colombiano,» *Meteorología Colombiana*, nº 7, pp. 81-89, 2003.
- [9] D. G. y. V. Castaño, «La lógica difusa en ingeniería: Principios, aplicaciones y futuro,» *Ciencia y Tecnología*, nº 24, pp. 87-107, 2006.
- [10] F. R. y. F. Navas, «Variabilidad espacial de la salinidad en los suelos regados con aguas residuales del sistema de riego Taiguaiguay, Venezuela.,» *Interciencia*, nº 5, pp. 357-362, 2010.