

# BIOELECTRICIDAD: RESULTADOS PRELIMINARES DE UN PROYECTO PILOTO EN EL TERRITORIO INDIGENA ACHUAR DEL ECUADOR

Stefano Mocali<sup>1</sup>, Renato Fani<sup>2</sup>, Pietro Graziani<sup>3</sup>

<sup>1</sup> CRA-ABP Florencia Italia, stefano.mocali@entecra.it

<sup>2</sup> Universidad de Florencia- Italia, renato.fani@unifi.it

<sup>3</sup> ONG ACRA, pietrograziani@acra.it

Fecha de recepción: 18 de julio de 2013 - Fecha de aprobación: 4 de octubre de 2013

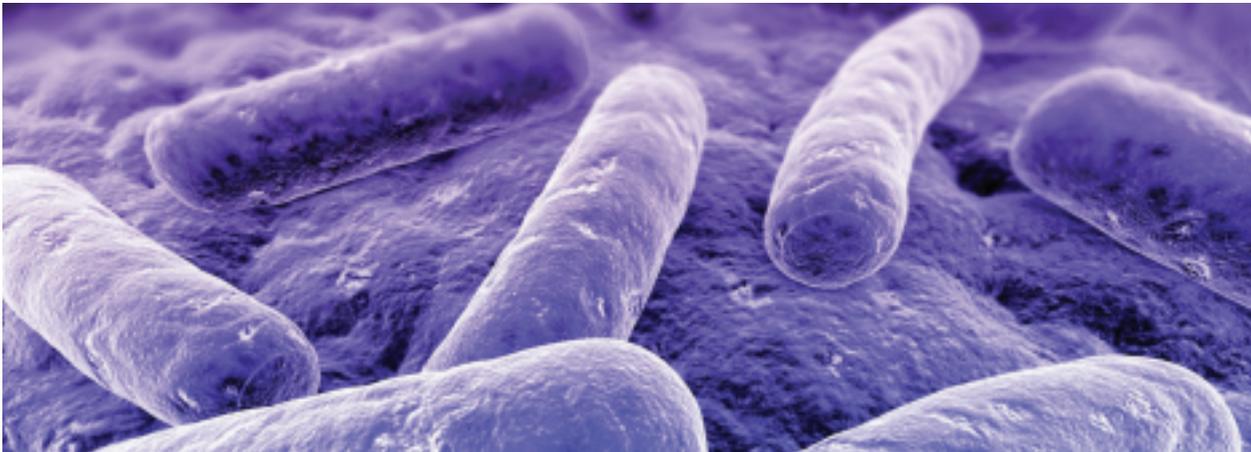


Imagen ilustrativa: Bacterias. Fuente: www.hdwallpapers.com

## Resumen

El territorio Achuar se encuentra entre las Provincias de Morona Santiago y Pastaza, en la región sur este del Ecuador. En esta área no existe electricidad y para la iluminación se hace un grande consumo de pilas, que representan un tipo de desecho extremadamente contaminante para el medio ambiente. En el marco del proyecto sobre “Gestión de desechos sólidos y reducción de la contaminación en el territorio Achuar” financiado por la Unión Europea, se está desarrollando en colaboración con la Universidad de Florencia (Italia) al Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura (CRA), un proyecto piloto sobre la bioelectricidad a través la instalación de “pilas o baterías bacterias” (Microbial Fuel Cell). Es la primera vez en el Latino América y en la Amazonia que se implementan sistemas de bioelectricidad, que representa una valida alternativa para la producción de la electricidad en zonas rurales aisladas. Entre marzo y abril del 2012 se instalaron 2 sistemas, de 3 “pilas” cada uno, con diferentes materiales utilizados como electrodos. El objetivo de esta primera fase de experimentación es de medir la eficiencia de los diferentes electrodos y la máxima energía producida por las comunidades bacterias presentes en el suelo utilizado. Los sistemas más eficientes resultaron el que tenía la fibra de carbono como ánodo y cátodo y el que tenía fibra de carbono como cátodo y aluminio como ánodo.

**Palabras llaves:** Bioelectricidad, Achuar, Amazonia, Baterías bacterias

## Abstract

The Achuar territory is located between the provinces of Morona Santiago and Pastaza, in the south east region of Ecuador. In this area there is no electricity and a large battery consumption for lighting, which represents a type of highly polluting waste to the environment. Under the project “Solid waste management and pollution reduction in the Achuar territory,” funded by the European Union, in collaboration with the University of Florence (Italy) at the Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura (CRA), a pilot project on bio-electricity through the installation of “bacterial batteries” (Microbial Fuel Cell) is being developed. It is the first time in Latin America and in the Amazon that bioelectricity systems are implemented, which represents a valid alternative for the production of electricity in remote rural areas. Between March and April 2012 2 sets of 3 batteries, each with different materials used as electrodes, were installed. The objective of this first phase of testing is to measure the efficiency of the different electrodes and maximum power produced by the “bacterias” communities in soil used. The most efficient systems were those with carbon fiber as the anode and cathode, and carbon fiber as cathode and aluminum as anode.

**Keywords:** Bioelectricity, Achuar, Amazon region, Microbial Fuel Cell

## 1. INTRODUCCION

Tal vez no todo el mundo sabe que las bacterias son los organismos más comunes en nuestro planeta y pueden crecer en cualquier tipo de origen natural o antropogénico, incluso en condiciones extremas. Pero mucho menos conocido es la capacidad de producir electricidad. De hecho, recientemente han sido descubiertas las bacterias “electrógenas” que son capaces de producir energía eléctrica a través de la transferencia directa de electrones desde una matriz orgánica a cualquier receptor de electrones en un ambiente anaerobio, preferiblemente. La capacidad de estas bacterias en particular han permitido recientemente el desarrollo de “pilas” biológicas llamadas Microbial Fuel Cells (MFC) (Logan et al., 2008). Los primeros organismos identificados con estas capacidades pertenecían al género *Geobacter*, bacterias capaces de crecer en un ambiente estrictamente anaerobio (océano, los sedimentos del lago etc.) (Bond et al., 2002). Pero tras el descubrimiento de que las propiedades electrógenas no son exclusivas de unas pocas especies de bacterias, pero son mucho más compartidas de lo que se pensaba (Rabeay et al., 2007) y muchos de ellos viven en el suelo (Mocali et al., 2012). Para producir energía eléctrica las bacterias electrógenas necesitan material orgánico para oxidar, pero diferentes bacterias usan diferentes sustratos orgánicos. Esto aumenta la dificultad de identificar los mejores organismos para utilizar cualquier residuo orgánico como fuente de energía, pues en cada suelo hay bacterias que se especializan en ciertos tipos de sustancias orgánicas. Así que es difícil identificar los organismos más eficientes por el uso de sustratos específicos, pero se puede usar directamente el suelo como matriz pues que contiene sea las bacterias que material orgánico necesario para la producción de electricidad. Esta tecnología es aún experimental y lejos de ser competitiva en el mercado como una alternativa a los combustibles fósiles y otras fuentes de energía pero puede ser muy útil en realidades particulares como zonas del mundo que no tienen alguna forma de electricidad o energía. No es casual que muchos países están invirtiendo importantes recursos en esta área y el progreso en pocos años han permitido que los sistemas MFC desde una mera curiosidad de laboratorio se han convertido en reales plantas piloto a escala industrial: por ejemplo, en Australia, el Gobierno de Queensland Fondo de Innovación Sostenible de la Energía ha financiado la construcción de la primera planta piloto de MFC para el tratamiento de aguas residuales (y [www.uq.edu.au/news/index.html?article=11943](http://www.uq.edu.au/news/index.html?article=11943) [www.microbialfuelcell.org](http://www.microbialfuelcell.org)). Por otra parte Lebonê Solutions, Inc. ([www.lebone.org](http://www.lebone.org)) en el 2008 ha recibido una financiación de 200.000 dólares del Banco Mundial para un proyecto en Tanzania con el fin de llevar la electricidad en las zonas residenciales donde no llega la red eléctrica (más de 70% de la población en África, ¡es gratis!) y es posible iluminar un pueblo entero con un sistema MFC echo con desechos de biomasa vegetal como “combustible”.

En el territorio Achuar, entre las Provincias de Morona Santiago y Pastaza en Ecuador, no existe electricidad y para la iluminación se hace un grande consumo de pilas, que representan un tipo de desecho extremadamente contaminante para el medio ambiente. Por esta razón en el marco del proyecto sobre “Gestión de desechos sólidos y reducción de la contaminación en el territorio Achuar” financiado por la Unión Europea, se está desarrollando en colaboración con la Universidad de Florencia (Italia) al Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura (CRA), un proyecto piloto sobre la bioelectricidad a través la instalación de “pilas o baterías bacterias” (Microbial Fuel Cell). Es la primera vez en el Latino América y en la Amazonia que se implementan sistemas de bioelectricidad, que representa una valida alternativa para la producción de la electricidad en zonas rurales aisladas. La experimentación será desarrollada en dos fases: 1) en la primera (marzo2012-octubre2012) se

realizará la instalación de sistemas MFC diferentes para medir la eficiencia de los diferentes electrodos y la máxima energía producida por las comunidades bacterias presentes en el suelo utilizado; 2) en la segunda fase (octubre 2012-Enero 2013) el mejor sistema será aplicado en unas comunidades Achuar.

## 2. OBJETIVOS

El objetivo final es doble: 1) comparar diferentes sistemas MFC y 2) aplicar el mejor en las comunidades Achuar que los necesiten para que puedan encender un foco echo por LEDs. La comparación es necesaria pues cada suelo en el mundo es diferente del otro, con diferentes organismos y composición. Así que hay que averiguar el suelo, los materiales (electrodos) y los desechos orgánicos que sean más eficientes para la producción de energía eléctrica. El objetivo de esta primera fase de cada experimentación es de comparar la eficiencia de varios tipos de sistemas MFC midiendo la tensión que se desarrolla durante 2 meses de actividad. Este tiempo es necesario a la comunidad microbiana para seleccionar las bacterias que pueden vivir y crecer en un ambiente anaeróbico como el del ánodo, “comiéndose” el material orgánico disponible. Entre ellos los organismos electrógenos se desarrollarán y aumentarán la producción eléctrica hasta que sea detectable con un multímetro. El material del electrodo es muy importante, sobre todo el del ánodo que está en el fondo del balde, en condiciones anaeróbicas. En esas condiciones las bacterias electrógenas crecen y se desarrollan sobre la superficie del electrodo, así que el material que lo compone debe de ser un buen conductor de corriente pero también debe permitir que los microorganismos crezcan.

## 3. MATERIALES Y METODOS

Para la construcción de los sistemas MFCs se necesitan materiales muy baratos y que se puedan encontrar en cualquier lugar. Para construir un sistema MFC se necesita un balde de plástico, un cable eléctrico, un LED blanco y dos electrodos: 1) se le pone un electrodo en el fondo del balde (ánodo) y se conecta con el LED con un cable; 2) se pone 1kg de suelo mezclado con 100g de carbón (opcional); 3) se echan 1,5 kg de desechos orgánicos solidos mezclados con 1,5 kg de suelo; 4) se le pone otro electrodo encima y se conecta al LED con otro cable; 5) se llena de agua hasta el electrodo superior pero dejando que siga en contacto con el aire y el oxígeno. El material orgánico de la matriz (suelo + desechos) constituirá los nutrientes de las bacterias electrógenas que lo transforman en energía, electrones y protones. Los electrones darán la electricidad a través del circuito mientras los protones reaccionaran con el oxígeno a dar moléculas de agua (Fig.1).

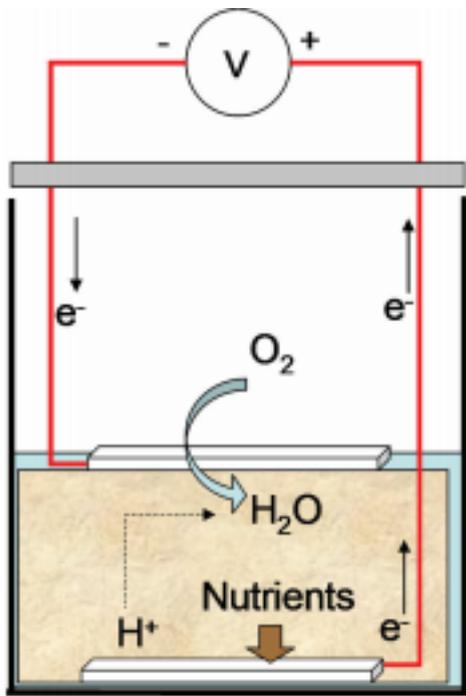


Figura 1. Esquema de un sistema MFC

En la primera fase de este proyecto se han instalado 3 sistemas MFC separados en cada lugar elegido para la experimentación: Macas y Wasakentsa. En cada experimentación se han usado diferentes electrodos: 1) tejido de carbono (ánodo) y tejido de carbono (cátodo); 2) aluminio (ánodo) y aluminio (cátodo); 3) tejido de carbono (ánodo) y aluminio (cátodo). Por cada uno de los cuatro sistemas MFC se medirá la tensión producida cada día (Fig.2).



Figuras 2 y 3. Imágenes de la experimentación sobre la bioelectricidad

#### 4. RESULTADOS

Entre marzo y abril del 2012 se iniciaron 2 experimentaciones, de 3 “pilas” MFC cada uno, con diferentes materiales utilizados como electrodos. De momento son disponibles los resultados del primer mes (Figura 3), donde los sistemas más eficientes resultaron los de la prueba 1, que tenía la fibra de carbono como ánodo y cátodo con una tensión acerca de 400 mV en Wasakentsa y 317 mV en Macas y que siguen subiendo. La prueba 2, que tenía aluminio como ánodo y cátodo, ha dado valores generalmente más bajos, acerca de 200 mV en Wasakentsa y casi la mitad en Macas. En fin la tensión en las MFCs de la prueba 3, que tenían fibra de carbono como ánodo y aluminio como cátodo, después de una tensión inicial muy alta, acerca de 1V, han ido bajando hasta 200 mV en Wasakentsa y 300 mV en Macas (Fig.3).

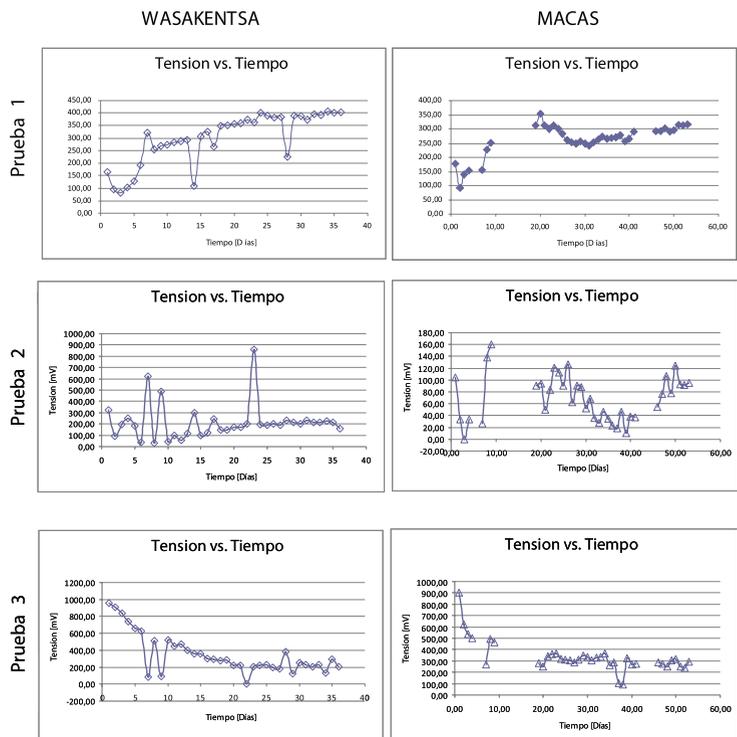


Figura 3. Niveles de tensión durante el primer mes de experimentación de bioelectricidad en Wasakentsa y Macas.

#### 5. DISCUSION

Normalmente un sistema MFC como los que se han usado para la experimentación necesita 4-8 semanas para llegar a su nivel máximo. Ese tiempo es muy variable y depende de la calidad de suelo, de desechos orgánicos que se usan, de las condiciones climáticas, etc., así que no es todavía posible dar alguna respuesta u opinión absoluta sobre las pruebas de bioelectricidad. De otro lado es posible comentar los resultados y compararlos entre ellos. Por ejemplo parece que la combinación de electrodos de fibra de carbono para ánodo y cátodo sea la más eficiente de las tres. Los niveles de tensión están sobre los 400 mV y siguen subiendo. Lo que nos esperamos es que lleguen lo más cerca posible de 1000 mV, pues para encender un LED de luz blanca se necesitan casi 3000 mV y una corriente de 10-30 mA; pero para alcanzar ese resultado es necesario conectar en serie 3-4 sistemas MFCs que produzcan por lo menos 750 mV de tensión.

Los problemas que limitan la tensión pueden ser varios pero el más importante es la resistencia interna del sistema. Por ejemplo la composición de la matriz orgánica o la distancia entre los electrodos pueden limitar el pasaje de protones que se forman por la actividad electrogénica de las bacterias. Además la potencia de las pilas MFC debe de ser suficiente para encender un foco hecho por 3-5 LEDs, suficiente para iluminar una casa Achuar (Figura 4). Por lo tanto la superficie de los electrodos (sobre todo el ánodo) es una variable clave para regular la producción de corriente pues más grande es el electrodo, mas bacterias pueden crecer sobre de él y más corriente se produce. En los próximos meses se seguirá midiendo la tensión y además será optimizada la potencia del sistema.



Figura 4 – Estructuras de habitación en la comunidad Achuar de Nanes.

## 6. CONCLUSION

La tecnología MFC y la bioelectricidad representan una grande oportunidad de energía alternativa, aunque hoy día la potencia de estos sistemas sea suficiente solo para encender pequeños focos o aparatos. Las bacterias electrogénicas se encuentran en todos los suelos del mundo, solo hay que optimizar su desarrollo y su actividad. En esta primera experimentación se ha averiguado que el tejido de carbono parece ser el mejor material para los dos electrodos, por lo menos entre los que se han confrontado.

## Referencias

- Bond DR, Holmes DE, Tender LM, Lovley DR (2002) Electrode-reducing microorganisms that harvest energy from marine sediments. *Science* 295:483–485.
- Logan, B. (2008). *Microbial Fuel Cells*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2008.
- Mocali S, Galeffi C, Perrin E, Florio A, Migliore M, Canganella F, Bianconi G, Di Mattia E, Dell'abate MT, Fani R, Benedetti A (2012). Alteration of bacterial communities and organic matter in microbial fuel cells (MFCs) supplied with soil and organic fertilizer. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2012 Jan 31. (PMID:22290652).
- Rabaey K, Rodriguez J, Blackall LL, Keller J, Gross P, Batstone D, Verstraete W and Nealon KH (2007). Microbial ecology meets electrochemistry: electricity-driven and driving communities *The ISME Journal*, 1: 9–18.