

## Estación meteorológica autónoma con transmisión de datos inalámbrica en 5GHz 2x2 MIMO

Carlos A. Bosquez<sup>1</sup>, Xavier A. Lascano<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Carrera de Ingeniería Electrónica, Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador.

<sup>2</sup> INAMHI, Guayaquil, Ecuador.

Autores para correspondencia: cbosquez@ups.edu.ec; xlascano@est.ups.edu.ec

Fecha de recepción: 21 de septiembre de 2014 - Fecha de aceptación: 20 de octubre de 2014

### RESUMEN

El siguiente proyecto tiene como finalidad la recopilación de datos océano-atmosféricos en una determinada zona de interés, para incrementar los índices de aciertos en la predicción del tiempo. El mismo consiste en diseñar un prototipo autónomo capaz de adquirir datos meteorológicos mediante el uso de sensores de temperatura y humedad, junto a un sistema de adquisición de datos que se transmiten a una PC por medio de un sistema de microcontroladores y comunicaciones inalámbricas basadas en tecnología MIMO. Para la gestión y monitoreo en tiempo real se usa un software de programación gráfica. Este sistema beneficia a las instituciones encargadas de monitorear las variables meteorológicas que contribuyen a predecir el estado del tiempo, tales como: temperatura de la superficie del mar, temperatura ambiente, humedad relativa y punto de rocío. La aplicación de este prototipo al ser un instrumento tecnológico adicional a los ya existentes, aporta en los planes de contingencia para evitar posibles daños a los bienes materiales y sobre todo precautelar la vida humana.

Palabras clave: Comunicaciones inalámbricas, datos océano-atmosféricos, microcontroladores, predicción del tiempo, prototipo autosustentable, sensores temperatura y humedad.

### ABSTRACT

The article presents the compilation of ocean-atmospheric data in order to increase hit rates in weather forecasting. The project consists in the design of a self-sustaining prototype, able to acquire meteorological data using temperature and humidity sensors coupled to a data acquisition system, that transmit measurements to a PC by means of a microcontroller system and wireless communication system based on MIMO. For the real-time monitoring and managing graphical programming software is used. In addition to the existing systems, the self-sustaining prototype provides contingency plans to prevent possible damage to material property, will benefit the institutions in charge of monitoring meteorological variables, helps the prevention of calamities.

Keywords: Microcontrollers, ocean-atmospheric data, self-sustaining prototype, temperature and humidity sensors, weather forecasting, wireless communications.

## 1. INTRODUCCION

El levantamiento de información meteorológica es muy importante para la prevención de catástrofes de fenómenos naturales que atentan contra el medio ambiente y la población. En el Ecuador los entes encargados del monitoreo de esta información son: el INAMHI (2014) y el INOCAR (2014) los cuales, mediante estaciones meteorológicas situadas en la zona costera del país permiten mantener la

accesibilidad y acumulación de la información que estas suministran a los centros de recopilación de datos.

Las soluciones actuales con las que estas instituciones cuentan para el monitoreo de datos meteorológicos y la adquisición de los mismos, se basan en tecnologías de alto costo y de constante mantenimiento como lo son los sistemas GPRS, Satelitales (GOES) y de Radio-Frecuencia AM (OMM, 2014).

El siguiente proyecto se refiere a la construcción de una estación meteorológica autónoma (usando energía solar) que permite adquirir datos océano-atmosféricos para el monitoreo de las variables meteorológicas tales como la temperatura de la superficie del mar (TSM), temperatura ambiente (TA), Humedad relativa (HR), y punto de rocío; las mismas que serán enviadas vía inalámbrica en frecuencia libre de 5 GHz utilizando tecnología 2x2 MIMO (Boon *et al.*, 2014) la cual permite un mejoramiento en la transmisión de ondas electromagnéticas en entornos con mucha dispersión de la señal transmitida.

El proyecto realizado representa un aporte a la comunidad en general, al ser un instrumento válido en la obtención de información vital sobre el estado del tiempo en una determinada zona de interés, para precautelar la vida humana y los bienes materiales. Contribuye al desarrollo social, comercial y económico de las personas que tienen la necesidad y el derecho fundamental de contar con este tipo de información (INAMHI, 2014).

## 2. MODELADO DEL SISTEMA

La Fig. 1 describe el sistema que abarca el prototipo de la estación meteorológica autosustentable mediante energía solar, la transmisión inalámbrica en 5Ghz 2x2 MIMO y el monitoreo de los datos obtenidos.

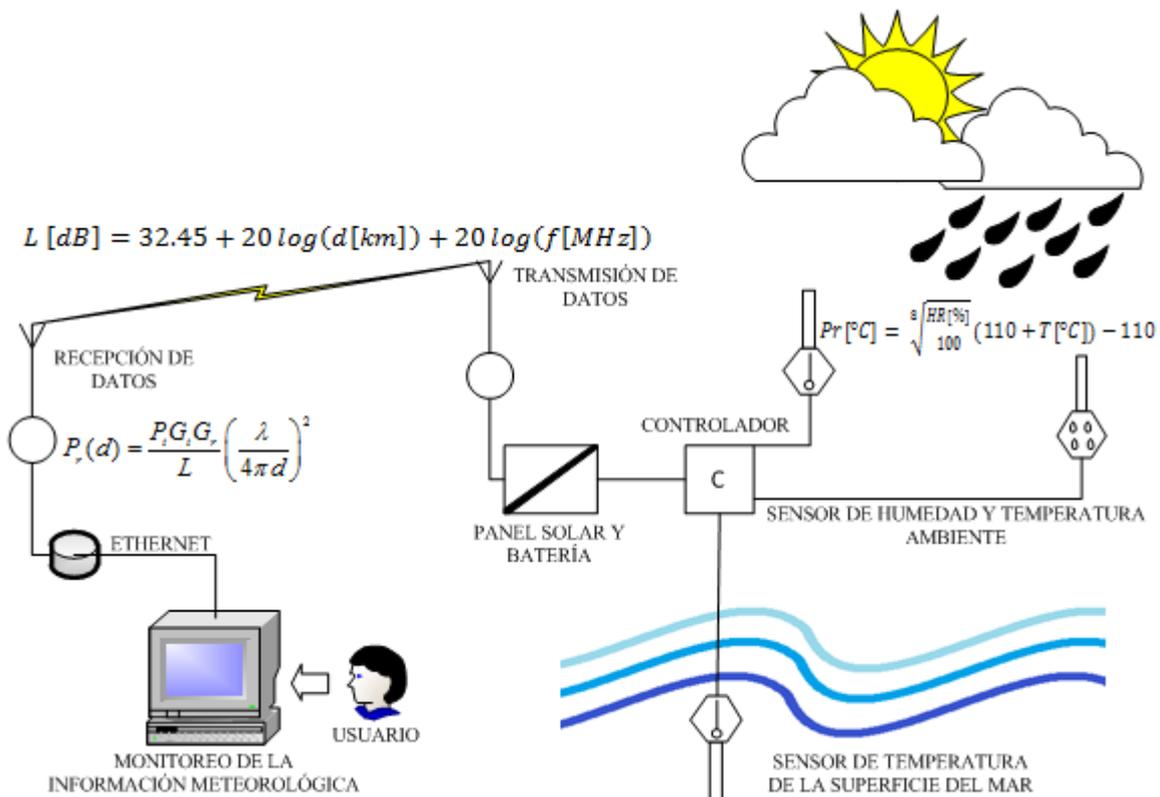


Figura 1. Descripción del diseño de la estación meteorológica.

Para la construcción de la estación se utilizó un sistema de sensores los cuales por medio de un micro controlador envían la información meteorológica a través de un conversor serial/Ethernet y éste a su vez se conecta con una antena omnidireccional para la transmisión inalámbrica de los datos. Los datos son recibidos en tiempo real hasta una PC y un software de programación gráfica gestiona la conexión de área local para el monitoreo de la información (Breijo, 2008).

Para la alimentación de la estación meteorológica autosustentable se utilizó un panel solar conectado a un controlador de carga, el cual de forma automática realiza la carga de la batería para alimentar la electrónica del sistema.

Se utilizó un enlace inalámbrico dedicado en frecuencia libre de 5Ghz 2x2 MIMO omnidireccional multi-trayectoria para minimizar los efectos de reflexión del mar (Bouvet & Loussert, 2011).

Las pérdidas de propagación de las ondas radioeléctricas en el espacio libre en función de la distancia y la frecuencia se calculan (suponiendo una antena isotrópica) con la siguiente fórmula de Friis:

$$L [dB] = 32.45 + 20 \log(d[km]) + 20 \log(f[MHz]) \quad (1)$$

donde  $d$  es la distancia en kilómetros y  $f$  es la frecuencia en mega Hertz.

La potencia de la señal disminuye en relación a la distancia que existe entre el transmisor y el receptor; es así que para calcular la potencia recibida utilizamos modelo de propagación de Friis con la siguiente fórmula:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r}{L} \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (2)$$

donde  $P_r$  es la potencia de recepción,  $P_t$  es la potencia de transmisión,  $G_t$  es la ganancia de la antena transmisora,  $G_r$  es la ganancia de la antena receptora,  $d$  es la distancia de propagación y  $L$  son las pérdidas en el trayecto (Tomasi, 2003).

1. **if** (panel solar suministra corriente al controlador de carga) **and** (batería está conectada a la carga)
2. **then** (sistema se enciende) **and** (existe autonomía)
3. **else** (sistema se enciende) **and** (la batería se descarga)
4. **end\_if**
5. **if** (cable del sensor está conectado al microcontrolador a una distancia menor o igual a 20 metros)
6. **then** (se establece protocolo 1-wire)
7. **else** (existirá errores en la comunicación)
8. **end\_if**
9. **if** (estación meteorológica se encuentra en zona de cobertura inalámbrica 5GHz 2x2 MIMO)
10. **then** (hay transmisión de datos)
11. **else** (la distancia entre las antenas no es la adecuada)
12. **end\_if**
13. **if** (datos llegan hasta la PC)
14. **then** (gestión de datos) **and** (monitoreo de la información)
15. **else** (no hay conexión de red)
16. **end\_if**

**Figura 2.** Pseudocódigo del sistema.

Las variables meteorológicas que adquiere este prototipo mediante los sensores electrónicos son: la temperatura de la superficie del mar (TSM), la temperatura ambiente (TA), la humedad relativa

(HR) y el punto de rocío (TD), éste último por medio de la siguiente fórmula (Michelena & Gutman, 2002):

$$Pr[{}^{\circ}C] = \sqrt[8]{\frac{HR[\%]}{100}} (110 + T[{}^{\circ}C]) - 110 \quad (3)$$

Las Figuras 2, 3 y 4 muestran el pseudocódigo del sistema, un diagrama de bloques del desarrollo del prototipo y una imagen del prototipo implementado, respectivamente.

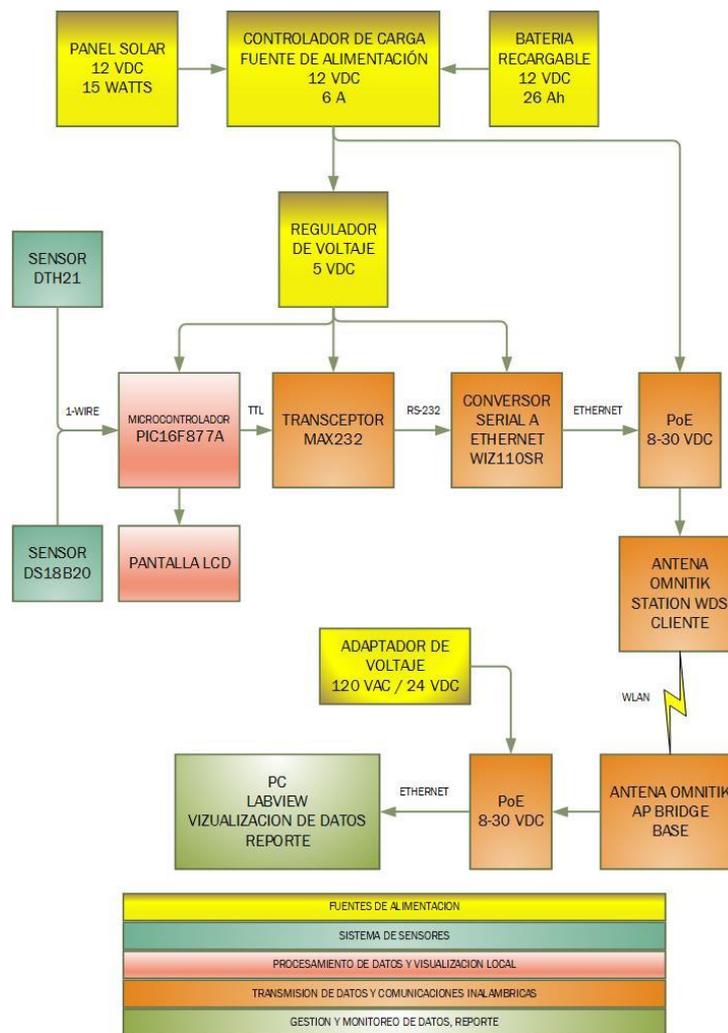


Figura 3. Diagrama de bloques del proyecto.

## 1. ANÁLISIS DE DESEMPEÑO

En lo referente a la autonomía de la estación meteorológica la corriente total que consume la carga de la estación es de 549 miliamperios. El panel solar (a plena luz del día) tiene una potencia aproximada de 15 vatios y un voltaje de 17.1 voltios en sus terminales, lo que nos da una corriente promedio de 850 miliamperios para la alimentación de la estación y para la carga de la batería. Un día tiene aproximadamente 8 horas efectivas de luz solar, lo que significa en teoría que el panel solar alimenta el consumo de la estación durante este tiempo y aún le sobran 301 miliamperios para cargar la batería.

El controlador de carga realiza la función de combinar las dos fuentes de voltaje (panel solar y batería). La batería tiene una capacidad de 26 amperios-hora es decir, que cuando no hay flujo de

corriente del panel solar, el controlador de carga hace trabajar solamente a la batería. De acuerdo al consumo de corriente total, la batería podría proveer a la estación una autonomía de 47 horas aproximadamente.

A continuación se realiza un análisis del enlace inalámbrico de la estación autosustentable. Según la fórmula para el cálculo del radio de la zona de Fresnel:

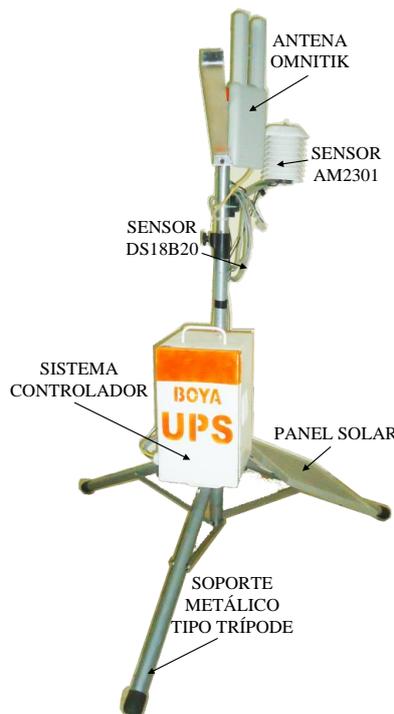
$$r = 17.32 \sqrt{(D/4f)} \quad (4)$$

donde  $D$  es la distancia total del radioenlace en Kilómetros y  $f$  la frecuencia en *Giga Hertz*.

Según el cálculo de la zona de Fresnel y las características de los equipos de transmisión inalámbrica, las antenas deben estar colocadas a una altura mínima de 3.8 metros para una propagación de hasta 4 kilómetros de distancia.

Hay que tener en cuenta que utilizamos frecuencia libre de 5Ghz con antenas 2x2 MIMO omnidireccional, eliminando así las reflexiones y atenuaciones en la propagación, debido a las características de la tecnología inalámbrica MIMO su uso es eficiente en enlaces inalámbricos rústicos o de altas pérdidas (Molish *et al.*, 2001).

Se comparó el desempeño del prototipo electrónico con la estación meteorológica móvil de la marca VAISALA que utiliza el INAMHI para la calibración de las variables meteorológicas de sus sensores. Luego de las pruebas realizadas se observa que tienen el mismo desempeño según las curvas a continuación mostradas (Figs. 5, 6 y 7).



**Figura 4.** Implementación del prototipo.

#### 4. RESULTADOS DEL CÁLCULO DEL PUNTO DE ROCÍO

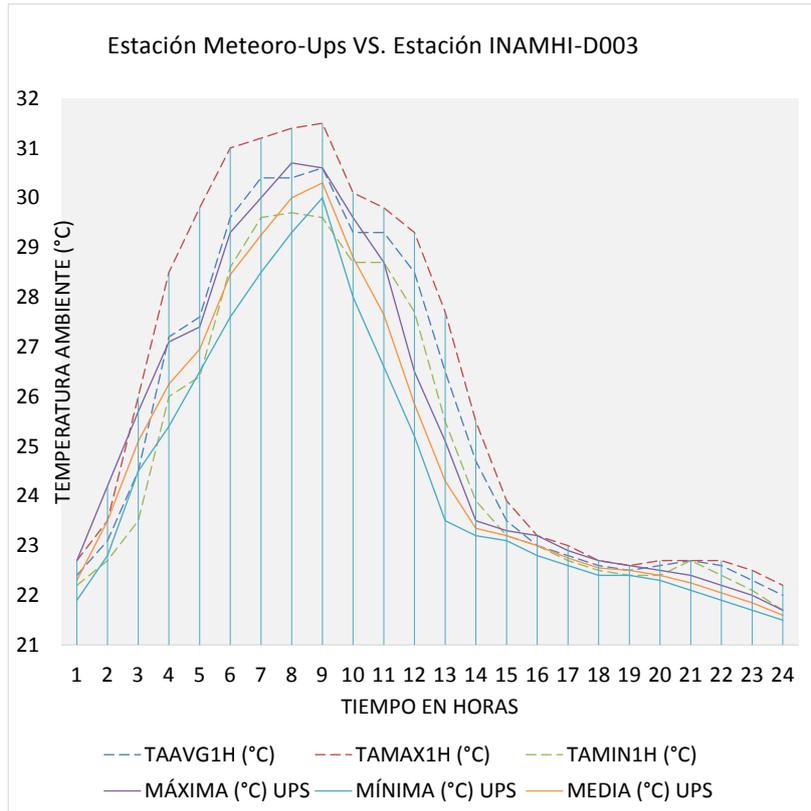
Los resultados se muestran en las Tablas 1 y 2 así como en las Figs. 8 y 9.

**Tabla 1.** Cálculo del punto de rocío según la humedad relativa y la temperatura ambiente.

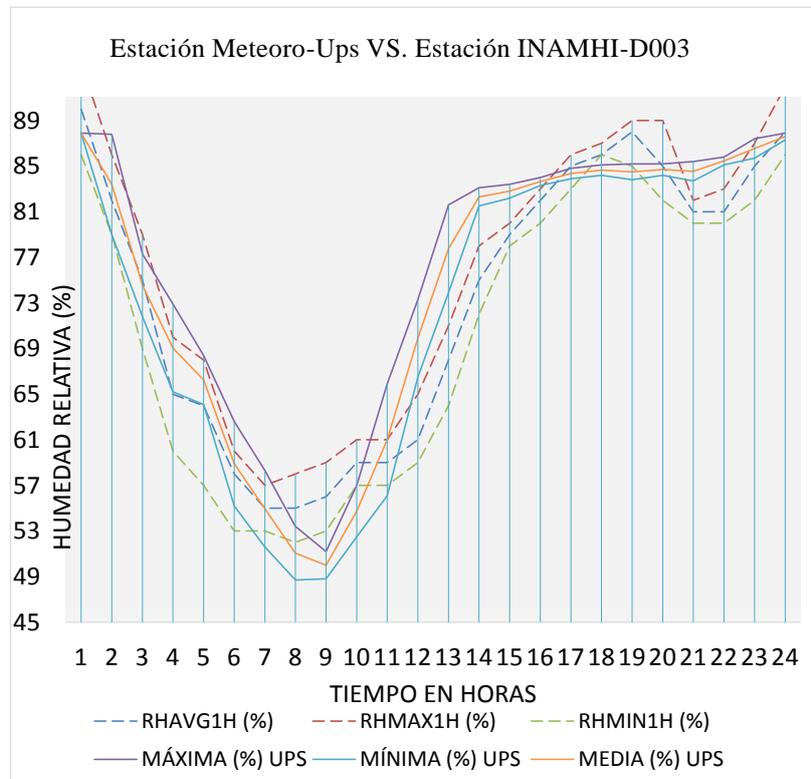
		Temperatura ambiente (°C)								
		40	35	30	25	20	15	10	5	0
Humedad relativa (%)	100	40,0	35,0	30,0	25,0	20,0	15,0	10,0	5,0	0,0
	95	39,0	34,1	29,1	24,1	19,2	14,2	9,2	4,3	-0,7
	90	38,0	33,1	28,2	23,2	18,3	13,4	8,4	3,5	-1,4
	85	37,0	32,1	27,2	22,3	17,4	12,5	7,6	2,7	-2,2
	80	35,9	31,0	26,1	21,3	16,4	11,6	6,7	1,8	-3,0
	75	34,7	29,9	25,1	20,2	15,4	10,6	5,8	0,9	-3,9
	70	33,5	28,7	23,9	19,1	14,3	9,5	4,8	0,0	-4,8
	65	32,1	27,4	22,7	17,9	13,2	8,4	3,7	-1,0	-5,8
	60	30,7	26,0	21,3	16,6	12,0	7,3	2,6	-2,1	-6,8
	55	29,2	24,6	19,9	15,3	10,6	6,0	1,4	-3,3	-7,9
	50	27,6	23,0	18,4	13,8	9,2	4,6	0,0	-4,5	-9,1
	45	25,8	21,2	16,7	12,2	7,7	3,1	-1,4	-5,9	-10,4
	40	23,8	19,3	14,8	10,4	5,9	1,5	-3,0	-7,4	-11,9
	35	21,6	17,2	12,8	8,4	4,0	-0,4	-4,8	-9,1	-13,5
	30	19,0	14,7	10,4	6,1	1,8	-2,5	-6,8	-11,1	-15,4
	25	16,1	11,9	7,7	3,5	-0,7	-4,9	-9,1	-13,3	-17,5
20	12,7	8,6	4,5	0,4	-3,7	-7,8	-11,9	-16,0	-20,0	
15	8,3	4,4	0,4	-3,5	-7,4	-11,4	-15,3	-19,3	-23,2	
10	2,5	-1,3	-5,0	-8,8	-12,5	-16,3	-20,0	-23,8	-27,5	

**Tabla 2.** Cálculo del punto de rocío, según la muestra de los datos obtenidos por la estación Meteor-Ups en 24 horas.

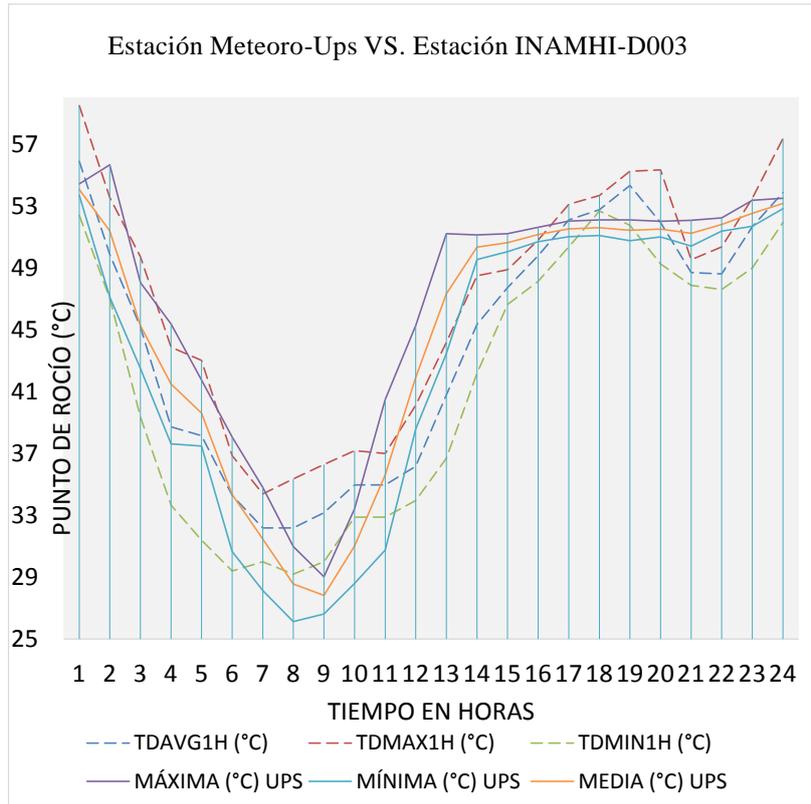
		Temperatura ambiente (°C)								
		30,3	30	29,3	28,5	27	26,3	25,1	23,5	22,3
Humedad relativa (%)	87,9	28,1	27,8	27,0	26,3	24,8	24,1	22,9	21,4	20,2
	84,7	27,4	27,1	26,4	25,6	24,2	23,5	22,3	20,7	19,6
	84,5	27,4	27,1	26,3	25,6	24,1	23,5	22,3	20,7	19,5
	84,4	27,3	27,1	26,3	25,6	24,1	23,4	22,3	20,7	19,5
	83,7	27,2	26,9	26,2	25,4	24,0	23,3	22,1	20,6	19,4
	83,4	27,2	26,9	26,1	25,4	23,9	23,2	22,1	20,5	19,3
	82,8	27,0	26,7	26,0	25,3	23,8	23,1	21,9	20,4	19,2
	82,3	26,9	26,6	25,9	25,2	23,7	23,0	21,9	20,3	19,1
	77,8	26,0	25,7	24,9	24,2	22,8	22,1	20,9	19,4	18,2
	74,6	25,2	25,0	24,2	23,5	22,1	21,4	20,2	18,7	17,5
	69,9	24,2	23,9	23,2	22,4	21,0	20,3	19,2	17,7	16,5
	69,1	24,0	23,7	23,0	22,2	20,8	20,1	19,0	17,5	16,3
	66,3	23,3	23,0	22,3	21,6	20,1	19,5	18,3	16,8	15,7
	61	21,9	21,6	20,9	20,2	18,8	18,1	17,0	15,5	14,4
	58,9	21,3	21,0	20,3	19,6	18,2	17,6	16,5	15,0	13,8
	55	20,2	19,9	19,2	18,5	17,1	16,5	15,4	13,9	12,8
54,8	20,1	19,8	19,1	18,5	17,1	16,4	15,3	13,8	12,7	
51,1	19,0	18,7	18,0	17,3	16,0	15,3	14,2	12,7	11,6	
50	18,7	18,4	17,7	17,0	15,6	15,0	13,9	12,4	11,3	



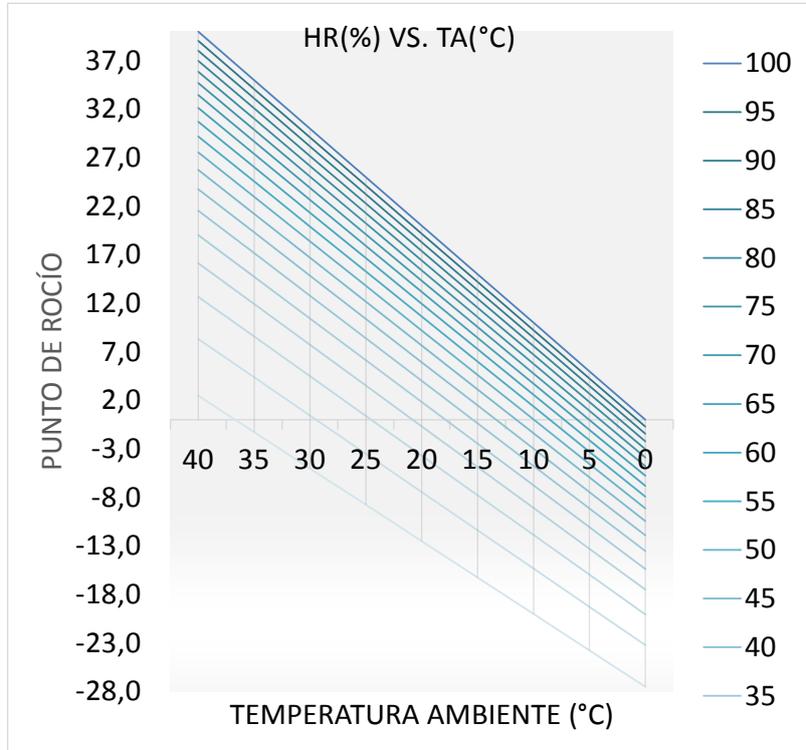
**Figura 5.** Temperatura. Curva comparativa de los datos obtenidos del prototipo UPS vs. Datos INAMHI estación D003.



**Figura 6.** Humedad. Curva comparativa de los datos obtenidos del prototipo UPS vs. Datos INAMHI estación D003.



**Figura 7.** Punto de rocío. Curva comparativa de los datos obtenidos del prototipo UPS vs. Datos INAMHI estación D003.



**Figura 8.** Punto de Rocío según la Tabla 1.

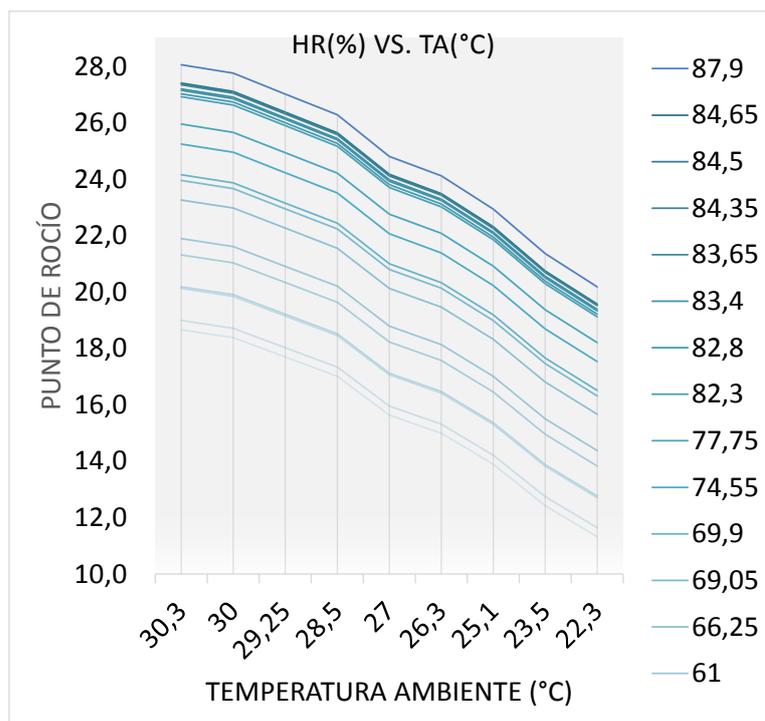


Figura 9. Punto de Rocío según la Tabla 2.

## 5. CONCLUSIONES

El desarrollo de este proyecto concluye que la implementación de un sistema de adquisición de datos que recolecta información meteorológica es factible a menores costos que los sistemas convencionales y tiene ventaja en la estabilidad de la transmisión inalámbrica de los datos debido a la robustez de su ancho de banda. Aporta al estudio del tiempo y enriquece la base de datos de los organismos encargados de regular la información meteorológica.

Este prototipo resultó ser autónomo debido a que utiliza energía renovable por el uso de paneles solares que extienden la carga de la batería. No obstante es necesario mantener un control de calidad en la encapsulación de las baterías recargables para mantener un sistema amigable con el medio ambiente.

Al usar radiofrecuencia libre de 5Ghz y utilizar métodos de conexiones inalámbricas de alta eficacia como lo es MIMO economiza los recursos respecto a costos en la transmisión de los datos, evitando la utilización de sistemas GPRS o satelitales.

Se logró diseñar un sistema de monitoreo de la información mediante el desarrollo de una plataforma en software gráfico programable, la cual permitió gestionar los datos desde la estación base. Es recomendable utilizar software libre para la programación del sistema de monitoreo y así evitarse los costos de licencias.

Es recomendable realizar convenios con instituciones públicas o privadas para permitir la socialización de la información meteorológica y que represente un aporte al plan de desarrollo de las personas.

El prototipo podrá instalarse en un muelle, malecón, boya, buque, barco o cualquier otra superficie flotante, que facilite el acceso a la zona de estudio y que permita adquirir los datos meteorológicos con la misma calidad que los sistemas convencionales meteorológicos usados hoy en día.