

# Medidor de amoniaco para uso en el sector agropecuario

Gilberto Mesa-Mena<sup>1\*</sup>, Georgina Michelena-Alvarez<sup>1</sup>, Daniel Borkosky<sup>2</sup>

1. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), Vía Blanca, No. 804, esq. a Carretera Central, San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.

\*[gilberto.mesa@icidca.azcuba.cu](mailto:gilberto.mesa@icidca.azcuba.cu)

2. Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología (FACET), Universidad Nacional de Tucumán (UNT), Avenida Independencia 1800, 4000 San Miguel de Tucumán, Argentina.

## RESUMEN

En busca de la seguridad alimentaria con sostenibilidad, se han acelerado las investigaciones que conduzcan hacia bioproductos agrícolas más eficientes y selectivos que, a su vez, sean toxicológica y ambientalmente más seguros. En este trabajo se resume el resultado obtenido con Lebame (un bioproducto a base de microorganismos eficientes), empleado para la reducción de malos olores en la cría de aves y, también, de un equipo medidor de amoniaco desarrollado con el propósito de probar la efectividad en la aplicación del Lebame. Se describe la construcción del equipo como una aplicación de Arduino y el algoritmo utilizado para lograr la indicación de la concentración de amoniaco en PPM.

**Palabras clave:** Arduino, detección de amoniaco, microorganismos eficientes.

## ABSTRACT

In the search for food safety with sustainability, research has been accelerated toward more efficient and selective agricultural bioproducts which are toxicologically and environmentally safe too. This work summarizes the result obtained with Lebame (a bioproduct based on efficient microorganisms) used to reduce bad odors in poultry farming and also about an ammonia measuring equipment developed with the purpose of testing the effectiveness in Lebame application. The construction of the equipment as an Arduino application and the algorithm used to achieve the indication of the ammonia concentration in PPM is described.

**Key words:** Arduino, ammonia detection, efficient microorganisms.

## INTRODUCCIÓN

El uso indiscriminado de productos químicos en la agricultura y en la producción animal, con el fin de combatir enfermedades e incrementar los rendimientos, provoca una considerable carga tóxica para los cultivos, el medioambiente y el hombre. Los microorganismos eficientes (EM) son un bioproducto basado en un cultivo mixto de microorganismos aislados que pueden aplicarse como inoculantes para incrementar la calidad de los suelos, el rendimiento y la calidad de las cosechas (1).

La aplicación de estos productos en la avicultura resulta de gran interés, se suministra tanto a las camas como al agua de beber de las aves para disminuir los malos olores, incrementar el peso de los pollos de engorde y aumentar la producción de huevos en las gallinas ponedoras (2).

En los criaderos de aves y de otros animales, se presentan dificultades con el manejo de las excretas que, como consecuencia de su fermentación natural, producen malos olores y plagas de

insectos. Aunque el efecto del Lebame es apreciable por simple observación, es necesario demostrar el resultado, cuantificando la disminución en la emisión de amoniaco.

En la etapa de experimentación hubo dificultades para medir la concentración ambiental de amoniaco y se optó por la alternativa de construir un medidor de amoniaco, a partir del desarrollo de una aplicación con Arduino.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El componente fundamental del medidor de amoniaco es Arduino. Se trata de una plataforma de hardware y software libre que surgió en Italia y se extendió por el mundo (3). Dispone de una amplia comunidad enlazada por Internet, donde se publican, en detalle, las experiencias de muchas de las aplicaciones que logran los usuarios. El elemento central para el desarrollo de las aplicaciones es una tarjeta de circuito impreso en la que está montado un circuito integrado, denominado microcontrolador. El microcontrolador es propiamente una microcomputadora, que funciona de acuerdo con el programa que se grabe en su memoria interna y que dispone de varios pines, utilizados como líneas para entrada y/o salida de señales (algunas de tipo analógica y otras digitales). Las tarjetas Arduino poseen interfaz para la comunicación con otros dispositivos (interfaz serie, USB, Wi-Fi).

En el mercado se ofertan diferentes tipos de tarjetas, con variedad de microcontroladores, que brindan disímiles prestaciones y se caracterizan por su bajo precio de venta. Su programación se facilita por disponer de un entorno de desarrollo y mucha información en Internet. Los proyectos que pueden realizarse con Arduino son múltiples pues dependen, fundamentalmente, de la imaginación, habilidad y dedicación de quien los utiliza (4).

Para la construcción del equipo, se partió de un Kit con los componentes electrónicos requeridos (una placa Arduino UNO, un dispositivo sensor de gas y una pantalla de visualización de cristal líquido).

Las características de Arduino tipo UNO son:

- Microcontrolador AT mega 328.
- Frecuencia de reloj 16 MHz.
- Voltaje de entrada 7-12 V.
- Voltaje de operación 5 V.
- 14 pines digitales de I/O (con 6 salidas pseudoanalógicas por PWM).
- 6 entradas analógicas (10 bits de resolución).
- 32 kbyte de memoria flash (2 kbyte para el bootloader).
- 1 kbyte de memoria RAM.
- 512 byte de EEPROM.
- Interfaz de programación USB.

El montaje mecánico se realizó en una caja plástica, que fue perforada convenientemente para su adaptación. En ella se montó e interconectó la tarjeta Arduino, la pantalla de visualización, el sensor de gas y los otros componentes electrónicos requeridos. La figura 1 muestra el montaje del equipo.

El sensor de gas (MQ-137) es un componente electrónico utilizado en los equipos que se fabrican para el control de la calidad del aire, en fábricas o residencias, adecuado para la detección de amoniaco. Se caracteriza por su respuesta rápida, alta sensibilidad, estabilidad, larga duración y simplicidad del circuito requerido para su manipulación. En la figura 2 se muestra un esquema del equipo, en el que se aprecia la conexión eléctrica del sensor.

El sensor de gas tiene un filamento entre los terminales *H*, al que se le hace circular una corriente eléctrica constante, que produce calentamiento estable. Con el filamento caliente, la resis-

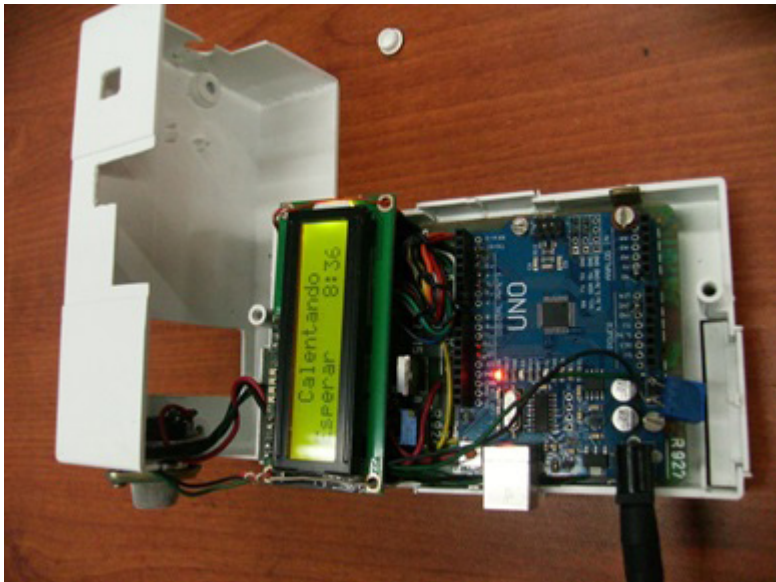


Figura 1. Montaje del medidor de concentración de amoníaco.

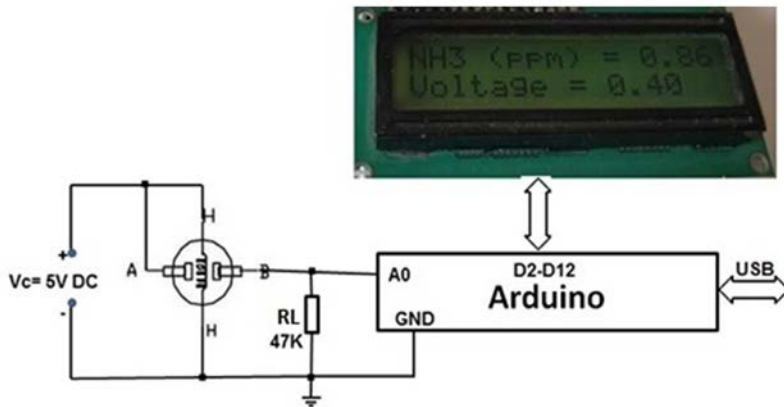


Figura 2. Circuito electrónico del medidor de concentración de amoníaco.

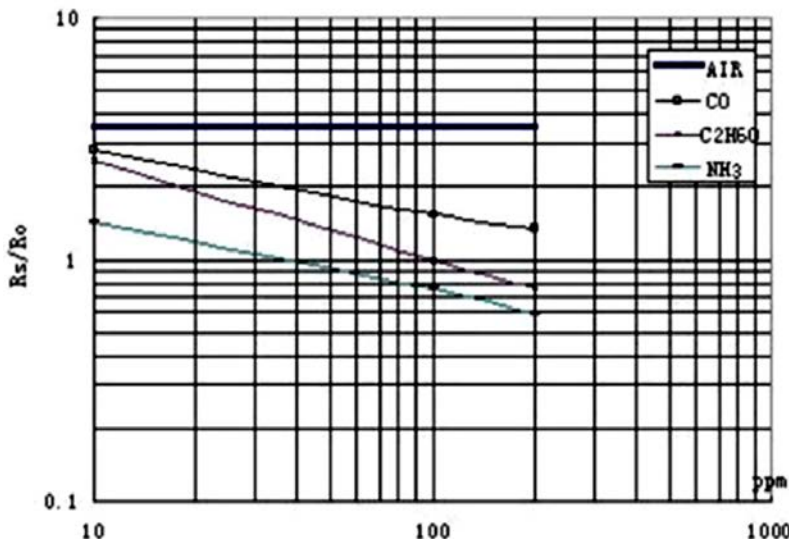


Figura 3. Características de sensibilidad del sensor MQ-137, en presencia de algunos gases.

tencia eléctrica entre los terminales A y B ( $R_s$ ) variará su valor, en dependencia del ambiente a que esté expuesto el sensor. La resistencia  $R_L$  tiene un valor fijo y la caída de voltaje que se produce en ella dependerá de la corriente que circule. Como se puede apreciar en la figura 2, si la fuente de alimentación tiene un voltaje fijo ( $V_c = 5$  Volts), y  $R_L$  también es fija ( $47 \text{ k}\Omega$ ), el valor de la corriente que circula por el circuito dependerá solamente de la resistencia  $R_s$ , que variará con la concentración del gas a que se expone y así, proporcionalmente, variará el voltaje en  $R_L$ . Ese valor de voltaje ( $V_{RL}$ ) reflejará la concentración del gas y será la variable que se medirá con Arduino. Sin embargo, para lograr que el equipo indique la concentración de amoníaco en partes por millón (PPM), es necesario recurrir a los datos técnicos que brinda el fabricante del sensor de gas y al algoritmo matemático que se describirá a continuación (5).

En la figura 3 se muestra la respuesta ( $R_s/R_o$ ) del sensor MQ-137, en función de la concentración PPM de algunos gases, donde  $R_o$  es la resistencia eléctrica del sensor en aire limpio y  $R_s$  es la resistencia del sensor en distintas concentraciones de los gases. Se utilizará la curva correspondiente al  $\text{NH}_3$ , para medir su concentración. Las características que se muestran, son para las condiciones: temperatura=  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , humedad=  $65 \%$ , concentración de  $\text{O}_2 = 21 \%$  y  $R_L = 47 \text{ k}\Omega$ .

Para determinar la concentración en PPM del  $\text{NH}_3$  es necesario tener el valor de la relación  $R_s/R_o$  correspondiente a la medición realizada y esa será la primera tarea. Considerando el circuito de la figura 2 y, según la ley de Ohm (6), el voltaje en  $R_L$  estará dado por la ecuación:

$$V_{RL} = V_c / (R_s + R_L) \times R_L$$

Si se sabe que  $V_c$  y  $R_L$  son constantes y se despeja la resistencia del sensor ( $R_s$ ) en función de  $V_{RL}$ , la ecuación quedará expresada de la forma:

$$R_s = (V_c/V_{RL} - 1) \times R_L$$

Para obtener el valor de  $R_s$ , se elaboró un programa que permitiera medir el valor de  $V_{RL}$  a través de la entrada A0 de Arduino. La entrada A0 es una de las diseñadas en Arduino para medir variables analógicas (como son los voltajes), pero la medición no es de forma directa. En realidad, el microcontrolador de Arduino es un dispositivo digital y, como todas las computadoras digitales solo procesan unos y ceros, para medir una variable analógica tiene que auxiliarse de un conversor análogo/digital. En el momento de la lectura, el voltaje se convertirá en un código digital equivalente a su valor (en este caso binario de 10 bits). A la entrada A0 llegará un voltaje que puede estar entre 0 y 5 Volts y este se convertirá en un valor numérico proporcional (que será entre 0 y 1023). Por lo tanto, para obtener el valor instantáneo de  $V_{RL}$ , el programa en Arduino debe realizar una operación matemática que convierta el código digital obtenido de la lectura, en el valor real de voltaje y eso se logra con la ecuación:

$$V_{RL} = \text{Valor leído} \times (5.0 / 1023.0)$$

Para determinar el valor de  $R_o$  se tuvo en cuenta la ventaja de que, en las condiciones de aire limpio, se cumple que  $R_s/R_o$  es constante con valor de 3.6 (figura 3). Luego de cargar el programa en Arduino, se colocó el equipo en un local con las condiciones requeridas, durante más de 48 horas (que es el tiempo recomendado para lograr la máxima estabilidad) y se realizaron lecturas consecutivas del valor de  $V_{RL}$  en aire limpio. Con ese valor de  $V_{RL}$  se calculó  $R_s$ , a partir de la ecuación encontrada anteriormente para ello y, de ahí, se obtuvo  $R_o$  por la relación  $R_s/3.6$ , que resultó ser 13 k $\Omega$  (para ese específico sensor). Ese valor de  $R_o$  se utilizará en los cálculos de la concentración PPM de amoníaco en todas las mediciones que se realicen con este equipo.

El proceso para calcular la concentración de amoníaco, en cualquier ambiente, consistirá en: medir  $V_{RL}$  con Arduino, calcular el valor de  $R_s$  en ese instante y, como se conoce  $R_o$ , se dispondrá del valor de  $R_s/R_o$ , necesario para encontrar la concentración en PPM (según la línea característica del  $NH_3$ , en la figura 3). Sin embargo, el procedimiento para encontrar el valor de las PPM de  $NH_3$  con este equipo no puede ser de manera gráfica, así que se necesita tener la ecuación algebraica que corresponde a esa función.

Aunque al observar el gráfico, la relación entre  $R_s/R_o$  y PPM de  $NH_3$  parece ser lineal a causa de la escala utilizada, realmente la relación es logarítmica y, por tanto, la ecuación correspondiente a esa función, según el teorema de Descartes (7), será:

$$\text{Log}(y) = m \cdot \log(x) + b$$

donde:

$$y = R_s/R_o$$

$$x = \text{PPM}$$

$m$  es la pendiente de la recta

$b$  es el intercepto

Para encontrar el valor de la pendiente, es necesario considerar dos puntos ( $x_1, y_1$ ) y ( $x_2, y_2$ ) sobre la recta del  $NH_3$ . Las coordenadas de los puntos que se tomaron fueron (40.0, 1.0) y (100.0, 0.8):

$$m = [\log(y_2) - \log(y_1)] / [\log(x_2) - \log(x_1)]$$

$$m = \log(0.8/1) / \log(100/40)$$

$$m = -0.243$$

De igual forma, para obtener el intercepto se evalúa la ecuación en un punto intermedio sobre la recta y las coordenadas tomadas fueron (70.0, 0.75):

$$b = \log(y) - m \cdot \log(x)$$

$$b = \log(0.75) - (-0.243) \cdot \log(70)$$

$$b = 0.323$$

Calculados los valores de los parámetros  $m$  y  $b$ , se dispone de la ecuación que relaciona  $R_s/R_o$  con PPM y, despejando la variable de interés en ella, se obtiene la ecuación:

$$PPM = 10^{\{[\log(R_s/R_o) - b] / m\}}$$

Evaluando esta función para la relación  $R_s/R_o$  en el punto de medición obtenido por la lectura de VRL, se podrá calcular el valor de la concentración de  $NH_3$  en PPM a que está expuesto el sensor en ese instante.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Conocido el método para obtener la concentración de  $NH_3$ , se procedió a elaborar un programa para Arduino que se encargara de hacer mediciones consecutivas, procesara los datos con ese método y mostrará los resultados en la pantalla de visualización.

Al energizar el equipo aparecerá en la pantalla de visualización un contador de tiempo decreciente, para informar que se efectúa una espera de 10 minutos. Esa espera tiene el propósito de permitir el precalentamiento requerido por el sensor, para la estabilidad de las mediciones. Siguiendo la secuencia del programa, Arduino realizará varias lecturas consecutivas del VRL, que se someterán a un proceso de filtraje. Con el valor filtrado de VRL y considerando las constantes obtenidas previamente ( $RL= 47 \text{ k}\Omega$ ,  $m= -0.263$ ,  $b= 0.42$  y  $Ro= 13 \text{ k}\Omega$ ) ejecutará un programa que aplica el algoritmo descrito anteriormente, para determinar el valor instantáneo de la concentración de amoníaco en PPM. Ese valor se mostrará en la pantalla de visualización, para de inmediato volver a repetirse la secuencia de medición.

Con este equipo medidor de concentración de amoníaco se puede valorar cuantitativamente la efectividad del bioproducto Lebame, desarrollado para mejorar las condiciones de trabajo en la producción animal.

La construcción del prototipo de este equipo no implicó inversión alguna, porque los componentes esenciales fueron una donación y, los otros que se requirieron, fueron componentes recuperados de equipos desactivados. Sin embargo, si se considera que la comercialización de Arduino se realiza a precios inferiores a los 30 USD, y tanto el sensor de gas como la pantalla de visualización están en precios inferiores a 10 USD, se puede considerar que el costo de fabricación no excedería los 50 USD.

## CONCLUSIONES

- Se construyó un equipo medidor de amoníaco con una aplicación Arduino y se apreció que con estos se logran aplicaciones diversas, con rapidez y bajo costo, que pueden ser de utilidad para solucionar muchas situaciones que se presenten en las investigaciones del ICIDCA.
- El medidor de amoníaco que se construyó permitió comprobar la efectividad de la aplicación del Lebame, en la disminución de los malos olores que se producen en los criaderos de aves, y se puede generalizar su uso en otras áreas del sector agropecuario.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Abdullah, M. A.; Ma'Radzi, M.; Saleh, NA.; Kamal, SZ.;Yaacob, ND. 2011. Production of effective microorganism using halalbased sources: A review. *African Journal of Biotechnology*; 10 (81): 18649-18652.
2. <http://www.em-la.com/avicultura.php>.Portal Oficial de la Tecnología EM™ en América Latina. Consultado mayo 2021.
3. Banzi, Massimo. *Getting Starter with Arduino*. Estados Unidos: *O'Reilly Media, Inc.*, 2009. Páginas 12-49.
4. Herrador, Rafael Enríquez. *Guía de Usuario de Arduino*. (Córdoba) p 8-15, 2009.
5. <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/arduino-mq137-ammonia-sensor>.
6. <https://citeia.com/innovaciones-en-tecnologia/enunciado-de-la-ley-de-ohm-y-sus-secretos>.
7. <https://matematica.uv.cl/djimenez/cal/analitica3.html>.