

Desarrollo de un módulo adquisidor electrónico para el acondicionamiento, medición y control de señales de biosensores

Skrauba Axel Alfredo ^{a*}, Krujoski Matías Gabriel ^{a,b}, Kolodziej Javier Ernesto ^{a,b}

^a *GID-IE, FI-UNaM, Oberá, Misiones, Argentina.*

^b *IMAM, UNaM-CONICET, Posadas, Misiones, Argentina*

e-mail: axelskrauba@gmail.com.ar, matiaskrujoski@gmail.com, koloj@fio.unam.edu.ar

Resumen

En los procesos industriales regionales, gran cantidad de la materia prima y productos elaborados no presentan un control en cuanto a su composición final. Esto es, presencia de elementos ajenos o extraños respecto del producto elaborado, incluyendo aquellos que pueden resultar perjudiciales para la salud. El presente escrito abarca el desarrollo de la etapa electrónica de un proyecto de investigación, que tiene como finalidad la utilización de biosensores para la detección y clasificación de contaminantes fenólicos provenientes de agrotóxicos. El objetivo del proyecto en su conjunto, es la conformación de un sistema que permita la detección de estos compuestos de manera fiable, precisa y económica. El alcance del artículo, se limita al desarrollo de un primer prototipo electrónico que actúa como nexo entre los electrodos de medición y el software que opera el sistema.

Palabras Clave – *Acondicionamiento de señales, Adquisición, Biosensores, Prototipo.*

1. Introducción

Los biosensores amperométricos permiten identificar la concentración de algún analítico de interés; son una combinación de un elemento biológico sensitivo y un transductor que convierte el movimiento de los electrones producido en una reacción redox con el elemento biológico en señales de corriente. La selección apropiada de sus componentes, tales como enzimas, soporte conductivo, soporte sólido, define la eficiencia de los mismos [1]. El biosensor produce una señal de corriente cuando se aplica una diferencia de potencial entre los electrodos. Esta señal de corriente es de bajo valor y está superpuesta con una señal base de alto valor y ruidosa; razón por la cual deben interconectarse a un sistema electrónico para su adecuación, adquisición y posterior tratamiento digital.

Los biosensores representan una herramienta útil para el análisis *in situ* de contaminantes ambientales [2] y de alimentos [3][4], proporcionando una detección rápida, sensible, selectiva y de bajo costo en contraste con los métodos de análisis tradicionales. Sin embargo, en las industrias de Misiones, estas herramientas no son utilizadas, dando esto lugar a una oportunidad para el desarrollo de este tipo de tecnologías, y su aplicación en los productos regionales. Además, de resultar indispensable para el cuidado de la salud de los consumidores, ya que no se miden los agroquímicos que se aplican sobre los cultivos [5]. Por este motivo, el proyecto de investigación conjunto entre la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales (FCEQyN), y la Facultad de Ingeniería (FI), plantea el estudio y desarrollo del sistema electrónico asociado a biosensores amperométricos. Contemplando los elementos de hardware y software pertinentes para su aplicación en los procesos y productos regionales.

*Autor en correspondencia.

El presente artículo exhibe los avances alcanzados en lo que respecta al desarrollo de una placa analógica para el acondicionamiento y control de señales de biosensores, así como el desarrollo y construcción de un primer prototipo del módulo adquirente de las mismas. Este trabajo se realizó en el marco de una Beca de Estímulo de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Misiones, insertado en el proyecto de investigación bajo el título “Identificación de herramientas para el procesamiento analógico y digital de biosensores amperométricos de enzimas recombinantes (16I/153)”.

2. Desarrollo del módulo adquirente

2.1. Generalidades de un sistema de adquisición

El proyecto en general, se conforma por las partes que se indican en el diagrama de bloques de la Fig. 1.

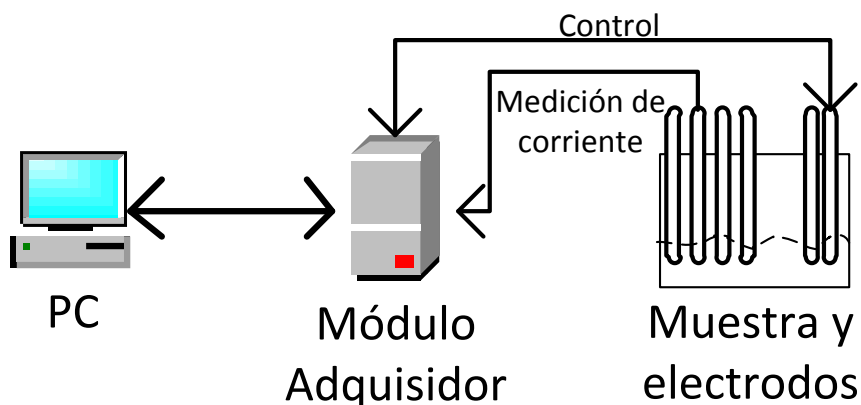


Fig. 1. Esquema del sistema de adquisición en general.

De las diversas etapas que se observan en el esquema de la Fig. 1, se tiene una computadora personal que es la encargada de gobernar las señales introducidas y el registro de las mediciones, realizadas sobre las muestras. Este proceso se lleva a cabo mediante un software desarrollado en un proceso ajeno al alcance de este escrito, dentro de un marco de la FI, que corresponde al mismo proyecto de investigación.

Por otra parte, el módulo adquirente consta del equipamiento electrónico necesario para que el proceso de medición resulte factible. El mismo puede dividirse en dos grandes etapas; una encargada de garantizar una referencia de tensión respecto a los electrodos de medición y lo suministrado por software, y la otra, por el equipo que captura las señales de corriente producidas. En cuanto al mencionado equipo de medición, el mismo se conforma por un módulo de la firma *National Instruments®* y se vincula directamente al proceso de desarrollo del software. Puede apreciarse la inclusión del mismo en el prototipo final del adquirente, como parte del conjunto observable en la Fig. 7, además del esquema de la Fig. 2.

De forma visual, o en mayor detalle, en la Fig. 2 se observa el denominado módulo adquirente, con las partes internas que lo componen y la forma en que éstas se hallan interconectadas.

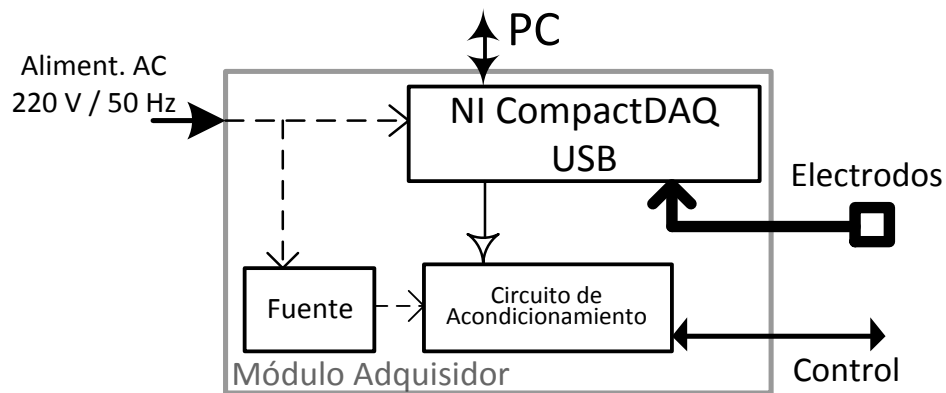


Fig. 2. Esquema interno del módulo adquirente y sus interconexiones.

Empleando como referencia la Fig. 2, se tiene que el módulo se alimenta con la tensión y frecuencia de la red eléctrica nacional. La tensión de entrada, se adapta a la tensión requerida por el circuito de acondicionamiento, mediante una fuente diseñada para tal fin. El *NI® CompactDAQ* posee su propia fuente de alimentación

Internamente, el DAQ y el circuito de acondicionamiento se encuentran conectados, de esta forma, se genera la referencia de tensión para el control de los electrodos. Como se ha mencionado, esta referencia de tensión es controlada por software, el cual accede al DAQ a través de un cable USB. Además, por este medio, se recogen los datos de las mediciones de corriente efectuadas en los diversos electrodos.

La etapa de muestras y electrodos de la Fig. 1, también corresponde a un proceso ajeno al alcance de este escrito, y se corresponde con el aporte al proyecto efectuado por la FCEQyN.

En resumen, se abordarán los aspectos vinculados al diseño y montaje de los componentes del prototipo de adquisición, lo que corresponde a lo indicado como “Módulo adquirente” en la Fig. 1, o lo detallado en la Fig. 2.

2.2. Fuente y circuito de acondicionamiento

La etapa de procesamiento analógico de señales consiste en substraer la señal de base o referencia, además, se debe acondicionar las señales de control de los biosensores y sus señales de salida de corriente, para luego pasar a un sistema digital donde los datos son procesados mediante técnicas de software. Para llevar a cabo este cometido, se emplean amplificadores operacionales (AO) con características de acuerdo a los requerimientos de las actividades a realizar.

El OP07 [6] es un AO de instrumentación con muy buenas características de entrada y salida, así como de velocidad de respuesta, apropiado para el control y manejo de las variables a medir y controlar. Entre sus prestaciones, pueden nombrarse los bajos ruidos, la no necesidad de componentes externos para su operación, el rango de tensión admisible (típica) comprendida entre los $\pm 14 V$. En cuanto a los aspectos técnicos que se destacan para la actividad a realizar, se tiene la impedancia de entrada del orden de los $30 M\Omega$, la velocidad de respuesta de subida de $0,3 V/\mu s$ y la razón de rechazo de modo común de $120 dB$. Estas características, permiten el desempeño requerido por parte del circuito de acondicionamiento de las señales analógicas.

Se propone para el circuito de acondicionamiento el esquema de la Fig. 3.

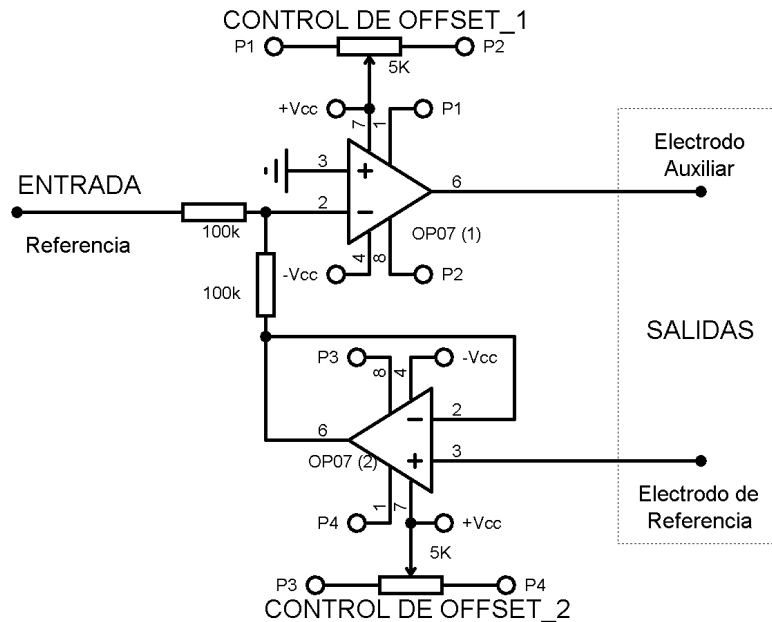


Fig. 3. Esquema circuital para la etapa de acondicionamiento.

Para la conformación del circuito de la Fig. 3, se emplean los siguientes componentes:

- Amplificadores Operacionales OP07
- Presets multivoltas de $5\text{ k}\Omega$
- Resistores de $100\text{ k}\Omega$

De manera resumida, y tomando como referencia la Fig. 3, se tiene que el OP07(1) opera con una configuración inversora, mientras que el OP07(2) en modo seguidor de tensión. Se logra de esta manera una alta impedancia de entrada en los electrodos de salida, por lo tanto este circuito no alterará las corrientes producidas en la celda electroquímica. A su vez, el conjunto compara la tensión de entrada con la del electrodo de referencia, y ajusta la tensión del electrodo auxiliar. Esto permite que los electrodos de trabajo o de medición de corriente, presenten con el electrodo de referencia, la tensión suministrada a la entrada. La señal de tensión establecida por el software, para la obtención de los voltagramas correspondientes, es la que ingresa en la entrada.

Para alimentar el circuito de la Fig. 3, se propone una fuente simétrica de $\pm 5\text{ V}$, de acuerdo al esquema de la Fig. 4.

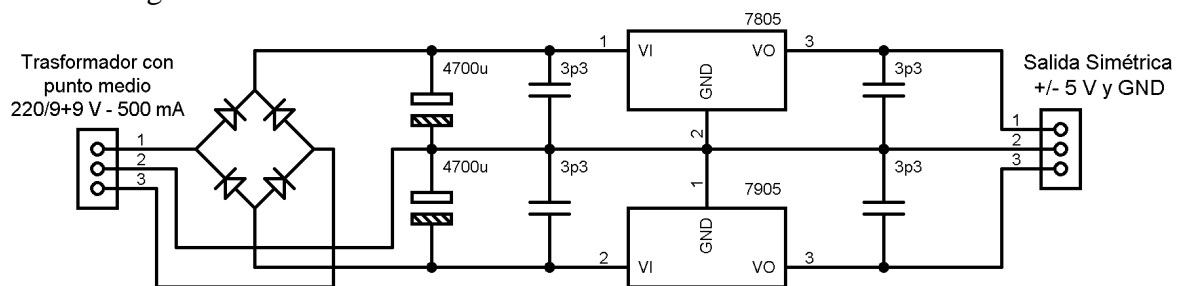


Fig. 4. Esquema circuital para la fuente de alimentación.

Para la conformación del circuito de la Fig. 4, se emplean los siguientes componentes:

- Regulador de voltaje lineal 7805
- Regulador de voltaje lineal 7905
- Capacitores electrolíticos de $4700 \mu F$
- Capacitores cerámicos de $0,33 \mu F$
- Puente rectificador de diodos
- Transformador de tensión con punto medio

El diseño de la fuente de la Fig. 4, se realiza teniendo como objetivo minimizar los rizados en las diferentes etapas.

2.3. Aspectos para el ensamblado del módulo adquisidor

A fines de obtener un prototipo portable, todas las partes se ensamblan en un maletín metálico. Se diseña y fabrica un separador acrílico entre las etapas de circuitos electrónicos y el acceso del usuario, el cual cuenta con las indicaciones correspondientes y las aperturas para los diferentes periféricos de entrada/salida, llaves, indicadores. En la Fig. 5 se puede apreciar la plantilla para el corte láser del acrílico.

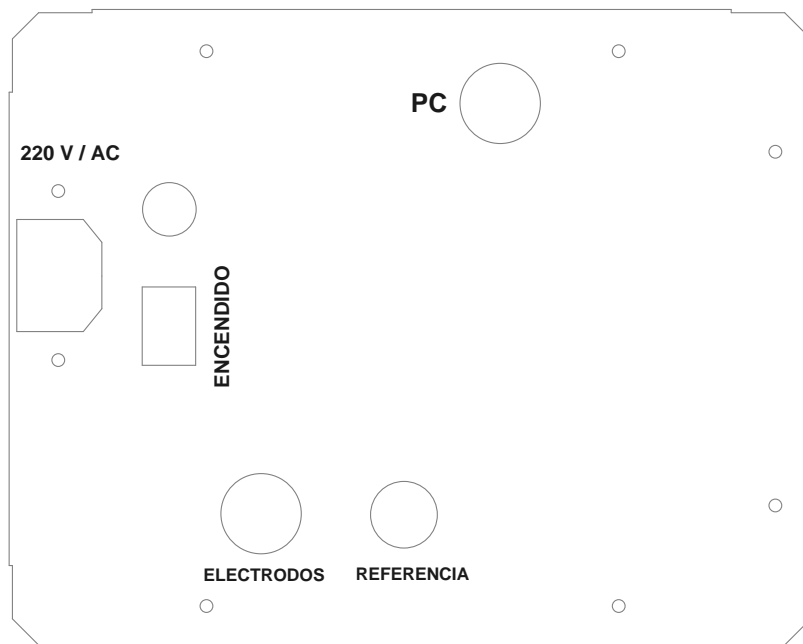


Fig. 5. Plantilla para corte del acrílico.

Tomando como referencia la Fig. 5, se identifican características del prototipo que a su vez actúan como guía para el usuario del mismo. Por una parte, se tiene la entrada para el conector de corriente, un botón para el encendido del adquisidor y acceso a una fusilera de protección. Por otra, el acceso para el conector USB entre la PC y el módulo, y los accesos para las salidas de los diferentes electrodos, cada uno identificado claramente. Las circunferencias de menor diámetro distribuidas a lo largo del contorno de la pieza, permiten la sujeción del acrílico con el maletín metálico de soporte, a través de tornillos milimetrados.

3. Resultados obtenidos

En esta sección, se incluyen diversas fotografías sobre los aspectos abordados en el desarrollo del presente artículo.

3.1. Circuitos elaborados

En la Fig. 6 se aprecia el PCB construido de los esquemas presentados tanto en la Fig. 3 como en la Fig. 4.

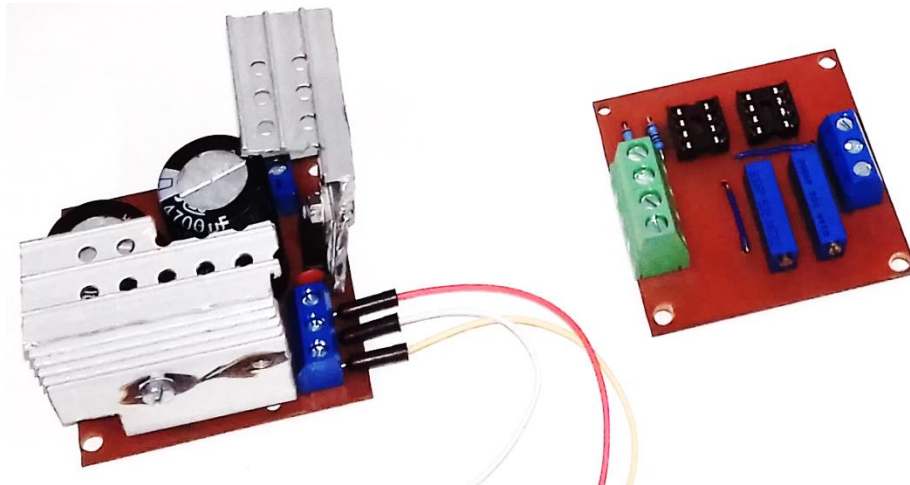


Fig. 6. Circuitos implementados en PCB. (a) Fuente simétrica, (b) Etapa de acondicionamiento.

3.2. Ensamblado del módulo adquisidor

En la Fig. 7 se observa el interior del maletín metálico, con la inclusión de algunas de las etapas ya abordadas.

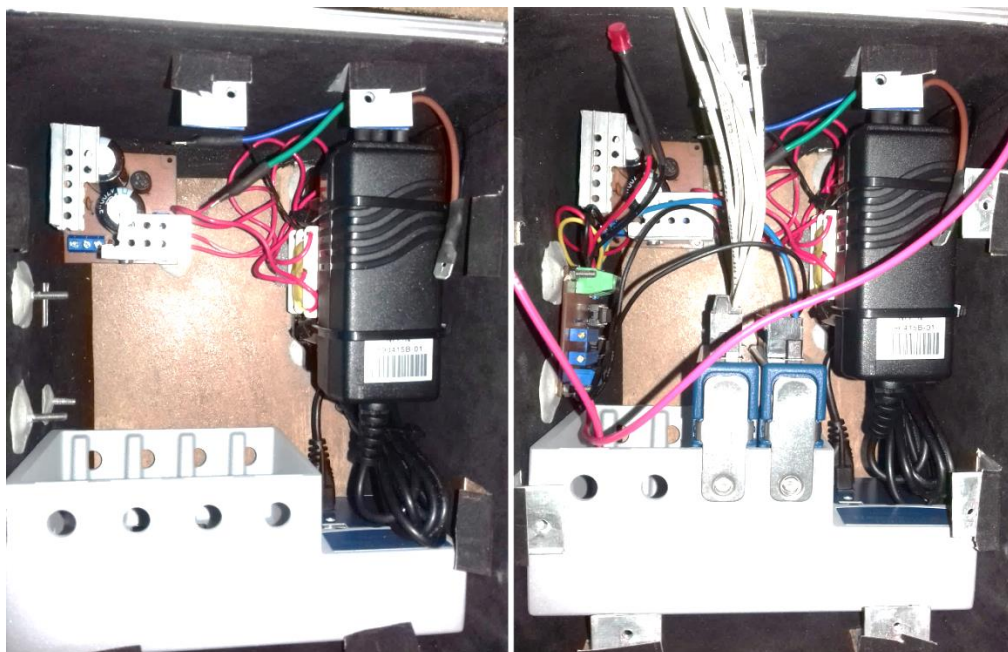


Fig. 7. Proceso de ensamblado en el maletín metálico. (a) Etapa inicial, (b) Etapa intermedia.



Fig. 8. Prototipo del adquisidor totalmente ensamblado.

En la Fig. 8 se aprecia el aspecto final del prototipo adquisidor, es decir, lo perceptible por el usuario. Además, se visualizan todos los aspectos mencionados del acrílico.

El sistema se ha comprobado en su conjunto, vinculando las actividades que conforman el proyecto en su totalidad. Es decir, el prototipo aquí presentado, el software y los electrodos y enzimas desarrollados por la FCEQyN. Hasta la fecha de la redacción de este artículo, quedan pendientes ensayos y testeos por realizar, así como el análisis de las mediciones realizadas hasta la actualidad. De igual manera, el sistema presenta resultados orientados hacia lo esperado.

En cuanto al prototipo, se encuentra en desarrollo una segunda etapa como parte de la continuación de la Beca de Estímulo de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Misiones, que consta de mejoras en cuanto a la robustez de la placa de control frente a ruidos de origen eléctrico y/o electromagnético. Es de resaltar la importancia de esta etapa, ya que las corrientes medidas se ubican en el orden de los μA .

4. Generalidades y alcance del proyecto en su conjunto

La agrupación de diversas facultades para la realización de proyectos, permite que los mismos se integren y confeccionen desde diferentes puntos de vista. Permitiendo que cada una de las partes optimice y realice las etapas que son inherentes a sus saberes específicos, de formas que por separado, jamás se lograrían o se obtendrían con mucha demora y en calidades inferiores.

Haciendo referencia al proyecto en general, los objetivos del mismo mejorarían en gran manera la calidad y el control de los productos confeccionados en las industrias Misioneras. Permitiendo la detección temprana y a bajo costo, de la existencia de factores nocivos para la salud, como ser agroquímicos en general utilizados en la producción de materia prima [5].

El nivel tecnológico existente en el proceso de elaboración de la Yerba Mate, así como los recaudos necesarios para asegurar la ausencia de estos elementos nocivos, se halla en una etapa prematura. A fechas de este artículo, existen normativas que prohíben la presencia de elementos o

sustancias que puedan alterar la inocuidad y calidad de la hoja verde o yerba mate canchada [7], pero no existen sistemas que aseguren su calidad [8]. El proyecto presentado tiene potencial para solucionar estos inconvenientes en un futuro cercano, así como los que se presentan en incontables procesos similares.

5. Conclusiones

En el marco del presente escrito, se han podido plasmar cada uno de los avances logrados en el desarrollo de un prototipo electrónico, para su uso en la detección de agrotóxicos mediante biosensores. Se han plasmado cada uno de los criterios adoptados para su constitución, así como la interconexión de las partes conformantes.

En esta primera etapa de prototipado, se han detectado posibilidades de mejora, las que quedan pendientes al trabajo y desarrollo futuro. Además, se destaca la importancia de dotar a estos sistemas con una determinada robustez frente a ruidos electromagnéticos, ya que tanto los ambientes de laboratorio, y en mayor medida los industriales, presentan entornos hostiles para la medición de señales de bajo orden.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido llevado a cabo gracias al marco de la Beca de Estímulo de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Misiones. El autor agradece al Ingeniero Krujoski Matías Gabriel por la colaboración prestada en las diversas etapas del proyecto en curso, así como al Doctor Kolodziej Javier Ernesto en su carácter de director de la beca en cuestión. A su vez, se agradece a la Facultad de Ingeniería de Oberá.

Referencias

- [1] Ilie, M., Cianci, E., Foglietti, V., Minotti, A., de Bellis, G., & Caramenti, G. Developing a Miniaturized Continuous Flow Electrochemical Cell for Biosensor Applications. *Proceedings of IV Advanced Topics in Optoelectronics, Microelectronics, and Nanotechnologies.2009.*
- [2] Rordríguez-Delgado, M. M., Alemán-Nava, G. S., Rodríguez-Delgado, J. M., Dieck-Assad, G., Martínez-Chapa, S. O., Barceló, D., & Parra, R. Trends in Analytical Chemistry Laccase-based biosensors for detection of phenolic compounds. *Trends Analytical Chemistry*, 21-45. 2015.
- [3] Montereali, M. R., Della Seta, L., Vastarella, W., & Pilloton, R. A disposable Laccase – Tyrosinase based biosensor for amperometric detection of phenolic compounds in must and wine. *Journal Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 189-194. 2010.
- [4] Ghindilis, A. L., P., G. V., & Yaropolov, A. I. Laccase-based biosensor for determination of polyphenols : determination of catechols in tea. *Biosensors Bioelectronics*, 127-131. 1992.
- [5] Á. Fediuk, "Agroquímicos: "Ni siquiera se mide lo que se tira en la chacra"", El Territorio, 2011.
- [6] Analog Devices. Next Generation OP07 Ultralow Voltage Operational Amplifier. [En línea] [fecha de consulta: 22 de mayo de 2019]. Disponible en: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/op07c.pdf>
- [7] Instituto Nacional de la Yerba Mate. I.N.Y.M. – Ley 25.564 Res. N° 011/2017, Artículo 3°. . [En línea] [fecha de consulta: 22 de mayo de 2019]. Disponible en: https://www.inym.org.ar/wp-content/uploads/2017/01/Res_INYM_11_17_Reglamento-de-secanza-de-YM.pdf
- [8] M. Almada, "Los cuatro eslabones de la cadena yerbatera ya definieron sus prioridades", Misiones Online, 2012.