

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE
COSTA RICA
ESCUELA DE BIOLOGÍA**

26 de abril 2014

Proyecto de investigación

Desarrollo de un prototipo de estanque semi-cerrado para el cultivo de microalgas en forma semi-masiva

Informe final:

MSc. Maritza Guerrero B, Escuela de Biología

MSc. Arys Carrasquilla, Escuela de Electrónica

MSc Paola Solera, Escuela de Biología

2014

Cuadro de Contenidos

Sección	Página
Tabla de contenidos	1
Información General del proyecto	2
Resumen	4
Palabras clave	5
1. Introducción	5-6
1.1 Objetivos Generales	7
1.2 Objetivos Específicos	7
2. Metodología	7
2.1 Colección, aislamiento y caracterización de las microalgas	7
2.2 Producción de biomasa de microalgas para la producción de lípidos y proteínas	7
2.3 Establecimiento de los medios de producción para la generación de lípidos en los sistemas cerrados (foto-bioreactores)	8
2.4 Diseño de fotobioreactor	8
2.5 Extracción y cuantificación del aceite	8-9
2.6 Determinación de propiedades químicas	10
2.7 Análisis molecular de consorcio bacteriano asociado a los estanques	11-14
2.8 Diseño experimental	14
Resultados	15
3.1 Colección, aislamiento y caracterización de las microalgas	15
3.2 Producción de biomasa de microalgas para la producción de lípidos y proteínas	16

3.3 Establecimiento de los medios de producción para la generación de lípidos en los sistemas cerrados (foto-bioreactores)	17-23
3.4 Diseño de fotobioreactor	25
3.4.1 Extracción y cuantificación del aceite	
3.4.2 Determinación de propiedades químicas	
3.5 Análisis molecular de consorcio bacteriano asociado a los estanques	26- 35
4 Otros logros	36-40
5 Discusión y conclusiones	40-43
6 Referencias	43-45

Título

Desarrollo de un prototipo de estanque semi-cerrado para el cultivo de microalgas en forma semi-masiva

Autores y direcciones

MSc. Maritza Guerrero B. mguerrero@itcr.ac.cr

MSc. Paola Solera S. psolera@itcr.ac.cr

MSc Arys Carrasquilla acarrasquilla@itcr.ac.cr

Indicar nombre completo de los y las participantes del proyecto

MSc. Maritza Guerrero Barrantes Investigador (coordinador)

MSc. Paola Solera Steller Investigador

MSc Arys Carrasquilla Investigador

Empresa participante: Latic del Norte S.A., Santa Clara.

Representante legal: Sr. Porfirio Campos Cordero

Desarrollo de un prototipo de estanque semi-cerrado para el cultivo de microalgas en forma semi-masiva

¹Guerrero B. Maritza, ² Carrasquilla Arys y ¹Solera S. Paola

¹Centro de Investigación en Biotecnología, Instituto Tecnológico de Costa Rica.

²Escuela de Electrónica, Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Resumen

La quema masiva de los combustibles fósiles para obtención de energía ha creado el gran problema del efecto invernadero debido a las emisiones de gases procedentes de esas combustiones, sobre todo de dióxido de carbono y metano. La necesidad de controlar y disminuir las emisiones de estos gases de efecto invernadero ha provocado que en los últimos años la comunidad científica diera la voz de alarma sobre el peligro de calentamiento global y sus previsible efectos y consecuencias para la vida en la Tierra.

Las materias primas desarrolladas hasta el momento (maíz, palma, colza, soja, entre otros) para fabricar estos combustibles, se obtienen con técnicas de agricultura intensiva, con el uso de pesticidas, fertilizantes, y maquinaria de laboreo, recolección y transporte, que derivan o usan el petróleo. La situación empeoraría con cultivos más extensivos y por tanto menos productivos que necesitarían aún más tierra, y se producirían a mayor costo (Russ 2007).

El reto de la producción a gran escala de microalgas con fines energéticos ha sido asumido a escala global por un gran número de empresas, y los avances en este campo se producen con rapidez, hoy día se encuentran bajo protección (patentes). Se puede decir que las microalgas no solo son captadoras de CO₂ sino que emiten O₂, por lo que tienen un doble efecto ambiental beneficioso, y además se produce biomasa que puede ser utilizada como biofertilizante entre otros.

Las microalgas en los climas tropicales se deben producir en estanques semicerrados por ser estos sistemas de bajo costo y eficientes, por tanto este proyecto estableció en Costa Rica el cultivo semi masivo con tecnología propia para potenciar las microalgas, se logró adaptar la especie de microalgas a medios de bajo costo en estanques.

Se logra exitosamente concretar varios productos generados en este proyecto de los cuales se nombran: El diseño y planos de un estanque para cultivo microalgal, sistema de agitación, sistema electrónico del cultivo microalgal (medición de parámetros, y sistemas de agitación), microalgas adaptadas a medios orgánicos, protocolo de medio orgánico.

Palabras clave

Microalgas, cepas promisorias, aceite microalgal, *Chlorella sp*, raceway, ponds.

1. Introducción

Los países tropicales por su condición climática, la temperatura y la luz se mantienen bastante constantes, esto los convierte en sitios muy promisorios para cultivos algales con sistemas abiertos, debido a que se reduce significativamente los costos operativos de la producción de microalgas. Aun cuando la temperatura en los climas tropicales más ventajosa, se ha demostrado que los sistemas de cultivo masivo en exteriores tipo “raceway” o estanque continuo (estanque de forma ovalada con cultivo continuo) donde la temperatura fluctúa en el ciclo diario, y pueden existir pérdida de agua por evaporación (Chisti, 2007).

En los sistemas abiertos es importante determinar el material de construcción, controlar la turbulencia, la dirección de flujo y tener la mayor superficie de contacto posible con la luz solar, ya que el cultivo está en contacto directo con el ambiente; mientras que en los sistemas cerrados debe considerarse el diseño del sistema, control de temperatura, tipo y duración de iluminación, así como la carga inicial al sistema.

Diversos estudios han demostrado que los raceways o estanque semi continuo son sistemas menos caros que los fotobiorreactores debido a su menor coste de construcción y operación, aunque la producción de biomasa también es menor, son sistemas abiertos de poca profundidad con sistemas mecánicos que proporciona la circulación de biomasa algal y nutrientes (Sims y Christenson, 2011). En los raceways se puede alcanzar productividades de 50-60 gm-2día-1 de biomasa, sin embargo en la práctica difícilmente se alcanzan rendimientos de 10-20 g m-2 día-1 (Shen et al., 2009)

El acoplamiento del sistema con la planta de aguas agroindustriales y cultivo microalgal permite aprovechar sinergias entre ambos procesos y reducir los costos de operación de la producción de microalgas, pero sobre todo garantiza la disponibilidad de recursos, agua y CO₂, imprescindibles para la producción de microalgas.

Existen otras fuentes de nutrientes más baratas como pueden ser aguas residuales urbanas o de tipo industrial, combinadas con aportes de fertilizantes en el caso de necesidad nutricional. Las microalgas mediante estrés nutricional (deficiencia nutricional), son capaces de acumular ácidos grasos, pero con ello se disminuye la productividad de biomasa; un rápido crecimiento conlleva a un bajo contenido en lípidos en unas condiciones nutricionales óptimas, o por el contrario, una disminución del crecimiento o un crecimiento nulo conllevan a un aumento de los lípidos bajo condiciones nutricionales deficientes (Shen et al 2009). Un proceso ideal para la producción de aceites, requiere de una alta productividad de biomasa y un alto contenido de lípidos (Fernández et al 2012). Por otro lado, las microalgas cultivadas bajo diferentes condiciones de iluminación pueden asimilar el CO₂ y dirigirlo hacia diferentes rutas metabólicas, obteniendo diferentes productos intracelulares según las necesidades de las células, y con ello también pueden aumentar el contenido en lípidos (Achara, N. 2012). De esta manera, contar con el tipo adecuado de microalgas que sobreviva y además de desarrolle en perfectas condiciones con medios orgánicos es relevante, y entre ellas *Chlorella sp* cumple con los requerimientos apropiados. Se ha demostrado que esta especie de microalga muestra elevadas velocidades de crecimiento incluso en sistemas abiertos a la intemperie y se han utilizado en procesos de depuración de efluentes de origen animal e industrial, apareciendo de forma natural en ambientes acuáticos con mínimas concentraciones de nutrientes.

Este estudio tenía como objetivo diseñar un estanque y sistema de agitación monitoreado electrónicamente para el cultivo microalgal.

2. Objetivo general

Potenciar las energías alternativas por medio de la generación e implementación un prototipo de estanque semi-cerrado para el cultivo de microalgas con potencial en la producción de aceites para la producción de biocombustibles y captura de CO₂

2.1 Objetivos específicos

- 1- Establecer el diseño y el modelo del estanque de microalgas de 5m x 20m x 60 cm.
- 2- Generar un sistema electrónico del estanque de monitoreo de pH, CO₂, O₂, luz, temperatura, flujo y velocidad.
- 3- Implementar la construcción del estanque.
- 4- Integrar los componentes electrónicos en el estanque construido.
- 5- Comprobar en funcionamiento del estanque completo con medios de cultivo preestablecido.

3. Metodología

3.1 Establecer el diseño y el modelo del estanque de microalgas de 5m x 20m x 60 cm.

Se confeccionó un estudio topográfico para ubicar el estanque en el sitio seleccionado por la oficina de Ingeniería del ITCR. Se realizaron planos estructurales del estanque así como casetas para contener los motores que activan las paletas. El estanque se construyó al aire libre, su tamaño es de 5 metros de ancho por 20 metros de largo y 70 cm de profundidad. Se diseñó una estructura de concreto para sostener un acrílico de 1000µm de grosor de color blanco por un lado y negro por el otro. En el centro del estanque lleva una división para provocar un flujo continuo del cultivo una vez que se le incorporen el sistema de agitación. El sistema de agitación se diseñó para provocar una turbulencia continua, el tamaño y el grosor de los ejes de las paletas se diseñaron para que estas puedan generar la fuerza de empuje del agua según exista un incremento microalgal. Se instalaron diferentes tuberías requeridas para la distribución equitativa de los nutrientes y de los gases y un desagüe que permite al agua llovida filtrarse al suelo sin que esta ingrese al estanque (Fig 1, 2, 3 y 4). Se adjunta diseños.

3.2 Generar un sistema electrónico del estanque de monitoreo de pH, CO₂, O₂, luz, temperatura, flujo y velocidad.

Se establecieron las variables físicas más importantes para el sistema de producción de microalgas las cuales son: variables físicas temperatura, pH, luminosidad, oxígeno y dióxido de carbono disuelto.

Se tomó en cuenta como una de los factores determinantes para escoger los sensores el costo de los mismos, además y se pretendió específicamente desarrollar un sistema sencillo, que cuente con características tales como: bajo consumo, portabilidad del mismo, y que tuviera gran capacidad de almacenamiento. Por último, el factor crítico fue la comunicación inalámbrica principalmente el consumo de energía y complejidad del protocolo.

Se definieron cuatro partes básicas del sistema: 1- sensores para cada una de las variables requeridas; 2- módulo de comunicación inalámbrica; 3- dispositivo de almacenamiento; y 4- el uso de un microcontrolador para el procesamiento de los diferentes tipos de información obtenidos de las partes anteriores.

Para elegir los sensores se tomó en consideración que fueran suministrados por la misma empresa, debido a su costo y disponibilidad, y además, desarrollados por el mismo fabricante con el fin de asegurar su compatibilidad. Un criterio relevante en el diseño fue la señal de salida, se prefirió que fuera de bajo voltaje, entre 3 y 5V y que posea un menor consumo de corriente y un acondicionamiento de la señal simple, comparándolos por ejemplo con un sistema de lazo cerrado de corriente de 4 a 20mA.

La elección del dispositivo de almacenamiento fue el diseño simple ya que en cuanto a su costo, la capacidad y el consumo presentado del mismo, son las mejores opciones debido a la memoria flash y la tarjeta SD. Al final se escogió la segunda opción debido a que se puede utilizar el protocolo de comunicación SPI el cual según recomendación de personas con experiencia en estos dispositivos, es más simple y más estable que el protocolo USB al trabajarlo con microcontroladores.

Para la comunicación inalámbrica se analizaron varias alternativas como Wi-Fi, Bluetooth, MiWi®, ZigBee®, entre otras. La elección de ZigBee® es la alternativa de menor consumo energético exceptuando a MiWi®, que posee un consumo similar (dependiendo del módulo

utilizado) pero con el inconveniente que está atado a un fabricante que podría eventualmente cobrar una licencia por su uso. El módulo seleccionado para utilizar este estándar de comunicación fue el módulo xBee.

El microcontrolador seleccionado fue el dispositivo Arduino, específicamente el modelo FIO, este dispositivo utiliza un microcontrolador ATmega328p, es de bajo consumo de corriente, se puede utilizar con una batería, es compatible con el estándar ZigBee® y con el protocolo SPI.

Implementación

Se desarrolló diferentes códigos de prueba para el microcontrolador, con el fin de entender la capacidad de cada una de sus funciones.

Se realizó la conexión del microcontrolador y la tarjeta SD y se comprobó su correcto funcionamiento utilizando un código de ejemplo.

Se midió el consumo de corriente por parte de la SD y se buscó alguna forma de reducirlo por medio de rutinas más eficientes, esto llevó a utilizar librerías desarrolladas por terceros que aunque su implementación fue más complicada, generara mejores resultados.

Se escribió la rutina para almacenar archivos en la tarjeta SD con el formato requerido por el proyecto.

Se programó una rutina para el manejo de la fecha y la hora comprobando su funcionamiento con un reloj común.

Se escribió la rutina para realizar la captura de datos analógicos basada en un tiempo de muestro.

Se conectó el módulo inalámbrico al microcontrolador y se verificó su funcionamiento utilizando un código de ejemplo y un monitor del puerto serie en la PC.

Se adaptó una librería para utilizar el modo “sleep” (modo de espera de bajo consumo de corriente) tanto del módulo inalámbrico como del microcontrolador.

Se definió el flujo de información entre la PC y el microcontrolador, y se escribió una rutina que siguiera ese flujo en el microcontrolador y se programó una aplicación que lo siguiera en la PC.

Todas las rutinas antes mencionadas se unieron para crear una rutina global que se encarga de capturar los datos analógicos almacenarlos en la tarjeta SD y controlar la comunicación inalámbrica.

Se construyó un prototipo para verificar el funcionamiento de esta rutina.

Se diseñó el circuito impreso para luego construir la versión final del sistema

Se adaptaron los conectores de los sensores a los del sistema.

Se calibraron los sensores utilizando distintos procedimientos explicados más adelante.

Se verificó el funcionamiento del sistema completo.

3.3- Implementar la construcción del estanque.

Se realizó una contratación de los servicios externos para nivelación del terreno y la construcción del estanque supervisado por la Oficina de Administración de Mantenimiento (DAM) del ITCR.

Se realizó un estudio de las posibilidades de tipos de materiales y formas de colocación de los mismos. Se contrató la construcción de las paletas con la medida de las cargas del motor. Se realizó una elección de motor de diferente carga y potencia, con el fin de obtener una eficiencia controlada y constante.

3.4- Integrar los componentes electrónicos en el estanque construido.

Los componentes electrónicos se ensamblaron en los laboratorios de la Escuela de Electrónicas y se probaron antes de la instalación dentro de los estanques. Se tomaron medidas de cada una de las variables con una fuente blanco para comprobar la exactitud de la emisión de los datos generados por los sensores.

3.5 Comprobar en funcionamiento del estanque completo (5m x 20m x 0.6 m) con medios de cultivo preestablecido.

El estanque que se cultivó está ubicado en Guanacaste Filadelfia, Azucarera El Viejo. Para comprobar la funcionalidad del estanque con el cultivo algal se inició llenando el estanque con medios orgánicos y microalgas procedentes del laboratorio. Sin embargo, cabe mencionar que antes de realizar este llenado se procedió a adaptar la microalgas a medios orgánicos a diferentes concentraciones, hasta lograr tener una estabilidad del cultivo, donde la cinética celular se mantiene en fase exponencial, de manera que permita incrementar el cultivo sin decaer.

Se realizaron cultivos a 10%, 20%, 30% y 40 % de concentración de lixiviado de ganado, una vez que los cultivos se comportaron similar en la concentración deseada e procedió a inocular el estanque de 30 m³

Para determinar y caracterizar el crecimiento de microalgas en el estanque se midió la temperatura, la conductividad, el pH, la absorbancia, solidos totales disueltos, la tasa de crecimiento (mg peso seco L-1d-1), cada muestra cultivo microalgal se sometió a centrifugación, se filtró y se llevó a peso seco a 30 °C por 24 horas.

Se calculó el CO₂ capturado por medio de la masa molar de la celulosa (C₆H₁₀O₅)_n (n=200) y de los átomos en molécula de celulosa (n=200) para conseguir la masa por átomo. Con esta información se calcula el porcentaje de la masa de Carbono (C).

Para determinar la concentración celular de la muestra se utilizó un espectrofotómetro (marca) se por densidad óptica (calibrando con anterioridad el equipo), se determina la absorbancia (nm) a diferentes densidades ópticas 54 nm, 660nm, y 750nm.

Se cuantificó el número celular mediante conteo directo por medio de un hemocitómetro, para esto se toma una muestra de un mililitro y se agita bien colocando 10 ul en la cámara y se cuentan las microalgas en los cuadrantes de la diagonal.

Diseño experimental

Se realizó un análisis de descriptivas y un análisis de correlación entre las variables de crecimiento y el físico químicas, se calculó el peso seco de la biomasa producida. Se calculó la Cinética del crecimiento celular y la absorbancia a una longitud de onda.

4. Resultados

4.1- Establecer el diseño y el modelo del estanque de microalgas de 5m x 20m x 60 cm.

Se generó tres diseños de estanque con las indicaciones detalladas de los componentes estructurales, se contempló la estructura de concreto con el fin de asegurar las fuerzas requeridas ejercidas por el peso del agua que esta va a contener. Las curvas diseñadas implican que el agua no debe quedar estancada, de esta manera las paletas de agitación se colocarán inmediatamente al inicio de la curva, debido que el agua pierde fuerza en la curva. De esta manera el cultivo vuelve a tomar fuerza al salir de la curva.

El estanque se diseñó con tubería externa de desagüe que permite al agua llovida filtrarse al suelo sin que esta ingrese al estanque (Fig 1, 2, 3 y 4) Se adjuntan.

4.2- Generar un sistema electrónico del estanque de monitoreo de pH, CO₂, O₂, luz, temperatura, flujo y velocidad.

Hardware del sistema

Se generó un esquema del diseño final del sistema de adquisición de variables físicas para el estanque de microalgas (figura 5). Es importante mencionar que las conexiones del módulo de transmisión/recepción ZigBee® no se muestran en el esquema debido a el microcontrolador posee un zócalo con el cableado interno necesario para su conexión.

Todos los componentes se encuentran ensamblados dentro de una misma caja (apéndice A.3) con la excepción de los sensores de pH, temperatura, CO₂ y oxígeno, los cuales se conectan externamente a esta caja.

Conexión módulo de comunicación inalámbrica

El módulo xBee utiliza conexiones estándar entre los protocolos de comunicación como lo son pines de transmisión (TX) y recepción (RX) pero además posee una señal extra que en lleva el nombre DTR1 la cual está conectada al pin D4 del microcontrolador. Esta señal permite llevar al módulo inalámbrico a un estado de “sleep” con un consumo de corriente menor a 1mA (figura 5).

Conexión de la tarjeta SD

Las conexiones de la tarjeta SD, la cual se utilizó en modo SPI solamente requiere de cuatro pines (MISO, MOSI, CLK, CS). (Cuadro 1).

En cuanto al hardware es fundamental tener en consideración que los pines MOSI, MISO y chip select (CS) deben conectarse a una resistencia de “pull-up” de 10-100kΩ para evitar problemas de ruido a causa de pines abiertos.

Cuadro 1 Lista de conexiones entre la tarjeta SD y el microcontrolador

Pin Esquemático	Señal SD	Pin Arduino
1	NC	NC
2	MISO	D12
3	GND	GND
4	CLK	D13
5	VCC	VCC

6	GND	GND
7	MOSI	D11
8	CS	D10
9	NC	NC

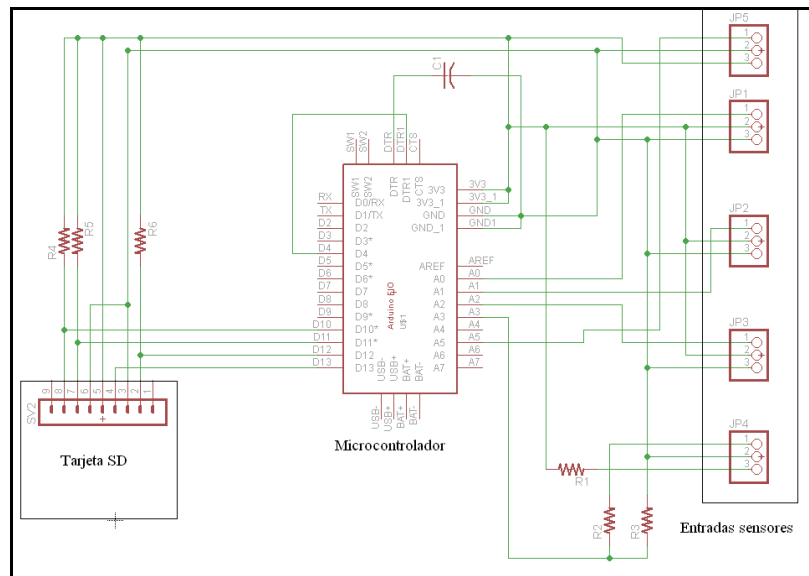


Figura 5. Sistema de adquisición de variables físicas para un estanque de microalgas.

Conexión de los sensores

Todos los sensores (con la excepción del de luminosidad) por defecto utilizan un conector BTA (figura 6), pero debido a la dificultad que implica conseguir este tipo de conectores se prefirió cambiarlos por conectores de red RJ-45.

Las conexiones de los sensores hacia el microcontrolador son directas esto debido a que son salidas de voltaje con rango de 0 a 3.3V que es el aceptado por este dispositivo (figura 5). Sin embargo, existe una única excepción, el sensor de CO₂ disuelto, debido a que posee una salida

de hasta 5V por lo tanto requirió de un divisor de tensión en la entrada del microcontrolador para ajustar los niveles de voltaje y permitir que ambos dispositivos fueran compatibles.

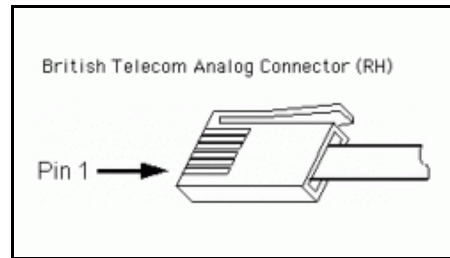


Figura 6 Conector BTA

Software

Los principales módulos de programación son implementados en el sistema tanto del lado del microcontrolador como de la PC y es importante mencionar que la comunicación inalámbrica entre ambos sistemas se realiza emulando una conexión por puerto serial con una velocidad de transmisión de 57600bps (figura 5).

Entornos de desarrollo

La programación del microcontrolador se realizó en el ambiente de desarrollo de Arduino versión 1.0, cabe destacar que las librerías que posee por defecto este entorno no fueron suficientes por lo que fue resultó necesario buscar y adaptar al proyecto librerías de terceros. Este entorno fue escogido ya que es el entorno oficial para este tipo de dispositivos lo cual es importante para asegurar la compatibilidad.

Por su parte la aplicación para la PC fue desarrollada en el entorno Microsoft© Visual Studio 2010 con el lenguaje de programación C#.

Aplicación PC

Se generaron requisitos de esta aplicación en un manual de usuario (Anexo 1) y la pantalla principal de la aplicación se muestra en la computadora donde se puede observar que posee una interfaz bastante sencilla la cual cuenta en la parte superior con un cuadro de

notificaciones, donde se despliegan mensajes que informan desde si una operación fue exitosa, hasta los valores de los sensores cada vez que se realiza una medición (figura 7).



Figura 7. Pantalla principal aplicación PC

En la parte central izquierda posee un cuadro para seleccionar el tiempo de muestreo (en minutos) el cual se modifica fácilmente utilizando las flechas que tiene al lado (figura 7) y en la parte inferior posee cuatro botones los cuales se explican a continuación:

Iniciar: Envía un comando al microcontrolador para que inicie el proceso la toma de datos de los sensores basado en el tiempo de muestro indicado en la pantalla.

Detener: Envía un comando al microcontrolador para que detenga el proceso de muestreo.

Ver Archivos: Extrae la lista de archivos contenidos en la tarjeta SD y los despliega en el cuadro que se encuentra a la derecha.

Copiar Archivo: Si hay un archivo seleccionado en el cuadro que se encuentra a la derecha, busca ese archivo en la tarjeta SD y lo copia a una carpeta de la computadora. Cabe destacar que no es una simple copia sino que esta aplicación convierte los datos a las unidades correspondientes utilizando fórmulas diferentes para cada sensor. Y a su vez el contenido del archivo es copiado en la PC (cuadro 2).

Se generó un diagrama de flujo de la aplicación para la PC (figura 8) y para comprender su funcionamiento, es necesario saber que la computadora necesita un dispositivo USB, que

utiliza el protocolo ZigBee para comunicarse con el módulo inalámbrico del microcontrolador (figura 8). Es por eso que, al iniciar la aplicación lo primero que hace es revisar en cada uno de los puertos, si está conectado este dispositivo, de lo contrario despliega un mensaje de error indicando al usuario que revise la conexión de dicho aparato. Si encontró el dispositivo USB entonces la aplicación entra en un estado de espera que puede ser interrumpido de dos formas, por el usuario o por el microcontrolador. En el caso de que el usuario presione algún botón de la interfaz la aplicación ejecutaría las funciones ya mencionadas. En el caso del microcontrolador este puede interactuar de distintas formas como sincronizando la hora y fecha del sistema, enviando información de la última medición, transfiriendo archivos estos aspectos se explican con más detalle en el siguiente apartado.

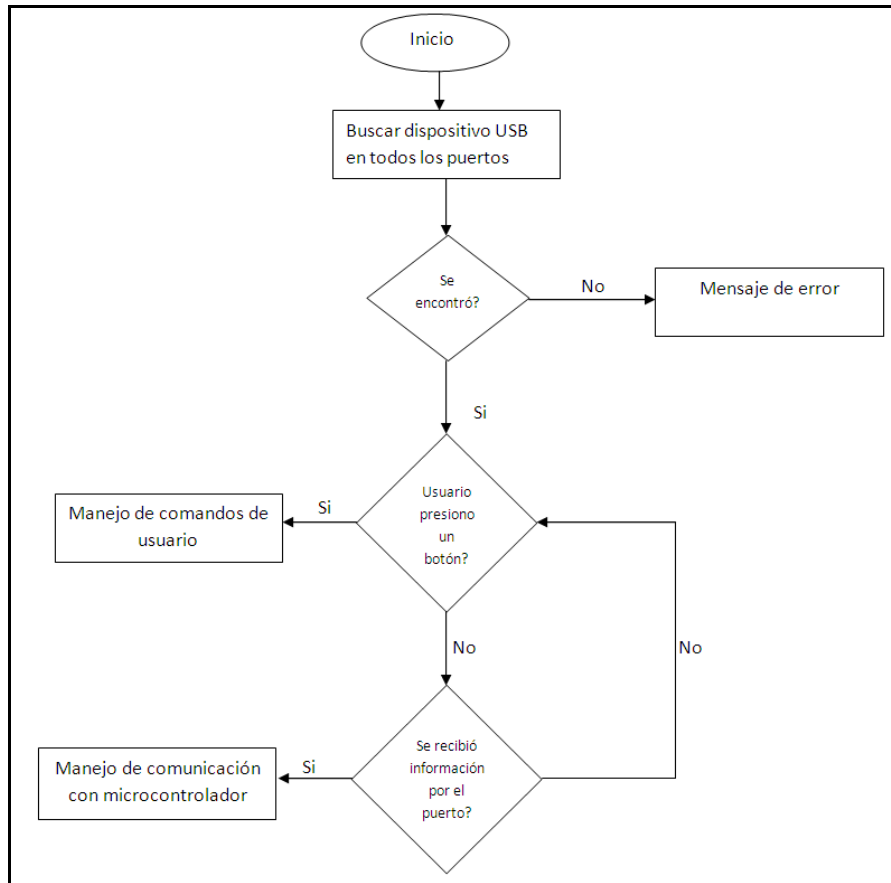


Figura 8 Diagrama de flujo aplicación PC

Cuadro 2 Ejemplo del contenido de un archivo copiado a la PC

Tiempo	Temperatura(°C)	pH	O2(ppm)	Co2 (%)	Luminosidad(lux)
17:24:30	21.32	6.87	5.23	1.25	42.36
17:24:40	21.32	6.87	5.23	1.25	42.36

Un aspecto importante es que, el inicio de la aplicación no interfiere con el funcionamiento del microcontrolador (figura 8). Por lo tanto, si se inicia un proceso de muestreo y se cierra la aplicación el proceso se sigue ejecutando y luego se podría abrir la aplicación de nuevo para detener la ejecución y extraer la información deseada.

Rutina principal microcontrolador

Se produjo el diagrama de flujo de la rutina principal del microcontrolador y aquí se observa que, al encender el sistema, primero se ejecuta la rutina de inicialización que verifica que la tarjeta SD esté conectada y configura el módulo de comunicación inalámbrica (figura 9). Luego, se envía un comando que solicita la fecha y hora actual a la aplicación de la computadora (PC), y debido a que el dispositivo requiere esta información, el programa no avanzará hasta que la PC responda. Cuando la PC recibe esta solicitud busca la fecha y hora del sistema operativo donde se está ejecutando y envía la información del tiempo actual en un formato específico, (calculado con la fórmula 5.1), que el microcontrolador recibe y la utiliza para actualizar la fecha y hora de su sistema.

$$Tiempo_{Actual} = (Fecha_{actual} - 1/1/1970) * 86400 + Segundos_{Transcurridos} \quad (5.1)$$

Luego la rutina principal entra en un estado de espera de comandos que inician otras rutinas, a mencionar, rutina de muestreo, rutina de lectura de SD y rutina de transferencia de archivo. Además existe un comando para detener la rutina de muestreo.

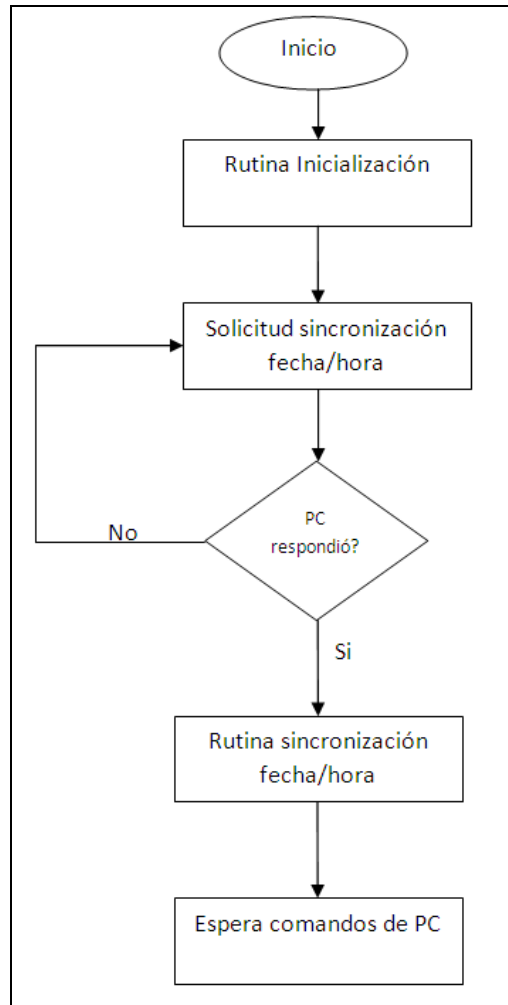


Figura 9 Diagrama de flujo de la rutina principal del microcontrolador

Rutina de muestreo

El diagrama de flujo de la rutina de muestreo se observa que primero el microcontrolador recibe el tiempo de muestreo, el cual fue previamente seleccionado por el usuario en la aplicación de la PC (figura 9).

Luego se captura la información que proviene de los sensores y se envía a la aplicación de la PC para que esta muestre los valores de la última medición. Es importante mencionar que cada

vez que se captura los datos se ejecuta la rutina de almacenamiento para evitar la pérdida de información.

Después el microcontrolador y módulo inalámbrica entran en modo “sleep” para ahorrar energía, espera que pase el tiempo definido con el tiempo de muestreo y vuelve a capturar los datos. Este ciclo se realiza de manera continua y con un tiempo indefinido y para terminar rutina se debe enviar el comando “Detener” desde la aplicación de la PC o apagar el dispositivo (figura 10).

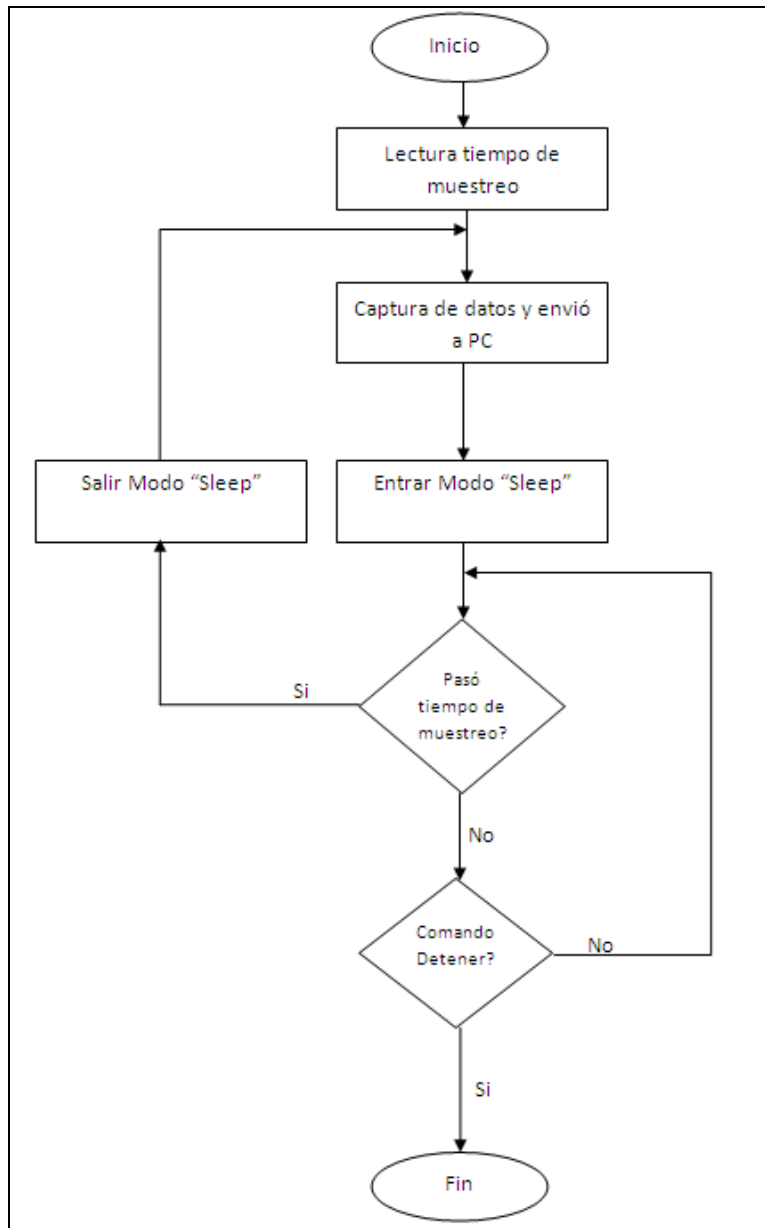


Figura 10. Diagrama de flujo rutina de muestreo

Rutina de almacenamiento

La rutina de almacenamiento realiza la función de escribir los datos obtenidos de los sensores en la tarjeta SD. Para ello crea un archivo de valores separados por coma con extensión “.csv”, con la siguiente convención:

a) El nombre del archivo debe ser la fecha actual, en caso de que cambie el día se debe cerrar el archivo actual y crear otro archivo con el nombre de la nueva fecha.

b) En el archivo primero se escribe la hora actual y luego los valores obtenidos de los sensores en el siguiente orden: 1) temperatura, 2) luminosidad, 3) pH, 4) O₂, 5) CO₂.

Cabe destacar que estos valores son datos de 10bits leídos directamente del ADC del microcontrolador y no representan los valores reales de la medición, si se desean ver los valores reales se deben copiar los archivos a la PC utilizando la aplicación respectiva.

Rutinas de lectura de tarjeta SD y transferencia de archivos

Esta rutina de lectura de la tarjeta SD se encuentra en el diagrama de flujo y crea una lista de todos los archivos con extensión “.csv” que se encuentren en la SD y se envía esta lista hacia la aplicación de la PC donde es mostrada al usuario (figura 11).

Luego el usuario puede elegir uno de estos archivos para ser copiado a la PC, aquí es donde se ejecuta la rutina de transferencia de archivos que, en el diagrama de flujo primero recibe el nombre del archivo para buscarlo en la tarjeta SD y transfiere este archivo hacia la PC (figura 12).

Es importante mencionar que esta transferencia se da byte por byte por lo que la aplicación de la PC debe reconstruir el archivo.

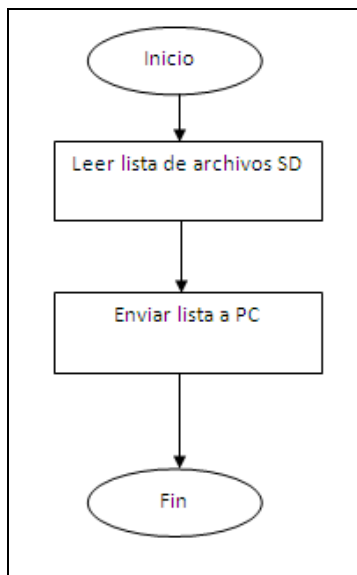


Figura 11. Diagrama de flujo de rutina de lectura de tarjeta SD

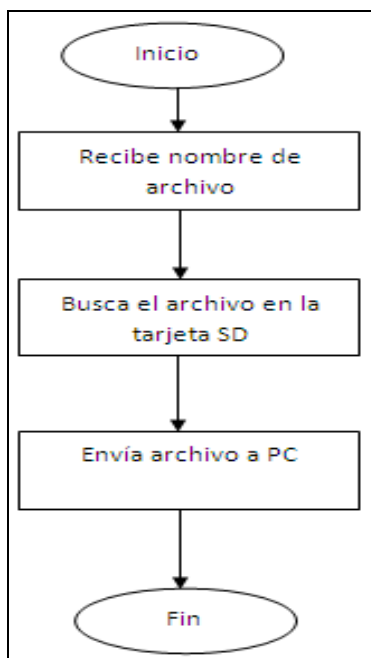


Figura 12. Diagrama de flujo de rutina de transferencia de archivo.

Análisis de resultados

Rango cobertura de comunicación inalámbrica

La prueba para medir el rango de cobertura fue la siguiente:

- Se colocaron los módulos xBee de comunicación inalámbrica a una distancia cercana.
- Con la aplicación de la PC se realizó el proceso de muestro por aproximadamente 30 minutos con una frecuencia de un minuto.
- Luego se extrajo la lista de archivos y se copió a la PC el archivo recién creado.
- Se procedió a cambiar la distancia entre los módulos xBee y a copiar el archivo cada vez que se alejaban.
- Si el archivo era copiado de manera correcta entonces la comunicación era exitosa, de lo contrario era fallida.
- La prueba se realizó primero sin obstáculos entre los módulos y luego se agregó una pared (Cuadro 3).

Cuadro 3 Resultados de la prueba para determinar el rango de cobertura

Distancia(m)	Sin Obstáculos	Con obstáculos
1	Exitosa	Exitosa
5	Exitosa	Exitosa
10	Exitosa	Exitosa
15	Exitosa	Exitosa
20	Exitosa	Exitosa
25	Exitosa	Fallida
30	Exitosa	Fallida
35	Fallida	Fallida

Los análisis evidenciaron que se puede utilizar el “Sistema de adquisición de variables físicas para un estanque de microalgas” a una distancia de hasta 30m, esta distancia disminuye si

existen obstáculos entre los módulos inalámbricos, pero resulta suficiente para esta aplicación en específico, ya que los usuarios finales van a trabajar cerca del sistema (Cuadro 6.1).

Medición de potencia

Para medir la potencia requerida por el “Sistema de adquisición de variables físicas para un estanque de microalgas” se utilizó un amperímetro entre la batería y el conector de alimentación del sistema para obtener la corriente total consumida por el dispositivo. Se realizaron varias mediciones tanto en modo normal como en modo “sleep” (Cuadro 4).

El modo mixto se refiere a la operación de muestreo donde 90% del tiempo el sistema se encuentra en modo “sleep”.

Cuadro 4 Consumo de corriente y potencia promedio en diferentes modo de operación

Modo	Corriente Promedio(mA)	Potencia(mW)
Normal	64.5	238.65
Sleep	7.2	26.64
Mixto	12.93	47.841

Los resultados revelan que si el “Sistema de adquisición de variables físicas para un estanque de microalgas” se utiliza continuamente en su operación de muestreo con una batería de 1000mAh, como la empleada en el prototipo, podría trabajar aproximadamente 77 horas seguidas, es decir más de tres días. Además se observa que lo anterior es resultado de implementar el modo “sleep” ya que en modo normal este tiempo se reduciría a poco más de 15 horas (Cuadro 4).

Calibración del sensor de temperatura

Para calibrar el sensor de temperatura se utilizó como referencia el medidor de temperatura y pH Oaklon 10 (figura 13).



Figura 13. Medidor de pH y temperatura Oakton 10 series

Se procedió a introducir el sensor de temperatura junto al de referencia en un mismo recipiente con agua. Luego se cambió la temperatura del agua del recipiente agregando agua fría o caliente (figura 14) y se obtuvo una relación logarítmica entre el voltaje y la temperatura, a partir de esto se obtiene una hoja de datos, donde se denota que este sensor cambia su resistencia según la ecuación 6.1 llamada ecuación de Steinhart-Hart. Se determinó que también posee una relación logarítmica y por facilidad de cómputo se aproximó la fórmula a la ecuación 6.2.

$$T(^{\circ}C) = [K0 + K1(\ln 1000R) + K2(\ln 1000R)^3]^{-1} - 273.15 \quad (6.1)$$

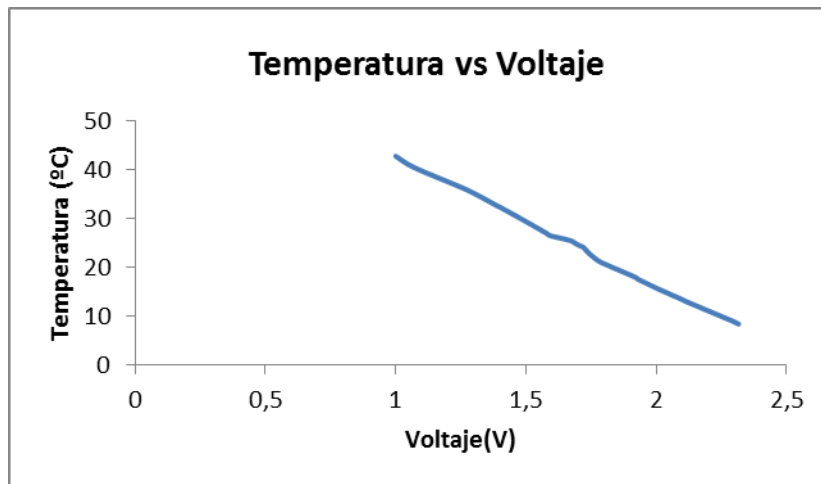


Figura 14. Relación experimental de temperatura contra voltaje

$$T(^{\circ}C) = 1.5386V_{out}^2 - 31.705V_{out} + 73.376 \quad (6.2)$$

Calibración sensor pH

Para calibrar el pH se utilizaron las tres soluciones y cada solución posee un pH específico de 10.01, 7 y 4.01 respectivamente. Utilizando el sensor de pH se tomó la medición de cada solución (figura 15). Se obtuvo la fórmula 6.3 para el cálculo del pH (figura 16).



Figura 15. Soluciones con pH específico.

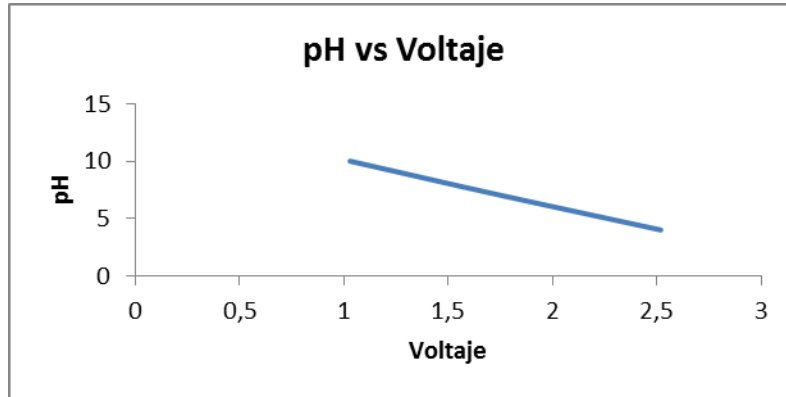


Figura 16. Relación experimental de pH contra voltaje

$$pH = -4.0262V_{out} + 14.133 \quad (6.3)$$

Calibración sensor oxígeno disuelto

Para calibrar el sensor de oxígeno disuelto se midieron dos puntos, el primero se obtuvo de una solución de sulfito (figura 17) que posee cero por ciento de partículas de oxígeno y el segundo punto se obtuvo con las concentraciones de oxígeno del agua destilada según la temperatura y presión atmosférica (figura 18). Se determinó a partir de los datos obtenidos de las diferentes concentraciones de oxígeno la fórmula 6.4 para el cálculo del oxígeno disuelto.

$$DO_2 = 3.684V_{out} - 0.7368 \quad (6.4)$$

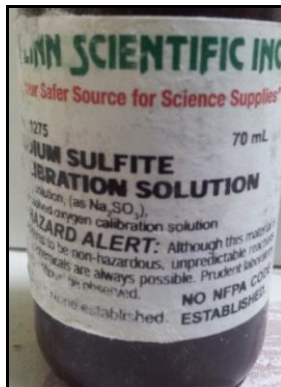


Figura 17. Solución de sulfito de sodio.

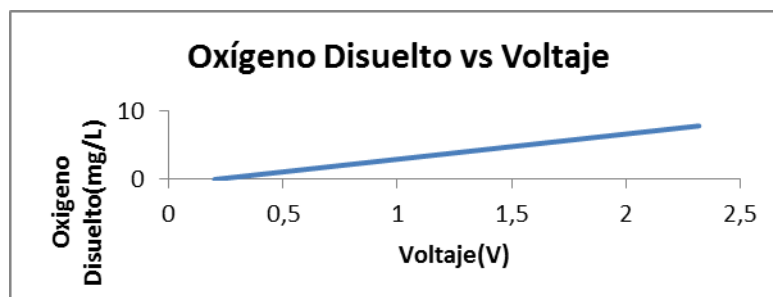


Figura 18. Relación experimental de oxígeno disuelto contra voltaje.

Calibración sensor dióxido de carbono disuelto

El sensor de dióxido de carbono disuelto está conectado a un analizador el cual otorga la señal de salida de voltaje que tiene la ventaja de ser lineal. Para calibrar el analizador se requiere de una medida de cero por ciento, la cual se consiguió conectando un tubo con cal sodada (figura 19), la cual es una mezcla química que absorbe la totalidad del dióxido de carbono. De la calibración se obtuvo la fórmula que se observa en la ecuación 6.5



Figura 19. Cal sodada utilizada como base para la calibración del sensor de CO₂

$$DCO_2 = 2 * V_{out} - 0.87 \quad (6.5)$$

Calibración sensor luminosidad

Para calibrar el sensor de luminosidad se utilizó como referencia un sensor comercial, donde se obtiene datos de diversas intensidades lumínicas en LUXES. Mediante este método se obtuvo la ecuación 6.6. (figura 20).

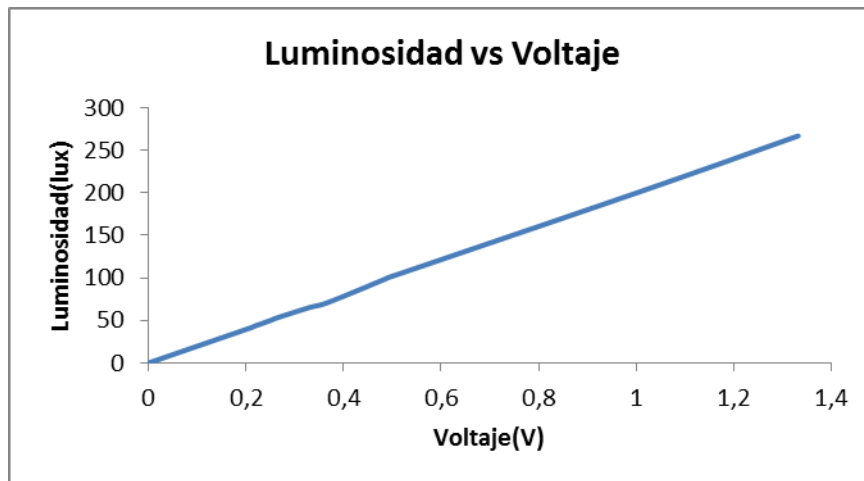


Figura 20. Relación experimental de luminosidad contra voltaje.

$$L(lux) = 200.54V_{out} \tag{6.6}$$

Rango y resolución de la medición

Con las fórmulas determinadas de manera experimental y tomando en consideración que la resolución del ADC del microcontrolador es de 10 bits se construyó los rangos de medición y la resolución obtenida para cada sensor (Cuadro 5).

Cuadro5. Rango de medición y resolución de cada sensor

Sensor	Rango	Resolución	Unidad
Temperatura	-14.5 a 73.5	0.087	°C

pH	0.85 a 14	0.013	pH
O2 disuelto	0 a 11.42	0.012	mg/L
CO2 disuelto	0 a 5.73	0.0076	%
Luminosidad	0 a 662	0.646	Lux

Cabe mencionar que debido a la naturaleza de los sensores estos podrían requerir calibraciones frecuentes dependiendo del uso y almacenamiento que se les otorgue, por lo tanto es posible que las fórmulas, previamente determinadas, cambien con cada calibración (Cuadro 5).

Capacidad de almacenamiento

El formato utilizado para almacenar los datos requiere de máximo 40 bytes por cada medición que realiza el sistema de adquisición.

Por lo tanto, con una tarjeta SD de 1GB (1,018,937,344 bytes) es posible recopilar al menos 25 millones de mediciones, lo cual evidentemente es más que suficiente si se parte del hecho que la el tiempo mínimo de muestreo es un minuto.

4.3- Implementar la construcción del estanque.

Dentro del ITCR en la zona Sur Centro de Biotecnología se realizó el estudio topográfico, se colocaron estacas con el fin de demarcar los puntos topográficos para posteriormente realizar la nivelación de terreno. Se inició la construcción bajo la supervisión del DAM, cumpliendo a cabalidad los requerimientos ingenieriles.

Las paletas fueron diseñadas por un Ingeniero en Mantenimiento, el cual realizó cálculos para determinar las fuerzas que estas ejercen durante el proceso de agitación. La barra de las paletas agitadoras no deben sufrir doblamiento, ni vibración para que los motoredutores no se traben. Además, el grosor de la barra está calculada para la fuerza que necesita ejercer conforme el cultivo aumenta su densidad. Estas son de acero

inoxidable para que el material usado en los estanques no interfiera con las características químicas del cultivo.

Al estanque se le diseña una entrada a los 50 centímetros de altura y una salida de agua en el fondo del estanque y se toma en cuenta que no exista filtración del medio.

El piso del estanque se compactó con lastre y posteriormente se colocó concreto encima de este se puso una tela geotextil, acolchada negra y posteriormente se instaló un geotextil blanco por encima y negro por debajo, con un grosor de 1000 um.

La colocación del geotextil debe realizarse cuidadosamente procurando que no se de una fuga de agua y el material blanco utilizado se realizó para una mayor captación o aprovechamiento de la luz solar. Es importante que el estanque no presente ensamblajes o tornillos en las partes internas para evitar zonas muertas donde se acumulen materia orgánica en descomposición y dificulte su limpieza.

El estanque debe llevar una tubería de PVC que distribuye el CO₂ a lo largo del cultivo, los cuales llevan unos platos difusores especiales (Fig 21 y 22).

El cultivo circula por dos canales siendo impulsado por unas paletas en cada extremo del estanque, estas permitieron que la biomasa se mantenga en suspensión logrando que los nutrientes estén disponibles para la microalgas (Fig 30).





Figura 21. Avances de construcción de estanque para el cultivo microalgal, ITCR, 2012 y 2013.



Figura 22. Platos difusores de CO₂ que se instalan en el fondo del estanque, ITCR, 2013.

4.4- Integrar los componentes electrónicos en el estanque construido.

Instalación

Software

La aplicación de la PC no requiere instalación. El archivo “Microalgas.exe” puede ser copiado a la carpeta que el usuario prefiera y ser ejecutado desde ahí.

Hardware

Se conecta el módulo “xBee Explorer” al puerto USB de la computadora (figura 23 y 24).

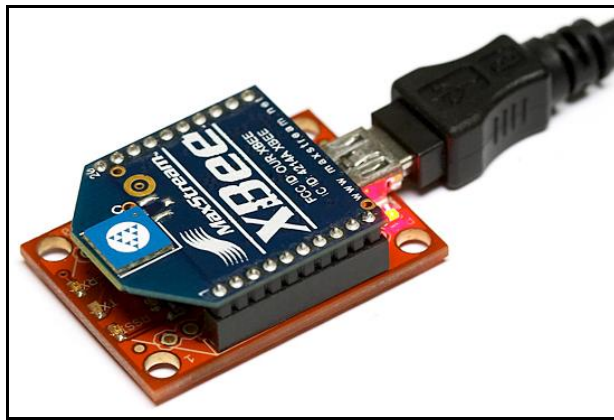


Figura 23. Módulo “xBee Explorer”

Pantalla principal



Figura 24. Pantalla principal

- 1) Pantalla notificaciones
- 2) Pantalla de transferencia
- 3) Selector de tiempo

Las mediciones de potencia muestran que con una batería de 1000mAh el sistema puede operar por más de tres días antes de necesitar una recarga, esto demuestra que el dispositivo posee un bajo consumo energético. Por otra parte, las pruebas de cobertura indican que la comunicación inalámbrica puede realizarse aún a 30m de distancia, lo cual comprueba el funcionamiento requerido de esta interfaz. Además, la calibración de los sensores se realizó y verificó utilizando instrumentos o sustancias de referencia comerciales, lo cual asegura la confiabilidad de las mediciones

Se generó un manual operativo de usuario con el fin de que el personal que utilice el dispositivo construido sea comprendido (Anexo 1).

Se comprobó el funcionamiento del dispositivo dentro del cultivo microalgal (Fig 28)



Figura 28. Estanque con cultivo de microalgas cuyas variables de medición son monitoreadas electrónicamente con el dispositivo generado, estanque de Latic del Norte S.A., La Tigra, San Carlos.

4.5- Comprobar en funcionamiento del estanque (30m³) con medios de cultivo preestablecido.

El Incremento microalgal en el estanque se realizó en la empresa Latic del Norte S.A., La Tigra de San Carlos. Las microalgas utilizadas fueron previamente adaptadas a medios orgánicos, para esto se realizó una serie de tratamiento con diferentes concentraciones de carga orgánica. Se confeccionó un protocolo propiedad del ITCR., y se realizó una selección cuidadosa de células algales (figura 29). Una vez adaptas las microalgas en los medios orgánicos se determinó en condiciones de laboratorio una producción biomásica (1.3 Kg/m³) por ciclo de producción.

Posteriormente la microalga se sembró en el estanque de 30 m³, y se observó un crecimiento semejante al registrado en el laboratorio (11,22 Kg/m³) durante el proceso productivo microalgal y se determinó que las curvas de crecimiento de la microalga son similares entre los diferentes medios orgánicos utilizados (boñiga, cachaza, cerdaza) ($F=0,124502$, $g_l=6/64$, $P_{(valor)}=0,0028$) y se alcanza el punto cosecha entre el 10 y 14 día(figura 30). La absorbancia de los cultivos demuestra que efectivamente se da un incremento exponencial hasta el octavo día (figura 31a y 31 b). Los cultivos semimasivos se caracterizan por ser cultivos semicontinuos, donde se le inyecta medio de forma constante.

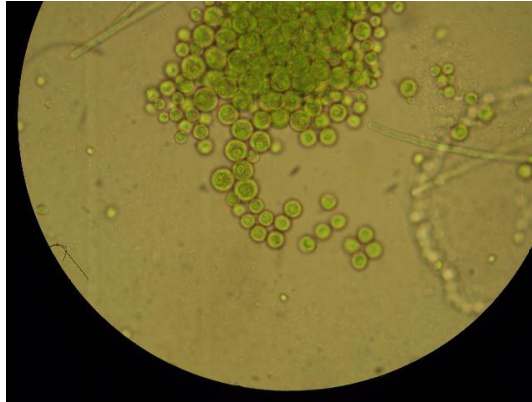


Figura 29. Selección de células y cultivos creciendo en medio orgánico (boñiga), ITCR, 2013



Figura 30. Inoculación de microalgas con medio orgánico (boñiga) dentro de los estanques semimasivos, Empresa Latic del Norte S.A., La Tigra, San Carlos, 2013.

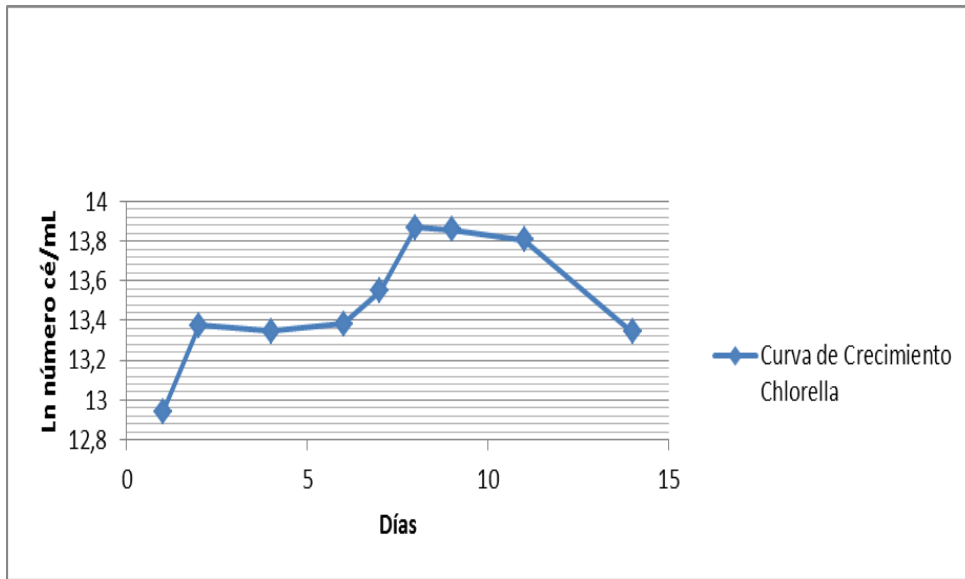


Figura 31a Curva de crecimiento de *Chlorella sp* con medio orgánico, adaptación de la cepa, ITCR 2013

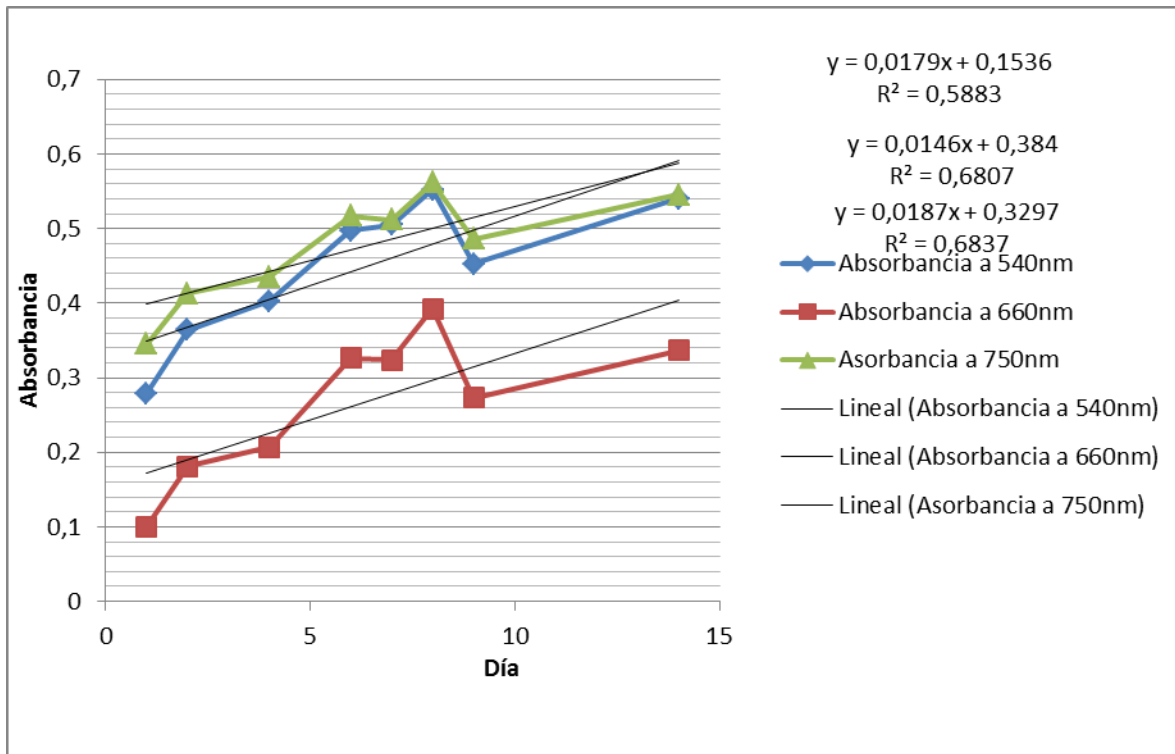


Figura 31b. Absorbancia del cultivo de *Chlorella SP*, ITCR, 2013.

Los resultados de los parámetros físico químico en el cultivo semi-masivo indicaron que el pH oscila entre 6,5 y 9, y puede el cultivo sostenerse sin que el incremento en biomasa se vea afectado (Figura 32).

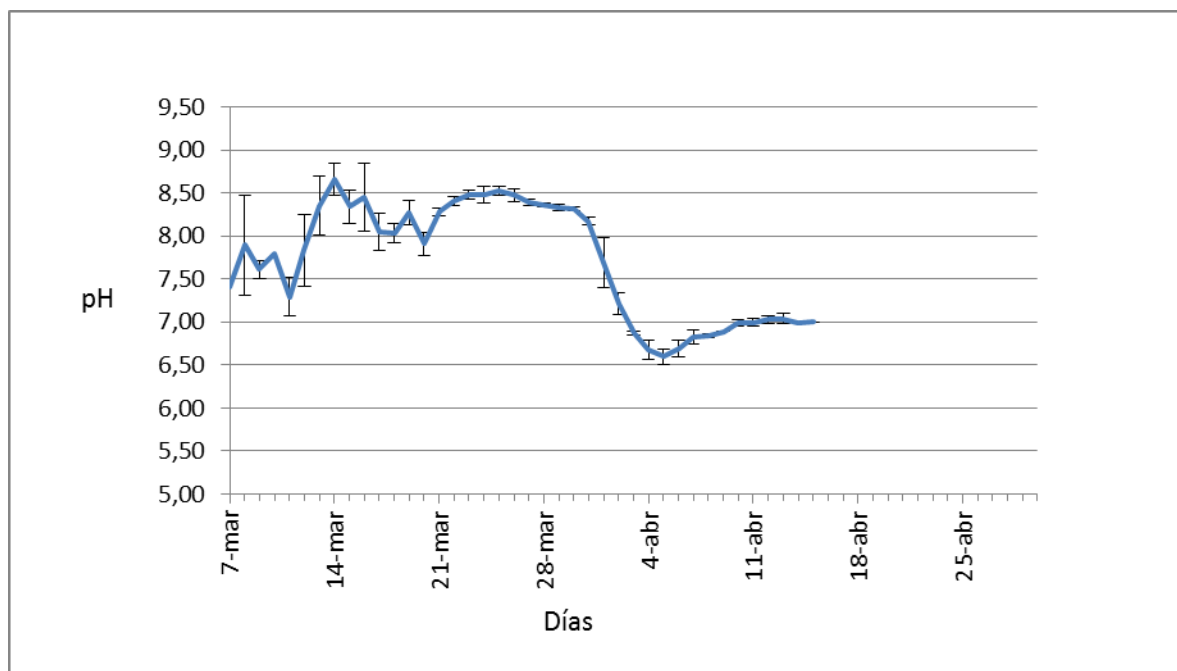


Figura 32. Fluctuaciones del pH dentro del cultivo semi masivo, 2013.

La conductividad del cultivo mostró un descenso conforme el cultivo incremento, y se observa que se establece una relación estrecha con la cinetica del cultivo (figura 33).

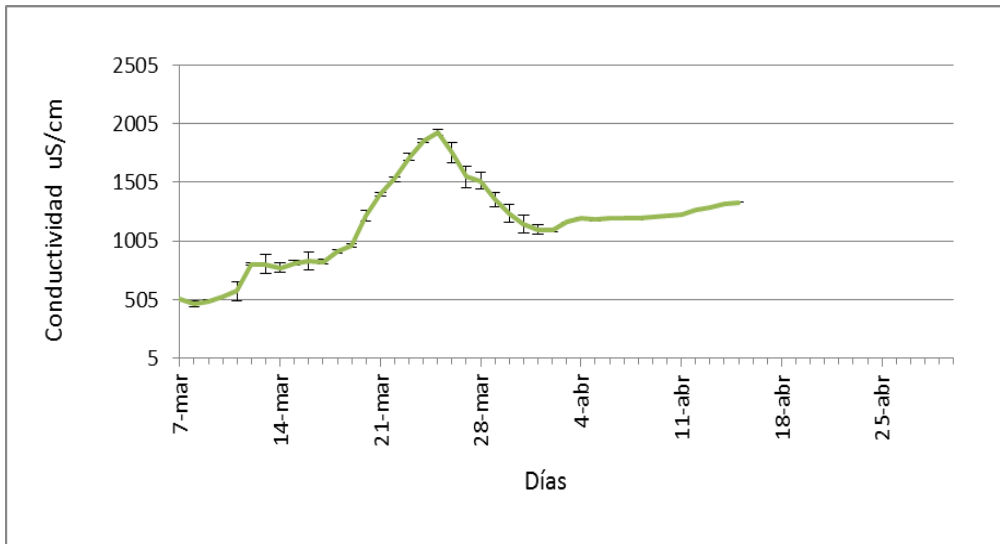


Figura 33. Conductividad del cultivo microalgal en un estanque de 30 m³, 2013.

Los análisis de sólidos disueltos totales (g/L), indicaron que existió fluctuaciones durante el incremento microalgal, sin embargo, se observa un patrón semejante que el cultivo microalgal (la fase lac, fase exponencia y la fase estacionaria) (figura 34).

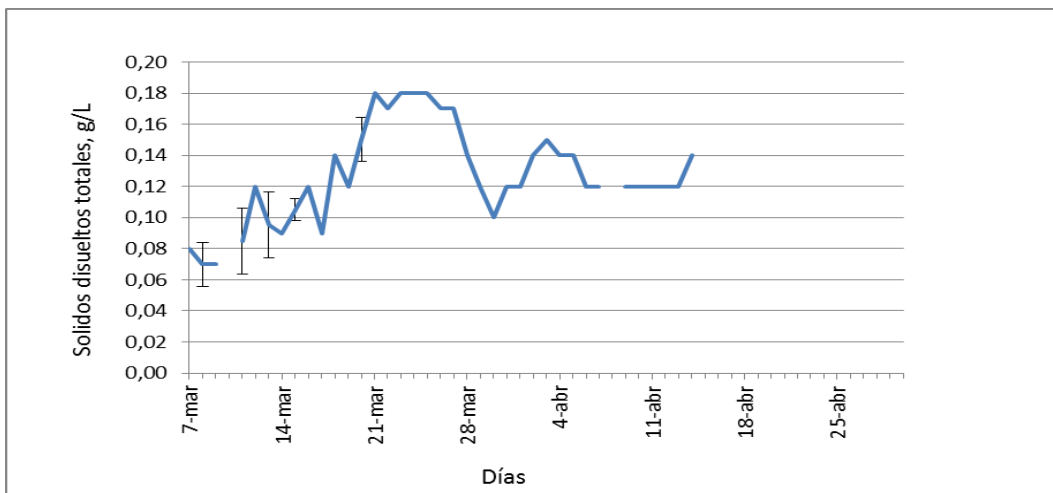


Figura 34. Sólidos disueltos totales dentro del cultivo semi masivo, 2013.

Los resultados mostraron que la temperatura durante el proceso de cultivo fluctuó entre un rango de 35 a 20 grados centígrados, y se determinó que el cultivo se mantuvo estable, no decreció a pesar del amplio ambito de temperatura durante el día y dentro del período de cultivo (figura 35).

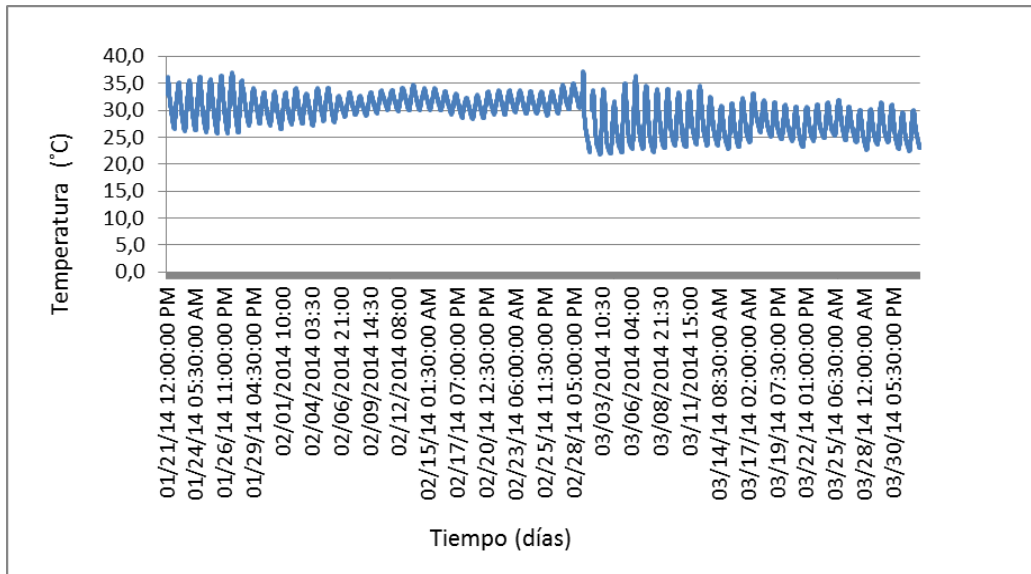


Figura 35. Rangos de temperatura durante el incremento microalgal en el estanque, 2013.

La concentración de sólidos solubles del medio o sea los grados Brix y la conductividad que representa la cantidad de sales disponibles en el medio de cultivo se correlacionan levemente (figura 37). Se determina que la conductividad incrementa con fluctuaciones pero siempre con un incremento hacia la fase estacionaria del cultivo microalgal y los grados Brix incrementan conforme aumenta el cultivo (figura 36).



Figura 36. Conductividad y grados brix durante el cultivo microalgal, 3013.

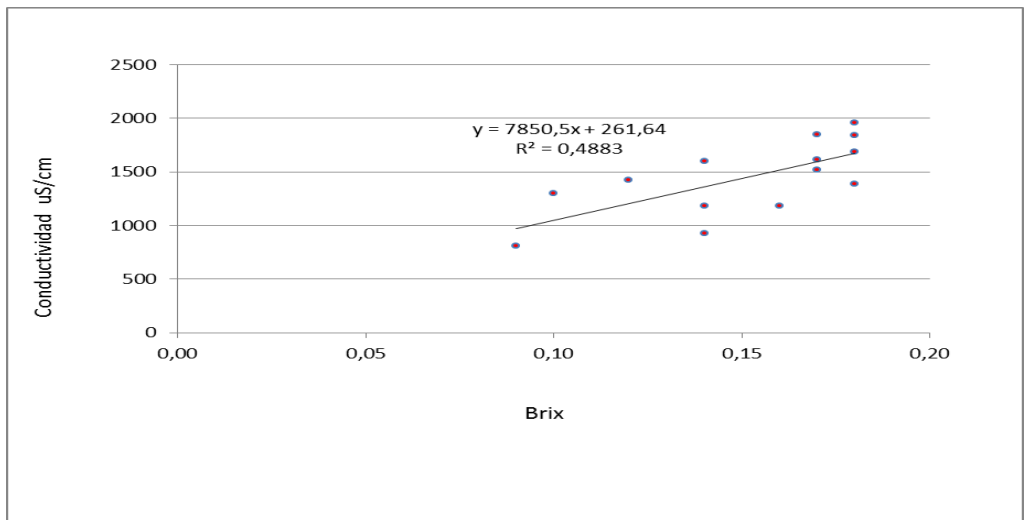


Figura 37. Correlación entre los grados brix y la conductividad en un cultivo microalgal semimasivo (30 m³), 2013.

Los análisis químicos de el agua utilizada en el cultivo, medio orgánico (lixiviado de boñiga) y del cultivo algal, mostraron que la relación entre nitrógeno y fósforo es de 22:1, y los demás elementos se encuentran en una relación menor pero, no así para el calcio, donde las aguas de Guanacaste son duras (Cuadro 4).

Cuadro 4: Análisis químico del agua el medio preparado de boñiga y el cultivo algal, 2013.

	Agua lixi M1	Agua lixi M2	Agua pileta M3
Nitrógeno (N)	No detectable	No detectable	600
Fósforo Total (P₂O₅)	51,9	52,9	27,4
Potasio (K₂O)	16,3	16,0	27,4
Magnesio (MgO)	39,7	40,4	13,6
Boro (B)	0,13	0,13	0,32
Calcio (CaO)	113	114	28
Zinc (Zn)	33,5	No detectable	0,0076
Manganeso (Mn)	1,31	1,33	0,0029
Cobre (Cu)			0,0179°
Hierro (Fe)	1,30	1,44	n.d.
Azufre (S)	1,16	0,98	14,5
cloruro (Cl)	0,09 % m/m	0,06 % m/m	0,08 % m/m
pH	6,93	6,71	8,47
Materia Orgánica (M.O.)	0,24 % m/m	0,12 % m/m	n.d.

Se obtuvo una producción biomásica en el cultivo de microalgas 11,22 Kg/m³ en el proceso productivo completo y la estimación de la cantidad de carbono capturado durante el crecimiento algal es 0,82295918 Kg/m³ /D⁻¹.

Otros logros

Se realizaron varios trabajos estudiantiles, trabajos finales de graduación y tesis de licenciatura

Título de las tesis involucradas en el proyecto	Nombre de los/las estudiantes	Disciplina	Grado
Sistema de adquisición de variables físicas para un fotobioreactor de cultivo de microalgas. Fase II	Juan Manuel Sánchez Corrales	Ingeniería Electrónica	Licenciatura
Diseño de un sistema de adquisición y transmisión de datos para un estanque semicerrado para el cultivo de microalgas	Diego Alonso Villalobos Arce	Electrónica	Tesis de grado
Trabajo para publicación	Nombre de los/las estudiantes	Disciplina	
Detección molecular de <i>Chlorella sp</i> en sistemas acuáticos productivos	Lic Rossy Guillen Watson	Biotechnología	
Trabajos finales de cursos	Nombre de los/las estudiantes	Disciplina	Trabajos finales de curso
Aislamiento de microalgas marinas y estudio de las comunidades microbianas presentes Playa Brazilito, Costa Rica.	Morales, J. Núñez, K. & Sequeira, M	Biotechnología	Trabajo final de curso
Aislamiento de microalgas marinas y estudio de las comunidades microbianas	Gabriel Rodríguez, Esteban Chacón, Ana Mariel Zúñiga	Biotechnología	Trabajo final de curso

presentes Playa Brazilito, Costa Rica.			
Efecto de la concentración de nitrógeno y fósforo en la acumulación de lípidos y el crecimiento en <i>Chlorella sp.</i> en el sistema de cultivo de fotobiorreactor	Iván Esteban Araya Quirós	Biotecnología	Trabajo estudiantil en CENIBIOT
Biocontrol microalgas	Jesús Barrantes Ramírez, Jonathan Rodríguez Beauregard, José Víquez Valerín	Electrónica	Trabajo de curso

Títulos de las ponencias y participación en eventos, lugar y fechas:

-Presentación Canal 9. Producción de biocombustible con microalgas. Junio 2012. M. Guerrero. ITCR.

Entrevista para Radio Monumental, para el Programa ImpactoTec. Uso de microalgas para generación de combustibles. Setiembre 2012. M. Guerrero. ITCR.

Charla “Desarrollo de un prototipo de estanque semi-cerrado para el cultivo de microalgas en forma semi-masiva”, se dio una charla-conferencia a Aeon Group, octubre 2013. Chile.

Conferencia Desarrollo de un prototipo de estanque semi-cerrado para el cultivo de microalgas en forma semi-masiva, presentación de la investigación en Coopeagropal, mayo 2013.

Conferencia, Desarrollo de un prototipo de estanque semi-cerrado para el cultivo de microalgas en forma semi-masiva, Junio 2013, Grupo Cuesta de Moras.

Charla y conversatorio, Desarrollo de un prototipo de estanque semi-cerrado para el cultivo de microalgas en forma semi-masiva, presentación de proyecto, Febrero, 2013 Taboga, 2012.

Discusión y conclusiones

Esta investigación permitió generar cinco productos específicos entre los cuales figuran: diseño de un estanque, diseño de un sistema de agitación, un sistema electrónico, un protocolo de medio de cultivo de microalgas a partir de orgánicos generados por la agroindustria y un alga adaptada al medio de cultivo orgánico.

El estanque generado en esta investigación requirió de diseños alternativos y plasmó detalles de los componentes estructurales, se contempló la estructura de concreto con el fin de asegurar las fuerzas requeridas ejercidas por el peso del agua que contiene. Las curvas del estanque diseñadas implican que el agua no debe quedar estancada, de esta manera las paletas de agitación se colocarán inmediatamente al inicio de la curva, debido que el agua pierde fuerza en la curva. De esta manera el cultivo vuelve a tomar fuerza al salir de la curva, permitiendo que las algas no se sedimenten.

Los sistemas abiertos (Raceway, ponds o estanques) se ha experimentado desde 1950 y existe una extensa experiencia en su ingeniería. Las mayores instalaciones de producción de biomasa basadas en este método, ocupan áreas de unos 440.000 m² los cuales han demostrado ser sistemas con eficiencia media en comparación con los sistemas cerrados (Spolaore et al., 2006). Los sistemas raceway constan de un circuito de bucles y canales por donde circula el cultivo y mezclado mediante una rueda de paletas (paddlewheel) que homogeniza los nutrientes y los microorganismos. De igual forma, en esta investigación se diseñó un proceso de agitación que demostró ser eficiente, ya que la producción de la biomasa algal fue alta y se mantuvo las microalgas en suspensión constante.

Los materiales utilizados en el estanque aumentan el deslizamiento y la no adherencia de las células, por tanto, evita que el cultivo se asiente en el fondo. Esto último, también puede resolverse utilizando pinturas antideslizantes o similares compatibles con los materiales utilizados y con las condiciones de operación, sin embargo son de menor duración.

Por otro lado, se ha demostrado que los Raceways son sistemas menos caros que los fotobiorreactores debido a su menor costo de construcción y operación, así mismo, la producción de biomasa también es menor, sin embargo en este estudio se logró obtener mayor producción de biomasa que en condiciones de laboratorio.

Otros estudios han revelado que los géneros de microalgas de *Chlorella* o *Scenedesmus*, son óptimos en sistemas de cultivos masivos ya que muestran elevadas velocidades de crecimiento e incluso en sistemas abiertos a la intemperie y se han utilizado en procesos de depuración de efluentes de origen animal e industrial, apareciendo de forma natural en ambientes acuáticos con mínimas concentraciones de nutrientes (Salazar 2005).

El prototipo de estanque generado por el ITCR para el cultivo microalgal se diseñó de tal manera que dentro de él sea posible hacer circular agua y nutrientes constantemente, alrededor y conjuntamente con las microalgas. Este diseño de agitación permitió que cultivo de microalgas se mantengan suspendidas en el agua y, con frecuencia regular y son éstas traídas a la superficie. Otros estudios han demostrado que los sistemas abiertos son de menor rendimiento, sin embargo, presentan menor costo de operación y si es utilizado en el sistema materia orgánica generada por la agroindustria como medio de cultivo, el proceso se convierte más rentable (Chisti 2007, Chisti 2011, Chisti and Yan 2011, Rogers et al. 2014 en prensa).

Se ha demostrado que los “raceways”, “ponds” así llamados o bien estanques consiguen reducir al mínimo las pérdidas hidráulicas, eliminan las zonas muertas y las zonas de decantación de sólidos. Además mediante el control de la intensidad de la turbulencia, se puede aumentar la mezcla de CO₂ y nutrientes en todo el estanque, con el consiguiente aumento de productividad y eliminar las zonas muertas anóxicas. El modelo de agitación generado permite cambiar la velocidad con el fin de que conforme aumenta la biomasa algal estas no pierdan la velocidad de acción, de esta manera, el cultivo no se sedimenta y permite mejorar la mezcla de O₂ y nutrientes en todo el estanque con el consiguiente aumento de productividad.

Investigaciones revelan que las principales ventajas de la utilización de estanques abiertos para el cultivo microalgal son los bajos costos de producción, la baja competencia con las tierras

agrícolas, y los costos bajos de mantenimiento (Rogers et al 2013, Karthikeyan 2012, Charity), por tanto, Costa Rica cuenta con un modelo de estanque probado, que funciona como prototipo a nivel nacional

Se consiguió comprobar el funcionamiento del estanque completo con medios de cultivo generados a partir de excretas animales, lográndose obtener una excelente respuesta en el crecimiento algal y además se alcanzó cultivar a mayores volúmenes que los registrados por otras organizaciones que cultivan microalgas en sistemas abiertos.

Actualmente, el uso de microalgas en procesos de biodegradación para el tratamiento y posterior reutilización de las aguas residuales, son algunas opciones para mejorar la calidad de aguas tratadas con el fin de aumentar la eficiencia de las plantas de tratamiento. Muchas empresas extranjeras han utilizado fuentes nutricionales baratas para reducir los costos de producción de microalgas, como es el caso de aguas residuales de la agroindustria, sistemas patentados (Sims y Christenson 2011, Colorado 2013, Charity E 2009), de esta manera, se considera que uno de los mayores logros alcanzados en esta investigación es contar con el protocolo de cultivo microalgal con los residuos orgánicos. Posteriormente, otro aspecto relevante y crítico dentro de los procesos ejecutados fue adaptar la microalga a los diferentes medios, lográndose obtener producción biomásica. El género de *Chlorella* usado en el ITCR debe ser explotado con fines productivos escalables ya que mostró ser muy prometedor el escalamiento realizado.

Este estudio revela que la producción de biomasa algal en ambientes semi-masiva y en condición mixotrófica es alta, además se determinó que alcanza el punto de cosecha en ocho días, eso implica que el medio utilizado se ajusta a los requerimientos metabólicos de la microalga (Pérsico 2011).

Otros estudios han demostrado que, en condiciones mixotróficas se logra obtener mejores resultados en cuanto a la cinética de crecimiento y en la producción de peso seco y además, es capaz de mantener elevadas densidades celulares en salinidades de 25 ppm y a temperaturas altas, mayores de 37°C, mostrando un incremento de 2 y 15 veces superior al obtenido en cultivos heterotróficos y autotróficos. Se ha reportado que *Chlorella* puede desarrollarse eficientemente en

cultivos abiertos, en nuestras zonas tropicales y es capaz de crecer en rangos amplios y elevados de temperaturas entre 37 y 42°C. Esta característica, además de la tolerancia a pH ácidos y elevada salinidad, permite ubicar a esta cepa como una especie promisoría (Das et al 2011, Sayegh et al 2011)

También se reporta que, se ha logrado incrementar la producción de biomasa cuando se cultiva en láminas de agua de 30cm y 15cm respecto de cultivos crecidos en láminas de 10cm. Nuestro estudio reveló una alta producción algal con láminas de 30cm- 40cm de profundidad (Colorado2013).

Esta investigación revela que el cultivo mixotrófico capturó un porcentaje alto de CO₂, así diversas investigaciones han revelado, que la elevada productividad de ciertas microalgas en condiciones mixotróficas está relacionada con la utilización simultánea y eficiente de compuestos orgánicos y de CO₂ como fuente de carbono, y de luz como fuente de energía, de tal manera que la producción de biomasa se incrementada respecto a cultivos heterotróficos o autotróficos (Moronta 2006)

El cultivo en estudio mostró una alta fluctuación en el cambio del pH, sin embargo, se notó que este no fue relevante en la respuesta del cultivo, no afectó la duplicación alga ni la producción de biomasa. Estudios han destacado que nutrientes orgánicos y un intervalo de pH amplio beneficia diversos procesos metabólicos en *Chlorella*, se puede inducirse la producción de enzimas, de proteínas o de compuestos con actividad biológica.

El ITCR también generó un sistema electrónico del estanque para monitoreo de variables de pH, CO₂, O₂, luz, temperatura, estos se ensamblaron en un solo contenedor, integrados como un todo. Estos monitores permiten capturar las variables en tiempo real y ser almacenados según rangos de tiempo establecidos, de esta manera se puede registrar los cambios ocurridos durante todo el período de crecimiento de las microalgas.

La industria generadora de dispositivos electrónicos establecen comunicación de los cultivos masivos en línea para lograr el control de procesos y la mejora de la productividad y requieren de sensores fiables on-line y la medición in situ de variables de proceso físico-químicas y biológicas (Blan 2006, Vernier 2012, Vishay 2012, ZigBee 2012). Los sensores industriales estándar también se utilizan con métodos de seguimiento de características biológicas y se basan en sensores que se encuentran

actualmente adaptadas sólo a escala de laboratorio sino para uso externo (Havlik et al 2013, Atmel 2012, Digi International 2012).

En este estudio la implementación del modo “sleep” resultó fundamental para reducir el consumo de corriente del sistema y lográndose una reducción de aproximadamente 80% (Kinney 2003).

La tarjeta SD demostró ser un dispositivo de gran capacidad de almacenamiento permitiendo realizar hasta 25 millones de mediciones y cuenta con una interfaz inalámbrica entre el sistema de adquisición y una computadora personal con un rango cobertura de hasta 30m.

Los sensores para medios acuáticos, por su naturaleza, requieren de un correcto almacenamiento y calibración frecuente. La interpretación los valores obtenidos por el convertidor analógico digital, disminuye la carga de trabajo del microcontrolador y el tiempo de procesamiento de dicha información.

El proyecto logra establecer un cultivo microalgal en un sistema abierto con agitación por paletas, se alcanza generar un sistema electrónico de monitoreo dentro del cultivo y se demuestra que la microalga *Chlorella* se adaptó al medio orgánico formulado mostrando una excelente curva de crecimiento.

Referencias

Achara, N. 2012. Biofuel from algae. *The Journal of American Science*, 8(1), 240-244.

Atmel. 8-bit Microcontroller with 4/8/16/32K Bytes In-System Programmable Flash
Recuperado el día 13 de noviembre, 2012 de <http://www.atmel.com/Images/doc8161.pdf>

Blan, N.; Nunn,J.; Roxas,P; Sequerah,C. 2006. Composition Sensors. Recuperado el día 13 de noviembre, 2012 de <https://controls.engin.umich.edu/wiki/index.php/CompositionSensors>

Charity E. Andrade R.1, Alexandra L. Vera B.1, Carmen H. Cárdenas L.2 y Ever D. Morales A. 2009. Biomass production of microalga *Scenedesmus* sp. with wastewater from fishery. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*. Vol. 32, N° 2, 126 – 134.

Chisti, Y. 2007. Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*. 25(3): 294-306.

Chisti, Y. 2011. Biodiesel from microalgae beats bioethanol. *Trends in Biotechnology*. 26(3): 126-131.

Chisti, Y. y Yan, J. 2011. Energy from algae: Current status and future trends. *Applied Energy*. 88(10): 3277–3279.

Colorado G., M. A., Moreno T., D. A., y Pérez P., J. L. 2013. Desarrollo, producción y beneficio ambiental de la producción de microalgas. La experiencia en La Guajira, Colombia. *Ambiente y Desarrollo*, 17(32), 113-126.

Das, P., Lei, W., Aziz, S.S., Obrad, J.P. 2011. Enhanced algae growth in both phototrophic and mixotrophic culture under blue light. *Bioresour Technol* 102: 3883-3887.

Digi International 2012. XBee®/XBee-PRO® RF Modules. Recuperado el día 12 de noviembre <http://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Zigbee/XBee-Datasheet.pdf>

Fernández L. L. C.; Montiel M. J.; Millán O. A. y Badillo C. J. 2012. PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES A PARTIR DE MICROALGAS Universidad Autónoma Indígena de México, Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. Vol. 8, Número 3, pp. 101-115.

Havlik I.; Lindner P.; Scheper T.; Reardon K. F. 2013. On-line monitoring of large cultivations of microalgae and cyanobacteria. *Trens in Biotechnology*, Volume 31, Issue 7, July 2013, Pages 406–414.

Karthikeyan, S. 2012. A CRITICAL REVIEW: MICROALGAE AS A RENEWABLE SOURCE FOR BIOFUEL PRODUCTION. *International Journal of Engineering*, 1(4)

Kinney, P. 2003. ZigBee technology: Wireless control that simply works. Paper presented at the Communications Design Conference, 2

MCT 2012. SPI-serial peripheral interface. Recuperado el día 11 de noviembre, 2012, de <http://www.mct.net/faq/spi.html>

Moronta R., Mora R. y Morales E. 2006. Respuesta de la microalga *Chlorella sorokiniana* al pH, salinidad y temperatura en condiciones axénicas y no axénicas *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 2006, 23: 27-41

LabPro 2012. How a pH meter works. Recuperado el día 11 de noviembre, 2012, de <http://www.labpro.co.uk/phmeters/technical-web/how-a-phmeter-works.php>

Pérsico M. M., Moris M., Tranier E. D., Zanazzi A. N., Saubidet A. A. y Beligni M.V. 2011. Evaluación de un sistema exterior de cultivo masivo de la microalga marina *Nannochloropsis oculata*, en una zona templada oceánica de Argentina. *Rev Latinoam Biotecnol Amb Algal* 2(1):30-48

Qubit Systems. Q-S153 CO2 analyzer 0-10% 2012. Recuperado el día 12 de noviembre, 2012, de <http://qubitsystems.com/animal-and-insect/gas-analysis-control-a-i/q-s153-co2-analyzer-0-10/>

Rogers J. N., Rosenberg J. N., Guzman B. J., Oh V. H., Mimbela L, Ghassemi A., Betenbaugh M. J., Oyler G. A., Donohue M. D. 2013. A critical analysis of paddlewheel-driven raceway ponds for algal biofuel production at commercial scales. *Algal Research*. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.algal.2013.11.007>> (en prensa).

Sayegh, F.A., Montagnes, D.J. 2011. Temperature shifts induce intraspecific variation in microalgal production and biochemical composition. *Bioresour Technol* 102: 3007-3013.

Shen Y., Yuan, W., Pei, Z. J., Wu, Q. y Mao, E. 2009. Microalgae mass production methods. *Transactions of the ASABE*. 52(4): 1275–1287.

Sims R. y Christenson, L. 2011. Production and harvesting of microalgae for wastewater treatment, biofuels and subproducts. *Biotechnology Advances*. 29(6): 686–702.

Stein, A 2012. How Does a Dissolved Oxygen Meter Work? Recuperado el día 9 de noviembre, 2012, de http://www.ehow.com/facts_7638897_dissolved-oxygen-meter-work.html

Valverde R., J. 2007. El estándar inalámbrico ZigBee. Universidad Nacional de Trujillo).

Vernier 2012. Dissolved oxygen probe. Recuperado el día 13 de noviembre, 2012, de <http://www.vernier.com/files/manuals/do-bta.pdf>

Vernier 2012. pH Sensor. Recuperado el día 8 de noviembre, 2012, de <http://www2.vernier.com/booklets/ph-bta.pdf>

Vernier 2012. Stainless steel temperature probe. Recuperado el día 13 de noviembre, 2012, de <http://www.vernier.com/files/manuals/tmp-bta.pdf>

Vishay 2012. Ambient light sensor. Recuperado el día 15 de noviembre 15, 2012, de <http://www.vishay.com/docs/81579/temt6000.pdf>

Watten, B. J., Boyd, C. E., Schwartz, M. F., Summerfelt, S. T., & Brazil, B. L. 2004. Feasibility of measuring dissolved carbon dioxide based on head space partial pressures. *Aquacultural Engineering*, 30(3–4), 83-101. doi: 10.1016/j.aquaeng.2003.09.002

ZigBee Alliance. Our Mission. Recuperado el día 10 de noviembre, 2012, de <http://www.zigbee.org/About/AboutAlliance/TheAlliance.aspx>

ANEXO 1

Manual operativo

- Ejecute el archivo “Microalgas.exe”. Si el módulo “xBee” no se encuentra conectado, la pantalla de notificaciones mostrará un error. Para solucionarlo asegúrese que el módulo está conectado de manera correcta al puerto USB y reinicie la aplicación.
- Encienda el sistema de adquisición de datos, la aplicación lo reconocerá automáticamente e indicará en la pantalla de notificaciones que se ha encontrado el dispositivo.
- Utilice el selector de tiempo para elegir que tan frecuentes deberán realizarse las mediciones. El tiempo se indica en minutos.
- Presione el botón “Iniciar”.
- Inmediatamente la pantalla de notificaciones deberá mostrar los valores de la primera medición y luego se actualizará después de cada medición.
- Si lo desea puede cerrar la aplicación, esto no interrumpe al sistema de adquisición de datos.
- Para finalizar este proceso presione el botón “Detener”.

Transferencia de información

- Detenga el proceso de muestreo, en caso de que se esté ejecutando.
- Presione el botón “Ver archivos” para crear una lista de todos los archivos existentes en el sistema de adquisición de datos. Esta lista se mostrará en la pantalla de transferencias.
- En la pantalla de transferencias seleccione el archivo que desea almacenar en la computadora y presione el botón “Copiar Archivo”.
- El archivo se copiará en la carpeta “C:\Microalgas”.

Ensamblaje del sistema

El diseño del circuito impreso (PCB), el cual fue desarrollado con la herramienta informática Eagle (figura 25). El ensamble del sistema se realizó utilizando un caudín manual y soldadura de estaño. La placa con los componentes ensamblados se colocaron dentro de una caja de proyectos a la cual se agregaron conectores hembra RJ-45 para conectar los sensores, El interior de esta caja (figura 26) y el exterior (figura 27).

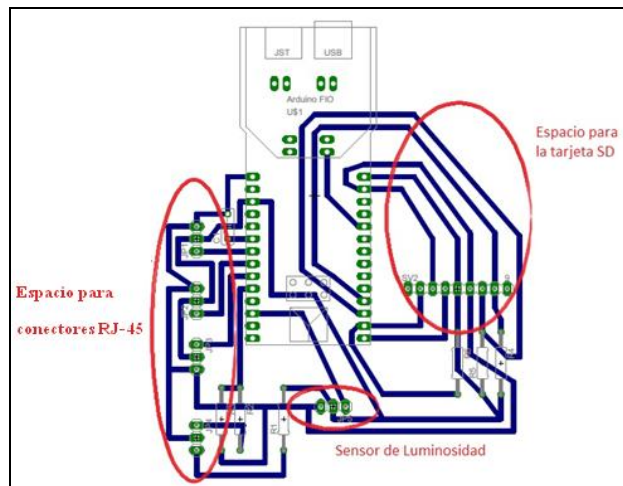


Figura 25. Diseño del circuito impreso del sistema de adquisición de datos.

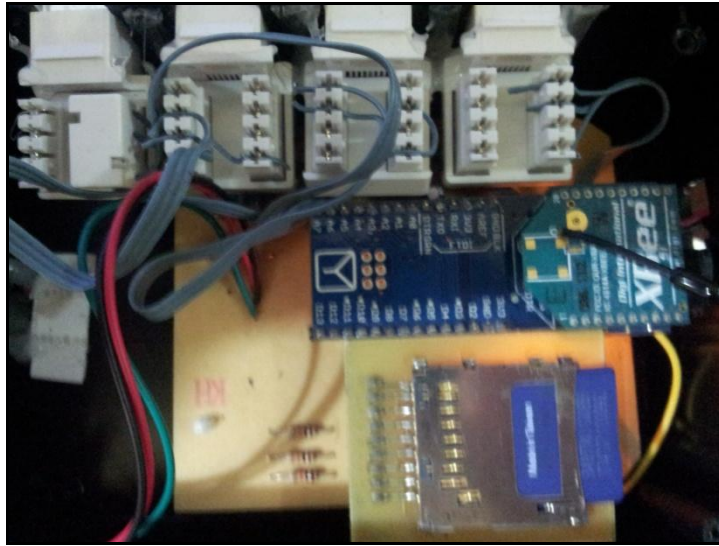


Figura 26. Vista interior de la caja con el sistema ensamblado.



Figura 27. Vista exterior de la caja con el sistema ensamblado.

Apéndice 1

Glosario y abreviaturas

DCO₂: Concentración de oxígeno disuelto.

DO₂: Concentración de dióxido de carbono disuelto.

CO₂: Fórmula química del dióxido de carbono.

Modo Sleep: Modo de espera de bajo consumo de energía.

O₂: Fórmula química del oxígeno.

SD: Secure Digital

Secure Digital: Formato de tarjeta de memoria.

Serial peripheral interface: Protocolo de comunicación entre circuitos integrados.

ZigBee: Protocolo de comunicación inalámbrica basado en el estándar IEE 802.15.

Apéndice 2

Microcontrolador ATmega328P [2]

Features

- High Performance, Low Power AVR[®] 8-Bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 131 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 20 MIPS Throughput at 20 MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
 - 4/8/16/32K Bytes of In-System Self-Programmable Flash program memory (ATmega48PA/88PA/168PA/328P)
 - 256/512/512/1K Bytes EEPROM (ATmega48PA/88PA/168PA/328P)
 - 512/1K/1K/2K Bytes Internal SRAM (ATmega48PA/88PA/168PA/328P)
 - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C⁽¹⁾
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
In-System Programming by On-chip Boot Program
True Read-While-Write Operation
 - Programming Lock for Software Security
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Six PWM Channels
 - 8-channel 10-bit ADC in TQFP and QFN/MLF package
Temperature Measurement
 - 6-channel 10-bit ADC in PDIP Package
Temperature Measurement
 - Programmable Serial USART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Byte-oriented 2-wire Serial Interface (Philips I²C compatible)
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
 - Interrupt and Wake-up on Pin Change
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
- I/O and Packages
 - 23 Programmable I/O Lines
 - 28-pin PDIP, 32-lead TQFP, 28-pad QFN/MLF and 32-pad QFN/MLF
- Operating Voltage:
 - 1.8 - 5.5V for ATmega48PA/88PA/168PA/328P
- Temperature Range:
 - -40°C to 85°C
- Speed Grade:
 - 0 - 20 MHz @ 1.8 - 5.5V



**8-bit AVR[®]
Microcontroller
with 4/8/16/32K
Bytes In-System
Programmable
Flash**

**ATmega48PA
ATmega88PA
ATmega168PA
ATmega328P**

1. XBee®/XBee-PRO® RF Modules

The XBee and XBee-PRO RF Modules were engineered to meet IEEE 802.15.4 standards and support the unique needs of low-cost, low-power wireless sensor networks. The modules require minimal power and provide reliable delivery of data between devices.

The modules operate within the ISM 2.4 GHz frequency band and are pin-for-pin compatible with each other.



Key Features

Long Range Data Integrity

XBee

- Indoor/Urban: up to 100' (30 m)
- Outdoor line-of-sight: up to 300' (90 m)
- Transmit Power: 1 mW (0 dBm)
- Receiver Sensitivity: -92 dBm

XBee-PRO

- Indoor/Urban: up to 300' (90 m), 200' (60 m) for International variant
- Outdoor line-of-sight: up to 1 mile (1600 m), 2500' (750 m) for International variant
- Transmit Power: 63mW (18dBm), 10mW (10dBm) for International variant
- Receiver Sensitivity: -100 dBm

RF Data Rate: 250,000 bps

Advanced Networking & Security

Retries and Acknowledgements
 DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)
 Each direct sequence channels has over 65,000 unique network addresses available
 Source/Destination Addressing
 Unicast & Broadcast Communications
 Point-to-point, point-to-multipoint and peer-to-peer topologies supported

Low Power

XBee

- TX Peak Current: 45 mA (@3.3 V)
- RX Current: 50 mA (@3.3 V)
- Power-down Current: < 10 μ A

XBee-PRO

- TX Peak Current: 250mA (150mA for international variant)
- TX Peak Current (RPSMA module only): 340mA (180mA for international variant)
- RX Current: 55 mA (@3.3 V)
- Power-down Current: < 10 μ A

ADC and I/O line support

Analog-to-digital conversion, Digital I/O
 I/O Line Passing

Easy-to-Use

No configuration necessary for out-of box RF communications
 Free X-CTU Software (Testing and configuration software)
 AT and API Command Modes for configuring module parameters
 Extensive command set
 Small form factor

Worldwide Acceptance

FCC Approval (USA) Refer to Appendix A [p64] for FCC Requirements. Systems that contain XBee®/XBee-PRO® RF Modules inherit Digi Certifications.
 ISM (Industrial, Scientific & Medical) **2.4 GHz frequency band**
 Manufactured under **ISO 9001:2000** registered standards



Sensor de temperatura Vernier TMP-BTA [16]

Stainless Steel Temperature Probe (Order Code TMP-BTA)



The Stainless Steel Temperature Probe is a rugged, general-purpose laboratory temperature sensor. It is designed to be used as you would use a thermometer for experiments in chemistry, physics, biology, Earth science, and environmental science.

Note: Do not completely submerge the sensor. The handle is not waterproof. Typical uses include the following:

- heat of fusion experiments
- monitoring endothermic and exothermic reactions
- weather studies
- specific heat experiments
- insulation studies

Collecting Data with the Stainless Steel Temperature Probe

This sensor can be used with the following interfaces to collect data.

- Vernier LabQuest[®] 2 or original LabQuest[®] as a standalone device or with a computer
- Vernier LabQuest[®] Mini with a computer
- Vernier LabPro[®] with a computer or TI graphing calculator
- Vernier Go![®]Link
- Vernier EasyLink[®]
- Vernier SensorDAQ[®]
- CBL 2[™]
- TI-Nspire[™] Lab Cradle

Here is the general procedure to follow when using the Stainless Steel Temperature Probe:

1. Connect the Stainless Steel Temperature Probe to the interface.
2. Start the data-collection software.
3. The software will identify the Stainless Steel Temperature Probe and load a default data-collection setup. You are now ready to collect data.

Data-Collection Software

This sensor can be used with an interface and the following data-collection software.

- **Logger Pro** This computer program is used with LabQuest 2, LabQuest, LabQuest Mini, LabPro, or Go!Link.
- **Logger Lite** This computer program is used with LabQuest 2, LabQuest, LabQuest Mini, LabPro, or Go!Link.
- **LabQuest App** This program is used when LabQuest 2 or LabQuest is used as a standalone device.

- **EasyData App** This calculator application for the TI-83 Plus and TI-84 Plus can be used with CBL 2™, LabPro, and Vernier EasyLink. We recommend version 2.0 or newer, which can be downloaded from the Vernier web site, www.vernier.com/easy/easydata.html, and then transferred to the calculator. See the Vernier web site, www.vernier.com/calc/software/index.html for more information on the App and Program Transfer Guidebook.
- **DataMate program** Use DataMate with LabPro or CBL 2™ and TI-73, TI-83, TI-84, TI-86, TI-89, and Voyage 200 calculators. See the LabPro and CBL 2™ Guidebooks for instructions on transferring DataMate to the calculator.
- **DataQuest™ Software for TI-Nspire™** This calculator application for the TI-Nspire can be used with the EasyLink or TI-Nspire Lab Cradle.
- **LabVIEW™** National Instruments LabVIEW™ software is a graphical programming language sold by National Instruments. It is used with SensorDAQ and can be used with a number of other Vernier interfaces. See www.vernier.com/labview for more information.

NOTE: Vernier products are designed for educational use. Our products are not designed nor recommended for any industrial, medical, or commercial process such as life support, patient diagnosis, control of a manufacturing process, or industrial testing of any kind.

Specifications

Temperature range:	-40 to 135°C (-40 to 275°F)
Maximum temperature that the sensor can tolerate without damage:	150°C
13-bit resolution (SensorDAQ):	0.09°C (-40 to 0°C) 0.02°C (0 to 40°C) 0.05°C (40 to 100°C) 0.13°C (100 to 135°C)
12-bit resolution (LabPro, LabQuest 2, LabQuest, LabQuest Mini, TI-Nspire™ Lab Cradle):	0.17°C (-40 to 0°C) 0.03°C (0 to 40°C) 0.1°C (40 to 100°C) 0.25°C (100 to 135°C)
10-bit resolution (CBL 2™):	0.68°C (-40 to 0°C) 0.12°C (0 to 40°C) 0.4°C (40 to 100°C) 1.0°C (100 to 135°C)
Temperature sensor:	20 kΩ NTC Thermistor
Accuracy:	±0.2°C at 0°C, ±0.5°C at 100°C
Response time (time for 90% change in reading):	10 seconds (in water, with stirring) 400 seconds (in still air) 90 seconds (in moving air)

Sensor de luminosidad Vishay TEMT6000 [17]

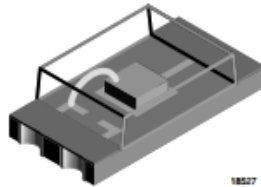


www.vishay.com

TEMT6000X01

Vishay Semiconductors

Ambient Light Sensor



18527

DESCRIPTION

TEMT6000X01 ambient light sensor is a silicon NPN epitaxial planar phototransistor in a miniature transparent 1206 package for surface mounting. It is sensitive to visible light much like the human eye and has peak sensitivity at 570 nm.

FEATURES

- Package type: surface mount
- Package form: 1206
- Dimensions (L x W x H in mm): 4 x 2 x 1.05
- AEC-Q101 qualified
- High photo sensitivity
- Adapted to human eye responsivity
- Angle of half sensitivity: $\phi = \pm 60^\circ$
- Floor life: 168 h, MSL 3, acc. J-STD-020
- Lead (Pb)-free reflow soldering
- Compliant to RoHS Directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC

Note

** Please see document "Vishay Material Category Policy": www.vishay.com/doc?99902

APPLICATIONS

Ambient light sensor for control of display backlight dimming in LCD displays and keypad backlighting of mobile devices and in industrial on/off-lighting operation.

- Automotive sensors
- Mobile phones
- Notebook computers
- PDA's
- Cameras
- Dashboards

AUTOMOTIVE
GRADE



RoHS
COMPLIANT
GREEN
(S-2008)**

PRODUCT SUMMARY

COMPONENT	I_{PCE} (μA)	ϕ (deg)	$\lambda_{0.5}$ (nm)
TEMT6000X01	50	± 60	440 to 800

Note

- Test condition see table "Basic Characteristics"

ORDERING INFORMATION

ORDERING CODE	PACKAGING	REMARKS	PACKAGE FORM
TEMT6000X01	Tape and reel	MOQ: 3000 pcs, 3000 pcs/reel	1206

Note

- MOQ: minimum order quantity

Sensor de oxígeno disuelto Vernier DO-BTA [14]

Dissolved Oxygen Probe

(Order Code DO-BTA)



The Dissolved Oxygen Probe can be used to measure the concentration of dissolved oxygen in water samples tested in the field or in the laboratory. You can use this sensor to perform a wide variety of tests or experiments to determine changes in dissolved oxygen levels, one of the primary indicators of the quality of an aquatic environment:

- Monitor dissolved oxygen in an aquarium containing different combinations of plant and animal species.
- Measure changes in dissolved oxygen concentration resulting from photosynthesis and respiration in aquatic plants.
- Use this sensor for an accurate on-site test of dissolved oxygen concentration in a stream or lake survey, in order to evaluate the capability of the water to support different types of plant and animal life.
- Measure Biological Oxygen Demand (B.O.D.) in water samples containing organic matter that consumes oxygen as it decays.
- Determine the relationship between dissolved oxygen concentration and temperature of a water sample.

Inventory of Items Included with the Dissolved Oxygen Probe

Check to be sure that each of these items is included in your Dissolved Oxygen Probe box:

- Dissolved Oxygen Probe (dissolved oxygen electrode with membrane cap)
- One replacement membrane cap
- Sodium Sulfite Calibration Standard (2.0 M Na_2SO_3) and MSDS sheet
- D.O. Electrode Filling Solution, MSDS sheet, and filling pipet
- Calibration bottle (empty, lid with hole)
- D.O. Polishing Strips (1 pkg)
- Dissolved Oxygen Probe booklet

Collecting Data with the Conductivity Probe

This sensor can be used with the following interfaces to collect data:

- Vernier LabQuest[®] as a standalone device or with a computer
- Vernier LabQuest[®] Mini with a computer
- Vernier LabPro[®] with a computer, TI graphing calculator, or Palm[®] handheld
- Vernier Go![®]Link
- Vernier EasyLink[®]
- Vernier SensorDAQ[®]
- CBL 2[™]

Specifications

Range:	0 to 15 mg/L (or ppm)
Accuracy:	±0.2 mg/L
Resolution	
13-bit resolution (SensorDAQ):	0.007 mg/L
12-bit resolution (LabPro, LabQuest, LabQuest Mini, Go!Link, ULI II, SBI):	0.014 mg/L
10-bit resolution (CBL 2):	0.056 mg/L
Response Time:	95% of final reading in 30 seconds, 98% in 45 seconds
Temperature Compensation:	automatic from 5–35°C
Pressure Compensation:	manual, accounted for during calibration
Salinity Compensation:	manual, accounted for during calibration
Minimum sample flow:	20 cm/second
Stored Calibration Values	
Slope =	3.27
Intercept =	-0.327

This sensor is equipped with circuitry that supports auto-ID. When used with LabPro, LabQuest, LabQuest Mini, Go! Link, SensorDAQ, EasyLink, or CBL 2, the data-collection software identifies the sensor and uses pre-defined parameters to configure an experiment appropriate to the recognized sensor.

Sensor de pH Vernier PH-BTA [15]

pH Sensor (Order Code PH-BTA)



Our pH Sensor can be used for any lab or demonstration that can be done with a traditional pH meter. This sensor offers the additional advantages of automated data collection, graphing, and data analysis. Typical activities using our pH sensor include studies of household acids and bases, acid-base titrations, monitoring pH change during chemical reactions or in an aquarium as a result of photosynthesis, investigations of acid rain and buffering, and investigations of water quality in streams and lakes.

Collecting Data with the pH Sensor

This sensor can be used with the following interfaces to collect data:

- Vernier LabQuest[®] as a standalone device or with a computer
- Vernier LabQuest[®] Mini with a computer
- Vernier LabPro[®] with a computer, TI graphing calculator, or Palm[®] handheld
- Vernier Go![®]Link
- Vernier EasyLink[®]
- Vernier SensorDAQ[®]
- CBL 2[™]

Here is the general procedure to follow when using the pH Sensor:

1. Connect the pH Sensor to the interface.
2. Start the data-collection software¹.
3. The software will identify the pH Sensor and load a default data-collection setup. You are now ready to collect data.

Important: Do not fully submerge the sensor. The handle is not waterproof.

Data-Collection Software

This sensor can be used with an interface and the following data-collection software.

- **Logger Pro 3** This computer program is used with LabQuest, LabQuest Mini, LabPro, or Go!Link.
- **Logger Pro 2** This computer program is used with ULI or Serial Box Interface.
- **Logger Lite** This computer program is used with LabQuest, LabQuest Mini, LabPro, or Go!Link.
- **LabQuest App** This program is used when LabQuest is used as a standalone device.
- **EasyData App** This calculator application for the TI-83 Plus and TI-84 Plus can be used with CBL 2, LabPro, and Vernier EasyLink. We recommend version 2.0 or newer, which can be downloaded from the Vernier web site, www.vernier.com/easy/easydata.html, and then transferred to the calculator.

¹ If you are using Logger Pro 2 with either a ULI or SBI, the sensor will not auto-ID. Open an experiment file for the pH Sensor in the Probes & Sensors folder.

See the Vernier web site, www.vernier.com/calc/software/index.html for more information on the App and Program Transfer Guidebook.

- **DataMate program** Use DataMate with LabPro or CBL 2 and TI-73, TI-83, TI-84, TI-86, TI-89, and Voyage 200 calculators. See the LabPro and CBL 2 Guidebooks for instructions on transferring DataMate to the calculator.
- **Data Pro** This program is used with LabPro and a Palm handheld.
- **LabVIEW** National Instruments LabVIEW™ software is a graphical programming language sold by National Instruments. It is used with SensorDAQ and can be used with a number of other Vernier interfaces. See www.vernier.com/labview for more information.

pH Electrode Specifications

Type:	Sealed, gel-filled, epoxy body, Ag/AgCl
Response time:	90% of final reading in 1 second
Temperature range:	5 to 80°C
12 mm OD	
Range:	pH 0–14
13-bit Resolution (SensorDAQ):	0.0025 pH units
12-bit Resolution (LabQuest, LabQuest Mini, Go!Link, LabPro, ULI, SBI):	0.005 pH units
10-bit Resolution (CBL 2):	0.02 pH units
Isopotential pH:	pH 7 (point at which temperature has no effect)
Output:	59.2 mV/pH at 25°C
Stored Calibration Values ² :	
Intercept (k_0):	13.720
Slope (k_1):	-3.838

NOTE: This product is to be used for educational purposes only. It is not appropriate for industrial, medical, research, or commercial applications.

How the pH Sensor Works

The pH Amplifier inside the handle is a circuit which allows a standard combination pH electrode (such as the Vernier 7120B) to be monitored by a lab interface. The cable from the pH Amplifier ends in a BTA plug.

The pH Sensor will produce a voltage of 1.75 volts in a pH 7 buffer. The voltage will increase by about 0.25 volts for every pH number decrease. The voltage will decrease by about 0.25 volts/pH number as the pH increases.

The Vernier gel-filled pH Sensor is designed to make measurements in the pH range of 0 to 14. A polycarbonate body that extends below the glass sensing bulb of the

² These are average calibration values. Actual values may vary because sensors are individually calibrated by Vernier before shipping.

Analizador de dióxido de carbono Qubit Q-S153 [11]



Q-S153 CO₂ Analyzer is a single channel non-dispersive infrared CO₂ analyzer which measures CO₂ in 0 to 5% and 0 to 10% range with 0.01% resolution. Q-S153 replaces our S153 CO₂ Analyzer. The same dependable technology has been improved, made more rugged and modular for easy fit in our [NEW Q-Box Packages](#). Q-S153 CO₂ analyzer is ideal for CO₂ exchange measurements in larger or more active animals and in situations where high CO₂ fluxes may occur, such as fermentation processes, human respirometry. Q-S153 may be used in a flow-through gas exchange configuration for instantaneous and continuous measurements of CO₂ exchange or as part of Qubit Systems' carbon dioxide control system for regulating pCO₂ in growth cabinets and rooms.

Features:

- Switchable ranges of 0 – 5% and 0 – 10% CO₂
- 0.01% CO₂ resolution on digital display
- Non-dispersive infrared technology
- Modulated infrared light source = no moving parts
- 0 – 5 V analog output at both range settings
- Optional battery pack for field use
- Compact and portable

Applications:

- Respirometry in mammals
- Exhaled air analysis in humans
- Compost monitoring
- Monitoring of anaerobic metabolism in yeast colonies

The Q-**S153 CO2 analyzer** is included in the following Qubit laboratory packages:

- Q-Box HR1LP Human Respirometry Package
- Q-Box RP2LP High Range Respiration Package

Specifications:

- Operating principle: Non-dispersive infrared
- Gas sampling mode: Flowing gas stream, sealed chamber
- Maximum gas flow rate: 650 mL/min
- Measurement range (LCD display): 0 – 10%
- Analog output, low sensitivity: 0 – 10%
- Analog output, high sensitivity: 0 – 5%
- Accuracy: $\pm 5\%$ of reading or 0.2%
- Repeatability: Better than $\pm 1\%$
- Maximum drift (per year): $\pm 0.5\%$
- Response time (@ 250 mL/min; to 95% of final value): ca. 20 sec
- Warm up time (@ 22°C): ca. 5 min
- Output (linear) for Low Sensitivity setting: 0 – 5 VDC for 0 – 10%
- Output (linear) for High Sensitivity setting: 0 – 5 VDC for 0 – 5%
- Calibration adjustments: Zero and Span
- Operating temperature range: 0 to 50°C
- Storage temperature range: -40 to 70°C
- Operating pressure range: $\pm 1.5\%$ local mean pressure
- Humidity range: 5 to 95% RH, non-condensing (recommend drying gas stream)
- Pressure dependence: +0.19% reading per mm Hg
- Power requirements: 12 VDC via 120 VAC/60 Hz adapter
- Current requirements: 175 mA average, 450 mA peak
- Dimensions (cm): (H x W x D: 5.5 to 9.5 x 9.5 x 17)
- Weight: 1 kg
- Warranty: 1 year limited

Specifications subject to change without notice