

IloT: Gestión de la Temperatura y la Humedad en el Proceso de Fermentado del Té Negro

Adriana P. Quiñones¹;0000-0001-9377-9505¹, Diego A. Godoy ¹;0000-0002445733¹,
Eduardo O. Sosa²;0000-0002-0160-301x¹, Santiago H. Bareiro¹;0000-0002-3060-s2111

¹Centro de Investigación en Tecnologías de la Información y Comunicaciones (CITIC).
Universidad Gastón Dachary, Av. López y Planes 6519, 3300 Posadas - Argentina

²Secretaría de Investigación y Posgrado (SECIP). Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y
Naturales, Universidad Nacional de Misiones. Félix de Azara 1552, 3300 Posadas - Argentina

{paolaqui;diegodoy;hbareiro}@citic.ugd.edu.ar,
eososa@unam.edu.ar

Abstract.

En el proceso productivo del té negro existen parámetros que se deben mantener bajo estricto control para así asegurar una calidad del producto acorde a la demanda internacional. En este trabajo se presenta un prototipo con tecnologías capaces de determinar en tiempo real la humedad y temperatura del producto en proceso. Mediante estos dispositivos se establece un análisis comparativo con valores de humedad de la masa de producto que se encuentra en la cinta de fermentado. Con ello se puede llegar a prescindir tomas de muestras, análisis de laboratorio, especialistas; como así también de la aplicación de conocimientos empíricos aplicados por personal de las fábricas. En este estudio, el contenido de humedad del té negro se ha determinado mediante la técnica de equilibrio de humedad relativa utilizando sensores. En estos últimos se calibraron y establecieron ecuaciones para mejorar la precisión. El prototipo es una herramienta que combina la interdisciplinariedad de las ciencias, principalmente la química básica, la química de alimentos, la ingeniería electrónica con sus componentes de hardware innovadores y la ingeniería en informática. De ésta manera se integran estos saberes en un solo componente que brinda información determinante para la toma de las decisiones que darán como resultado información acerca de la buena, media o baja calidad del té negro elaborado.

Keywords: Internet Industrial de las Cosas, Sensores Inalámbricos, fermentado del Té

1 Introducción

El té es un arbusto de la familia de las Teáceas, que crece hasta 10 o 15 metros de altura. Posee hojas perennes, flores blancas y fruto capsular. Con la denominación genérica de té, se entiende exclusivamente el producto obtenido por el procesamiento conveniente de las yemas, hojas jóvenes, pecíolos y tallos tiernos de la especie *Camellia sinensis* L. Según el Código Alimentario Nacional Argentino [1], el té destinado

a la preparación de infusiones y puede clasificarse en cuatro tipos: Té o Té negro, Té verde, Té tipo Oolong, y Té rojo. El presente trabajo tiene relación directa con el primero de esta clasificación es decir, la producción de té negro, que corresponde al producto obtenido mediante marchitado, enrolado, fermentado y secado de las yemas, hojas jóvenes, pecíolos y tallos tiernos.

La zona productora de té en Argentina, comprende a las provincias de Misiones con el 95,2 % de la producción y el Noreste de la provincia de Corrientes, con el restante 4,8%. Estas dos zonas son las que poseen las condiciones agroecológicas específicas para la producción [2]. Los productores son alrededor de 6.000 y la superficie cultivada es de cerca de 42.400 hectáreas. Solamente el 5% del indicado es consumido en el mercado interno, destinándose lo demás a la exportación. De esto se desprende principalmente la necesidad de los productores de mantener la calidad del producto destinado al mercado externo.

La elaboración del té negro comienza al marchitar los brotes, produciendo la ruptura de las células con maquinarias apropiadas, lo cual produce un jugo que reacciona con las enzimas propias de la especie. El proceso siguiente es la fermentación, en el cual es indispensable controlar la humedad y temperatura por un tiempo determinado, para conservar las características especiales del producto: aroma, color, intensidad, viveza, etc. En el proceso siguiente es necesario inactivar las enzimas y quitar el contenido de agua existente en el material procesado. El contenido de humedad del té afecta la calidad y durabilidad del producto.

Debido a la falta de practicidad que presenta el sistema actual de medición de temperatura, las empresas únicamente lo implementan en el proceso de secado. Puesto que para poder acceder a certificaciones buenas prácticas de manufactura (BPM) [3] se requiere obligatoriamente de un registro frecuente de la temperatura en dicha etapa de elaboración.

En la manufactura del té negro el proceso de fermentado es una etapa crítica ya que de no realizarse correctamente afecta a la calidad del lote, produciendo efectos irreversibles. Tales efectos cambiarán el aroma, color y sabor del producto final, elementos fácilmente identificables en una catación cotidiana. En el primer caso el té no llega a cocinarse y en el segundo se supera la temperatura recomendada. En empresas pequeña y mediana envergadura el monitoreo de temperatura y humedad se llevan a cabo de forma manual, personas idóneas toman un puñado de la materia prima (Fig. 1), y en base a su conocimiento empírico determinan el estado de las variables (temperatura-humedad).

A partir de la subjetividad del idóneo se realiza la toma de decisión que modifica las condiciones del proceso de fermentado afectando la calidad del lote que se está elaborando, como así también de los procesos previos y posteriores a él.

Las decisiones que se toman durante el proceso son diversas, como ejemplo se mencionan: la reclasificación de la materia prima, no permitir el ingreso al proceso de la misma por su baja calidad, la modificación de la velocidad de la cinta transportadora y de los ventiladores, tanto del proceso de enrolado como de fermentado, la modificación del estado del aspersor de agua del fermentado y por último la temperatura del horno del proceso de secado. Cabe resaltar que la operación incorrecta podría

acarrear desperdicios de energía, lo que impactaría negativamente en el costo de producción.



Fig. 1. Método para medir la humedad en el sólido de la hoja que se encuentra en el proceso de Fermentado.

Actualmente en la mayoría de las industrias se realiza el testado de forma manual (Fig. 1), por personas idóneas. Por ello la variable humedad del sólido suele arrojar valores inexactos.

La disponibilidad del agua en un alimento se podría medir analizando la movilidad molecular del alimento o estudiando la capacidad de difusión de los solutos y como se modifica la viscosidad en el microambiente al que está sometido dicho alimento. Ambos métodos no son viables en industrias de la región: el primer método requiere de equipos costosos de difracción y resonancia magnética, es decir por la aparatología necesaria; y el segundo método por su influencia no deseada en la estabilidad de los alimentos que se someten a tal medición.

Por lo que actualmente, se emplea el método tradicional para conocer la actividad de agua contenida en el alimento en momentos específicos y sin cumplir con el objetivo de poder brindar información útil al elaborador.

La dificultad viene dada porque el proceso de fermentado dura entre 40 minutos y 2 horas y el método tradicional para conocer la humedad en el sólido requiere de 12 horas aproximadamente.

Las pocas empresas que realizan dichos controles lo hacen tomando muestras del lecho de fermentado. Estas son aisladas herméticamente para conservar las mismas condiciones de humedad hasta que son recibidas en un laboratorio. En dicho lugar se procede al pesado de las muestras y se las introduce de 6 a 12 hs aproximadamente en una estufa a temperatura constante. Luego se vuelven a pesar y la diferencia en el peso es la cantidad de humedad en el sólido que contenían dichas muestras.

Contar con un sistema de monitoreo práctico y automatizado es un aspecto trascendente para mejorar la calidad del té que se produce en la región.

La utilización de WSN para aplicaciones industriales es de mucho interés en la actualidad. Se diferencia de su aplicación en las redes administrativas, dado que el entorno industrial es impredecible pero a la vez agresivo a la funcionalidad de las WSN, considerando las variaciones constantes en la temperatura, presión, humedad, presencia de equipos pesados, etc. [4].

El objetivo de este proyecto fue diseñar y construir una solución tecnológica de Internet de las Cosas en entornos industriales [5] que monitoree la humedad en el sólido de manera instantánea y remota, sin la necesidad de muestreos y análisis de laborato-

rios, ni especialistas, utilizando dispositivos diseñados específicamente para medir temperatura y humedad relativa.

2 Trabajos relacionados

En esta sección se presentan trabajos relacionados que se detallan a continuación.

En este estudio [6], el contenido de humedad del té Oolong se midió mediante la técnica de equilibrio de humedad relativa (HR). El equilibrio de humedad relativa y temperatura de los materiales y del té se midieron utilizando sensores destinados a tal fin. Los sensores se calibraron y se establecieron mediante ecuaciones para mejorar la precisión. El contenido de humedad se calculó utilizando un modelo de equilibrio de contenido de humedad. El error del contenido de humedad determinado con este método estuvo dentro de 0.5% w.b. a humedad <15% w.b. El análisis de incertidumbre reveló que el rendimiento del sensor de humedad tuvo un efecto significativo en la precisión de la determinación de la humedad.

En este trabajo [7], se investigó el comportamiento de secado de las hojas de té verde en un secador de gabinete de varias bandejas. Se desarrolló un modelo matemático para predecir el contenido de humedad y la temperatura de las hojas de té verde y también la humedad y la temperatura del aire de secado, en las bandejas de la secadora. Cada bandeja se consideraba como un lecho fijo de hojas de té. El modelo propuesto se resolvió, después de dividir la cama en una serie de capas delgadas, utilizando un método de diferencia finita y una técnica de prueba y error. Los contenidos de humedad de equilibrio y los valores de difusividad de humedad, usados en el modelo matemático, fueron estimados y comparados para el té verde, usado en este estudio. Las predicciones del modelo mostraron un buen acuerdo (ERM inferior al 5%) con los datos experimentales, obtenidos del secado de hojas de té verde en un secador doméstico de tres bandejas a 60 y 70 ° C. Se investigó el efecto de la velocidad del aire de secado, la temperatura y el número de hojas de té verde en cada bandeja sobre el comportamiento de secado del té verde en la secadora.

Este trabajo [8] es una continuación del trabajo [6]. Se estableció un generador de flujo dividido propio para calibrar dos tipos de sensores eléctricos de humedad. La humedad de referencia estándar se calculó a partir de la temperatura del punto de rocío y la temperatura del bulbo seco de aire medida por un monitor de espejo enfriado. Este generador de flujo dividido podría producir resultados consistentes de los resultados de medición de HR. La incertidumbre del estándar de referencia aumentó con los valores de HR. La incertidumbre combinada con las ecuaciones de calibración adecuadas varió de 0,82% a 1,45% HR para sensores de humedad resistivos y 0,63% a 1,4% para sensores de humedad capacitivos, respectivamente. Este generador de flujo dividido propio y el método de calibración son baratos, ahorran tiempo y son fáciles de usar. Por lo tanto, el enfoque propuesto se puede aplicar fácilmente en los laboratorios de investigación.

El presente trabajo se destaca de los anteriores por transformar un sistema tradicional de medición de temperatura y humedad del ambiente en una implementación basada en Wireless Sensor Network (WSN) capaz de calcular la humedad del sólido

que se está analizando de manera instantánea y remota, sin la necesidad de muestreos y análisis de laboratorios, ni especialistas, utilizando dispositivos diseñados para medir temperatura y humedad relativa. Además de ofrecer la funcionalidad de integrar esta red de sensores a un middleware para generar una interface de usuario amigable para la toma de decisiones.

3 Metodología

3.1 Plataforma de hardware utilizado

Como plataforma base para el proyecto se han utilizado equipos con un módulo principal iSense [9]. El hardware iSense se proporciona junto a un firmware operativo y de red modular, permitiendo la generación de aplicaciones pequeñas pero completas; proveyendo una base sólida para el desarrollo rápido de aplicaciones. Brinda una API C++ para el nodo hardware, funcionalidades de sistema operativo y una amplia variedad de protocolos de red.

El sistema de software iSense incluye un número variado de servicios y protocolos listos para usar, tales como ruteo, sincronización de tiempo y programación “en el aire”. Integra un procesador Jennic JN5139 con un sistema radial de 2,4 GHz compatible con normas IEEE 802.15.4, con ancho de banda de 250 kbit/s, 192kB de ROM, 96kB of RAM, así como una variada posibilidad para la utilización de periféricos analógicos y digitales. Como módulo en la tarea en planta industrial se ha utilizado el “Weather Sensor Module” de iSense [10] capaz de medir presión atmosférica, temperatura y humedad relativa, alimentándose de dos baterías AA. (Fig. 2).



Fig. 2. Weather Sensor Module de iSense

3.2 Herramientas de software utilizadas

El hardware iSense utilizado en la capa de infraestructura, proporciona un conjunto de herramientas de software que incluyen: Sistema operativo, bibliotecas y códigos fuentes desarrollados en lenguaje C++.

Este conjunto de herramientas provee un variado número de servicios y protocolos listos para usar, lo cual permite el desarrollo rápido de aplicaciones pequeñas pero complejas.

Entre las herramientas de software utilizadas se encuentran: herramientas de compilación (make, cmake, g++), compilador ba-elf (para micro controladores Jennic), plataforma de desarrollo Eclipse, firmware iSense (Biblioteca para desarrollo iSense), iShell (herramienta para análisis, programación y operación sobre nodos).

Se ha utilizado también una plataforma de solución middleware, desarrollado previamente en una investigación de [11].

3.3 Calibración de los sensores

A fin de asegurar a la planta industrial la calidad del servicio prestado por los sensores, y en un trabajo conjunto con el Programa "Yerba Mate" de la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales de Universidad Nacional de Misiones, se realizó la calibración de cada uno de los equipos a utilizar. La graduación se realizó sobre los valores obtenidos de temperatura y humedad relativa.

Para analizar la relación de ambas variables, en cada uno de los sensores, se introdujeron en microclimas con valores conocidos y controlados de temperatura y humedad, [12]. Donde luego se compararon los valores obtenidos con el establecido experimentalmente.

La dificultad mayor fue la de introducir a los sensores en ambientes con valores de humedad conocida; como es intuitivo pensar al estar en una habitación con un aire acondicionado encendido, dentro de un horno, dentro de una heladera o un congelador la humedad del ambiente cambiará, pero el problema es que su valor no será conocido.

Durante el calibrado de temperatura, los valores indicados por un termómetro de mercurio de laboratorio fueron comparados con los valores indicados por los nodos sensores, no existiendo indicativo de diferencias significativas entre ambos métodos.

En cuanto al calibrado de los nodos sensores referentes a la humedad relativa, se generaron tres microclimas utilizándose una estufa a 40°C constantes. Se introdujeron en los ambientes distintas sales, las que poseen la propiedad de fijar el porcentaje de humedad de los ambientes respectivos (Tabla 1).

Tabla 1. Porcentaje de humedad relativa según el tipo de sal utilizada a 40°C de temperatura

Sal	Humedad(%)
Cloruro de Litio	11,21
Cloruro de Magnesio	31,60
Cloruro de Cobalto	55,48
Nitrato de Sodio	71,00
Cloruro de Potasio	82,32

Como ejemplo indicamos aquí los resultados obtenidos de someter un nodo a tres microclimas y los valores obtenidos (Tabla 2).

Tabla 2. Calibrado de humedad relativa de los Sensores

Sal utilizada	Humedad (%)	
	Medido	Nominal
Cloruro de litio	15,3	11,2
Cloruro de cobalto	49,8	55,5
Cloruro de potasio	68,4	82,3

Luego de someter a los nodos a tres microclimas se obtuvieron 6 valores por cada nodo con los cuales mediante una interpolación lineal se determinó la función de calibración que coincide con una recta que realizará la corrección respectiva a los valores de humedad relativa.

De la interpolación de los valores medidos se ha determinado para el sensor 0x1ca1 que la función de calibración se condice con una recta con valores correspondientes a $-9,6094$ a la ordenada al origen y $1,3321$ de pendiente. A continuación, se despliegan las tres funciones que permitieron asegurar a la planta fabril que los valores que expone el sistema de monitoreo son fiables.

Una vez obtenidas las curvas de calibración se reprograman cada uno de los dispositivos dando utilidad a la característica principal de los nodos que es su capacidad de cómputo. Cuando el cliente reciba la información de la humedad será un valor calibrado por lógica. En el mismo momento en que se realiza la captura del dato se corrige este valor y luego se arma la trama que se enviará desde del nodo final al nodo concentrador de la red.

4 Arquitectura de la solución propuesta

Como se ha expuesto a lo largo del trabajo, el problema consiste en monitorear los valores del entorno del lecho de fermentado y conseguir un sistema que conociendo los valores relativos calcule la humedad de las hojas que están en uno de los procesos de la elaboración del té negro (Fig. 3).

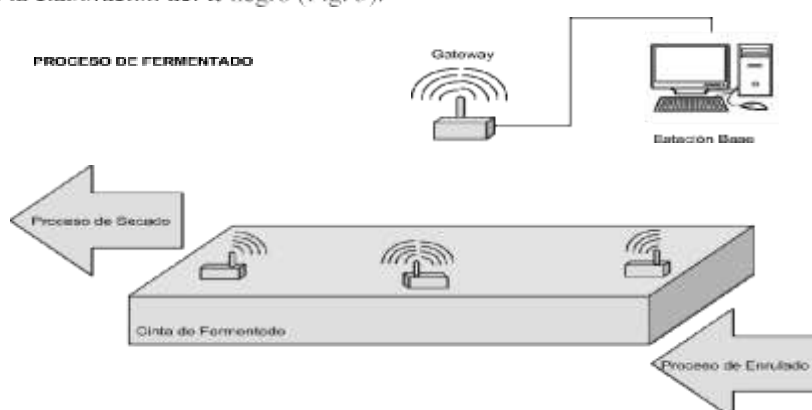


Fig. 3. Componentes del sistema de monitoreo en el entorno Industrial.

La arquitectura propuesta implica que los datos medidos de la WSN del ambiente industrial lleguen a un usuario final que puede estar en diversos lugares. Para conseguirlo existen tres capas: la primera es la red inalámbrica, la segunda es la estación base y por último las vistas del cliente (Fig. 4).

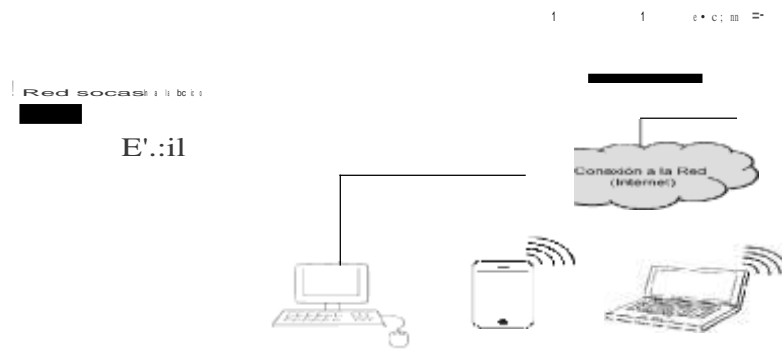


Fig. 4. Arquitectura en tres capas del sistema de monitoreo.

Como se puede observar en la Fig.4 los nodos se comunican con el software que se ejecuta en la estación base a través de la correspondiente puerta de enlace. Tratándose de una red con topología en estrella el Gateway tiene las características de nodo concentrador.

En la estación base se utiliza un middleware que será el responsable de capturar los datos de la WSN y escribirlos en una base de datos. Además, se desarrollará una vista para el usuario que consultará al middleware los valores obtenidos por la red de sensores.

En la primera capa de esta arquitectura se requirió la implementación de nodos finales y un nodo de la WSN sumidero. Para ambos se desarrollaron programas y mediante ellos los datos capturados pueden llegar a la segunda capa.

La programación de los nodos que denominamos finales logra su objetivo cuando las unidades medidas del entorno llegan hasta el nodo concentrador de la red. Para ello realizan un conjunto de tareas a saber: conocer al nodo concentrador de la red, identificar el momento en el cual deben realizar la medición del estado de las variables, armar un paquete de datos con las mediciones y enviar el paquete de datos al destino correcto.

En la segunda capa estación base se utilizó un middleware que proporciona un enlace entre dos aplicaciones independientes: la WSN de un lado y un software de visualización del otro. Además permite visualizar mediante un servicio web los valores requeridos sin tener que atender a las características específicas de las bases de datos.

El back end del middleware es el responsable de lanzar un aplicativo que está en 'espera activa' escuchando uno de los puertos USB de la estación base, la percepción que tiene del dispositivo conectado es la de un 'archivo de texto' siendo lecturas y escrituras las tareas que se pueden realizar, es así como este aplicativo recibe como una cadena de caracteres los paquetes de datos recibidos de las WSN la cual luego de

procesada es guardada en una base de datos. Estos paquetes recibidos de la red, pueden consultar en distintos formatos de datos interoperables como XML y Json.

La tercera capa de la arquitectura que es la vista del usuario que interactúa con el front end del middleware utilizando un navegador Web. Este último enviará una consulta al middleware solicitando el inicio de la comunicación, a partir de ese momento la aplicación del usuario podrá interactuar con el middleware y viceversa. Las solicitudes enviadas al middleware ocasionarán un procesamiento sobre los datos almacenados en la base de datos, abstrayendo a la vista de usuario por completo de cómo se recolectaron esos datos devolviendo generalmente una respuesta que el front end recibe y expone al usuario de una forma entendible para este.

5 Pruebas realizadas

Para la realización de pruebas se utilizaron cinco nodos sensores en total. Un único nodo conectado a la estación base con la función de puerta de enlace, recibiendo los datos de los otros cuatro sensores que medían temperatura y humedad. De los cuales, los tres primeros se encontraban directamente en el lecho. El cuarto o último nodo se lo expuso a la intemperie para tener una referencia de las condiciones fuera de la nave.

La ubicación de los nodos corresponde a las necesidades de control que se tienen en el proceso que se está evaluando. El primer punto de control fue ubicado a la salida del proceso de enulado, es decir a la entrada del proceso de fermentado (Fig. 5) para conocer las condiciones iniciales. De esta manera se pudo evaluar y modificar los procesos previos al fermentado, como ser: la recepción y clasificación de la materia prima, el enulado y el proceso de marchitado.



Fig. 5. Cinta transportadora al final del proceso de enulado y principio del proceso de fermentado.

El segundo nodo se ubicó exactamente en la mitad del proceso (Fig. 6) siendo éste el punto más importante pues en esta instancia aún se pueden modificar las variables de humedad y temperatura del lecho (activando o desactivando los aspersores de agua, aumentando o disminuyendo la velocidad de la cinta transportadora, aumentan-

do o disminuyendo el espesor de colchón de hojas o encendiendo y apagando los ventiladores).



Fig. 6. Cinta transportadora a la mitad del proceso de fermentado.

Por último se instaló un mote al final del proceso de fermentado (Fig. 7), que permite obtener la información necesaria para determinar la temperatura del horno en la próxima etapa denominada secado.



Fig. 7. Cinta transportadora al final del proceso de fermentado y al inicio del secado.

Además, se adicionó un sensor a mitad del lecho en contacto directo con la masa de té que está en el fermentado y que acompañó todo el recorrido de la cinta para determinar la temperatura en el sólido.

La ubicación exacta donde se colocó este sensor fue a cinco centímetros de la cinta transportadora con té por encima y por debajo; midiendo de esta forma la temperatura de la masa de té, ya que el equipo se encontraba en equilibrio con dicha masa. Cabe aclarar que no se tuvieron en cuenta los valores de humedad que éste identificaba por hallarse herméticamente protegido. Al momento que se realizó la prueba se alcanzó una temperatura ambiente exterior de 28°C a las 20:00hs.

Entre la tarde y la media noche de un día de verano, en Misiones Argentina existe un descenso en la temperatura. Esta es la razón para estudiar el comportamiento de la cinta de fermentado en dicho momento. Se la identifica como una franja horaria donde resulta difícil mantener constante los valores requeridos y en ocasiones es recomendable detener la elaboración, debido a que dicho descenso de temperatura afecta de manera negativa hasta convertir en inutilizable todo el lote de té.

Se pudo observar que a las 22:40 hs, antes de la instalación del sistema de monitoreo el té al tacto al principio del proceso estaba caliente con aspecto a falta de humedad. Sin embargo al momento de empezar a monitorear la cinta de fermentado la masa al tacto ya se percibía fría.

Las consecuencias negativas de la transición antes mencionada se ven reflejadas en la primera hora del monitoreo (Fig. 8 y Fig. 9) donde el proceso inicia con temperaturas que alcanzan los 33°C y el 80% de humedad. Sabiendo que deberían mantenerse valores de 27°C y 100% de humedad respectivamente.

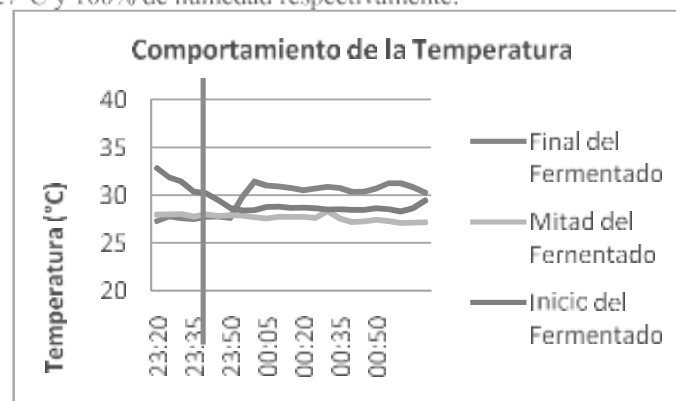


Fig. 8. Momento en que los nodos sensores detectaron valores óptimos de temperatura en la elaboración.

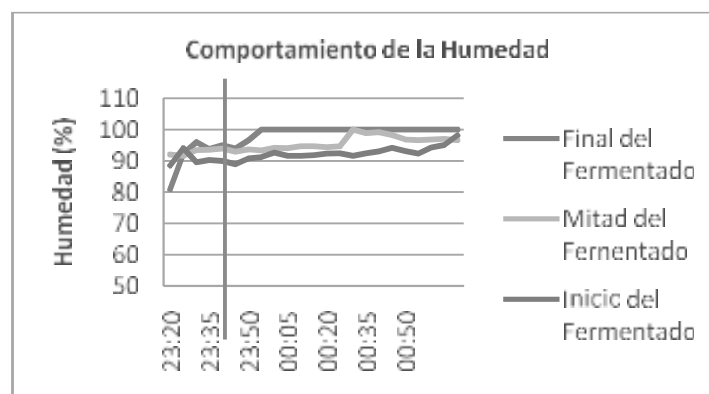


Fig. 9. Momento en que los nodos sensores detectaron valores óptimos de humedad en la elaboración.

En esta evaluación se pudo comprobar que el conocimiento del idóneo se corresponde con los valores óptimos detallados en las bibliografías (Fig. 10 y Fig. 11). Se capturó un momento en el cual las condiciones de elaboración eran buenas y el sistema de monitoreo certifica este hecho.

A las 23:55 se realizó el testado de la calidad del té que se estaba elaborando. El personal encargado toma un puñado de la masa que estaba al principio de la cinta de fermentado y al presionarlo se pudo observar que entre los dedos de su mano se filtraba líquido. Fue satisfactorio comprobar que el sistema de monitoreo en ese momento describía 28°C y 93% de humedad (Fig. 10 y Fig. 11). La cinta de fermentado continuó su recorrido hasta que el té evaluado alcanzó al segundo hito de control (Fig. 10 y Fig. 11), en este caso el sensor ubicado en la mitad de la cinta describió 27°C y 98% de humedad

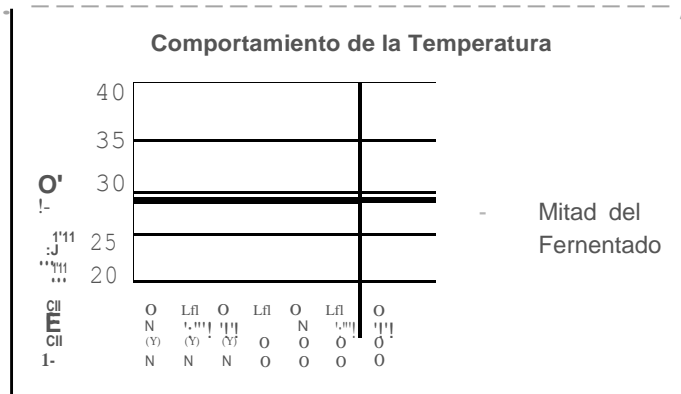


Fig. 10. Comportamiento de la temperatura en la mitad del lecho de fermentado. Elaboración propia.

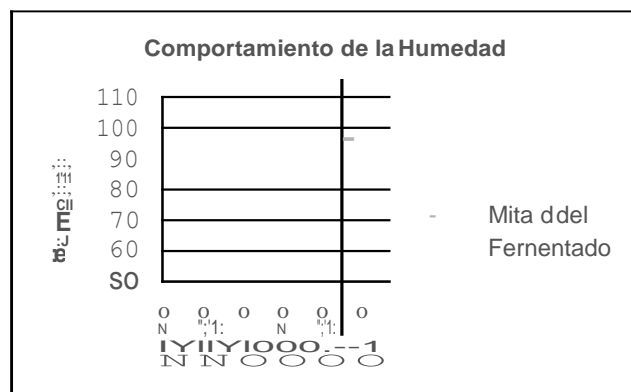


Fig. 11. Comportamiento de la humedad en la mitad del lecho de fermentado. Elaboración propia.

El tiempo del proceso de fermentado en esta prueba tuvo una duración de una hora. El té que ingresó a las 23:10 hs. con características no deseadas (por haber sido elabo-

rado con temperaturas que exceden lo recomendable) es el que está en el tercer hito de control a las 00:10hs. (Fig. 12) describiendo también valores no deseados en el final del proceso de fermentado.

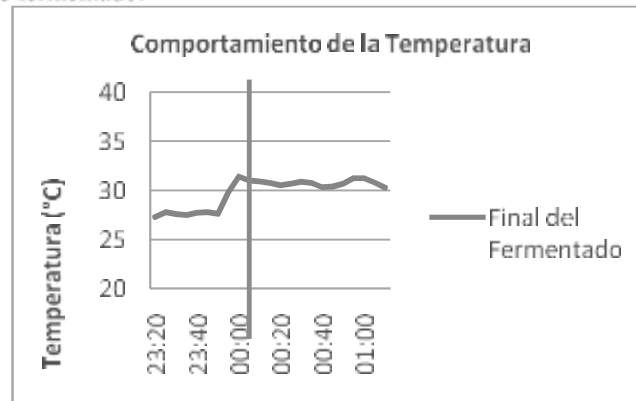


Fig. 12. Comportamiento de la temperatura en el final del lecho de fermentado.

Este conjunto del cual se hace referencia como de mala calidad es considerado de esta manera por haber sido elaborado con altas temperaturas, pero valores correctos de humedad en el fermentado (Fig. 13).

Por haber sido elaborado con valores de humedad altos acarrea que en el siguiente proceso “el secado” se eleve la temperatura del horno proporcionándole la característica de quemado a dicho conjunto. No es identificado como óptimo, debido a los valores de temperatura desviados y se puede comprobar su falta de calidad basado en la visual y el tacto del experto.

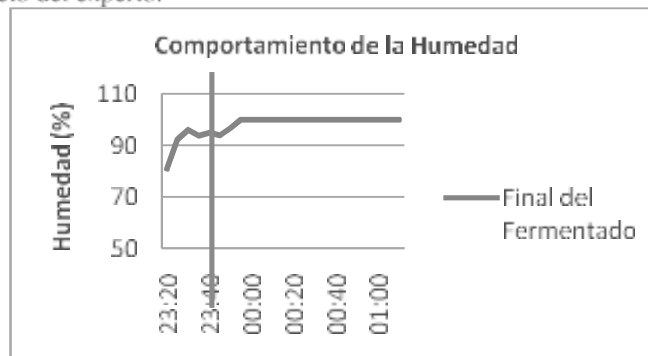


Fig. 13. Comportamiento de la humedad en el final del lecho de fermentado.

6 Conclusión

El prototipo construido se presentó en el contexto de una industria en la provincia de Misiones y resultó innovador y de gran apoyo a la toma de decisiones del personal que trabaja en pos de lograr la mejor calidad del producto elaborado.

La red de sensores inalámbricos en esta investigación resultó una potente herramienta en el monitoreo de ambientes fabriles.

Conocer la proporción de agua que poseen los alimentos en la actualidad es una tarea difícil, integrando saberes de varias ciencias como: la ingeniería en alimentos, la ingeniería química, la ingeniería en electrónica y la ingeniería en informática se logró desarrollar un prototipo capaz de exponer la humedad de la hoja que se encuentra en el proceso de fermentado para la elaboración del té negro.

Se puede decir que el prototipo reemplaza de manera eficiente al proceso anterior, que solamente les permitía conocer dicho valor varios días después de haber tomado las muestras, como también al operario que se basa en el tacto y la visual para determinar las condiciones de las hojas que pasan por el proceso.

Queda expuesto que el monitoreo de las variables críticas en el desarrollo de la industria tealera mejora en gran medida la calidad del té negro ya que permite mejorar las condiciones competitivas del sector elaborador en la provincia de Misiones.

La conexión remota nos permitió un monitoreo en tiempo real desde cualquier parte del mundo a través de internet, lo cual aparte de eficaz convierte a este prototipo en una solución eficiente.

Las WSN son una de las tecnologías fundamentales en la Internet de las cosas, y representa la expansión de Internet al mundo real, permitiendo acceder a indicadores que pueden ser consultados en línea.

La proyección sugerida para este trabajo es la construcción de un sistema de actuadores que proceda a activar o desactivar los aspersores de agua, aumentar o disminuir la velocidad de las cintas transportadoras, como así también el espesor de los colchones de hojas y por último encender o apagar los ventiladores de cada línea.

En el momento de escalar el prototipo se podría pensar en ampliar el proyecto a conocer el comportamiento termodinámico de la cinta transportadora, involucrando mayor cantidad de sensores, una decena o cientos. De esta manera se podría detectar sectores de la cinta transportadora que requieren de mayor mezcla o zonas frías que lote tras lote afectan la calidad de la elaboración. En ese momento sería interesante evolucionar en el método de comunicación de los nodos. Se propone trabajar sobre comunicaciones multisalto logrando que los nodos lleguen al nodo sink de manera inteligente.

Se propone la combinación de las WSN y de la tecnología RFID (Identificación por radio frecuencia), para lograr registrar medidas medioambientales, parámetros de calidad y seguridad alimentaria en un sistema de trazabilidad contundente. La tecnología RFID es considerada el sistema más efectivo para implantar un sistema real de trazabilidad.

Por último, se propone extender el monitoreo a los procesos previos del fermentado y unificar la información ya existente del proceso posterior. De esta manera se podría obtener un control de toda la elaboración.

7 Bibliografía

- [1] ANMAT - Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica. (2016) Código Alimentario Nacional. [Online]. http://alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos/Marco_Regulatorio/codigo_alimentario_argentino.php
- [2] Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. (2016, diciembre) Panorama de la Cadena del Té en la Argentina. [Online]. https://www.economia.gob.ar/peconomica/docs/SSPE_Cadena%20de%20Valor_Te.pdf
- [3] Argentina; Ministerio de Economía y Obras y Servicios Públicos; Secretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación; Subsecretaría de Alimentación, "Alimentos argentinos," 2017. [Online]. <http://www.alimentosargentinos.gov.ar>.
- [4] International Society for Automation. (2012) Industrial Wireless Sensor Networks:Trends and developments. [Online]. <http://tiny.cc/l3c3ww>
- [5] V.Güngör and Gerhard Hancke, *Industrial Wireless Sensor Networks: Applications, Protocols, and Standards.*, 1st ed.: CRC Press, 2017. ISBN 9781138076204.
- [6] Andrew Chen, Chen Hsuan-Yu, and Chen Chiachung, "Use of Temperature and Humidity Sensors to Determine Moisture Content of Oolong Tea," *Sensors - Open Access Journal*, vol. 14, no. ISSN 1424-8220, pp. 15593–15609, Agosto 2014. doi: <https://doi.org/10.3390/s140815593>.
- [7] Shomali Abbas and Abbasi Souraki Behrooz, "Experimental investigation and mathematical modeling of drying of green tea leaves in a multi-tray cabinet dryer.," *Heat and Mass Transfer Journal*, vol. ISSN 1432-1181, pp. 1-15, Junio 2019. doi: <https://doi.org/10.1007/s00231-019-02662-6>.
- [8] Chen Ling-Hsi and Chen Chiachung, "Uncertainly Analysis of Two Types of Humidity Sensors by a Humidity Generator with a Divided-Flow System.," *Sensors - Open Access Journal*, vol. 18, no. ISSN 1424-8220, p. 637, Febrero 2018. doi: <https://doi.org/10.3390/s18020637>.
- [9] Coalesenses GmbH. (2015) Bridging the gap between virtuality and reality. [Online]. <http://www.coalesenses.com>
- [10] coalesenses GmbH. (2013) iSense Weather Sensor Module. [Online]. <http://goo.gl/hoypi>
- [11] Diego Alberto Godoy, Eduardo Omar Sosa, and Rebeca Díaz Redondo, "Internet De Las Cosas: Middleware De Gestion De Datos De WSN," in *13ª Conferencia Ibero Americana WWW/Internet y Computación Aplicada*, Florianópolis, 2015.
- [12] Paola Quiñones, Diego Alberto Godoy, and Eduardo O. Sosa, "Redes Inalámbricas De Sensores: Una Experiencia En La Industria Del Té.," in *42 JAIIO*, Córdoba, Argentina., 2013, pp. 161-171. ISSN 1850-2776.