

## Redes Inalámbricas de Sensores: Una experiencia en la Industria del Té

Adriana P. Quiñones<sup>1,2</sup>, Diego A. Godoy<sup>1</sup>, Eduardo O. Sosa<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup>Comite Ejecutivo de Desarrollo e Innovación Tecnológica, Félix de Azara 1890 - 5to Piso, 3300 Posadas

<sup>3</sup>Secretaría de Investigación y Posgrado (SECIP). Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Misiones. Félix de Azara 1552, 3300 Posadas.

paola4280@gmail.com, diegodoy@citic.dachary.edu.ar,  
eososa@unam.edu.ar

### Resumen

En el proceso productivo del té existen parámetros que deben ser mantenidos bajo estricto control para así asegurar una calidad del producto acorde a la demanda internacional. Una de las principales industrias de té de la Provincia de Misiones ha propiciado la mejora de las condiciones y de la tecnología utilizada en la etapa del proceso productivo donde se lleva a cabo la fermentación del té a una temperatura entre 20°C y 30 °C por un tiempo determinado. Fuera de este rango de temperaturas el té no alcanza a presentar su aroma y color característico. En el presente trabajo se presenta una experiencia realizada en una empresa productora de Té negro de la provincia de Misiones interesada en utilizar las ventajas de contralor de las variables del proceso productivo utilizando una tecnología que es clave en Internet del Futuro; una red inalámbrica de sensores (WSN).

**Palabras Clave:** WSN, Red de Sensores Inalámbricos, Industria, monitoreo

## 1 Introducción

Existe una problemática en la industria del té, que resulta condicionante de la calidad del producto final. A lo largo del proceso productivo, en una de las etapas, el producto debe fermentar, bajo condiciones tales que la temperatura no supere los límites superior e inferior situados en 20°C y 30°C respectivamente. Para el caso que la temperatura fuera inferior, el té no alcanza a producir su aroma y color característico. Superando el límite superior el té pierde sus atributos de valor que lo caracterizan. Por ello el mantenimiento, control y corrección de los parámetros del proceso se presentan como elemento fundamental a la hora de asegurar la calidad del producto final en góndola.

Una de las principales industrias del té negro de la Provincia de Misiones se ha mostrado interesada en mejorar las condiciones y tecnología utilizada en el proceso

productivo, teniendo en cuenta que ha estado experimentado inconvenientes con los métodos actuales de determinación/control de la temperatura y la humedad del producto.

Actualmente los elementos sensores forman parte de una red cableada, la que adolece de la estabilidad funcional de un elemento de contralor que deviene en agregación de valor al producto. Los elementos utilizados en ésta red son de un tamaño considerable, requieren un proceso de instalación complejo, y su mantenimiento suele convertirse en una tarea problemática en temporada de producción. Ante ésta situación se plantea la evaluación de la utilización en la línea de producción de una red de sensores inalámbricos (WSN).

La propuesta que se presentado a la empresa fue aprobada por la misma en lo que se refiere a intervenir en la línea de producción. Además, el Comité Ejecutivo de Desarrollo e Innovación Tecnológica (CEDIT) de la Provincia de Misiones, haciéndose eco de la importancia de la tarea a desarrollar en lo que refiere a la extensión y transferencia de los ámbitos académicos a la industria, ha otorgado financiamiento en forma de una beca para avanzar en la consecución de los resultados pretendidos.

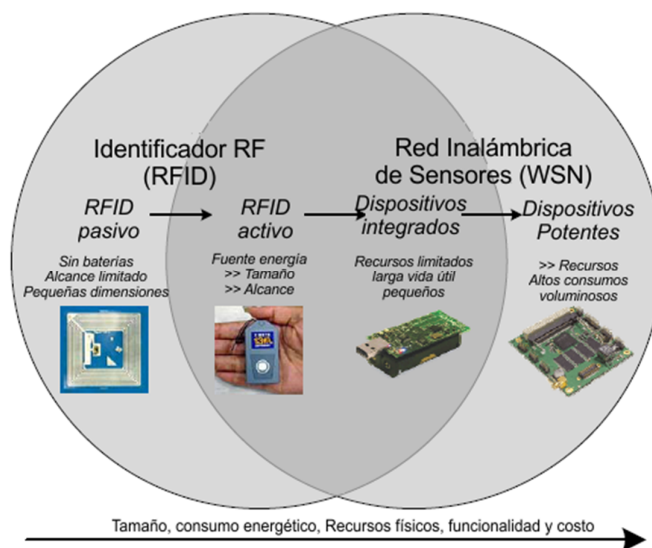
## 1.1 WSN

En diversos campos de la vida económica como la industria, la agricultura, la medicina, y otras actividades; el monitoreo y control de variables y parámetros de cálculo precisan ser medidos en tiempo real. Tradicionalmente la infraestructura de captura y transmisión de datos involucra a los conductores cableados [1]. Este tipo de instalaciones frente a otras tecnologías menos convencionales, presenta un componente de costo, devenido de la realización del cableado entre sensores. El costo de instalación de un simple nodo alcanza los US\$ 200 en un edificio de oficinas [2], o puede alcanzar valores como US\$ 150 por cada metro de instalación en entornos peligrosos, tales como son consideradas las industrias químicas o plantas generadoras de energía. En general, en este tipo de instalaciones el mantenimiento es bastante más difícil, y la escalabilidad bastante pobre.

La computación ubicua tiene que ver, y está íntimamente relacionada, con la evolución de los dispositivos electrónicos, que se materializa a través de la miniaturización de los dispositivos y la mayor sociabilización de los contenidos en red. Se encuadra en este dominio a un gran número de tecnologías y aplicaciones, desde dispositivos móviles utilizados diariamente, artefactos “inteligentes” para propósitos especiales (hornos, heladeras, etc.) y los juegos domiciliarios en red. La computación ubicua es entendida hoy como la integración de la informática en el entorno de la persona, de forma que los ordenadores no se perciban como objetos diferenciados [3], [4].

Cuando el objetivo de una acción es obtener información válida de algún entorno con el cual se interactúa, la mayoría de las veces es prácticamente imposible establecer vínculos fijos permanentes. Es en estos escenarios que se impone la aplicación de una nueva tecnología, basada en un nuevo paradigma para los sistemas de cómputo: las redes de sensores inalámbricos. La diferencia paradigmática se da en cuanto a la diferenciación establecida entre las redes nodocéntricas tradicionales como las conocidas hasta hoy; y las datacéntricas.

Por similitud operativa, la tecnología de identificación por radio frecuencia (RFID), suele superponer sus prestaciones a las WSN (Ilustración 1).



**Ilustración 1. Intersección de las tecnologías de RFID y WSN**

La aplicación de éste tipo de redes es sumamente diversa, yendo desde pequeñas redes estáticas que dependen de la disponibilidad de energía para su desenvolvimiento adecuado; a redes a gran escala con gran dinámica y mucha movilidad [5], cuya tecnología permite la operación de cada nodo de forma autónoma, sin depender de infraestructura alguna. Estos últimos son parte de aquellos objetos cooperantes, que residiendo en el dominio de la computación ubicua; permiten desarrollar una gran variedad de aplicaciones prácticas. Por definición y aplicación las WSN son redes auto-configurables de pequeños nodos desplegados en cantidades suficientes de tal manera de interactuar con el mundo.

Al proporcionar comunicaciones inalámbricas bidireccionales seguras y fiables, las WSN permiten soluciones de automatización y control que no son factibles en sistemas tradicionales para mejorar la producción, la eficiencia operativa, la seguridad y otros parámetros empresarios.

La utilización de WSN para aplicaciones industriales es de mucho interés en la actualidad, a diferencia de su aplicación en las redes administrativas, dado que el entorno industrial es impredecible y agresivo a la funcionalidad de las WSN, considerando las variaciones impredecibles en la temperatura, presión, humedad, presencia de equipos pesados, etc. [6].

## 1.2 Té

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 *Cameilia sinensis* L. Según el código alimentario Nacional [7], el té destinado a la preparación de infusiones podrá ser: 1. Té o Té negro, 2. Té verde, 3. Té tipo Oolong, y 4. Té rojo. El presente trabajo tiene relación directa con la producción de té negro, que corresponde al producto obtenido mediante marchitado, enlulado, fermentado y secado de las yemas, hojas jóvenes, pecíolos y tallos tiernos

La zona productora de té en nuestro país, comprende a las provincias de Misiones con el 95,2 % de la producción y el Noreste de Corrientes con el restante 4,8%. Estas dos zonas son las que poseen las condiciones agroecológicas específicas para la producción [8]. Los productores son alrededor de 6.000 y la superficie cultivada es de cerca de 42.400 has. En la tabla siguiente se muestra Desarrollo de la Cadena de producción en volumen, de donde se infiere un consumo aparente de Té seco de 0,12 Kg/hab/año.

**Tabla 1. Desarrollo Cadena productiva del Té**

	Toneladas
Producción Primaria	341.373
Producción Industrial (Té seco)	81.279,3
Importaciones	277,8
Exportaciones	76.678,6
Distribución	5.108,6

El total de la producción de té seco es producido por sesenta establecimientos industriales de las zonas indicadas anteriormente, debiéndose considerar que solamente el 5% del indicado es consumido en el mercado interno. Esto último indica la necesidad de los productores de mantener la calidad del producto, que influye directamente en la porción de mercado externo al cual se provee el té negro.

## 2 Proceso productivo del Té Negro

En las plantaciones se colecta el té mediante cosechadoras mecánicas el brote terminal más una serie de hojas. Cada tallo termina en una yema que se convierte en brote joven cubierto de una ligera pelusa (yema terminal o pekoe). Debajo, en el mismo tallo, se encuentran varias hojas que ya han llegado a la madurez, siendo la más vieja la más alejada de la yema. En el proceso de marchitado se expone el material al aire, en condiciones naturales o controlada, buscando la deshidratación parcial de los brotes y hojas, logrando con ello la maleabilidad del material. Posteriormente se procede a la ruptura de las células de los brotes y hojas de té por un proceso mecánico permitiendo así el contacto entre enzimas y sustrato, lo cual da comienzo oxidación enzimática.

tica de las catequinas (fermentado). Éste proceso es detenido por inactivación de las enzimas durante el secado, que se realiza para conservar la calidad del producto.

El fermentado es la etapa crítica, ya que es allí donde se asegura la calidad final del producto, evitando que sufra efectos irreversibles que no pueden ser subsanados en las siguientes etapas. Resultado de ello se refleja en valores alterados de los elementos fácilmente identificables por medio del catado cotidiano. En las PYMEs el monitoreo de temperatura y humedad se llevan a cabo de forma manual, donde personas idóneas toman un puñado de la materia prima, y en base a su conocimiento empírico determinan el estado de las variables (temperatura-humedad).

El contar con un sistema de monitoreo práctico y automatizado de temperatura es uno de los puntos neurálgicos para asegurar la calidad del té que se produce en la región.

## **2.1 Sensores en la industria del Té**

La industria productora de té negro en la Provincia de Misiones donde se desarrollaron las diferentes tareas para el presente trabajo, utiliza dispositivos sensores que envían la información de la temperatura desde el sitio donde se encuentran instalados hasta el almacenador de datos, por medio de una red cableada. Esta infraestructura de red en las fábricas presenta puntos débiles, normalmente convertidos en punto de fallas, a saber:

- La instalación es compleja, pues precisa de una infraestructura fija, que en la necesidad de reubicar los espacios requerirá lidiar con mampostería, electricidad y demás.
- Las actividades que se realizan dentro de las fábricas vuelven a las líneas de cableado vulnerables al daño casual y deterioro prematuro, debido a la utilización de maquinarias, a la altura de los elementos que se trasladan de un lugar a otro y a la movilidad continua de los operarios.
- Las distancias existentes entre las naves industriales y su distribución estérica.
- La temperatura y humedad presentes en el ambiente, originando la necesidad de utilizar cables con mallados especiales.

Aun cumpliendo con las normas para el tendido de redes, los cables se ven indefectiblemente sometidos a esfuerzos de estiramiento o elongación, rozamiento, aplastamiento, corte y torsión.

Debido a la falta de practicidad que presenta el sistema disponible, y ante la necesidad de poder acceder a certificaciones BPM (Buenas Prácticas de Manufactura), las empresas implementan la medición de temperaturas por el método cableado, solamente en la etapa de secado, puesto que el registro frecuente de la temperatura en dicha etapa de elaboración es una condición obligatoria fijada en las BPM.

## **2.2 Plataforma utilizada**

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. (Ilustración 2).

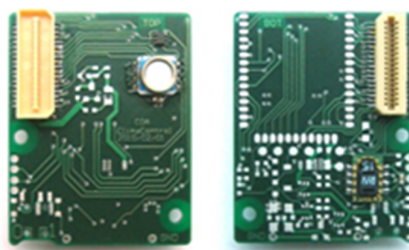


Ilustración 2. Weather Sensor Module de iSense

### 2.3 Arquitectura propuesta

La arquitectura de red desplegada en la planta industrial se observa en la Ilustración 3, donde se observa que uno de los nodos sensores interconectados cumple la tarea de nodo sumidero (sink).

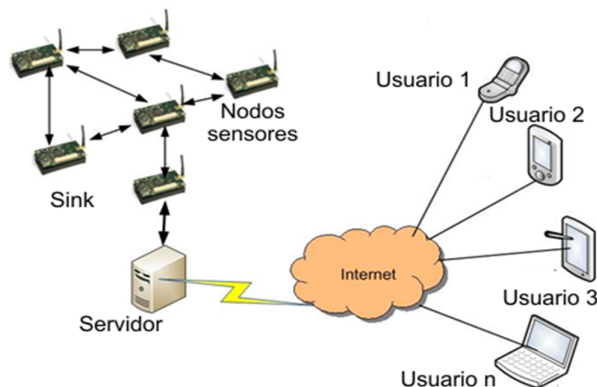


Ilustración 3 . Arquitectura de la implementación física

Estos equipos se auto-organizan formando una WSN, la que a partir de su instalación, genera datos en forma continua, enviando los paquetes correspondientes por la WSN al sink.

El servidor instalado respalda todas las capturas realizadas por los nodos sin necesidad de establecer vínculos cableados con los sensores. Con ésta información, y con el desarrollo de aplicaciones correspondientes para análisis, cálculos y visualización; se controla la etapa del proceso bajo estudio. El servidor difunde esta información ya procesada localmente, como también a usuarios remotos; el tercer nivel de la arquitectura, quienes de esa manera pueden acceder a la información generada.

#### 2.4 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 calibración se realizó tanto en lo referido a temperatura como también a humedad relativa.

Para determinar estas correlaciones a cada uno de los sensores se los introdujo en microclimas con valores conocidos y controlados de temperatura y humedad, donde se compararon los valores obtenidos con el establecido experimentalmente.

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 estufas a 40°C. Se introdujeron en los ambientes distintas sales, las que poseen la propiedad de fijar el porcentaje de humedad de los ambientes respectivos (Tabla 2).

Tabla 2. Humedad a 40°C según sal utilizada

<i>Sal</i>	<i>Humedad (%)</i>	<i>Temperatura (°C)</i>
Cloruro de Litio	11,21	40
Cloruro de Magnesio	31,60	40
Cloruro de Cobalto	55,48	40
Nitrato de Sodio	71,00	40
Cloruro de Potasio	82,32	40

Como ejemplo indicamos aquí los resultados obtenidos de someter un nodo a tres microclimas y los valores obtenidos (Tabla 3).

Tabla 3. Calibrado de Sensores

<i>Sal utilizada</i>	<i>Valores en %</i>	
	<i>Medido</i>	<i>Nominal</i>
Cloruro de litio	15,3	11,2
Cloruro de cobalto	49,8	55,5
Cloruro de potasio	68,4	82,3

De la correlación de los valores medido se ha determinado 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.

### 3 Pruebas en Planta Fabril

El proceso de fermentado del té negro, se realiza a medida que el material avanza por medio de una cinta transportadora de 1 m de ancho y 6 metros de largo aproximadamente, formando el té un colchón de altura variable. Para el momento de nuestra intervención la altura del lecho era 0,10 m.

El té proveniente del proceso de enulado, posee un color verde claro, alto contenido de humedad y sin aroma alguno. Al recorrer la cinta donde se produce el fermentado las cualidades del té se ven modificadas radicalmente, finalizando el proceso como un producto color cobrizo debido al proceso de oxidación experimentado. La fermentación se finaliza con la entrada al secadero, donde se asegura que se mantenga a lo largo de los procesos siguientes la calidad final del té.

A lo largo de la cinta transportadora se establecieron tres puntos de medición, distribuidos regularmente (entrada, centro, salida). Los sensores se ubicaron a 1 cm sobre de la cama de té, siendo el módulo sensor de temperatura y humedad el más próximo a la superficie de material transportado. Un cuarto nodo, aislado debidamente del material húmedo por medio de una bolsa de plástico transparente con sistema adecuado de cierre, se colocó en la línea media del colchón de té (0,05 m). Al moverse en forma conjunta en el seno de material, se pretende determinar la temperatura del té a lo largo del proceso. De esta manera se ha podido determinar la diferencia experimentalmente medida en temperaturas en el lecho de té en fermentación (que avanza a lo largo del proceso con el lecho móvil) y la temperatura ambiente medida por los sensores suspendidos sobre el mismo

### 4 Resultados Obtenidos

La Ilustración 4 muestra las temperaturas medidas por el nodo móvil (id: 1cd8) en el centro del colchón de té en la etapa del fermentado, habiéndose establecido la frecuencia de monitoreo en 1 segundo. Como puede apreciarse, las medidas alcanzan solamente al primer tercio de la cinta, debido que en ese punto existe un mezclado del material de manera mecánica que podría dañar el equipo utilizado.



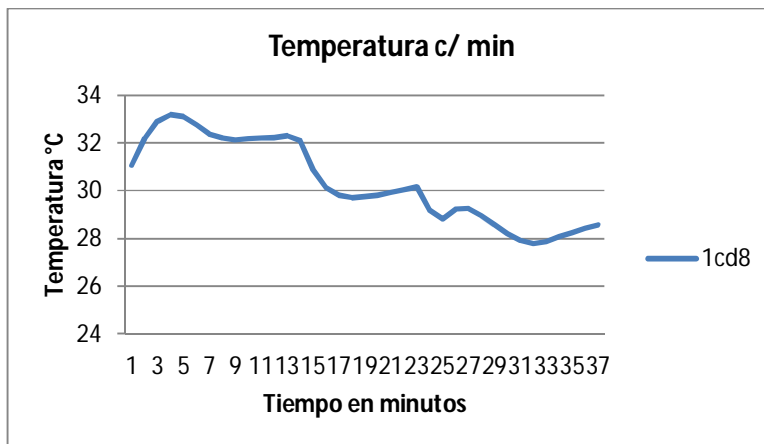


Ilustración 4 . Temperaturas determinadas por nodo móvil

Las ilustraciones 5 y 6 muestran las temperaturas y humedades relativas determinadas por los sensores fijos, donde puede observarse la acción de la temperatura ambiente en la zona de proceso, ya que al ser galpones abiertos, se reflejan en las determinaciones realizadas.

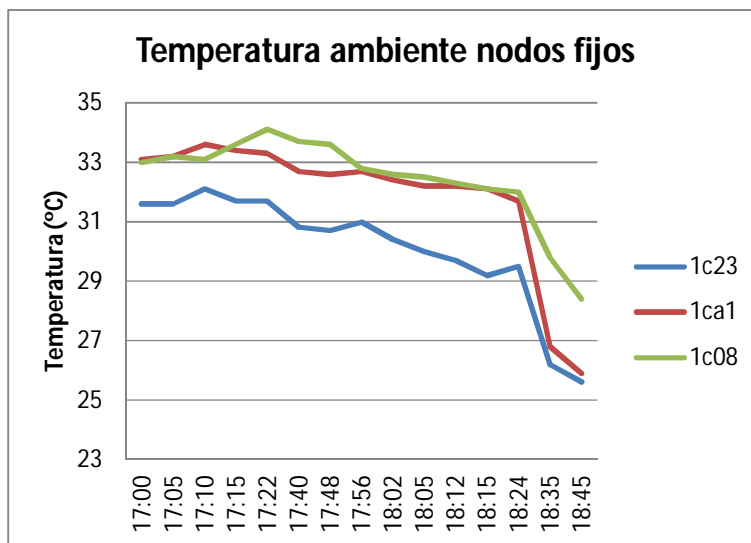


Ilustración 5. Temperaturas determinadas por los nodos fijos

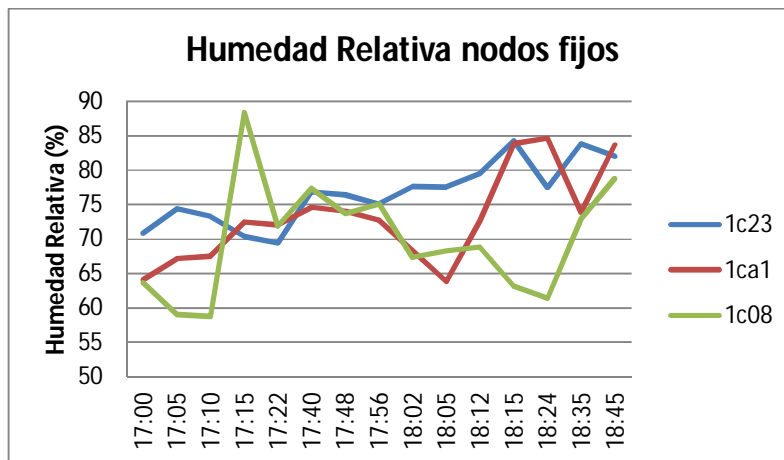


Ilustración 6 . Humedad determinada por nodos fijos

## 5 Conclusiones y Trabajos Futuros

El control de la temperatura y la humedad constituye una actividad que define en gran medida el éxito o fracaso de los lotes de té que se procesan en los establecimientos elaboradores.

Es así que el hecho de controlar los valores de temperaturas y humedad en el menor tiempo posible y con la mayor precisión, y así poder administrar una serie de acciones sobre el proceso, con la mirada puesta en el objetivo principal de las empresas productoras de té negro, basadas en obtener la mejor calidad posible con el menor costo por cada lote de té procesado.

En base a los resultados obtenidos hemos validado a la tecnología WSN como herramienta capaz de mejorar la productividad y la calidad del producto controlando la temperatura y humedad en el proceso de manufactura del té negro.

Se ha observado un excelente tiempo de respuesta en la determinación de la temperatura, con precisión espacial y temporal de la masa de té en proceso fermentativo, lo cual permite acciones correctivas y/o preventivas asegurando la calidad del material producido. El sistema en estos casos actúa de manera muy eficiente.

En cuanto a la humedad determinada, experimenta un rol poco significativo, dado que la limitante del proceso es la temperatura.

En trabajos futuros debería avanzarse en establecer un nodo que sea capaz de soportar las acciones mecánicas tendientes a mezclar el fermentado, para así obtener una imagen completa del proceso.

## 6 Agradecimientos

Al programa “Yerba Mate” de la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales de la Universidad Nacional de Misiones, en la persona el Dr. Miguel E. Schmalko; por el constante apoyo en el desarrollo de las tareas relacionadas con las operaciones unitarias y procesos básicos involucrados en las etapas del proceso productivo considerado en este proyecto.

## 7 Bibliografía

- [1] R. Wang, «The design of temperature and humidity control system in multi incubators based on single-chip microcomputer,» de *2nd International Conference on Artificial Intelligence, Management Science and Electronic Commerce (AIMSEC)*, 2011.
- [2] J. Rabaey, M. Ammer, J. da Silva, D. Pattel y S. Raundy, «PicoRadio supports ad hoc ultra-low power wireless networking,» *Computer*, vol. 33, pp. 42-48, Julio 2000.
- [3] M. Weiser, «The computer for the 21st century,» vol. 265, pp. 66-75, Septiembre 1991.
- [4] S. Mahadev, «Pervasive computing: Vision and challenges,» *IEEE Personal Communications*, vol. 8, Agosto 2001.
- [5] E. Sosa, «Tesis Doctoral: Contribuciones al Establecimiento de una Red Global de Sensores Inalambricos Interconectados,» Universidad de La Plata, 2011.
- [6] International Society for Automation, «Industrial Wireless Sensor Networks:Trends and developments,» Mareca Hatler, 2012. [En línea]. Available: <http://tiny.cc/13c3ww>.
- [7] ANMAT, «Código Alimentario Nacional,» [En línea]. Available: <http://goo.gl/RbCII>.
- [8] Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, «Panorama de la Cadena del Té en la Argentina,» Patricia Parra, 2012. [En línea]. Available: <http://goo.gl/95UcJ>.
- [9] «Bridging the gap between virtuality and reality,» coalesenses GmbH, 2010. [En línea]. [Último acceso: 02 Septiembre 2010].
- [10] coalesenses GmbH , «iSense Weather Sensor Module,» 2013. [En línea]. Available: <http://goo.gl/hoypi>.