

Prototype of a Wireless Sensor Network for Monitoring the Coffee Drying Process

Paula A. Bolaños
Universidad Icesi
paula.bolanos@correo.icesi.edu.co

Sandra Céspedes U.
Dpto de Ingeniería Eléctrica
Universidad de Chile
scspedes@ing.uchile.cl

Juan Carlos Cuéllar
Departamento TIC
Universidad Icesi
jcuellar@icesi.edu.co

Abstract

To guarantee the quality in the coffee production, not only the harvesting process is important, but also the subsequent processes are critical for maintaining a high quality coffee to achieve export quality of the coffee grains. One of those processes is the drying, which should lower the coffee moisture to a 10%–12%. However, there are not affordable technologies for little farmers able to detect when the moisture level is in the optimal range. Therefore, we propose a Wireless Sensor Network (WSN) using LoRaWAN for monitoring and studying the environmental variables that affect the drying process. We collect data about the humidity, temperature, and luminosity of the surroundings of the drying boxes where the coffee is placed, and analyze it to understand the relation of each variable with the coffee moisture level. Finally, we generate a model with regression equations to predict when the drying process is at the finishing state.

1 Introducción

En el 2016, los tres principales productores de café fueron Brasil, Vietnam y Colombia, respectivamente [Stat16]. Sin embargo, el mayor productor de café de calidad es Colombia [CafCO]. Para mantener dicha calidad, la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia ha organizado a cerca de 500.000 pequeñas familias [FNC], que someten su café a diferentes controles de calidad previos a la exportación. El café producido en el departamento del Cauca, Colombia, contiene características en la bebida final deseadas por mercados sofisticados [Reg], lo cual ha permitido que este departamento sea hoy el cuarto productor nacional de café colombiano [HSB15] con alrededor de 93.000 caficultores [Lib16].

Si bien el proceso de cultivo de café es determinante, también es importante destacar que la post-cosecha

permite mantener la calidad del café adquirida durante la cosecha. Específicamente en el secado los granos son expuestos al sol por varios días con el fin de disminuir el porcentaje de humedad desde un intervalo inicial entre el 30%–60% hasta uno final entre el 10%–12%. La importancia de este proceso y su exactitud radica en la impregnación de la semilla con los azúcares y otros compuestos presentes en el mucílago del café para que la bebida final contenga sabores característicos [Post].

Lamentablemente, hoy en día la calidad del café se deteriora debido al proceso artesanal de secado del grano que utilizan los pequeños caficultores del Cauca. Esto ocurre porque los medios de monitoreo son manuales, de poca precisión y presenciales. Aunque existen tecnologías de alta precisión para medir la humedad del grano, el alto costo de las mismas las hace inalcanzables para los pequeños caficultores. El deterioro de la calidad del café tiene como efectos inmediatos la disminución de los ingresos de los productores y la reducción de las posibilidades de exportación.

Por lo anterior, en el presente trabajo se ha diseñado e implementado el prototipo de un sistema de monitoreo de variables ambientales, que influyen en el secado del café. Este prototipo es capaz de relacionar las variables con la humedad del café para reportarle al caficultor el momento en el que debe verificar que el secado está finalizando. Para este experimento, se ha escogido el método de secado provisto por el secador parabólico [Ram02], que permite un secado más rápido y eficiente.

La importancia de este proyecto radica en que en la medida en que mejoren los procesos de post-cosecha del café, las oportunidades de cumplir con los estándares de exportación para los caficultores con fincas pequeñas aumentarán. Además, debido a que Colombia está atravesando un proceso de transición con la implementación del Acuerdo de Paz y del Plan de Sustitución de cultivos ilícitos, existe un gran impacto al mejorar por medio de Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) la cadena de valor de una alternativa rentable, como lo es el café.

2 Metodología

En el presente trabajo se realizó un proceso de levantamiento de requerimientos para definir la propuesta de diseño lógico y físico. El requerimiento funcional principal fue monitorear las variables ambientales, que el usuario consideró que podrían influir en el secado,

Copyright © by the paper's authors. Copying permitted for private and academic purposes.

In: Proceedings of the IV School of Systems and Networks (SSN 2018), Valdivia, Chile, October 29-31, 2018. Published at <http://ceur-ws.org>

como la humedad relativa, la temperatura ambiente y la luminosidad. De aquí se concluyó que era necesario tener nodos sensores de dichas variables al interior del secador y que su cantidad dependía del largo del secador y la variabilidad de los datos en diferentes puntos. En consecuencia, para la definición del diseño, adicional al levantamiento de los requerimientos fue necesario conocer el espacio y las dimensiones del secador.

Los sensores utilizados fueron: el sensor DHT22 para medir la humedad y la temperatura relativa del ambiente, la sonda de temperatura DS18B20 y el sensor de flujo de intensidad de luz BH1750. La sonda se utilizó con el fin de corregir y tener mayor exactitud en el dato de temperatura obtenido por el DHT 22, especialmente en casos de inconvenientes con la calibración brindada por el fabricante.

El espacio para el que se desarrolló este prototipo fue un entorno rural, una finca junto al parque Tecnológico de Innovación en Café. En dicha finca, ubicada en el corregimiento La Venta del municipio de Cajibío – Cauca, se construyó un secador parabólico de 10 m de largo a aproximadamente 200 m del parque. Después de conocer esto y de diferentes pruebas realizadas, se llegó a que se tendrían tres nodos, ubicados en la entrada, la mitad y el fondo de la franja central del secador para equilibrar los vientos de los lados.

Adicionalmente, debido al entorno rural en el que se encontraba el secador, este no contaba con alimentación eléctrica, por lo que fue necesario buscar el medio para alimentar los nodos sensores de forma autónoma. Para ello se utilizaron pilas, sin embargo, esto tuvo implicaciones en la altura de ubicación de los nodos. Lo anterior porque las altas temperaturas alcanzadas al interior del secador, de hasta 46°C, afectan los nodos, derritiendo las pilas y algunos cables si estos se localizaban a altura máxima o media, por lo cual su localización final fue sobre el piso.

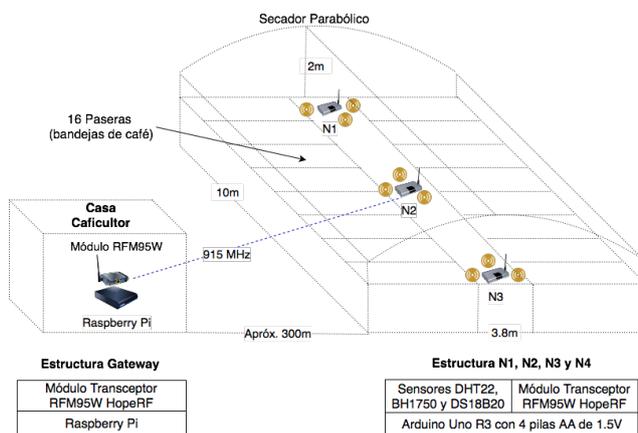


Figura 1. Diseño físico del prototipo de red de sensores inalámbricos y detalle del hardware usado en la implementación del prototipo.

De los requerimientos no funcionales, el determinante para escoger LoRaWAN como tecnología de comunicación inalámbrica entre los nodos fue la distancia entre los nodos sensores y el nodo procesador o

gateway, la cual debía ser de 300 m con posibilidad de escalar a 1 km, ya que corresponde a la distancia entre el secador parabólico y la casa del caficultor, donde se ubicará el nodo procesador y el sistema de alarma al caficultor (ver Fig. 1). Una vez conocidos los requerimientos y planteado el diseño lógico y físico, fue posible determinar los dispositivos a utilizar.

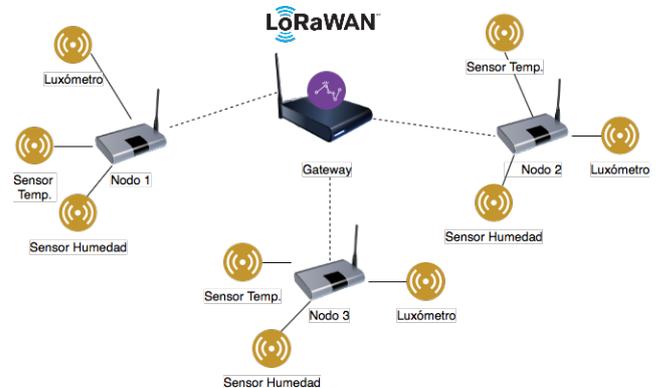


Figura 2. Diseño lógico de la red de sensores inalámbricos propuesta.

La red lógica de sensores inalámbricos propuesta consta de tres nodos sensores y un nodo principal o gateway, organizados en topología en estrella, que es la que se usa por defecto con LoRaWAN (ver Fig. 2). Por ello, los módulos de comunicación utilizados fueron los RFM95W HopeRF en la banda de 915 MHz. Por otra parte, el gateway recibe los datos de cada nodo sensor y almacena y procesa la información para enviar la alerta de notificación, por medio de un sonido, cuando detecta que los modelos de predicción de los tres nodos reportan una humedad entre 10% y 12%.

Con el fin de elaborar los modelos de predicción fue necesario realizar una toma de datos con el secador vacío para verificar el comportamiento de los sensores y dos tomas de datos durante diferentes secados para relacionar los datos de las variables ambientales tomados por los sensores y la humedad del grano de café tomada manualmente. Para recoger los datos de la humedad del grano fue necesario conocer el modo de uso y operación de la máquina Gehaka G600 [Ghk600]. Esta máquina mide la conductividad eléctrica de los granos y según eso calcula la humedad con un error aproximado de 0.5%.

Es importante destacar que, como en este experimento no se utiliza café pergamino sino café natural con cáscara, para medir la humedad de este tipo de café no hay un equipo especialmente desarrollado. El G600 no tiene la opción de café con cáscara, sino que tiene la opción de medir arroz cáscara, que fue la opción sugerida por el caficultor debido a su experiencia. Sin embargo, el rango de detección de humedad que se tiene para este tipo de grano con cáscara es sólo de 7% a 30%, lo que impide tener datos si la humedad está por encima del 30%.

A partir de los datos obtenidos en los dos procesos de secado, se realizó un análisis de regresión con un 95% de nivel de confianza en la herramienta Minitab

para cada nodo, que permitió obtener una primera versión de la ecuación de predicción de la humedad del café según los datos tomados por cada uno. Debido a la variación en los coeficientes de correlación de las variables de entrada, humedad y temperatura ambiente, intensidad de luz y temperatura de la sonda junto al café, con respecto a la variable de salida, la humedad del grano de café, por cada nodo, se decidió obtener un modelo de predicción para cada ubicación de los nodos. En la figura 3 se ilustran las ecuaciones de regresión de cada uno de los modelos, determinados por ubicación de los nodos, para calcular la humedad del café con base en las variables ambientales medidas.

$$\begin{aligned}
 \text{Humedad_Cafe_Entrada} &= 0,375 - 0,001489 \text{ Tiempo} + 0,022 \text{ Humedad_Entrada} \\
 &\quad - 0,00234 \text{ Temperatura_Entrada} + 0,000003 \text{ Luz_Entrada} \\
 &\quad - 0,00392 \text{ Sonda_Entrada} \\
 \text{Humedad_Cafe_Mitad} &= 0,293 - 0,001605 \text{ Tiempo} + 0,018 \text{ Humedad_Mitad} \\
 &\quad - 0,00343 \text{ Temperatura_Mitad} + 0,000001 \text{ Luz_Mitad} \\
 &\quad + 0,00076 \text{ Sonda_Mitad} \\
 \text{Humedad_Cafe_Fondo} &= 0,177 - 0,001540 \text{ Tiempo} + 0,187 \text{ Humedad_Fondo} \\
 &\quad - 0,00152 \text{ Temperatura_Fondo} + 0,000002 \text{ Luz_Fondo} \\
 &\quad - 0,00071 \text{ Sonda_Fondo}
 \end{aligned}$$

Figura 3. Ecuaciones de regresión de los nodos.

3 Resultados

Inicialmente, se generaron modelos con todos los datos obtenidos de las variables ambientales, sin embargo, el R cuadrado de estos fue de 35.01%, 33.66% y 19.63% de los nodos del fondo, la mitad y la entrada, respectivamente. Esto se debió a que la relación de los datos de las variables ambientales con los de la humedad del café no era uno a uno, porque los primeros se tomaron aproximadamente cada cuatro minutos y los segundos cada hora. Por lo tanto, se decidió promediar los datos de las variables ambientales por hora y así dejar la misma cantidad de datos de la humedad del grano. Con esto se logró obtener modelos con una bondad de ajuste o R cuadrado de 82,49% para el fondo, 78.88% para la mitad y 85.06% para la entrada.

Cabe destacar que se observó que en las noches surgió un proceso de reversa en el nivel de humedad (i.e., sube con respecto a la reducción lograda durante el día), lo cual extiende la duración del proceso de secado. Por lo tanto, se aconseja probar si al cubrir el café es posible mantener la humedad estable durante la noche. A partir de esto, también se concluye que monitorear las condiciones ambientales durante el día es más importante para determinar la duración del proceso de secado ya que en las noches el porcentaje de variación fue de alrededor de 2% independientemente de las condiciones ambientales.

4 Conclusiones

Fue posible concluir que se acertó con la decisión de utilizar LoRaWAN en este proyecto, ya que se necesitaba una amplia cobertura en un entorno rural, con posibilidades de extender la distancia. En lo relacionado con el comportamiento del porcentaje de humedad del grano se puede afirmar que tiende a ser una curva logarítmica. Por otra parte, en el análisis del modelo se halló que el secado principalmente se ve

afectado por la intensidad de luz, porque el valor p de la variable del flujo de la luz en el modelo es el más pequeño y cercano a 0.05 y el índice de correlación es el más alto. Sin embargo, se resalta que es necesario tomar más datos para tener un modelo más ajustado a la realidad.

Por último, se concluyó que no es viable utilizar pilas como medio de alimentación de los nodos sensores si se usan Arduino Uno, ya que se consumen en 2 días y el secado puede durar hasta 6 días. Es recomendable utilizar una batería con mayor capacidad, como una batería de motocicleta y/o paneles solares, o utilizar unas tarjetas diseñadas como de bajo consumo energético.

Referencias

- [Stat16] All products require an annual contract Prices do not include sales tax, “Top coffee producing countries 2016”, Statista. [En línea]. Disponible en: <https://goo.gl/kcerbM>. [Accedido: 24-sep-2017].
- [CafCO] “Un Café Sobresaliente”, *Café de Colombia*. [En línea]. Disponible en: <https://goo.gl/hKeiEp>. [Accedido: 05-sep-2017].
- [FNC] “Nuestro Café”, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. [En línea]. Disponible en: <https://goo.gl/twRQy4>. [Accedido: 02-sep-2017].
- [Reg] “Nuestras Regiones cafeteras”, Café de Colombia. [En línea]. Disponible en: <https://goo.gl/zaU8XD>. [Accedido: 05-sep-2017].
- [HSB15] “Cauca es el cuarto departamento en producción de café según Fedecafeteros — HSB Noticias”, 17-feb-2015. [En línea]. Disponible en: <https://goo.gl/19ZQby>. [Accedido: 11-sep-2017].
- [Lib16] E. N. Liberal, “Cauca, departamento de cafés finos y de alta calidad”, 18-abr-2016. [En línea]. Disponible en: <https://goo.gl/dfB4Y1>. [Accedido: 05-sep-2017].
- [CIQ15] “Procesos del Café: Lavado, Natural y Honey”, COFFEE IQ, 01-jul-2015. [En línea]. Disponible en: <https://goo.gl/XdTYS8>. [Accedido: 26-may-2018].
- [Post] “Post-cosecha”, Café de Colombia. [En línea]. Disponible en: <https://goo.gl/uu4SHA>. [Accedido: 05-sep-2017].
- [Ram02] C. A. RAMIREZ G., OLIVEROS T., C.E., y ROA M., G., “Construya el Secador Parabólico”, Cenicafé, Avance técnico 305, nov. 2002.
- [Ghk600] “Nuevo Medidor de humedad de café y granos - Noticia - Noticias”, Gehaka. [En línea]. Disponible en: <https://goo.gl/D2mNiR>. [Accedido: 13-abr-2018].