

**XXV CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
SAN JOSÉ, COSTA RICA, 9 AL 12 DE SETIEMBRE DE 2012**

**DETECCIÓN DEL FENÓMENO DE LA INVERSIÓN TÉRMICA POR
MEDIO DE LA UTILIZACIÓN DE TÉCNICAS DE TRATAMIENTO
DIGITAL DE IMÁGENES BASADAS EN SISTEMAS DE VIDEO**

*Carlos A. Henao^{1, 2}, César Cartagena¹, Sebastián Múnera¹, Andrés Ochoa², José F. Jiménez²,
Andrés F. Osorio¹*

1 Grupo de Investigación en Oceanografía e Ingeniería Costera (OCEANICOS).

2 Centro de Investigaciones del Clima de Colombia.

Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

{cahenaov, cacartag, sfmunera, aochoaj, jffjimene, afosorioar}@unal.edu.co

RESUMEN:

Dentro de los estudios de las zonas costeras se han desarrollado técnicas basadas en sistemas de video, en las cuales el grupo de investigación en Oceanografía e Ingeniería Costera (OCEANICOS) de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, ha venido trabajando durante varios años y ha construido el sistema HORUS. En conjunto con el Centro de Investigaciones del Clima de Colombia, se diseñó la estación de monitoreo Pajarito, ubicada en la ladera occidental del Valle de Aburrá, Medellín, Colombia, con el propósito de utilizar estas técnicas de video en aplicaciones para meteorología. Este trabajo muestra los resultados obtenidos al estudiar el proceso de estabilidad atmosférica en relación con la inversión térmica en el Valle de Aburrá por medio del sistema de monitoreo ambiental basado en cámaras de video. Se encontró mediante este sistema, que en horas de la mañana entre las 06:00 y las 09:30 (UTC-5) hay una transición de estabilidad atmosférica a algunos casos de inversión térmica, fenómeno visible en las imágenes capturadas.

ABSTRACT:

Among nearshore zones studies, techniques based on video systems have been developed, on which the research group in Oceanography and Coastal Engineering (OCEANICOS) from the Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín has been working in the last few years and has developed the HORUS system. Together with the Research Center on Colombian Weather, the monitoring station Pajarito which is located in the western hill slope of Valle de Aburrá, Medellín, Colombia, was designed in order to use the before mentioned techniques for meteorology applications. This work shows the results obtained after studying the atmospheric stability process in relation with thermal inversion in Valle de Aburrá by means of the environmental monitoring system based on video cameras. With this system, it was found that in the morning between 06:00 and 09:30 (UTC-5), there is a transition from atmospheric stability to some cases of thermal inversion. This phenomenon is visible in the captured images.

PALABRAS CLAVE: Inversión Térmica, procesamiento digital de imágenes, Meteorología de valles.

INTRODUCCIÓN

El monitoreo ambiental se ha convertido en una herramienta fundamental para entender las condiciones climáticas de algunas zonas, y más cuando las intervenciones antrópicas han generado fuertes cambios en los comportamientos naturales del medio, es por esto que el registro constante de los ciclos naturales y de los cambios que presentan en el tiempo se convierte en una vía directa al entendimiento de los fenómenos y procesos ambientales.

La inversión térmica es un fenómeno natural en el que se produce una inversión en el gradiente de temperatura bajo ciertas condiciones específicas como cielo despejado, ausencia de precipitaciones y vientos nocturnos débiles. La razón fundamental del estudio de la inversión térmica, radica en la estabilidad atmosférica que se genera, la cual produce cambios en las condiciones atmosféricas locales y retención de contaminantes en la baja atmósfera, asociado a morbilidad y mortalidad infantil, enfermedades cardíacas, pulmonares y cerebrovasculares. Son pocos los estudios realizados para la detección del fenómeno de inversión térmica en latitudes bajas. La mayoría de los estudios se han desarrollado para latitudes medias y altas, donde el fenómeno es altamente influenciado por las estaciones climáticas. En los últimos años, se han desarrollado estudios que dan cuenta de un avance en el entendimiento del fenómeno en el Valle de Aburrá por medio de herramientas teóricas, modelación puntual del proceso de rompimiento de la capa de inversión (Ríos, 2001) y modelación distribuida del rompimiento de la inversión térmica, apoyada en sistemas de captura de datos de temperatura, humedad y presión, en la atmósfera baja del valle (Rendón, 2007).

Este trabajo pretende utilizar técnicas de video para entender el fenómeno en una escala espacial de datos locales (de los metros a los kilómetros), asociada a una escala temporal desde los segundos hasta los años. Esto es básico entenderlo ya que existen sistemas basados en imágenes que trabajan con otro tipo de escalas como las microscópicas y las satelitales.

MATERIALES Y METODOLOGÍA

Sistema de video:

Los sistemas de monitoreo remoto utilizan tecnología de punta en el análisis topológico de imágenes y videos, operados con software especializados que capturan y procesan la información obtenida de las cámaras en tiempo real. Entre estos softwares especializados se encuentran el “powerful VM95”, utilizado ampliamente por la empresa Erdman Video Systems, en diferentes sitios de Miami, en USA (Portal web: <http://www.video-monitoring.com>), el sistema “KOSTA System :: Coastal Video Monitoring”, desarrollado en los últimos años entre AZTI-Tecnalia y CaSAGeC (Anglet, Université de Pau et Pays de l’Adour, Francia) utilizado para el seguimiento de la morfodinámica de playas, densidad de usuarios en playas, seguimiento del oleaje, impacto del oleaje sobre estructuras, entre otras (Portal web: <http://www.kostasystem.com>), y el sistema “HORUS” (Osorio et al, 2007) desarrollado en España entre el Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas (GIOC) de la Universidad de Cantabria y el grupo de Oceanografía e Ingeniería Costera (OCEANICOS) de la Universidad Nacional de Colombia, usado para medir líneas de costa, oleaje, sistemas de corrientes en el mar, vertido en el mar, número de barcos en los puertos, entre otros, (Portal Web: <http://www.horusvideo.com>). Este último sistema fue el utilizado para el desarrollo de este artículo.

Un sistema de captura HORUS típico está conformado por una batería de cámaras de vídeo digitales; un computador que maneja la captura mediante una interfaz gráfica, que almacena la información y la transmite (vía Internet) a otro computador remoto donde se almacenan las

imágenes y se procesan, generalmente. El esquema que se ilustra en la Figura 1 es una vista detallada del sistema de captura utilizado en la estación de monitoreo Pajarito (Ortiz, 2008).

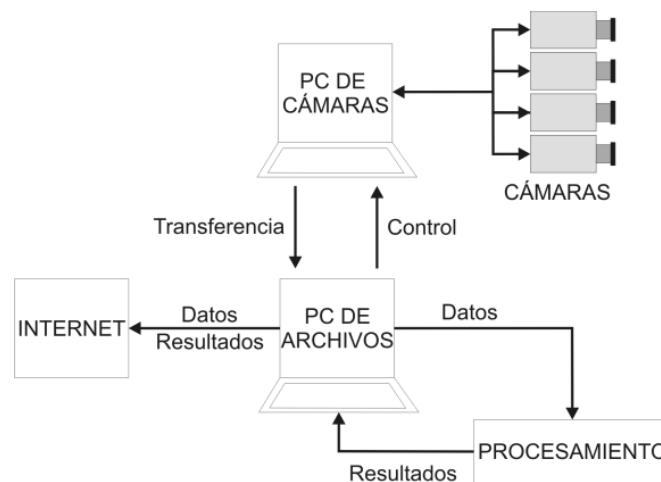


Figura 1.- Esquema general de estaciones de monitoreo a través de cámaras de video en HORUS (Ortiz, 2008; Pérez, 2009)

Este tipo de sistemas de monitoreo ha sido ampliamente utilizado en diversas zonas costeras, un ejemplo de ello es el sistema ARGUS, (Holman y Stanley, 2007), el proyecto INDIA (Morris et al., 2001), y el proyecto HORS (Takewaka et al., 2002). La amplia utilización de los sistemas de vídeo han sido rigurosamente descritos y revisados en la literatura científica, por ejemplo: (Aarninkhof et al. 2000, 2005); (Chickadel et al. 2003); (Stockdon y Holman 2000); (Plant y Holman 1997).

Para el procesamiento de las imágenes y la extracción de la información en este trabajo, se utilizaron técnicas de procesamiento digital de imágenes tales como binarización, umbralización, transformada de Laplace y detección de bordes. Esta última se puede definir como la transición entre dos regiones de niveles de gris significativamente distintos. Todas estas técnicas se aplicaron con el objetivo de cuantificar el valor de la altura para la parte superior de la capa límite de estabilidad atmosférica y la hora en la cual esta capa empieza a romperse.

Ubicación de las cámaras:

La estación de monitoreo HORUS Pajarito, está dotada con tres cámaras tipo web-cams, ubicadas con ángulos específicos dentro de una misma caja protectora y en una posición fija. (Ver Figura 2).



Figura 2.- Equipos estación de monitoreo HORUS Pajarito, Robledo, (Medellín, Colombia).

La estación de monitoreo PAJARITO está situada en el Valle de Aburrá, en el sector de Robledo perteneciente a la comuna número 8, en la ladera occidental del Valle, específicamente, en el barrio Pajarito, a una altura aproximada de 500 metros sobre el nivel del río Porce, más conocido como el Río Medellín en el sector de la ciudad (Ver Figura 3).

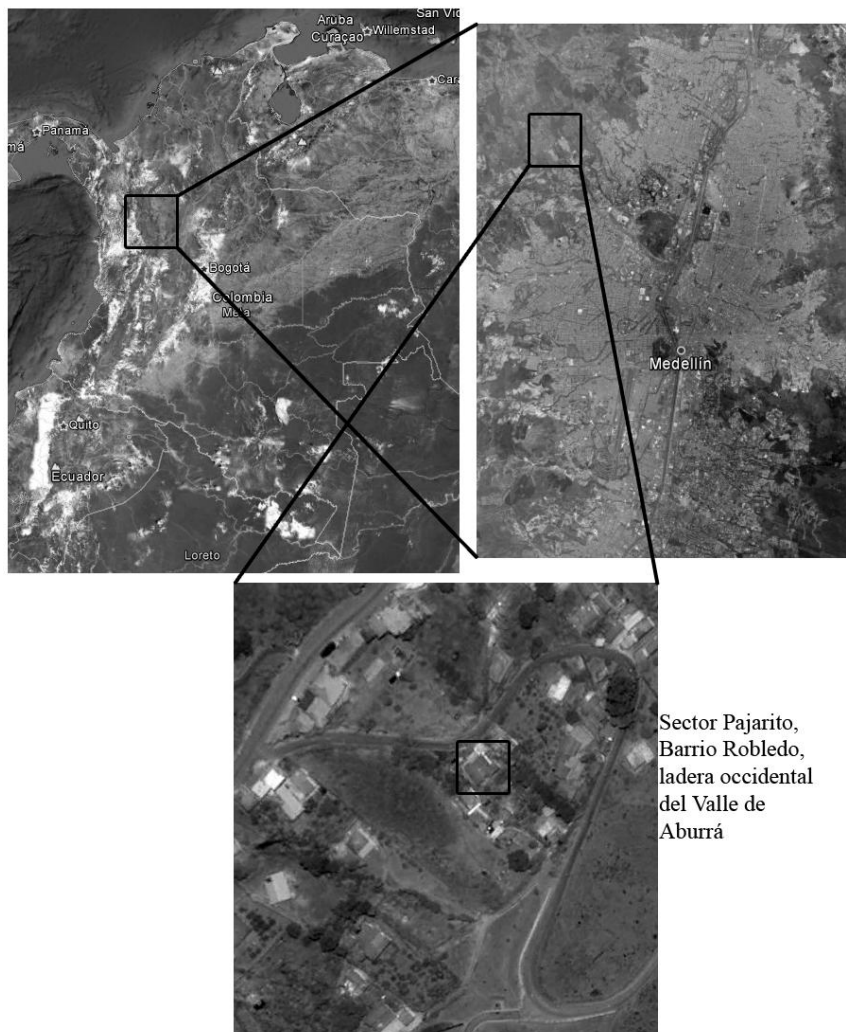


Figura 3.- Ubicación de la estación de monitoreo HORUS Pajarito.

Captura de datos

Los sistemas de video basados en imágenes ofrecen diferentes tipos de captura de información, en el caso específico de obtención de datos para el monitoreo de variables de tipo atmosférico es común utilizar los siguientes modos de captura:

- Fotos instantáneas (Snap): las cuales corresponden a imágenes capturadas en un instante de tiempo a una región que cubre uno o varios sensores (refiriéndose como sensores a las cámaras como tal)
- Larga exposición: las cuales corresponden a grupos de imágenes sobre las cuales se ejecutan operadores matemáticos y estadísticos, como el caso de un promedio (timex), varianza (variance), mediana, entre otros (Holman y Stanley, 2007).

Las imágenes capturadas en la estación de monitoreo HORUS Pajarito corresponden a las del primer grupo, a las cuales se les aplica un tratamiento digital con el fin de generar una imagen panorámica a partir de la fusión de las imágenes individuales de cada cámara (ver Figura 4).



Figura 4.- Imagen panorámica construida a partir de Imágenes Snap, en la estación Pajarito, Medellín Colombia.

Selección y filtrado de imágenes:

La captura de imágenes para el estudio de variables ambientales implica la definición de parámetros y propiedades que se deben cumplir con el fin de obtener las mediciones (cualitativas o cuantitativas) de una manera correcta y confiable. Es así como la “luminosidad” de la imagen juega un papel importante en la identificación de objetos o bordes, por lo cual este parámetro se utiliza para aceptar o rechazar las imágenes. Conceptos comunes en procesamiento de imágenes como el histograma, la ubicación de su centro de masa, entre otros, pueden usarse para determinar si una imagen tiene poca luminosidad o si al contrario está altamente saturada, (para profundizar en conceptos de procesamiento digital de imágenes, ver (De la Escalera, 2001)).

En la Figura 5 se presentan ejemplos de imágenes y sus correspondientes histogramas que representan las condiciones de las imágenes diariamente capturadas en la estación de monitoreo.

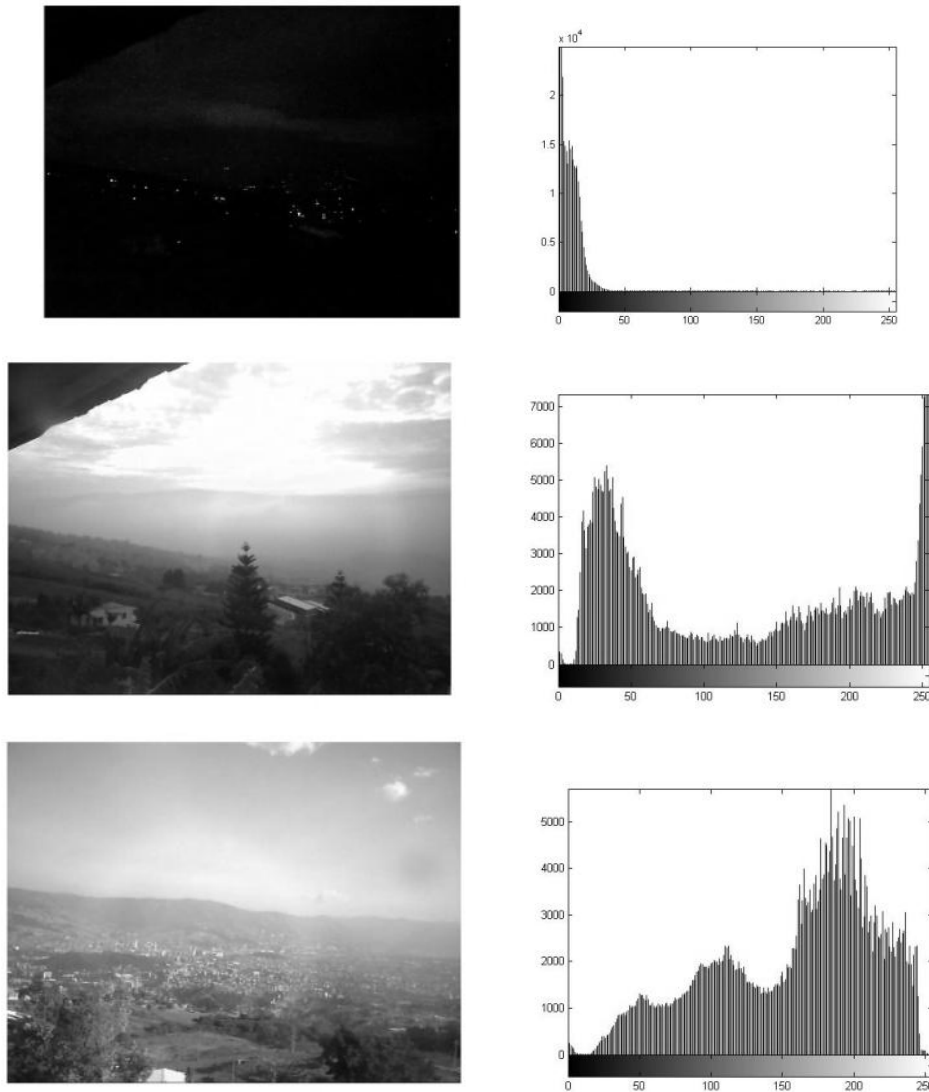


Figura 5.- Histogramas de escala de grises de una imagen (Arriba) Oscura, (Centro) saturada, (Abajo) Bien iluminada

En la Figura 5, la primer imagen representa una fotografía oscura, con el centro de masa del histograma llevado a la izquierda indicando gran cantidad de píxeles oscuros, la segunda muestra una imagen saturada, con el centro de masa del histograma llevado a la derecha indicando gran cantidad de píxeles blancos y la tercera es una imagen con iluminación adecuada que muestra un histograma distribuido.

Selección de la región de interés

En el análisis realizado a las imágenes se busca medir la hora en la cual se rompe la estabilidad atmosférica. Nuestro interés se centrará en construir una serie de datos de hora de inicio de rotura de la estabilidad atmosférica, para los días en que se presenta el fenómeno, basados en intensidades de píxeles arrojados en la imagen debido a la luminosidad, y por lo cual se implementó un algoritmo que genera una máscara sobre la imagen, por medio de un polígono, el cual convierte el interior de la región en la imagen de interés y lo que esté en el exterior quedará negro, posteriormente se aplica una conversión de píxeles a escala de grises y de esta forma el análisis se concentrará en la región de interés de la imagen (Ver Figura 6).

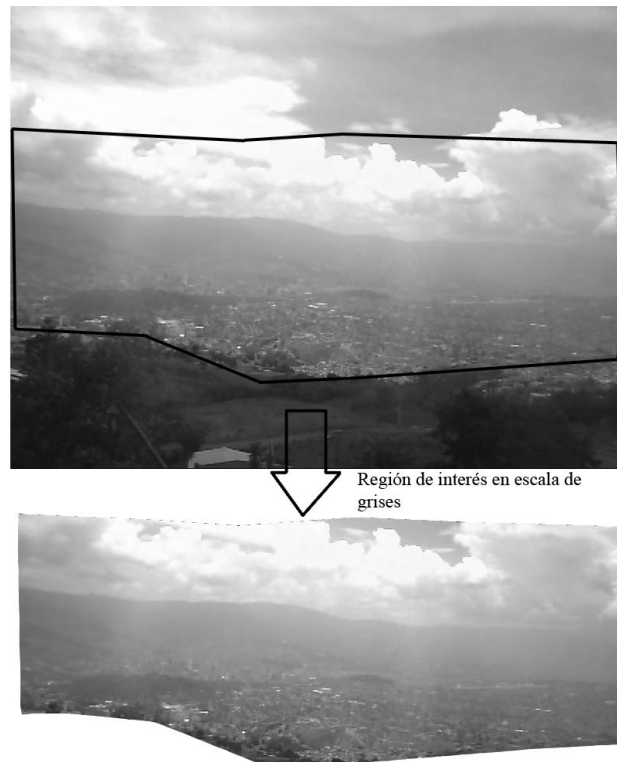


Figura 6.- Región de Interés, aplicación del algoritmo de máscara y obtención de escala de grises.

Procesamiento

Las funciones de procesamiento hacen referencia a los algoritmos que se realizan antes de poder realizar alguna medición en las imágenes, entre estas tareas se cuenta la clasificación de las imágenes, el filtrado de regiones de interés.

Las cámaras tipo web-cam utilizadas para la obtención de la información proveen imágenes con una resolución de 800x600 píxeles, y vienen ya calibradas desde la fabricación, debido a que los lentes que utilizan, son incorporados y no vienen como accesorios. Por esta razón, el procesamiento se concentra en el tratamiento digital de las imágenes obtenidas, excluyendo la calibración de foco o resolución de las cámaras, que es necesaria cuando las imágenes son tomadas de manera oblicua, con lentes más potentes (Pérez, 2009).

El proceso de extracción de información de las imágenes se llevó a cabo siguiendo este algoritmo: 1) Se definió un rango de tiempo (entre las 06:00 y las 09:30 (UTC-5)) arbitrario durante el cual se sabe que ocurre el fenómeno de la inversión térmica, 2) a cada imagen se le aplicó una transformación para mejorar el contraste de luz de la imagen, 3) luego se convirtió cada imagen a escala de grises, 4) y a éstas se les aplicó la detección de bordes para calcular la altura a la cual se presenta la inversión térmica (capa límite) y se extrajo el histograma de intensidades de píxeles para calcular la hora aproximada cuando ocurre la rotura.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 7 se muestra un ejemplo de imagen capturada y procesada mediante el algoritmo antes descrito. En el histograma se evidencia un aumento de la intensidad de la luz ocasionada por un incremento en la intensidad solar que a medida que va ingresando en la atmósfera va calentando las nubes y ocasiona el proceso de rotura. Las nubes comienzan su ascenso hacia la parte alta de la atmósfera haciendo que el histograma muestre un pico en la intensidad

máxima de blancos (valor en el histograma de 255), es en este momento donde se define la hora de inicio del proceso de rotura.

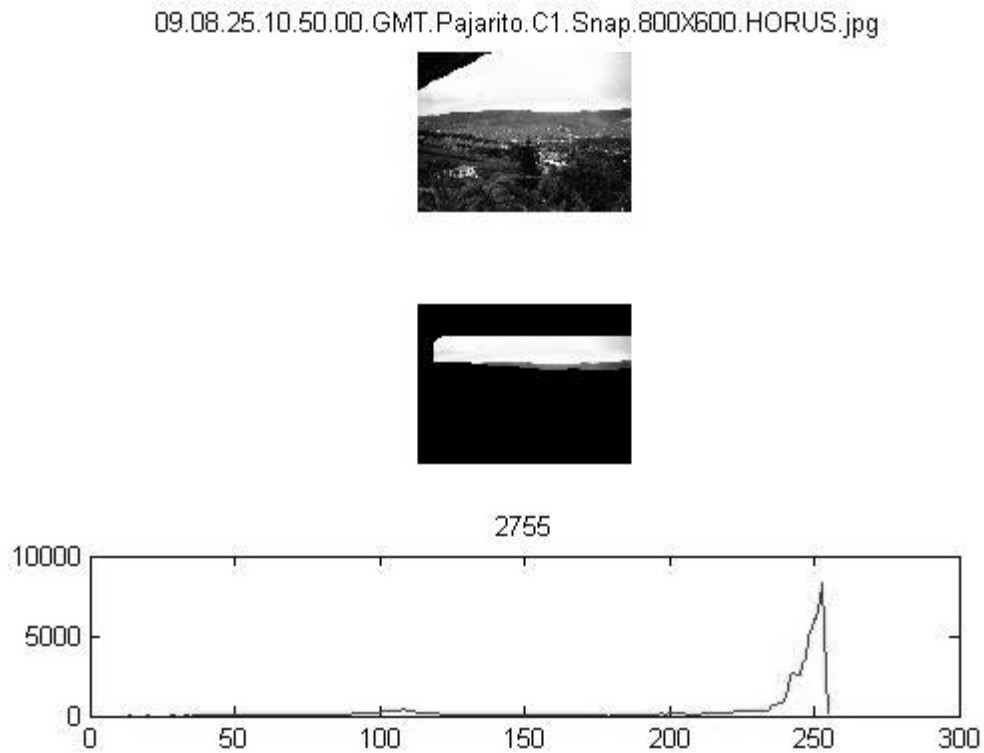


Figura 7.- Ejemplo de imagen capturada (arriba), procesada (medio) y el histograma de la imagen en escala de grises (abajo)

En la figura 8 se muestran los instantes hallados a partir del procedimiento donde se muestra para cada día y cada grupo de fotos analizadas, la hora donde comienza el proceso de rotura.

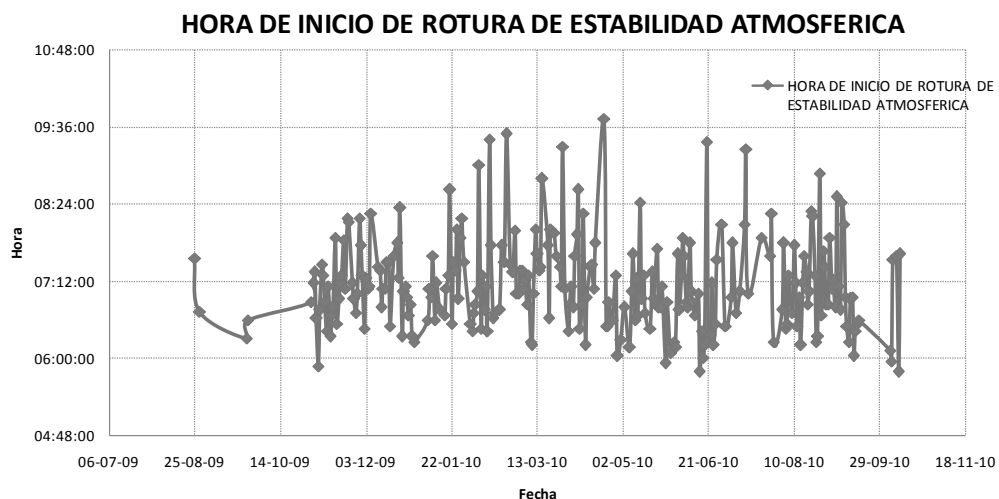


Figura 8.- Serie de tiempo de horas de inicio del proceso de rompimiento de la estabilidad atmosférica

La serie de datos representada en la Figura 8, corresponde a la información obtenida en la estación HORUS Pajarito desde el primero de Agosto de 2009 hasta el 11 de octubre de 2010. Los

puntos marcados corresponden a las horas detectadas por el algoritmo para la hora de inicio del proceso de rotura de la estabilidad atmosférica.

En ocasiones se hace difícil determinar la hora de inicio del proceso, debido a la gran cantidad de nubes identificadas en los píxeles que contienen el mismo valor de intensidad. Por esto, se debe tener especial cuidado en la escogencia del umbral o límite de intensidad y la región de interés. A medida que la región de interés es más grande, el número de píxeles aumenta y el error puede ser más representativo.

A esto se suman las condiciones meteorológicas del Valle de Aburrá de todos los días, y el tiempo atmosférico del sitio en que está ubicada la estación de monitoreo, pues debido a su altura, en muchas ocasiones la neblina impide la visibilidad de las cámaras, aumentando el error en la toma de datos. Esto es importante, ya que al convertir la región de interés a escala de grises, las nubes aumentarán significativamente la intensidad de la luz captada por las cámaras y afectan la medida de intensidad de píxel, como se muestra en la Figura 9 (Henaó et al 2011).



Figura 9.- Fotografía con poca visibilidad tomada en la estación de monitoreo HORUS pajarito (Henaó et al 2011).

Aun así, estas imágenes pueden ser muy valiosas para el estudio de otro tipo de variables que impliquen el comportamiento de la humedad u otro tipo de variables. Cuando las mañanas son poco nubosas, se pueden obtener datos confiables, en cuanto al estudio de la hora de rotura del proceso de estabilidad atmosférica.

CONCLUSIONES

Según los datos obtenidos, para el Valle de Aburrá, el fenómeno de la estabilidad atmosférica que se asocia a la inversión térmica tiene un intervalo de ocurrencia entre las 06:00 y las 09:30 horas (UTC-5). Esto puede servir para los entes reguladores ambientales en el control de liberación de gases de las empresas en las horas de la mañana.

Las debilidades del sistema de monitoreo son evidentes cuando hay nubosidad en la zona de ubicación de las cámaras.

El histograma de intensidad de píxeles se convirtió en un gran elemento para definir la hora de rotura de la estabilidad atmosférica.

Los datos obtenidos durante el tiempo de medición muestran una tendencia a un comportamiento sinusoidal a través de las diferentes épocas del año para el Valle de Aburrá. Esto puede deberse a que la visibilidad juega un papel importante en la selección de la hora exacta de la ruptura de la estabilidad atmosférica.

La orografía del Valle juega un papel importante en el comportamiento de la atmósfera de la región, por lo que en algunas ocasiones la nubosidad genera una visión nula del valle, y el criterio de intensidad de píxel comienza a generar un error, es por esto que la técnica es confiable bajo ciertas condiciones de visibilidad para las cámaras.

Los análisis de estos resultados sirven como base para el estudio de la hora de rotura de la estabilidad atmosférica en el Valle de Aburrá, hora de inicio de procesos de evapotranspiración y posibles lluvias localizadas.

Los sistemas de monitoreo con video, se convierten en una alternativa económica y viable para la recolección de datos atmosféricos, ya que la continuidad de los datos es mucho más controlada que con otras técnicas de medición, aunque se limita a lugares con acceso a la electricidad y con buena visibilidad para lo que se quiere medir.

La generación de este tipo de información abre un gran campo de investigación para la obtención de variables atmosféricas por medio del tratamiento digital de imágenes, y su correlación con variables como la temperatura, la humedad, la lluvia, entre otros. Es por esto que el sistema debe complementarse con las mediciones tradicionales de dichas variables.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aarninkhof, S.G.J., Caljouw, M. y Stive, M.J.F. (2000). "Video-Based, quantitative assessment of intertidal beach variability", *In: Proc. 27th International Conference of Coastal Engineering*, Vol. IV, pp. 3291-3304.

Chickadel, C.C., Holman, R.A. y Freilich, M.F. (2003). "An optical technique for the measurement of longshore currents", *Journal of Geophysical Research*, 108 (C11), 3364 P.

De la Escalera, A. (2001) "Visión por Computador. Fundamentos y métodos". *Pearson Education, S.A., Madrid*, 274 p.

Henao, C.A., Ochoa, A., Jiménez, J.F., Osorio, A.F., Cartagena, C., y Poveda, G. (2011). "Detección de la salida del sol en el Valle de Aburrá por medio de la utilización de técnicas basadas en imágenes de video". IX Congreso Colombiano de Meteorología y Conferencia Internacional "200 años de la meteorología y de la climatología en América Latina".

Holman, R.A. y Stanley, J. (2007), "The history, capabilities and future of Argus". *Coastal Engineering Special Issue of the CoastView project*. Vol 54 (6-7), p. 477-491.

Morris, B.D., Davidson, M.A. y Huntley, D.A. (2001). "Measurements of the response of a coastal inlet using video monitoring techniques", *Marine Geology*, 175, pp. 251 - 272.

Ortiz, C. A. (2008). "Metodología para la construcción de indicadores morfodinámicos a través del uso de cámaras de vídeo. Caso de aplicación: playa de la Magdalena (Cantabria, España)", *Tesis de Maestría. Universidad Nacional*.

Osorio, A., Pérez, J., Ortiz, C., y Medina, R. (2007). "Técnicas basadas en imágenes de video para cuantificar variables ambientales en zonas costeras". *Avances en Recursos Hidráulicos*, No 16, pp 51-64. ISSN 0121-5701.

Pérez, J. C. (2009). "Optimización no lineal y calibración de cámaras fotográficas", *Tesis de Maestría. Universidad Nacional*.

Plant, N.G. y Holman, R.A. (1997). "Intertidal beach profile estimation using video images". *Marine Geology* 140 (1-2), pp. 1-24.

Rendón, A. (2007). "Rompimiento de la inversión térmica en el Valle de Aburrá". *Tesis de Maestría en Ingeniería -Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín*.

Ríos, C. (2001). “Procesos de inversión térmica en el valle de aburrá”. *Trabajo dirigido de grado. Universidad Nacional de Colombia.*

Stockdon, H.F. y Holman, R.A. (2000). “Estimation of wave phase speed and nearshore bathymetry from video imagery”, *Journal of Geophysical Research*, 105 (C9), pp. 22, 015- 2,033.

Takewaka, S., Misaki, S. y Nakamura, T. (2003), “Dye diffusion experiment in a longshore current field”, *Coastal Engineering Journal*, Vol. 45, No. 3, pp. 471-487