

PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES DE RADAR METEOROLÓGICO EN EL ESTADO DE GUANAJUATO

Carlos Alanías Rodríguez Rico ^a, Marcos Irineo Esquivel Longoria ^{b,*}

Eliaquim Angulo Torres ^c

^a Departamento de Astronomía, Universidad de Guanajuato, Callejón de Jalisco S/N
Valenciana, C.P. 36240, Guanajuato, Guanajuato, México.

^b Departamento de Astronomía-Área de Ciencias Atmosféricas, Universidad de Guanajuato,
Callejón de Jalisco S/N Valenciana, C.P. 36240, Guanajuato, Guanajuato, México.

mi.esquivel@ugto.mx

^c Departamento de Ingeniería Geomática e Hidráulica, Universidad de Guanajuato, Avenida
Juárez No. 77, Zona Centro, C.P. 36000, Guanajuato, Guanajuato, México

Resumen

Se desarrolló un programa en R para procesar imágenes de formato *jpeg* usando el modelo de color RGB. Las imágenes contienen información de lluvia y se obtuvieron usando los dos radares meteorológicos de la Coordinación Estatal de Protección Civil de la Secretaría de Seguridad Pública del estado de Guanajuato. El proceso incluye la lectura, filtrado, identificación y clasificación de colores asociados con diferentes intensidades de lluvia. Al realizar la lectura se obtiene una matriz de tres dimensiones (1024x768x3) que es convertida a una bidimensional (1024x768) identificando y clasificando los píxeles con base en su color. Usamos una tabla de concordancia entre color e intensidad de lluvia en milímetros por hora para dar un valor numérico a cada píxel. Finalmente se asignó una coordenada geográfica a todos los píxeles de la imagen.

Palabras clave: Radar meteorológico; Guanajuato; procesamiento digital de imágenes; estación meteorológica.

DIGITAL PROCESSING OF WEATHER RADAR IMAGES IN THE STATE OF GUANAJUATO

Abstract

A program was developed in R to process *jpeg* images using the RGB color model. The images contain rainfall information and were obtained using the two meteorological radars of the *Coordinación Estatal de Protección Civil de la Secretaría de Seguridad Pública del Estado de Guanajuato*. The process includes reading, filtering, identifying, and classifying colors associated with different rainfall intensities. Upon reading, a three-dimensional matrix (1024x768x3) is obtained, which is converted into a two-dimensional matrix (1024x768) by identifying and classifying pixels based on their color. We used a concordance table between color and rainfall intensity in millimeters per hour to assign a numerical value to each pixel. Finally, a geographical coordinate was assigned to all the pixels in the image.

Keywords: Weather Radar; Guanajuato; digital image processing; meteorological station.

1. Introducción

El conocimiento detallado de las condiciones meteorológicas en una región es crucial para predecir variaciones climáticas, ya sean leves o extremas, y con base en ello, implementar las acciones necesarias para abordar los problemas asociados a las precipitaciones. Actualmente, gran parte de la información sobre las condiciones atmosféricas se obtiene mediante radares meteorológicos.

El funcionamiento de un radar meteorológico se basa en la emisión de una señal de radiofrecuencia que, al impactar en un objeto, es reflejada en varias direcciones. Una parte de esa señal reflejada es captada por un receptor, que se encarga de filtrar el ruido no deseado, amplificar la señal y procesarla para extraer información sobre el objeto. Midiendo el tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción de la señal, y conociendo la posición de la antena, es posible determinar con precisión la ubicación del objeto. La intensidad de la señal recibida, conocida como reflectividad y medida en decibeles (dB), permite identificar fenómenos atmosféricos relacionados con el agua, como la lluvia, el granizo y la nieve a través de las imágenes generadas. Usando el radar se generan imágenes de color en las que a cada color se le asocia un rango de intensidad de

lluvia, medida en milímetros por hora (mm/h). Estos valores se determinan por medio de calibración del instrumento por parte del fabricante.

La principal ventaja del radar radica en que equivale a utilizar cientos de pluviómetros (instrumentos que miden la precipitación en superficie) distribuidos a lo largo de su área de cobertura, proporcionando información en tiempo real. Además, el radar tiene la capacidad de realizar estudios del volumen de las nubes a través de diferentes cortes o secciones, y permite el seguimiento y análisis de fenómenos meteorológicos severos, como los huracanes (Servicio Meteorológico Nacional, 2024).

Sin embargo, el valor de la información proporcionada por los radares depende del procesamiento adecuado de los datos que generan. Aquí es donde el lenguaje de programación **R** juega un papel clave. **R** permite procesar grandes volúmenes de imágenes de radar, extraer datos relevantes de precipitación y compararlos con otras fuentes, como estaciones meteorológicas automáticas (EMAs) en superficie. Una estación meteorológica consiste en varios instrumentos de medición de variables atmosféricas como lluvia, humedad, temperatura, velocidad y dirección del viento.

En este artículo, se presenta un método para procesar imágenes de radar utilizando **R**, con el objetivo de obtener datos numéricos que puedan ser comparados posteriormente con los registros de estaciones meteorológicas automáticas.

2. Material y métodos

2.1. Características del radar de protección civil del estado de Guanajuato

El radar operado por la Coordinación Estatal de Protección Civil (CEPC) es un modelo FURY de la marca Advanced Designs Corporation (ADC), equipado con tecnología Doppler y opera en la banda C, a una frecuencia de 5.44 GHz. Este radar cuenta con una antena de 1.9 metros de diámetro y un ángulo de apertura de 2.1° . Tiene rango de visibilidad, que va desde los 46 hasta 556 km, esto permite cubrir el estado completo con 2 radares.

En el estado de Guanajuato, se operan dos radares ubicados en zonas elevadas estratégicas:

- Radar Villalpando, en el municipio de Guanajuato, ubicado en las coordenadas $101^\circ 10' 19.13''$ de

longitud y $21^\circ 01' 52.38''$ de latitud, a 2,830 metros sobre el nivel del mar.

- Radar El Moro, en el municipio de Acámbaro, situado en las coordenadas $100^\circ 38' 31.04''$ de longitud y $20^\circ 13' 03.33''$ de latitud, a 3,124 metros sobre el nivel del mar.

2.2. Procesamiento en R

Para procesar las imágenes de radar, se utilizó el lenguaje de programación **R**, que ofrece diversas librerías especializadas en el manejo de imágenes y matrices. El objetivo principal fue extraer los valores de reflectividad representados por los colores en las imágenes y convertirlos en datos numéricos de precipitación, asignando a cada nivel de color su correspondiente nivel de intensidad de lluvia.

El proceso comenzó con la importación de las imágenes en formato JPG mediante la librería *jpeg* de **R**. Posteriormente, se accedió a los valores de los píxeles en los canales RGB para identificar las áreas de lluvia. Cada rango de color fue asociado con un rango de precipitación, utilizando una tabla de referencia para traducir los valores de los píxeles en mm/h.

Una vez identificados los píxeles que contenían información relevante de

precipitación, se realizó una limpieza de la imagen mediante operaciones de erosión y dilatación morfológicas, con el fin de eliminar artefactos u objetos no relacionados con la lluvia. Estas operaciones se ejecutaron usando matrices de vecindad que permitieron identificar y eliminar valores no deseados, como líneas negras o áreas de ruido.

Finalmente, los datos procesados se georreferenciaron, asignando coordenadas geográficas a cada píxel. Esto se logró mediante la interpolación de las posiciones extremas de la imagen, calculando el incremento en latitud y longitud entre los píxeles. Los resultados obtenidos permitirán la comparación de los valores de precipitación generados por el radar con los datos de estaciones meteorológicas automáticas, lo que facilitará el análisis de la precisión de las mediciones.

2.3. Asignación de coordenadas geográficas a las imágenes de radar

Con base en la información proporcionada por la CEPC se determinaron las coordenadas geográficas de referencia de los píxeles de dos esquinas de las imágenes de radar, la superior izquierda ($103^{\circ} 30' 02''$ de longitud y $23^{\circ} 01' 25''$ de latitud) y la inferior derecha

($97^{\circ} 46' 17''$ de longitud y $18^{\circ} 59' 10''$ de latitud). Estas referencias geográficas permiten calcular el tamaño de píxel o escala de la imagen. Para esto se considera que un incremento de 1 grado en latitud y 1 grado en longitud equivalen a 110 kilómetros. Teniendo en cuenta que en la dirección de la Longitud existen 1,024 píxeles y en la de la latitud son 768 píxeles se obtuvo un tamaño de píxel de 615 metros en longitud y 578 metros en latitud. La resolución de las imágenes de radar es entonces de aproximadamente medio kilómetro, y, por lo tanto, cada dato de lluvia estimada por el radar cuenta con esta resolución. Por lo tanto, a cada imagen de radar obtenida se le asignaron coordenadas geográficas para facilitar su uso en análisis numéricos posteriores, por ejemplo, para comparar la lluvia estimada por radar con la información de lluvia medida por las EMAs, así como para otra clase de análisis espaciales utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG). De este proceso se obtuvieron archivos en formato de texto (*.txt) en donde cada píxel de la imagen de radar tiene asociada una coordenada geográfica.

3. Resultados

3.1. Procesamiento de las imágenes de radar

El análisis de la precipitación en la región de Guanajuato comenzó con el procesamiento de imágenes de radar que abarcan una región geográfica más amplia. La Figura 1 muestra la imagen original generada por el radar, con un tamaño de 760 x 1024 píxeles. En ella se presenta una tabla de colores que indica los diferentes niveles de reflectividad, los cuales están asociados a las intensidades de precipitación. Estos colores son fundamentales para interpretar los datos de lluvia. Además, la imagen incluye los datos de operatividad del radar, como la posición de la antena, la frecuencia de la señal y otros parámetros técnicos.










Figura 1. Imagen del radar de la Coordinación Estatal de Protección Civil de Guanajuato, los diferentes colores hacen referencia a la cantidad de lluvia posible con base en umbrales de precipitación y de reflectividad de radar que se muestran en la Tabla 1.

En la Tabla 1, se detallan los niveles de reflectividad del radar junto con sus respectivas intensidades de precipitación.

Las columnas de la Tabla 1 especifican la reflectividad en decibelios (dB), el color correspondiente que aparece en la imagen de radar, y la intensidad de lluvia estimada en mm/h. Esta relación entre reflectividad y precipitación permite identificar las zonas de mayor o menor intensidad de lluvia en la imagen. Para centrarnos exclusivamente en la zona de interés, la imagen fue recortada, como se muestra en la Figura 2, donde solo se representa la región de Guanajuato.

Tabla 1. Tipos de lluvia e intensidades de lluvia asociados a los valores de reflectividad del radar.

Tipo de lluvia	Color	Reflectividad dBZ	Intensidad de lluvia (mm/h)
Ligera		20	0.65–1.33
Ligera a moderada		25	1.33-2.73
Moderada		30	2.73-5.62
Moderada a fuerte		35	5.65-11.53
Fuerte		40	11.53-23.68
Intensa		45	23.68-48.62
Severa		50	> 48.62

Este recorte permitió reducir la cantidad de datos a procesar y enfocarnos en la precipitación en el Estado.

El objetivo es obtener solo la información asociada a la reflectividad del radar, es decir, la información debido a las precipitaciones presentes.



Figura 2. Imagen recortada de la reflectividad medida por radar usada para procesar la información correspondiente al estado de Guanajuato.

Para ello debemos tomar el valor que corresponde a cada píxel, es decir, asociar el color del mismo eliminando el mapa geográfico del estado que puede apreciarse de fondo.

Para esto se aplicaron técnicas de filtrado para eliminar el fondo y destacar las áreas relacionadas con la precipitación. La Figura 3 muestra la imagen después del filtrado, donde

los píxeles relevantes fueron identificados en función de los valores de reflectividad mostrados en el Tabla 1. Estos píxeles fueron posteriormente transformados en una máscara binaria, utilizada para aislar las áreas de precipitación.

El procesamiento digital de estas imágenes se llevó a cabo de manera automática debido a la periodicidad en la cual se genera dicha información. En cada hora se generan 12 imágenes de radar que corresponden cada una de ellas a intervalos de 5 minutos.

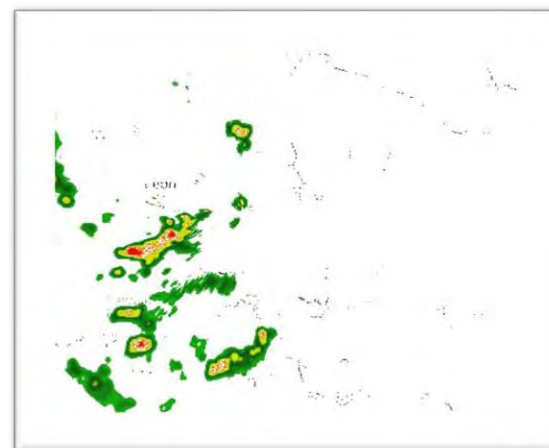


Figura 3. Imagen obtenida después de aplicar el filtro por colores a la imagen recortada de la Figura 2, los cuales fueron establecidos con base a las reflectancias dadas en la Tabla 1.

En total se generan 288 imágenes por día y en un año se cuenta con 105,120 imágenes. Debido a la gran cantidad de imágenes que se tienen que procesar diariamente, hemos

decidido implementar el algoritmo descrito en la sección 2.2 para convertir las imágenes JPG a datos numéricos que proporcionan la precipitación.

Para mejorar la precisión y eliminar artefactos, se aplicaron operaciones de erosión y dilatación sobre la imagen binaria, lo que permitió mejorar la definición de las áreas con precipitación significativa, como se puede ver en la Figura 4. Esta imagen final resultante está lista para la extracción de datos numéricos de precipitación en mm/h, los cuales serán utilizados en futuros trabajos para compararse con los datos de las estaciones meteorológicas automáticas.



Figura 4. Imagen obtenida al aplicar la máscara que se obtuvo con el proceso de erosión y dilatación morfológicas.

4. Discusión

Los resultados obtenidos a través del procesamiento digital de las imágenes de radar han permitido identificar con mayor precisión las áreas de precipitación en la región de Guanajuato. Al recortar la imagen original a una porción de 401 x 501 píxeles, se redujo el tamaño de los datos sin perder información relevante para el análisis de la precipitación. Este recorte optimizó tanto el tiempo de procesamiento como el espacio de almacenamiento, aspectos fundamentales cuando se manejan grandes volúmenes de datos meteorológicos.

El uso de técnicas de filtrado de color y la conversión a una imagen binaria facilitaron la identificación de las áreas con precipitación significativa. La aplicación de la máscara binaria demostró ser eficaz para eliminar el ruido de la imagen, lo que permitió enfocarse en las áreas relevantes de precipitación. Esto mejora la precisión de los resultados y permitirá realizar la comparación con los datos de las estaciones meteorológicas automáticas, el trabajo de comparación aún está en proceso. El objetivo de realizar la comparación con las EMAs es identificar las discrepancias entre lo estimado usando las imágenes de radar y lo medido por las EMAs para la precipitación que ocurre en superficie.

La resolución espacial obtenida (alrededor de 615 metros en longitud y 578 metros en latitud por píxel) garantiza que cada estimación de precipitación cubra un área relativamente pequeña, lo que es adecuado para el estudio de fenómenos meteorológicos localizados. Este nivel de detalle es crucial para la evaluación de lluvias a nivel regional, ya que permite identificar variaciones en la precipitación que pueden no ser detectadas por las estaciones meteorológicas terrestres, especialmente en zonas rurales o montañosas donde la cobertura es limitada.

En general, el procesamiento digital realizado sobre las imágenes de radar no solo ha permitido visualizar la precipitación de forma clara y precisa, sino que también ha abierto nuevas posibilidades para futuros estudios comparativos y de validación con otros sistemas de medición. La capacidad de ajustar los parámetros de recorte y filtrado según la región de interés garantiza que esta metodología pueda adaptarse a otros estudios meteorológicos en diferentes zonas geográficas.

Es importante considerar que los colores representados en las imágenes de radar, que corresponden a los niveles de reflectividad, no indican un valor único de precipitación, sino un rango. Por ejemplo, un tono de verde

claro, que puede estar asociado a un nivel de precipitación entre 0.65 y 1.33 mm/h, no tiene un valor fijo en el modelo de color RGB. En lugar de eso, cada color se caracteriza por un rango de valores en cada canal del modelo RGB.

Este comportamiento se debe principalmente a las variaciones en la intensidad de la reflectividad captada por el radar. A medida que las ondas del radar interactúan con las precipitaciones, las diferencias en la reflectividad se traducen en variaciones en los valores de los canales RGB de cada píxel. En consecuencia, los colores de las imágenes de radar, que se emplean para representar la precipitación, deben interpretarse como indicativos de un rango de precipitaciones, y no de un valor puntual o específico.

Por lo tanto, para cada rango de precipitación es necesario definir un rango de valores en cada uno de los canales del modelo de color RGB. Este enfoque permite capturar de manera más precisa las variaciones en la intensidad de la lluvia y facilita una interpretación más robusta de los datos generados por el radar meteorológico.

5. Conclusiones

Se realizó el procesamiento digital de imágenes de radar obtenidas para el estado de

Guanajuato usando imágenes proporcionadas por la CEPC. Este procesamiento nos permitió estimar la distribución espacial de la precipitación en la región. Se optimizó el área de análisis recortando la imagen original logrando reducir significativamente el tiempo de procesamiento sin comprometer la calidad de la información meteorológica.

La aplicación de técnicas de filtrado y binarización mejoró la detección de las áreas con precipitación significativa, eliminando el ruido y enfocando el análisis en las áreas de interés. Las imágenes se convirtieron de valores RGB a valores de lluvia en mm/h de acuerdo con la asociación del color con el nivel de reflectancia medida por los radares. Finalmente, se georreferenciaron las imágenes, lo que permite su análisis con sistemas de información geográfica como ArcGIS o QGIS, con suficiente detalle para el estudio de fenómenos meteorológicos localizados.

El trabajo a futuro es realizar la comparación con datos de estaciones meteorológicas automáticas, los resultados preliminares indican que las imágenes de radar ofrecen un complemento valioso para mejorar el monitoreo de lluvias en la región, especialmente en zonas con cobertura limitada de estaciones terrestres. Este estudio

demuestra el potencial del procesamiento digital de imágenes de radar para realizar análisis meteorológicos más precisos y detallados, abriendo la puerta a futuras investigaciones que profundicen en la comparación con otros métodos de medición.

Agradecimientos

Agradecemos al personal de la Coordinación Estatal de Protección Civil por proporcionar la información generada por los radares meteorológicos de Guanajuato.

Referencias bibliográficas

Coordinación Estatal de Protección Civil de la Secretaría de Seguridad Pública del estado de Guanajuato (2024), *Imágenes de radar*. <https://seguridad.guanajuato.gob.mx/proteccion-civil/estado-del-tiempo-guanajuato/>.

González, R.C., y Woods, R.E. (2008). *Digital Image Processing, 3rd ed.* Pearson.

Servicio Meteorológico Nacional (2024), *El Radar Meteorológico*. <https://smn.conagua.gob.mx/es/observando-el-tiempo/radares-meteorologicos-separador/el-radar-meteorologico>.

Vincenty, T. (1975). Direct and inverse solutions of geodesics on the ellipsoid with application of nested equations. *Survey Review*, 23(176),88–93.

Zuur, A. F., Ieno, E. N., y Meesters, E. H. W. G. (2009). *A beginner's guide to R*. Springer.