

Estudio Básico del Comportamiento Ambiental en la Caldera del Volcán Inactivo Pululahua Utilizando un Sistema de Adquisición y Procesamiento de Datos Basado en UAV

Llugsí, Ricardo¹; Lupera, Pablo¹; Chango, Ramón²; Ledesma, Fernando¹; Suárez, Alexander¹

¹Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecatrónica, Quito, Ecuador

²Consultor Independiente en Meteorología

Resumen: En este trabajo se presenta un análisis básico del comportamiento ambiental en la caldera volcánica habitada del volcán Pululahua. El análisis ha sido desarrollado mediante el uso de un sistema de adquisición y procesamiento de datos en tiempo real basado en un UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*, Vehículo Aéreo No Tripulado) para vuelos a baja altura. El sistema es un prototipo de dos etapas desarrollado en base a software y hardware libre. La primera etapa (aire) del sistema es instalada en el Dron y permite la adquisición de información ambiental (temperatura, humedad y presión) con su respectiva georreferenciación, esta información es transmitida utilizando un enlace inalámbrico de 2,4 GHz y es procesada en la segunda etapa (tierra), para obtener isomapas de las variables mencionadas anteriormente, para altitudes de hasta 120 m desde la posición de despegue. La información obtenida en la caldera muestra, como es de esperarse, que tanto la temperatura como la presión, disminuyen con el incremento de la altura, contrariamente a la humedad que se eleva a la par que la altitud. A partir de los datos recopilados se puede ver que la temperatura y la humedad varían ampliamente durante los primeros 20 m (por encima del lugar de despegue) pero después de los 50 m se vuelven estables. Algo bastante llamativo también es la variación de la presión (aproximadamente de 6 a 10 hPa) en una misma altura pero en diferentes posiciones.

Palabras clave: UAV, dron, datos georreferenciados, isomapas, volcán Pululahua.

A Basic Study of the Environmental Behavior at the Caldera of the Inactive Pululahua Volcano Using a UAV-Based Data Acquisition and Processing System

Abstract: In this paper, an analysis of the environmental behavior at the inhabited volcanic cauldron of the Pululahua Volcano is presented. The analytics has been developed through a real-time data acquisition and processing system mounted on a UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) for low-altitude flights. The system is a two-stage prototype developed using open software & hardware. The first stage of the system (air) is installed on the Drone and allows the acquisition of the environmental information (temperature, humidity and pressure) and its georeferenced data. The information is transmitted using a 2.4 GHz wireless link and processed at the ground system (second stage) to obtain isomaps for the environmental variables for altitudes up to 120 m from the takeoff location. The information acquired from the Pululahua's caldera shows that the temperature and pressure decreases while the altitude increase, meanwhile the humidity increases accordingly to the altitude, as it was expected. From the data collected it can be seen that the temperature and humidity vary widely during the first 20 m (above the takeoff location) but they become stable after 50 m. Something quite surprising is the variation of the pressure (approximately 6 to 10 hPa) at the same altitude but in different positions.

Keywords: UAV, drone, georeferenced data, isomaps, Pululahua volcano.

1. INTRODUCCIÓN

Ecuador es un país con un área aproximada de 250,000 km² ubicado en la Zona de Convergencia Intertropical que abarca tres regiones geográficas: Costa, Sierra y Amazonía (Carrion, D., et al., 2003). Teniendo en cuenta que el uso de información ambiental es fundamental para llevar a cabo un adecuado pronóstico y modelamiento de la dinámica atmosférica, la adquisición de datos ambientales en Ecuador, debido a su geografía, se vuelve compleja.

Una estrategia adecuada para adquirir información alrededor del país, teniendo en cuenta lo difícil que puede ser gracias a su topografía, es la división por zonas de estudio. El INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología), es la institución Ecuatoriana que está a cargo de la instalación y administración de estaciones meteorológicas alrededor del país. A la fecha el INAMHI recolecta la información de cerca de 300 CWS (*Conventional Weather Stations*, Estaciones Meteorológicas Convencionales) y 30 AWS (*Automatic Weather Stations*, Estaciones meteorológicas Automáticas),

con lo que se cubre aproximadamente un 90% de toda el área del país. Uno de los principales problemas relacionados a la adquisición de datos en las CWS es la frecuencia de adquisición de datos que ocurre solamente pocas veces por día (WMO, 2012). El problema mencionado anteriormente se puede resolver con la frecuencia variable de adquisición de datos en las AWS (que varía en un rango de horas a segundos), sin embargo, esta ventaja se ve disminuida al considerar el alto costo de estos dispositivos.

Hoy en día, las AWS basadas en sensores y software/hardware libre, permite la adquisición adecuada de datos ambientales de una forma asequible y económica (Forde, M., 2016). Sin embargo, tales sistemas generalmente son desarrollados específicamente para escenarios basados en tierra. Aunque datos ambientales tales como: temperatura, humedad relativa, viento (dirección y velocidad), presión, etc. pueden medirse a grandes altitudes (con el uso de radiosondas), estos procedimientos no revelan todos los detalles sobre el comportamiento meteorológico de una cierta zona de estudio, ya que en el caso de la radiosonda el viento dirige aleatoriamente al globo que la sostiene, por lo que la zona no está analizada en detalle sino al azar.

Se puede pensar que el impacto mencionado anteriormente puede mitigarse mediante observaciones meteorológicas complementarias al procedimiento de radiosonda (Nash, J., 2015), sin embargo, con esta metodología, un dato no se determina directamente, sino que se deriva de otros cálculos matemáticos. Para obtener más información ambiental, una herramienta alternativa (que no solo se consideraría a nivel del suelo) es el uso de sistemas de adquisición de datos basados en el uso de UAVs (Suarez A., et al., 2017).

Es necesario tomar en cuenta que la información obtenida es suficiente solo para llevar a cabo un análisis inicial del comportamiento meteorológico en la caldera del volcán, esto debido básicamente a que el tipo de mediciones adquiridas en este trabajo se realiza en base a las recomendaciones emitidas por la OMM (WMO, 2012). Es evidente que se puede obtener más información de este trabajo, pero es necesario decir que para que la misma pueda ser usada a fondo y extensivamente debe realizarse una siguiente etapa de investigación ligada al uso de instrumentación adicional y de otras técnicas de modelamiento matemático para predicción a corto y mediano plazo.

En este trabajo se presenta esta metodología como un proceso básico para caracterizar la información adquirida con el fin de analizar el comportamiento del clima en la caldera del volcán Pululahua. La selección de la zona en la cual se realizó el estudio, el procesamiento de datos y la estrategia de representación gráfica para probar la hipótesis mencionada en el último párrafo se presentan en este documento. Este trabajo formó parte del proyecto de investigación denominado "Implementación de un sistema piloto que permite la geolocalización de zonas con mejores características meteorológicas a la generación artificial de nubes" (Caso de estudio - norte del Distrito Metropolitano de Quito)" generado en la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Escuela Politécnica Nacional.

El presente trabajo se presenta como un estudio básico, ya que en el mismo, no se lleva a cabo una revisión exhaustiva del área con equipo adicional como lo son, por ejemplo: sondas meteorológicas ancladas a tierra, o el lanzamiento de radiosondas atadas a globos meteorológicos, las mismas que pueden generar mayor información para la realización de procesos de correlación o autocorrelación de la información obtenida, es necesario traer a acotación que el uso de este tipo de equipo es esencialmente costoso.

2. METODOLOGÍA

2.1 Descripción del sitio y Criterios de selección

El sitio de prueba elegido para la adquisición de datos fue el Volcán Pululahua (3356 m.s.n.m) ubicado a 50 minutos en carretera de segundo orden desde la Mitad del Mundo (norte de Quito). Hoy en día, este volcán inactivo es un lugar utilizado para la agricultura y el turismo (Clifford, S., 2017), por esta razón se puede acceder fácilmente al mismo para realizar actividades de investigación. La caldera del Pululahua se formó a partir del colapso del primer volcán Pululahua hace ya 2500 años. Hoy en día, la elevación más predominante en la caldera es el cerro Sincholagua con una altura de 3356 m.

El lugar antes mencionado ha sido seleccionado debido principalmente a dos razones, en primer lugar, su topografía representa con precisión la geografía típica a lo largo de Ecuador, y en segundo lugar, gracias a su patrón geográfico, el clima en la caldera y sus alrededores cambia rápidamente en el lapso comprendido entre la mañana y la tarde de un mismo día. Lo anterior implica que los datos recopilados a través del sistema basado en UAV presentarán una amplia variación, lo que a su vez permite un análisis profundo del clima observado en la caldera.

Para el respectivo análisis el área del volcán Pululahua fue dividido en 3 zonas de estudio, cada una de ellas fue seleccionada considerando la dirección predominante del viento en la caldera, lo que permite un análisis adecuado de la información meteorológica en la misma. La ubicación de las zonas en donde se realizaron las pruebas son: 0.0291 °N, 78.4844 °O para el sitio 1 (elegido para el análisis en la posición de la caldera), 0.0195 °N, 78.4785 °O para el sitio 2 (para analizar el cambio del clima en la ladera del volcán), y 0.0402 °N, 78.5030 °O para la el lugar Sitio 3 (elegido para revisar una de las principales entradas de viento al cráter del volcán). En promedio, el área cubierta por el sistema fue de 3 ha en cada vuelo. En la Figura 1 se presenta la ubicación relativa de cada zona de estudio en el volcán Pululahua.



Figura 1. Localización de los tres lugares de prueba en la caldera del Pululahua

2.2 Adquisición de Datos

Es preciso mencionar que se hace uso de 3 variables de clima debido a que son la base para procesos de observación meteorológica (WMO, 2012), es decir se adoptan las recomendaciones emitidas por la OMM, para la adquisición de parámetros de variación ambiental, los mismos que posteriormente sirven como insumos para modelos matemáticos de predicción meteorológica a corto y mediano plazo.

Como se mencionó anteriormente los datos se adquieren a través de un sistema de adquisición en tiempo real para altitudes de hasta 120 m por encima de la ubicación del punto de despegue. El sistema adquiere la información de temperatura, humedad y presión utilizando el circuito descrito que fue montado en el Dron Phantom 3 Estándar, usado en el proyecto.

Los datos de temperatura y humedad se obtienen cada 20 segundos y luego se promedian para ser almacenados cada minuto, mientras que la información de presión se almacena cada minuto (OMM, 2012). A continuación la información es transmitida cada minuto al sistema tierra, y es almacenada en una base de datos para ser posteriormente procesada. Los resultados obtenidos del tratamiento de datos son los valores máximos y mínimos de los parámetros ambientales; y la generación de isomapas para la visualización de la meteorología en la caldera.

Algo importante que se debe decir es, que el tiempo de vuelo del dron es en promedio de 15 minutos para cada batería. Para el lugar 1, el tiempo total de vuelo fue de 30 minutos, sin embargo, para obtener una buena cantidad de mediciones y su apropiada visualización, el tiempo total de vuelo adecuado según la experimentación es de alrededor de 90 minutos.

La información meteorológica para la zona 1 se obtuvo en las

fechas 25/08/2016 y 31/08/2016. Se debe decir que los datos adquiridos el 31/08/2016 se procesaron formalmente para obtener los valores máximos y mínimos así como los isomapas del lugar de análisis, mientras que los datos adquiridos el 25/08/2016 se usaron para validar la construcción del sistema de aire presentado en un documento anterior (Suarez A., et. al., 2017).

La información ambiental del el lugar 2 se adquirió el 15/07/2017. Se debe considerar que la prueba fue realizada en la ladera del volcán lo que implica la presencia de una fuerte variación de las corrientes de viento, lo que puede afectar, en una cierta medida, a la medición y adquisición de los parámetros meteorológicos del sitio de prueba.

Finalmente los parámetros del lugar 3 se registraron en las fechas: 28/10/2017 y 10/11/2017. La información ambiental en el lugar 3 se adquirió en las fechas mencionadas anteriormente para mostrar el efecto del cambio de meteorología en la región debido a que el día 28/10/2017 estuvo lluvioso y el día 10/11/2017 estuvo totalmente despejado.

Cabe mencionar que todas las pruebas fueron iniciadas en las primeras horas de la mañana y se detuvieron alrededor del mediodía, esto con el propósito de analizar el cambio en la meteorología de la caldera durante un lapso adecuado de tiempo.

3. DESCRIPCIÓN DE DATOS

3.1 Presentación de las mediciones

Toda la información obtenida en los 3 sitios de prueba fue procesada inicialmente comparando el cambio del parámetro meteorológico versus el cambio de altitud, a continuación, a manera de ejemplo, se muestra la información obtenida para el Sitio de pruebas 2, ver Figura 2.

Una vez que se ha realizado la comparación de datos versus la altitud, la información se procesa en Matlab® y se representa con el uso de isomapas (Martinez, 2016). Se ha optado por el uso de isomapas ya que constituyen un método de representación dimensional en el que los datos pueden ser ubicados de forma clara.

El algoritmo desarrollado para construir los isomapas utiliza los datos obtenidos como si fueran puntos pertenecientes a $u^i \in \mathcal{R}^d, i = 1, \dots, m$, a través de los cuales se pueden formar N vecindarios en función de la distancia euclidiana entre los puntos.

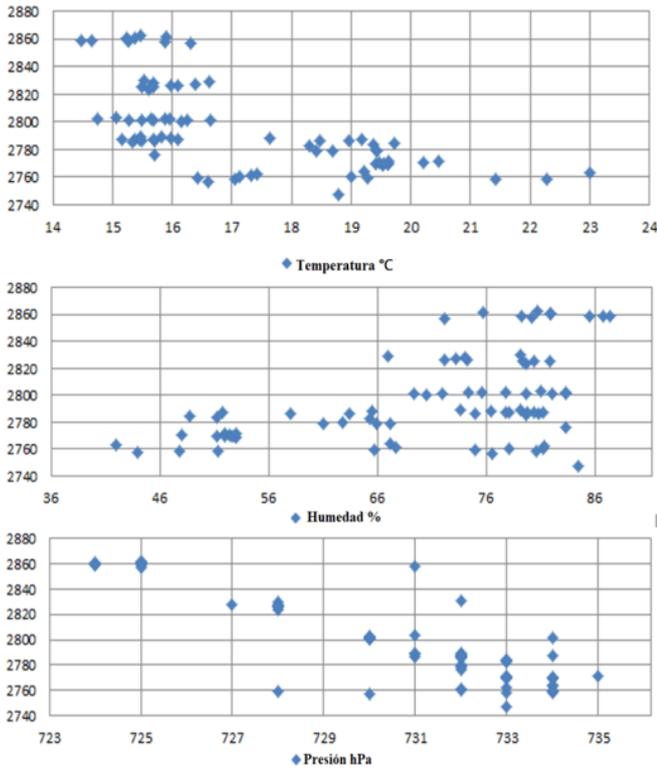


Figura 2. Datos adquiridos en el sitio de prueba 2 (15/07/2017).

Los puntos de los N vecindarios se consideran vecinos adecuados solamente si están muy cercanos entre sí, de lo contrario, son considerados no vecinos, una vez que la elección finaliza, se puede construir una matriz $D = [d(i, j)]$. Para facilitar los cálculos se asume que las distancias entre vecinos son iguales a sus distancias Euclidianas, y que las distancias entre puntos no vecinos se calculan como las distancias más cortas entre vecinos a través de las cuales se puede alcanzar a los puntos no vecinos.

Finalmente, se obtiene el vector $\hat{z}_r^{(i)} \in \mathcal{R}^r, i = 1, \dots, m$, que sirve como base para representar dimensionalmente al isomapa. Las Figuras 3 y 4 muestran los isomaps de humedad, temperatura y presión para los lugares de prueba 1 y 2

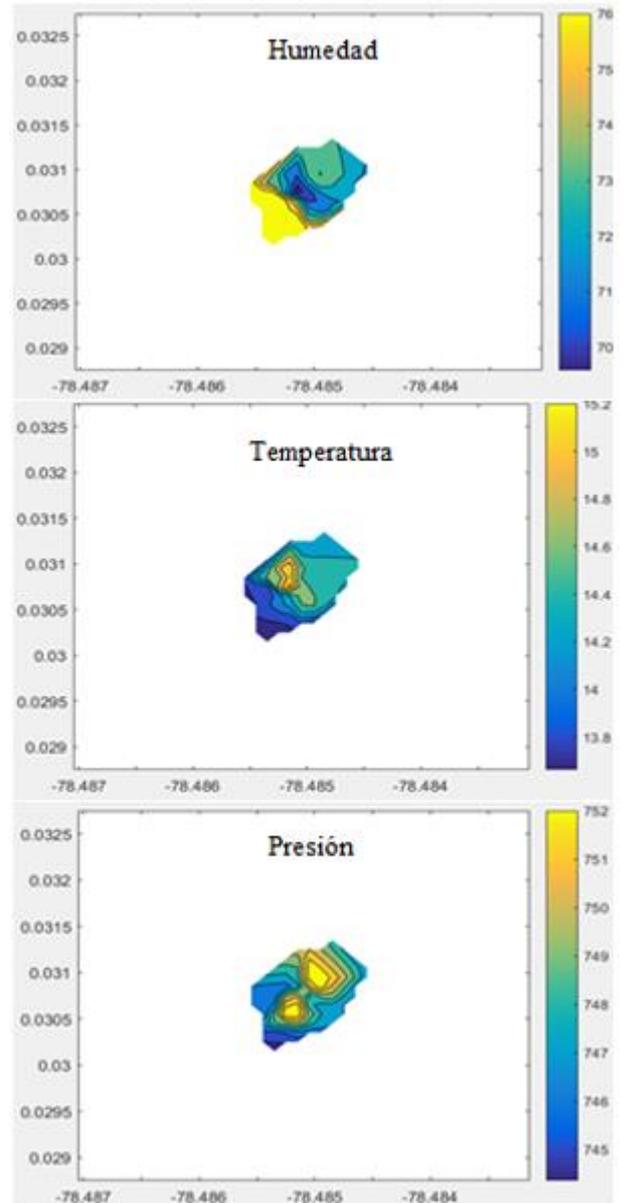


Figura 3. Isomaps del lugar 1 (31/08/2016).

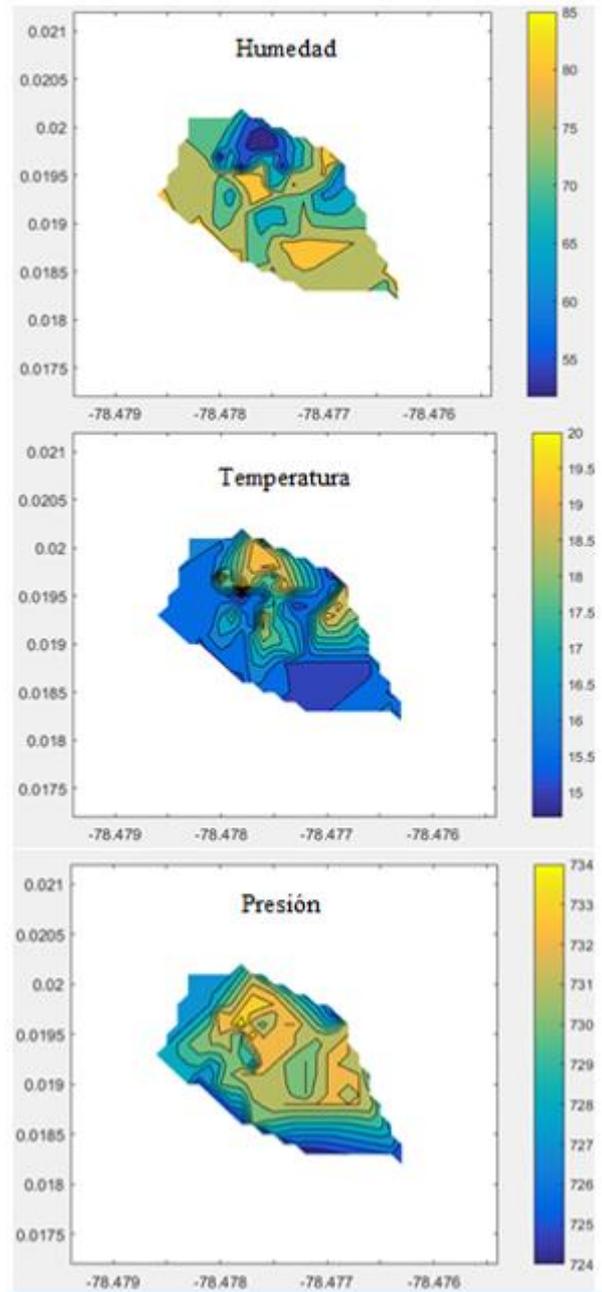


Figura 4. Isomapas del lugar 2

La Figura 5 muestra la meteorología en el lugar 3 en un día totalmente lluvioso.

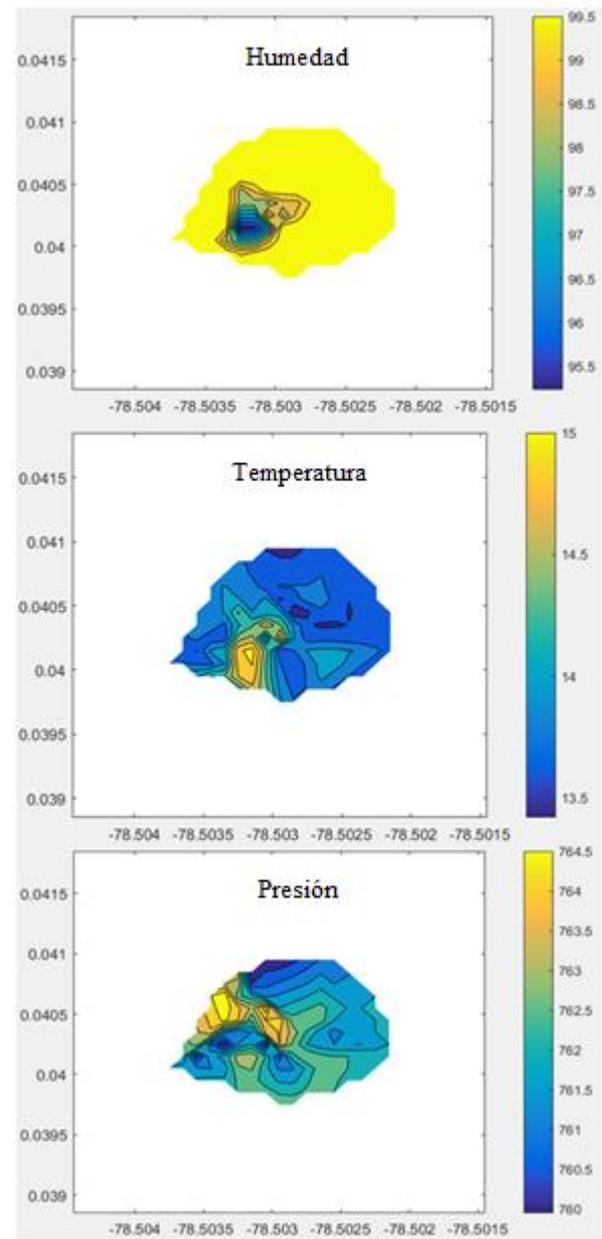


Figura 5. Isomapas del lugar 3 (28/10/2017 – día lluvioso)

Seguidamente, los valores máximos y mínimos de temperatura y humedad para los lugares de prueba adquiridos durante todos los vuelos se presentan en las siguientes tablas.

El valor de presión se omite debido a que no tiene un valor máximo y mínimo claramente definido.

Tabla 1. Parámetros meteorológicos en el Lugar 1

	Parámetro Meteorológico	Valor	Long.	Lat.	Altitud (m)
Valores	Humedad	77.2 %	-78.4851	0.0303	2592
Máximos	Temperatura	19.53 °C	-78.4852	0.0308	2550.4
Valores	Humedad	54.27%	-78.4852	0.0308	2550.4
Mínimos	Temperatura	13.63 °C	-78.4855	0.0307	2652.9

Tabla 2. Parámetros meteorológicos en el Lugar 2

	Parámetro Meteorológico	Valor	Long.	Lat.	Altitud (m)
Valores	Humedad	87.43 %	-78.4769	0.0198	2858
Máximos	Temperatura	22.28 °C	-78.4777	0.0196	2758
Valores	Humedad	47.83 %	-78.4777	0.0196	2758
Mínimos	Temperatura	14.48 °C	-78.4769	0.0198	2858

Tabla 3. Parámetros meteorológicos en el Lugar 3 (día lluvioso)

	Parámetro Meteorológico	Valor	Long.	Lat.	Altitud (m)
Valores	Humedad	99.90 %	-78.5026	0.0401	2450
Máximos	Temperatura	22.38 °C	-78.503	0.0403	2417
Valores	Humedad	75.20 %	-78.503	0.0403	2413
Mínimos	Temperatura	13.35 °C	-78.5028	0.0404	2459

Tabla 4. Parámetros meteorológicos en el Lugar 3 (día despejado)

	Parámetro Meteorológico	Valor	Long.	Lat.	Altitud (m)
Valores	Humedad	69.23 %	-78.5031	0,0404	2453
Máximos	Temperatura	25.28 °C	-78.503	0,0403	2424
Valores	Humedad	49,10 %	-78.503	0,0403	2420
Mínimos	Temperatura	17,52 °C	-78.503	0,0403	2497

3.2 Validación del método

Con el propósito de validar el método de adquisición de datos presentado en este documento, se realizó un análisis de intervalo de predicción (Ruckstuhl, 2010) con el propósito de comparar la información obtenida con la probabilidad de localizar dónde pueden aparecer observaciones adicionales en un determinado intervalo en función de las observaciones anteriores.

La técnica de intervalo de predicción utilizada en este apartado es la especificada en Matlab®, la misma que basa su operación en el establecimiento de intervalos de confianza considerando ajuste de coeficientes, ver Ecuación (1), y el análisis del intervalo de predicción se ha realizado asignando un límite del 95% superior e inferior a la media de los datos.

$$\gamma = P(a < X < b) = P\left(\frac{a - \mu}{\delta} < \frac{X - \mu}{\delta} < \frac{b - \mu}{\delta}\right) \quad (1)$$

Donde:

[a, b] = Intervalo de predicción

X = Observación futura.

μ = La media de una distribución normal.

δ² = Varianza de una distribución normal.

La última expresión se puede reescribir de la siguiente manera:

$$\gamma = P(-z < Z < z) \quad (2)$$

Donde:

$$-z = \frac{a - \mu}{\delta} \quad (3)$$

$$Z = \frac{X - \mu}{\delta} \quad (4)$$

$$z = \frac{b - \mu}{\delta} \quad (5)$$

Teniendo en cuenta las ecuaciones descritas anteriormente, el intervalo de predicción se puede escribir como:

$$[\mu - z\delta, \mu + z\delta] \quad (6)$$

Es pertinente decir que los parámetros meteorológicos adquiridos no siguen una distribución normal por lo que deben ser previamente convertidos para ser considerados como datos de ingreso para el cálculo del intervalo de predicción mencionado anteriormente.

En la Figura 6 se aprecia a manera de ejemplo el intervalo de predicción obtenido para el sitio de estudio 1 en el volcán Pululahua.

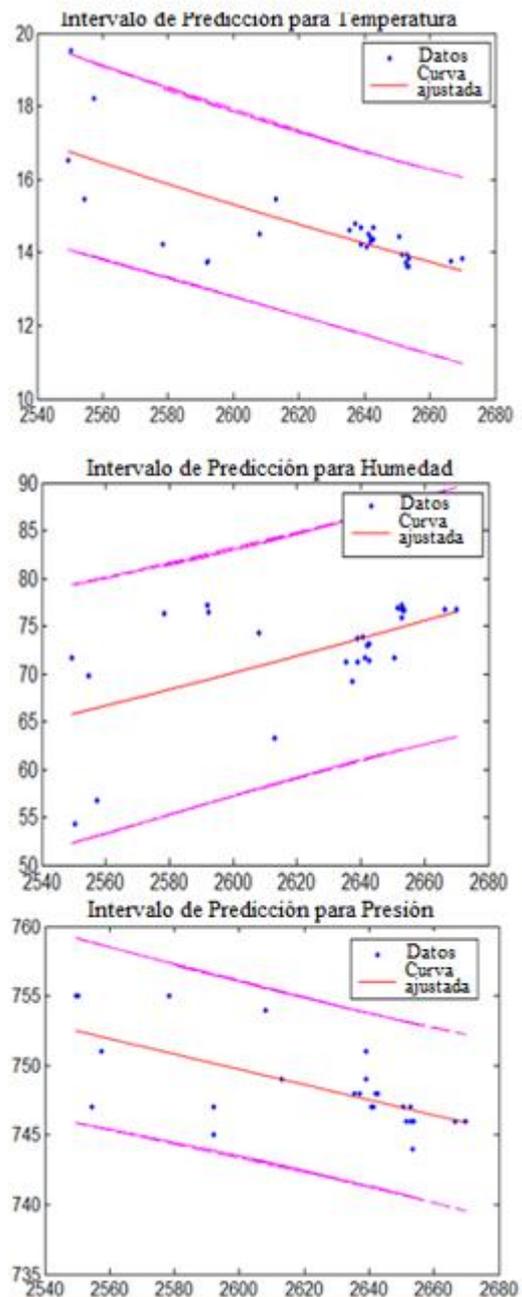


Figura 6. Intervalo de predicción para el Lugar 1 (31/08/2016).

3.3 Análisis de resultados

Se puede observar que para casi todos los casos, el prototipo muestra una variación de temperatura y humedad directamente relacionada con el cambio de altitud (como podría esperarse).

En el caso de un día totalmente lluvioso, se pudo apreciar que el sensor de humedad se saturó debido a la gran cantidad de agua presente en el ambiente, sin embargo, este resultado muestra que el sistema está adquiriendo apropiadamente la información, y que el ambiente está totalmente húmedo.

A partir de los datos recogidos en los 3 lugares de estudio, se puede observar que la temperatura y la humedad varían a la misma altitud en un rango de alrededor de 7 °C y 20% respectivamente durante los primeros 20 m sobre la ubicación del despegue, esto puede ser explicado por la presencia de corrientes de viento dispersas en el suelo. La variación antes mencionada se reduce considerablemente cuando se supera los 50 m por encima de la posición de despegue.

La información obtenida en la caldera del volcán Pululahua muestra que la temperatura y la presión disminuyen -1 °C cada 20 m, y -2 hPa cada 25 m, mientras que la humedad aumenta un 4% cada 25 m.

Durante un día lluvioso en la caldera se pueden observar altos valores de humedad en un área bastante extensa, sin embargo, es posible encontrar áreas con una humedad considerablemente menor, especialmente en los primeros 50 m por encima de la posición de despegue.

4. CONCLUSIONES

En este documento se presenta el desarrollo de un sistema de adquisición y procesamiento de datos basado en el uso de UAV, mismo que fue probado en la caldera del volcán inactivo Pululahua.

Los datos adquiridos por el sistema fueron temperatura, humedad y presión en 3 diferentes sitios de prueba en la caldera del volcán.

Todos los parámetros meteorológicos fueron adquiridos siguiendo las recomendaciones emitidas por la OMM (Organización Meteorológica Mundial) y siguieron un cuidadoso proceso de procesamiento de información.

El UAV utilizado para cargar el prototipo fue el dron DJI Phantom 3 Standard y con el mismo se puede alcanzar una altura máxima de 120 m por encima de la posición de despegue cubriendo un área de alrededor de 3 ha.

El sistema de adquisición fue desarrollado como una alternativa a los sistemas clásicos (estaciones meteorológicas) de recopilar información meteorológica.

El tiempo de vuelo del UAV fue de 15 minutos debido al peso adicional del prototipo (245 g) por lo que se usaron 6 baterías para adquirir la cantidad suficiente de datos para el procesamiento.

Una de las pruebas fue realizada durante un día lluvioso, lo que implicó un riesgo para la maniobrabilidad del dron y la seguridad del prototipo, por lo que se recomienda desarrollar una protección impermeable ligera para futuras aplicaciones.

A pesar de su simplicidad, el sistema propuesto implica una alternativa de bajo costo para la adquisición de datos climáticos tradicionales y puede ser operado fácilmente en diferentes escenarios climáticos (topografía Ecuatoriana).

Se puede apreciar que existe evidentemente un microclima propio de la caldera, sin embargo lo que más llama la atención del análisis realizado es el cambio brusco (en pocos minutos) en la meteorología del volcán, las gráficas de humedad muestran un incremento del 8% en la humedad de la caldera en un tiempo aproximado de 90 minutos a una altitud de 80 m por encima del punto de despegue del dron, este fenómeno es altamente impactante y es provocado por el proceso convectivo del viento producido por la entrada geográfica de la caldera ubicada al extremo nororiental del volcán. Una inspección breve realizada en la última visita al volcán muestra que existe una variación de altitud de aproximadamente 200 metros entre el punto de despegue del dron (en la caldera del volcán) y la ubicación de una granja avícola ubicada a la salida nororiental del volcán.

Algo que llama bastante la atención es la variación de la presión en casi todas las posiciones alcanzadas por el UAV. Esto revela que el comportamiento meteorológico en la caldera del volcán puede variar en un rango de aproximadamente 6 hPa, o en algunos casos, hasta 10 hPa. Esta micro-variación es importante debido a que para un análisis meteorológico se asume siempre un valor de presión constante a una cierta altitud. El efecto de esta variación debería ser analizado teniendo en cuenta que los países ubicados en la Zona de Convergencia Intertropical tienen una climatología totalmente diferente a la de los ubicados en latitudes altas y bajas.

El tratamiento de las zonas por separado, es decir considerando diferentes alturas sería ideal, sin embargo, para llevar a cabo esta tarea sería indispensable que las mediciones se realicen al mismo tiempo por lo que se requiere de varios drones ubicados en el mismo plano a diferentes distancias, esto no puede realizarse en el proyecto por limitaciones de presupuesto.

Es preciso mencionar que en el trabajo se asume el uso de una función de distribución de probabilidad de tipo normal porque se asume un cambio definido del parámetro meteorológico bajo análisis con respecto al incremento de altura.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Escuela Politécnica Nacional por su apoyo durante la realización del proyecto de investigación denominado "Implementación de un sistema piloto que permite la geolocalización de zonas con mejores características meteorológicas a la generación artificial de nubes (Caso de estudio - al norte del Distrito Metropolitano de Quito)".

REFERENCIAS

- Carrion, D., Vasconez, J., Bermudez, N. (2003). Urban Slums Reports: The case of Quito, Ecuador. UNDERSTANDING SLUMS: Case Studies for the Global Report on Human Settlements 2003. www.ucl.ac.uk/dpu-projects/Global_Report/pdfs/Quito.pdf
- Clifford, S. (2017). Pululahua Volcano & Geobotanical Reserve. Ecuador Destinations. http://www.ecuadortravelsite.org/pululahua_volcano.html
- Forde, M. (2016). Using Linux and Raspberry Pi For Data Collection, Display and Dissemination. Linux Barbados Presentation. The Caribbean Institute For Meteorology and Hydrology. ftp://www.linuxnewmedia.com/pub/listings/rasp-pi-geek.com/20/RPiWeather/Presentations/Linux_Barbados.pdf
- Martinez, W., y Martinez, A. (2016). Computational Statistics Handbook with MATLAB. 3 era Edición. CRC Press.
- Nash, J. (2015). Measurement of upper-air pressure, temperature and humidity. Instruments and Observing Methods. Report No. 121. <http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/IOM-80/CatalogRadiosond.pdf>
- Ruckstuhl, A. (2010). Introduction to Nonlinear Regression. IDP Institut für Datenanalyse und Prozessdesign. ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften. stat.ethz.ch/~stahel/courses/cheming/nlreg10E.pdf
- Suarez A., Llugin R., Lupera P., Chango R. (2017). Implementación de un Sistema Aéreo de Medición y Almacenamiento de Parámetros Meteorológicos Georreferenciados para Zonas Pequeñas. Revista Politécnica, Vol. 39, No 2, p. 17 – 26. www.revistapolitecnica.epn.edu.ec/images/revista/volumen39/tomo2/868.pdf
- WMO. (2012) Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. World Meteorological Organization WMO-No. 8. https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_8_en-2012.pdf

BIOGRAFÍAS



Llugin Ricardo. Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, Escuela Politécnica Nacional (2008) Quito-Ecuador. Master of Science in Communications Engineering, The University of Manchester (2013) Manchester-Inglaterra. Magíster en Conectividad y Redes de Telecomunicaciones, Escuela Politécnica Nacional (2017). Colaborador en proyectos de investigación a nivel nacional e internacional, en áreas de antenas, radares y electrónica para el Medio Ambiente. Profesor a tiempo completo en el Departamento de Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de Información en la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Escuela Politécnica Nacional.



Lupera Pablo. Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones de la Escuela Politécnica Nacional en el año 2002 y Ph.D. en Ciencias Técnicas en la Universidad Estatal de Telecomunicaciones de San Petersburgo en Rusia en el año 2009. Sus áreas de investigación son el comportamiento del canal inalámbrico, técnicas de transmisión aplicadas en la capa física, los sistemas de antenas y el diseño y optimización de redes de comunicación móvil. En la actualidad se desempeña en el cargo de docente e investigador del Departamento de Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de Información de la Escuela Politécnica Nacional.



Chango Ramón. Ingeniero Meteorólogo de la Odessa State Environmental University Ucrania, Master en Geografía de la Odessa State Environmental University Ucrania. Experto con más de 30 años de experiencia en el campo de la Meteorología e Hidrología. Ex director técnico de Meteorología INAMHI. Consultor independiente en Meteorología e Hidrología.



Ledesma Fernando. Egresado de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones de la Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador. Actualmente se desempeña como profesional en el área de Telecomunicaciones en el Proyecto Infocentros del Ecuador, del Ministerio de Telecomunicaciones.



Suárez Alexander. Nació en Ibarra-Ecuador el 6 de junio de 1989, se graduó de Bachiller en Ciencias especialidad Físico-Matemáticas en la Unidad Educativa Experimental “Teodoro Gómez de la Torre” Ibarra - Ecuador, obtuvo el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones en la Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador. Se ha desempeñado como técnico en el área de comunicaciones inalámbricas y en línea médica para empresas tales como Kónica Minolta.