RECICLAR LOS RESIDUOS ORGANICOS PARA BIO-ELECTRICIDAD: PRIMER PROYECTO PILOTO EN LATINO AMERICA

Organic Waste Recycling for Bio-electricity:

The first pilot project in Latino America

Pietro Graziani [1]
Simone Bovio [2]
Renato Fani [3]
Stefano Mocali [4]

[1]**:** Via Savoia 72, 00198 Roma ITALIA, 00593 987496503 pietrogra@yahoo.it
[2]: Via Libertà n° 69 a Bellinzago Novarese ITALIA, simone.bovio.83@gmail.com
[3]: Universidad de Florencia, Via Romana 17 – Florencia (Italia), (+39) 055 2288244, Email: renato.fani@unifi.it
: CRA-ABP, piazza D'Azeglio, 30 – 50121 Firenze (Italia), (+39) 055 2491250, Email: stefano.mocali@entecra.it

Abstract

---

1 ONG ACRA: Biólogo, especialista en Conservación de la Naturaleza y Biodiversidad. Después su graduación ha tenido experiencia de trabajo como coordinador de proyecto y consultor internacional en la República del Centroáfrica Cabo Verde, México y Ecuador. Actualmente es coordinador de un proyecto sobre "*Gestión de desechos sólidos y reducción de la contaminación en el Municipio de Taisha y en el territorio Achuar*", financiado por la Unión Europea. Esta' siguiendo una maestría post-grado con la Universidad de Londres sobre "Gestión Ambiental".

2 ONG ACRA: Físico, especializado en física y estructura de la materia. Se graduó en la Università degli studi di Milano en el 2005, y en la misma terminó su maestría en el 2008 con el máximo de las notas. En el laboratorio LGM (Getti molecolari e materiali nanocristallini), hizo su PhD, que consiguió en el febrero 2012. Actualmente esta trabajando en Ecuador como voluntario en el proyecto "Gestión de desechos sólidos y reducción de la contaminación en el Municipio de Taisha y en el territorio Achuar".

3 UNIV. FLORENCIA: Profesor asociado del Dipartimento di Biologia Evoluzionistica "Leo Pardi" de la Universidad de Florencia (Italia). Tiene experiencia en diferentes sectores de la genética: genética de laboratorio, bioinformatica, genética y evolución de los microorganismos, biología molecular. Tiene más de 80 publicaciones a nivel nacional e internacional sobre las temáticas de su competencia

4 CRA-ABP:Investigador Microbiologo del "Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura (CRA)" en el Centro CRA-ABP de Firenze (Italia). Tiene experiencia en varios sectores de ecología microbiana: biodiversidad genética y funcional de microorganismos, genómica microbica, metagenomica y biotecnologías. Ha sido el referente científico del proyecto "*Bio-electricidad Microbica*" financiado por el Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali italiano hasta el 2012

In Ecuador, 58% of produced waste are organic (2011) and only 5% of that is used by municipalities; there are several ways to take advantage of organic waste, a very interesting way that is being developed in recent years is the electricity production from waste through bioelectricity. Bioelectricity is a very innovative approach and have many potential applications in various sectors. Our experiment is carruing out in the "Solid Waste Management and Pollution Reduction in the Municipality of Taisha and the Achuar territory", funded by the European Union, represents the first pilot project in Latin America. Bioelectricity technology of Microbial Fuel Cells (MFCs) uses the capacities of specific bacteria (electrogenic) to transfer electrons from any organic material to an acceptor (electrode). In 2012, in collaboration with the Scientific Center of the University of Florence (Italy), were installed 2 sets of MFCs in Macas and Wasakentsa Achuar community in the Ecuadorian Amazon, in order to measure the efficiency of different materials of electrodes and of different bacterial community, in order to provide electricity to isolated populations of the Amazon territory, still without electricity, to reduce the use of batteries that are highly polluting and difficult to manage waste properly as bio- dangerous. 2 MFCs systems with carbon fiber electrodes occurred voltage values higher, compared with the MFCs made with aluminum, graphite and the mixed systems. This experiment is part of a first phase of the global project, which will have a second phase in the course of 2013 which can be installed in the Achuar communities some improved experimental MFCs for lighting homes. The preliminary results achieved so far have allowed us to make some important decisions about the improvements that should be made in the future to build more efficient MFCs to produce light in a clean and unpolluted, using only organic waste. The Achuar territory of Ecuador is optimally suited for bioelectricity systems to continue to experience in the future and this system will have many more applications also in urban areas (treatment plants, bio-sensors, etc.).

KeyWords: Achuar, Amazonia, Bio-electricity, renewable energies, solid waste

RECICLAR LOS RESIDUOS ORGANICOS PARA BIO-ELECTRICIDAD: PRIMER PROYECTO PILOTO EN LATINO AMERICA

Resumen

En Ecuador el 58% de los residuos producidos son orgánicos (2011) y solo el 5% fue se aprovecha por los Municipios; hay varias formas de aprovechar de los residuos orgánicos, una forma muy interesante que se está desarrollando en los últimos años es la producción de electricidad a partir de estos desechos, a través la bioelectricidad. La bioelectricidad es una metodología muy innovadora y tienes muchas potencialidades aplicadasuturas en varios sectores, además la experimentación que se está dando en el proyecto "GeGestióne desechos sósólidos rereduccióne la cocontaminaciónen el Municipio de Taisha y en el territorio Achuar", financiado por la Union Europea, representa la primera experimentación de esta forma de iluminación limpia en Latino América. La tecnología de la bioelectricidad de las **Microbial Fuel Cells** (MFCs) disfruta de las capacidades de algunas bacterias (electrogenicas) de trasladar electrones desde cualquier material orgánico a un aceptor (electrodo).
En el 2012, en colaboración con el Polo Científico de la Universidad de Florencia (Italia), fueron instalados 2 sistemas de MFCs en Macas y en la comunidad Achuar de Wasakentsa en la Amazonia ecuatoriana con el fin de medir la eficiencia de los diferentes materiales de los electrodos utilizados y las diferentes comunidad bacterianas utilizadas con el fin de brindar energía eléctrica a las poblaciones más aisladas del territorio amazónico, aun sin electricidad, para reducir el uso de pilas y baterías que son muy contaminantes y difícil de maneja adecuadamente como residuos bio-peligrosos. Los 2 sistemas de MFCs con electrodos de tejido de carbono han producido valores de tensión eléctrica más alta, comparados con las las MFCs hechos con aluminio, grafito y de los sistemas mixtos. Esta experimentación hace parte de una primera fase del proyecto, que tendrá una segunda fase en el curso del 2013 donde se podrán instalar en las comunidades Achuar algunas MFCs experimentales mejoradas para la iluminación de las casas. Los resultados preliminares conseguidos hasta ahora nos han permitido de tomar algunas decisiones importantes sobre las mejorías que se deberán hacer en el futuro para construir MFCs mas eficientes para producir luz en forma limpia y sin contaminación, utilizando solamente los residuos orgánicos. El Ecuador y el territorio Achuar se adaptan óptimamente para continuar experimentando sistemas de bioelectricidad que en el futuro podrán tener muchas mas aplicaciones también en la zonas urbanas (plantas de depuración, bio-sensores,etc).

Palabras clave: Achuar, Amazonia, Bio-electricidad ,Energías Alternativas, Residuos sólidos

Introducción

En el año 2011, en Ecuador, un país que cuenta con una población de 14 millones de habitantes, se produjeron 2.179.000 toneladas de desechos orgánicos, el 58% del total. De este monto, solo el 5% fue aprovechado por los municipios. Hay diferentes formas de aprovechar por los desechos orgánicos, producción de compost, digestión anaerobia para la producción de biogas, etc...Una forma muy interesante que se está desarrollando en los últimos anos, es la producción de electricidad a partir de estos desechos, a través de lo que se llaman sistemas bio-electricos (bio-electrical systems BESs). Contrariamente de lo que pasa en las plantas de producción de biogas, donde se puede obtener una producción de energía eléctrica de forma indirecta (a través de la combustión del gas), en el caso de estos sistemas, la corriente es producida directamente. El tipo principal de sistemas bio-electricos es la microbial fuel cell (MFC) (Logan et al., 2008). En estos sistemas se aprovecha de la acción de las bacterias, que son los organismos más comunes en nuestro planeta y pueden crecer en cualquier tipo de ambiente natural o antropogénico. En particular, hay algunas bacterias, de recién descubrimiento, nombradas "electrógenas" o "electro-activas"que son capaces de producir energía eléctrica a través de la transferencia extracelular de electrones a cualquier receptor en un ambiente anaerobio. La capacidad de estas bacterias en particular ha 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). Rabeay (Rabeay et al., 2007) y Mocali (Mocali et al., 2012), muestran pero que las propiedades electrógenas son difundidas a nivel de muchas bacterias que viven en el suelo. Esta ubicuidad complica la identificación de los organismos más eficientes por un substratos específico, pero al mismo tiempo, permite el uso directo del suelo y de material orgánico mixto como matriz para la producción de electricidad. Las MFCs son todavía a nivel experimental y lejos de ser competitivas en el mercado como una alternativa a los combustibles fósiles y otras fuentes de energía. Al mismo tiempo pero, esta tecnología 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 hayan 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 (www.uq.edu.au/news/index.html?article=11943 y www.microbialfuelcell.org). Por otra parte Lebônê Solutions, Inc. (www.lebone.org) en el 2008 ha recibido una financiación de 200.000 USD 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) (Italia), un proyecto piloto sobre la bioelectricidad a través de la instalación de MFCs con el utilizo de los residuos orgánicos, como restos de comida, cascaras de fruta etc.; es la primera vez en la Amazonia y en Latino América que se implementan sistemas de bioelectricidad para la producción de energía a partir de la recuperación de los residuos sólidos orgánicos. La experimentación será desarrollada en dos fases: 1) en la primera (marzo2012-febrero2013) se realizará la instalación de sistemas MFC diferentes para medir la eficiencia de los diferentes electrodos y la máxima energía producida por las comunidades bacterianas presentes en los dos suelos utilizados; 2) en la segunda fase (final 2013) el mejor sistema será aplicado en algunas comunidades Achuar.

Objetivos

Este estudio tiene un doble objetivo: 1) escoger la configuración más eficiente entre los sistemas MFCs utilizados; 2) aplicar las MFCs en las comunidades Achuar con el fin de reciclar los residuos orgánicos produciendo energía limpia. Las diferentes configuraciones se elaboran variando los varios componentes de la celda. En primer lugar se usan diferentes tipos de suelo, pues cada suelo tiene diferente composición y organismos. Por lo que en cada suelo se encuentran varios organismos, se investigará como diferentes composiciones del material orgánico, afectan la eficiencia y la evolución en el tiempo de la MFC. Se harán también pruebas utilizando electrodos de diferentes materiales, comparando sea la eficiencia que la relación eficiencia/costo del material. Los electrodos tienen que ser buenos conductores, pero también (y en particular el ánodo, electrodo de abajo), deben permitir la proliferación de las bacterias sobre sus superficies. Ademas, esos materiales deben resistir a la corrosión en la condiciones de funcionamiento de la MFC, y no producir substancias tóxicas o dañinas para la comunidad microbiana.

Metodología

Para la construcción de los sistemas MFCs se utilizaron materiales bajo costo y que pueden encontrarse en cualquier lugar. Para construir un sistema MFC se necesita un balde de plástico, un cable eléctrico, un LED blanco, dos electrodos, una muestra de suelo y residuos orgánicos. En primer lugar se pone un electrodo (ánodo) en el fondo del balde y se conecta con el LED con un cable; luego se añade 1kg de suelo mezclado con 100g de carbón (opcional). A este

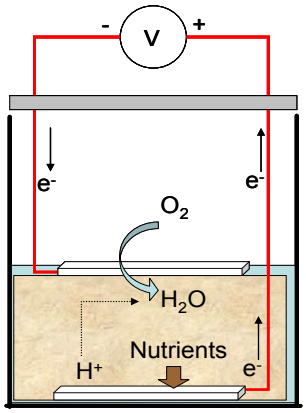

Fig.1- sistema de MFC

punto, se echan 1,5kg de desechos orgánicos sólidos mezclados con 1,5kg de suelo y se le pone otro electrodo encima y se conecta al LED con otro cable. La celda luego se llena de agua, dejando el electrodo superior en contacto con el aire, y en particular con el oxigeno del aire.

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 fluirán desde el ánodo hasta el cátodo a través de los cables eléctricos, pasando por el LED. Los protones cerraran el circuito moviéndose desde el ánodo hasta el cátodo en la parte interior de la celda, y reaccionando con el oxigeno y los electrones al cátodo, a dar moléculas de agua (Fig.1). En la primera fase de este estudio se han instalado 3 sistemas MFC separados en dos lugares elegidos para la experimentación: Macas y Wasakentsa. En las diferentes celdas, (sea en Macas que en Wasakentsa), se han usados las siguientes combinaciones de 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 mide cada día la diferencia de potencial desarrollada (Fig.2).

Fig. 2 – Imágenes de la experimentación sobra la bioelectricidad

Adicionalmente a partir del mes de Agosto del 2012, se añadieron 2 MFCs más en la instalación de Macas para aumentar la muestra estadística y medir la influencia de un resistor. Todas las MFC en los dos sitios de experimentación fueron medidas cada día desde el mes de Marzo 2012 hasta el final de Enero 2013 a través de un multimetro, anotando los valores de la tensión producida, de la temperatura externa, de la fecha y hora de medición y eventuales notas y observaciones.

Resultados

WASAKENTSA

Experimento 1: (dos electrodos de tejido de carbono)

La MFC N°1 fue' monitoreada por un total de 10 meses a partir del 26 de Marzo del 2012, con una producción de tensión variable en el curso de la medición. El valor máximo que se registro' fue' de 449mV (Fig.3) el 24 de mayo del 2012 (60 días después la instalación).

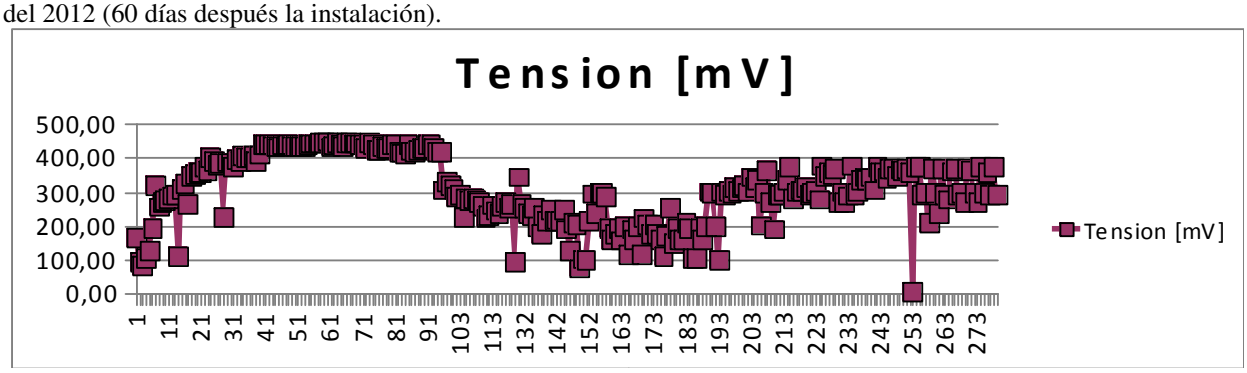

Fig.3 –Tensión producida en la MFC N1 en el tiempo (días) en Wasakentsa

Experimento 2: (dos electrodos de aluminio)
La MFC N°2 fue' monitoreada por un total de 4 meses a partir del 26 de Marzo del 2012, con una producción de tensión más o menos constante en el curso de la medición. El valor máximo que se registro' (sin 2 valores extremamente altos, debido probablemente a un error de medición) fue' de 321mV el 26 de marzo del 2012 (el primer día de la instalación).
Experimento 3: (un electrodo de aluminio y un electrodo de tejido de carbono)
La MFC N°3 fue' monitoreada por un total de 4 meses a partir del 26 de Marzo del 2012, con una producción de tensión variable en el curso de la medición. El valor máximo que se registro' fue' de 958mV el 26 de marzo del 2012 (el primer día de la instalación).
Experimento 4: (dos electrodos de tejido de carbono)
La MFC N°4 fue' monitoreada por un total de 4 meses a partir del 2 de Agosto del 2012, con una producción de tensión variable en el curso de la medición. El valor máximo que se registro' fue' de 396mV el 8 de noviembre del 2012 (después 97 días de la instalación).
Experimento 5: (dos electrodos de tejido de carbono, con resistor)
La MFC N°5 fue' monitoreada por un total de 4 meses a partir del 2 de Agosto del 2012, con una producción de tensión variable en el curso de la medición. El valor máximo que se registro' fue' de 289mV el 7 de Agosto del 2012 (después 6 días de la instalación).

MACAS

En Macas el día 23 de Marzo se instalaron 4 MFC (N°1, N°2, N°3 y N°4) y el día 6 de Agosto se añadieron dos nuevas MFC con electrodos de tejido de carbono (N°5 y N°6).
Los experimentos de las MFC instaladas en Macas dieron los siguientes resultados:
Experimento 1: (dos electrodos de tejido de carbono)
La MFC N°1 fue' monitoreada por un total de 10 meses a partir del 23 de Marzo del 2012, con una producción de tensión variable en el curso de la medición. El valor máximo que se registro' fue' de 600mV (Fig.4) el 31 de Agosto del 2012 (después 162 días después la instalación).

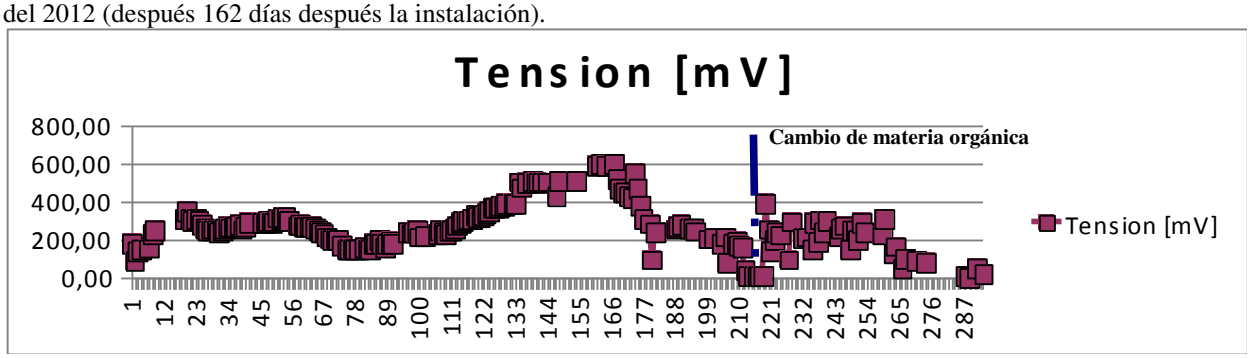

Fig.4 –Tensión producida en la MFC N5 en el tiempo (días) en Macas

Experimento 2: (dos electrodos de aluminio)
La MFC N°2 fue' monitoreada por un total de 10 meses a partir del 23 de Marzo del 2012, con una producción de tensión variable en el curso de la medición. El valor máximo que se registro' fue' de 363mV el 8 de Agosto del 2012 (después 139 días después la instalación).
Experimento 3: (un electrodo de aluminio y un electrodo de tejido de carbono)
La MFC N°3 fue' monitoreada por un total de 10 meses a partir del 23 de Marzo del 2012, con una producción de tensión variable en el curso de la medición. El valor máximo que se registro' fue' de 905mV el 23 de Marzo del 2012 (el primer día de la instalación).
Experimento 4: (dos electrodos grafito)
La MFC N°4 fue' monitoreada por un total de 10 meses a partir del 24 de Marzo del 2012, con una producción de tensión variable en el curso de la medición. El valor máximo que se registro' fue' de 514mV el 21 de Noviembre del 2012 (después de 244 días de la instalación).
Experimento 5: (dos electrodos de tejido de carbono, con resistor)

La MFC N°5 fue' monitoreada por un total de 6 meses a partir del 6 de Agosto del 2012, con una producción de tensión variable en el curso de la medición. El valor máximo que se registro' fue' de 248mV el 9 de Septiembre del 2012 (después de 35 días de la instalación).

Experimento 6: (dos electrodos de tejido de carbono)

La MFC N°6 fue' monitoreada por un total de 6 meses a partir del 10 de Agosto del 2012, con una producción de tensión variable en el curso de la medición. El valor máximo que se registro' fue' de 631mV el 8 de Enero del 2013 (después de 156 día de la instalación).

En línea general podemos ver que las MFCs con electrodos de tejido de carbono (en Macas y en Wasakentsa) han producido valores de tensión eléctrica más alta (Tab.1), comparado con las otras MFCs que han utilizado otros materiales. En efecto el promedio de la MFC1 y de la MFC6 de Macas fue' 263mV y 277mV respectivamente y en Wasakentsa fue' 303mV, valores mas altos comparados con el promedio de las otras MFCs.

	MACAS						**WASAKENTSA**				
MFC	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
ANODO	TC	AL	TC	GR	TC	TC	TC	AL	TC	TC	TC
CATODO	TC	AL	AL	GR	TC	TC	TC	AL	AL	TC	TC
FECHA INICIO	Mar 2012	Mar 2012	Mar 2012	Mar 2012	Ago 2012	Ago 2012	Mar 2012	Mar 2012	Mar 2012	Ago 2012	Ago 2012
MESES DE MEDICION	10	10	10	10	6	6	10	4	4	6	6
TENSION MAX (mV)	600	363	905	514	248	631	449	321	958	396	289
TENSION PROM(mV)	263	105	225	193	86	277	303	210	167	127	91

Tab.1- Resumen de los resultados entre todas las MFCs instaladas en Macas y en Wasakentsa
TC=tejido de carbono; AL=aluminio; GR: grafito

Discusión y Conclusiones

El proyecto piloto sobre la bioelectricidad que se empezó a ejecutar en el cantón Taisha representa el primer ejemplo de implementación experimental de esta forma de energía limpia en Latino América y el segundo ejemplo en el mundo después un antecedente en África en el 2008 (Tanzania). Por esta razón estamos convencidos que esta acción representa un paso importante en el territorio Achuar y en las zonas rurales de la Amazonia y del Ecuador para implementar e utilizar esta forma de energía, que resulta fácil, barata y sin contaminación y con grandes potencialidades y aplicaciones futuras. Actualmente los resultados preliminares obtenidos son muy interesantes y nos están permitiendo de terminar la primera fase del proyecto piloto que estaba enfocado en la análisis de los materiales más eficientes para utilizar como electrodos (ánodo y cátodo) dentro de las MFCs. El resultado obtenido demuestra que el tejido de carbono representa el material más eficiente, comparado con el aluminio, el grafito y el sistema mixto (tejido de carbono y aluminio), sea en las MFCs instaladas en Macas, sea en aquellas de Wasakentsa. Estos resultados son comparables con aquellos obtenidos en laboratorio por el equipo de investigación de la Universidad de Florencia en Italia, en sistemas microbianos mas pequeños. Entre los resultados de Macas y Wasakentsa hemos visto que en las MFCs más eficientes con tejido de carbono, la producción de tensión eléctrica tiene una tendencia diferente: creciente al inicio en Wasakentsa para los primeros 3 meses y decreciente para los siguientes 3 meses, donde se registró un otro crecimiento. En Macas la tendencia es al revés, decrecientes para los primeros 3 meses y creciente para los 3 meses subsecuentes y un crecimiento ulterior, con una tendencia sinusoidal de un interval de 3 meses. Esta experimentación hace parte de la primera fase del proyecto piloto, que tendrá una segunda fase a partir del mes de Noviembre del 2013 donde se podrán instalar en las comunidades Achuar algunas MFCs experimentales mejoradas para la iluminación de las casas. Los resultados preliminares conseguidos hasta ahora nos han permitido de empezar a tomar algunas decisiones importantes sobre las mejorías que se deberán hacer para en futuro construir una MFC optimizada y mas eficiente.

Figura 3 – Casas de la comunidad Achuar de Nases.

La tecnología MFC y la bioelectricidad representan una grande oportunidad de producir energía alternativa, aunque hoy día la potencia de estos sistemas sea suficiente solo para encender pequeños focos o aparatos. Las bacterias electrógenas se encuentran en todos los suelos del mundo, solo hay que optimizar su desarrollo y su actividad. En los próximos meses se continuara' la medición de las MFCs instaladas, hasta el mes de Noviembre 2013 cuando se implementaran las nuevas MFCs mejoradas. Actualmente se está también llevando a cabo una colaboración para la ejecución de una tesis con la Universidad ESPOCH de Riobamba, para analizar 9 MFCs instaladas en Macas y 9MFCs instaladas en Riobamba. En cada sitio se han instalados 3 MFCs de 4lt de volumen, 3 de 12lt y 3 de 20lt, todas con electrodos solamente en tejido de carbono (en cuanto resulto' el material más eficiente). El objetivo es de comparar los resultados de los suelos andinos con los suelos amazónico analizando los 2 suelos para caracterizar la biodiversidad bacteriana del páramo y del territorio amazónico Achua, para dar un paso adelante a la fase de la instalacion de MFCs mejoradasr. El territorio Achuar se adaptan óptimamente para continuar experimentando y trabajando sobre la bioelectricidad por diferentes razones:

1. Es un territorio rural muy aislado y sin electricidad

2. Esta' ubicado en la foresta amazónica, un ecosistema muy rico de biodiversidad y donde cualquier impacto puede afectar la fauna y la flora

3. Tiene una potencial biodiversidad microbiana todavía desconocida que podría conservar potencialidades importantes sobre las bacterias electrogenicas

Lo máximo que se podrá esperar en el futuro próximo, será la construcción y la instalación de una MFC que contenga en su suelo, solamente bacterias anaerobias nativas de la zona de la instalación, para ser más eficiente posible y no contaminar el medioambiente. Adicionalmente, la caracterización de las bacterias electrogenicas podrá abrir muchas aplicaciones en el territorio Achuar, en la Amazonia y en todo el Ecuador, como ya se está intentando de hacer en varios otros Países mas avanzados incluyendo aplicaciones utiles tambien en las zonas urbanas (depuradores de aguas residuales, bio-sensores).

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. (DOI: 10.1007/s00253-012-3906-6).

Rabaey K, Rodrıguez J, Blackall LL, Keller J, Gross P,Batstone D, Verstraete W and Nealson KH (2007). Microbial ecology meets electrochemistry: electricity-driven and driving communities The ISME Journal, 1: 9–18.