



## Prototipo de un Biorreactor para la Obtención de Biodiesel en el C.E.C.yT 2 “Miguel Bernard” del área de máquinas con sistemas automatizados

**Victor Méndez Aguilera<sup>1</sup>, Raúl Constantino Pacheco<sup>3</sup>, Antonio Lucas Ruiz<sup>1</sup>, Sánchez Patricio Sandra<sup>3</sup>, Diego González Martínez<sup>2</sup>, Rubén De Jesús Tovilla Quesada<sup>3</sup>, Jesús Bazán Cuenca<sup>3</sup>**

Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad AZCAPOTZALCO<sup>1</sup>, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad ZACATENCO<sup>2</sup>, Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos No. 2 “Miguel Bernard”<sup>3</sup>.  
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad AZCAPOTZALCO<sup>1</sup>, CECyT 2 “Miguel Bernard”<sup>2</sup>, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad ZACATENCO<sup>3</sup>  
Av. De las Granjas 682, Santo Tomas, 02020 Ciudad de México, CDMX<sup>1</sup>, Av. Luis Enrique Erro S/N, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Gustavo A. Madero, Zacatenco, 07738 Ciudad de México, CDMX<sup>2</sup>, Casa, Av. Nueva, Av. Casa de La Moneda 133, Lomas de Sotelo, 11200 Ciudad de México<sup>3</sup>.

### ARTICLE INFO

**Received:** Agosto 15, 2019  
**Accepted:** September 20, 2019  
**Available on-line:** Junio 6, 2019

**Keywords:** Biorreactor, biodiesel, microalgas.

**E-mail addresses:**  
[diegogm012@gmail.com](mailto:diegogm012@gmail.com)  
[victor.mendez11300@gmail.com](mailto:victor.mendez11300@gmail.com)

ISSN 2007-9842

© 2019 Institute of Science Education.  
All rights reserved

### ABSTRACT

The biofuel or biodiesel is a derivative of biomass, which is the first source of energy known to man, said fuel can be obtained from various renewable resources such as; ethanol, fructose, oleaginous oils or algae. The objectives of this project are to create and design a bioreactor that will have the necessary systems that favor the production and development of said microalgae, in the same way the sampling will be carried out which will allow an analysis to be carried out and to determine if it is necessary to make changes to the bioreactor. The project is divided into three stages which encompass; the design and construction of the bioreactor, the cultivation of the microalgae and the production of biodiesel; In the first stage the bioreactor is designed adapting to the requirements of the crop, taking into account that it is easier to take samples, which will allow adaptations to the design if necessary, in the second stage where the cultivation of the microalgae will take place. of the preparation of the environment which will favor the growth and reproduction as well as ensuring the correct nutrition, and the third stage which is divided into two phases; the first is carried out the treatment of the raw material and in the second the transesterification process is carried out where both the oils and glycerin are obtained, with the help of a catalyst and methanol. For the elaboration of this project the design and construction of a bioreactor for the production of biodiesel from microalgae, will be carried out by the CECyT 2 "Miguel Bernard" students of the Aeronautics, Automated Systems and Computer Aided Drawing courses.

El biocombustible o biodiesel es un derivado de la biomasa, la cual es la primera fuente de energía conocida por el hombre, dicho combustible se puede obtener de diversos recursos renovables tales como; etanol, fructosa, aceites oleaginosos o algas. Este proyecto es un biorreactor que cuenta con los sistemas necesarios que favorecen la producción y el desarrollo de microalgas, de igual manera se realiza la toma de muestreo que permite llevar a cabo un análisis y poder determinar si es necesario realizar cambios al biorreactor. El proyecto se divide en tres etapas las cuales abarcan; el diseño y construcción del biorreactor, el cultivo de la microalga y la elaboración del biodiesel; en la primer etapa se diseña el biorreactor adaptándose a los requerimientos del cultivo tomando en cuenta que se facilite la toma de muestras lo que permitirá realizar adaptaciones al diseño de ser necesario, en la segunda etapa donde se lleva a cabo el cultivo de la microalga, consta de la preparación del medio lo que favorecerá el crecimiento y reproducción así como asegura la correcta nutrición, y la tercera etapa la cual se divide en dos fases; la primera se lleva a cabo el tratamiento de la materia prima y en la segunda se realiza el proceso de la transesterificación donde se obtienen tanto los aceites como glicerina, con ayuda de un catalizador y metanol. En este proyecto se presenta el diseño y construcción de un biorreactor que produce biodiesel a partir de microalgas; realizado por los alumnos del CECyT 2 “Miguel Bernard” de la carrera de Máquinas con Sistemas Automatizados.

## I. INTRODUCCIÓN

Los combustibles fósiles, a través del tiempo mediante el uso como la quema del mismo, tales como el petróleo, el carbón, gas LP, etc. (Ma y Hanna, 1999). Los cuales generan la polución atmosférica del planeta, como lo es el CO<sub>2</sub>, ozono, óxidos de azufre, nitrógeno, etc. No solo se contamina el aire ya que también se contamina otro elemento importante para los seres vivos como el agua. El agua se contamina mediante la extracción de estos combustibles y accidentes como derrames de barcos, en plataformas e incendios. Lo que afecta ecosistemas y a pesar de que los limpien no vuelven a ser lo mismo. (Ma y Hanna, 1999).

Por estas razones debemos echar la vista hacia las fuentes de energía más amigables, como los son los biocombustibles hechos a partir de la fermentación de microalgas. Con base de estas situaciones se presenta el prototipo de un biorreactor como apoyo para la producción más limpia y amigable con el ambiente cultivando y fermentando bacterias en un sistema cerrado a menor escala y casero para reducir el consumo de combustibles fósiles y presentar esta mejor alternativa a ellos (Ferrer, 2003), (Groover, 1996).

Con el fin de llevar a cabo este proyecto cubriendo los objetivos correspondientes se tuvo que elaborar un diseño usando dibujo técnico-mecánico a través del software llamado Solidworks con base en las normas NOM e ISO que se requerían, posteriormente se analizó la manufactura requerida para la elaboración de este prototipo para su posterior maquinado y automatización. (Carrasco, 2018), (Krar, 2009), (Villanueva, 1983), (Ferrer, 2003), (Groover, 1996).

## II. BIORREACTOR

Biorreactor es un dispositivo con un sistema de control de condiciones como la temperatura, el oxígeno, agitación, pH, etc. Por lo tanto, se debe utilizar para mantener activos a los organismos o seres vivos dentro del dispositivo. En el dispositivo se realizan procesos químicos con microorganismos vivos en procesos aerobios o anaerobios (Mitchell *et al.*, 1992).

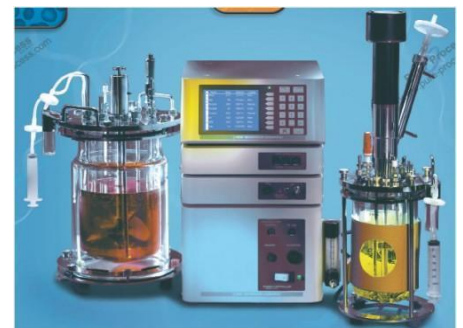
## III. DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS DEL BIORREACTOR

Para el diseño de un biorreactor es necesario entender las necesidades y características del usuario, tanto como los atributos y cualidades del biorreactor, teniendo en cuenta que no está determinado por las variables que la caracterizan y su velocidad de reacción. (Filali, 2010), (Bastin y Dochain, 1990), (Nouals, 2000).

Para establecer el diseño de un biorreactor es necesario tener en cuenta ciertas características:

Distribución de las células a través de todo el sistema a utilizar

- ° Tener ciertos parámetros de temperatura siendo constante
- ° utilizar la menor cantidad de suplementos y nutrientes para su crecimiento
- ° prevenir factores como el asentamiento del cultivo y floculación
- ° mantener un cultivo sin impurezas químicas externas
- ° mantener la manutención de un ambiente óptimo para el cultivo
- ° Mejorar la producción
- ° Minimizar costos
- ° Reducir tiempo

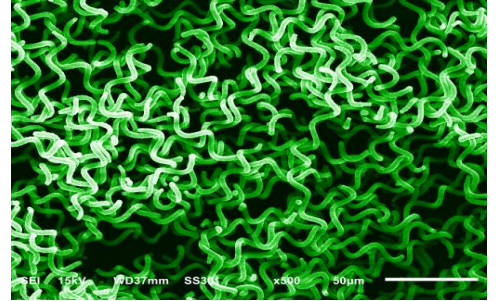


**Figura 1:** Biorreactor industrial.

(Filali, 2010), (Bastin y Dochain, 1990), (Nouals, 2000).

#### IV. CULTIVO DE MICROORGANISMOS

Un cultivo de microorganismos tiene como finalidad hacer crecer la población de organismos microscópicos esto de una forma controlada dentro de un medio artificial, que en este caso es el mismo biorreactor, ya dentro del medio de cultivo se tiene que tener claro los nutrientes que se tendrán que utilizar, además de las condiciones del pH y la humedad, esto permite el desarrollo y crecimiento de los microorganismos. Los cultivos de microorganismos tienen un uso creciente en las áreas de la biotecnología y la protección medioambiental (Becker, 1994).



*Figura 2: Ejemplo de un microorganismo (Microalga Arthrospira).*

#### V. MICROALGAS

Las microalgas son aquellos organismos vivos unicelulares (una sola célula) eucariontes, realizan la transformación de la energía luminosa en energía química, su capacidad es mucho mayor al proceso de las plantas pues tiene una eficiencia fotosintética mejor, las cuales son las primeras formadoras de materia orgánica con un tamaño promedio reducido de 5-50  $\mu\text{m}$  (Buono, 2014). Su captura y digestión, son fáciles para organismos cuyo alimento es el fitoplancton.

Mediante estudios de laboratorios se ha obtenido información que deben de tener, ciertos parámetros para su correcto crecimiento y factores como la temperatura, intensidad luminosa, nutrientes, pH, constante agitación, oxigenación, etc. (Sánchez, 2008).

Actualmente se ha considerado el estudio de estos microorganismos debido a que se están siendo utilizados para diversos tratamientos, así como de aguas residuales, suplementos alimenticios, y procesos para biocombustibles, biogás, etc. Tales microorganismos permiten que se busquen nuevas alternativas para no contaminar más el planeta (mencionado en la introducción), estos necesitan mucha luz (como la mayoría de organismos fotosintéticos).

La respuesta de este organismo es muy grande ante la tasa de crecimiento debido a su rápida reproducción asexual.

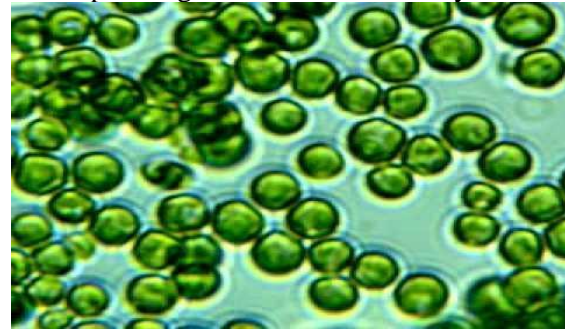
#### VI. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS MICROALGAS

- Genera biomasa muy rápido.
- No se cultivan en áreas de tierra.
- Sus componentes para crecer son nutrientes básicos.
- Como la mayoría de los organismos vegetales, aprovechan la luz solar.
- Ayuda a la limpieza del CO<sub>2</sub> de la atmósfera de la tierra.
- Tiene una mayor eficiencia en el proceso de la fotosíntesis que las plantas.

## VII. MICROALGA CHLORELLA VULGARIS

Es un alga que contiene una célula por lo cual es considerado unicelular con una forma esférica y sus diámetros son demasiado pequeños ya que son de micras (2-10), es muy consumida ya que contiene un porcentaje muy alto de clorofila, la *Chlorella* contiene una gran cantidad de nutrientes vitamina C, beta caroteno y vitaminas B. (Sánchez, 2008).

La utilización de esta es para la fabricación de suplementos alimenticio, cosméticos, la razón por la cual se eligió el trabajar con este tipo de alga fue debido a sus diversos factores entre el que destaca su reproducción asexual muy rápida la cual es un factor a beneficio debido a que se obtiene un mayor índice de organismos para la generación de biomasa y transformarla en biodiesel (Sánchez, 2008).



*Figura 3: Microalga Chlorella Vulgaris vista desde el microscopio.*

## VIII. ASPECTOS DE CULTIVO PARA LAS MICROALGAS

En todos los cultivos, se tienen que tener factores de cuidado para su total y correcto crecimiento (Buono, 2014).

Para este cultivo, lo que nos importa tener es un cultivo sano, sin contaminantes ni químicos pues su posterior proceso no puede estar contaminado, por lo tanto, los nutrientes deben de ser naturales sin alteraciones químicas (Becker, 1994), (Stephenson, 2010).

### 1- Temperatura

La temperatura ideal para tener bien al organismo unicelular tiene un rango general de 28° a 35°C. En general las algas aumentan su producción de biomasa mediante una condición óptima. (Fernández, 2013), (Ma, 1999).

Este sistema cerrado, puede controlar la temperatura con un sistema de calentamiento con su respectivo termostato.

### 2- Potencial Hidrógeno (pH) y CO<sub>2</sub>

El Potencial Hidrógeno de un cultivo correcto de microalgas está más cerca de un pH de una base que un pH de un ácido sabiendo; que un pH básico es de 7.01-14 y pH ácido es de 0-6.99 dado que un pH neutro es de 7 y el agua es la sustancia con ese pH.

El potencial Hidrógeno de un cultivo de microalgas es de 8 o debe de ser, todo esto se puede controlar con sustancias naturales para no dañar el cultivo con químicos.

El pH del cultivo se puede modificar por agentes y elementos como su producción algal, la alcalinidad y composición iónica en la sustancia en que se encuentran.

pH microalga= 8.

(Fernández, 2013), (Ma, 1999).

### 3-Nutrientes

El nitrógeno es uno de los elementos más importantes para las microalgas y se agrega mediante nitratos o amonio pero en porciones muy pequeñas. Otro elemento importante es el carbono, estos nutrientes se obtienen mediante el ambiente en que se encuentre el biorreactor por lo tanto se obtienen naturalmente de la atmósfera o químicamente.

(Fernández, 2013), (Ma, 1999).

## IX. DESARROLLO DEL PROTOTIPO DEL BIORREACTOR

Para la realización de este biorreactor principalmente tuvimos que plantear los planos y las medidas que va a tener el biorreactor, además de realizar los planos de cada pieza, tuvimos que realizar un análisis de manufactura para cada pieza diseñada (Filali, 2010), (Bastin y Dochain, 1990).

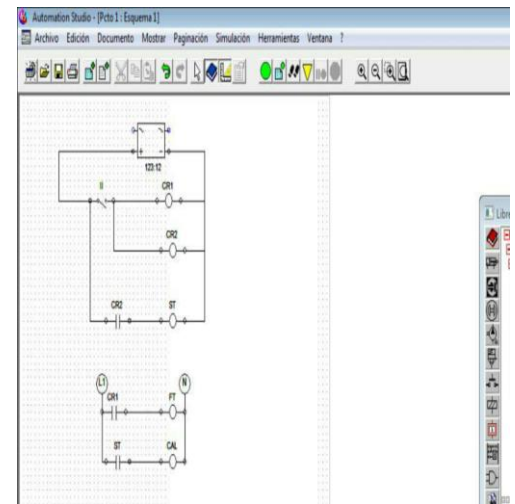
Seguido a ello tuvimos que realizar un circuito eléctrico para poder manejar la temperatura y la oxigenación dentro del biorreactor ya que son de los factores principales para la reproducción de la microalga que vamos a usar (Boylestad, 1993).

Para lograr la regulación de temperatura y de oxigenación, utilizamos ciertos elementos, como:

- Calentador
- Filtro para pecera
- Termostato
- Contacto con temporizador
- Relevadores de control
- Interruptor.

## X. CULTIVO DE LA MICROALGA.

Para este cultivo usamos una microalga llamada *Chlorella Vulgaris*, para este cultivo se usó 2.2 gramos de esta alga por cada litro de agua destilada.



**Figura 6:** Circuito eléctrico para la regulación de temperatura y oxigenación.



**Figura 7:** Cultivo de la microalga *Chlorella Vulgaris*.

## XI. RESULTADOS

Podríamos dividir los resultados en dos partes, la primera sería el prototipo del biorreactor y el segundo será el crecimiento de la microalga.

Hablando sobre el biorreactor se puede decir que funcionó como lo habíamos planeado, ya que tanto las medidas de este como su funcionamiento es hace exactamente lo dicho, que es la regulación de la temperatura y la oxigenación, esto gracias al circuito eléctrico, que funciona de la siguiente forma:

El circuito eléctrico funciona de la siguiente manera, al presionar el interruptor hará que energicen los dos relevadores de control cerrando sus contactos y energizando el sensor de temperatura y el filtro, cuando el sensor de temperatura censa que la temperatura del cultivo de microalgas es menor a la programada cierra su contacto energizando el calentador para que lo empiece a calentar.



Ya como el segundo resultado que es el cultivo y la reproducción de microalga, también se puede decir que fue un éxito ya que al paso del tiempo (un mes exactamente), esta se fue reproduciendo, de forma que fue aumentando la producción de la biomasa, que esta será la principal fuente para la obtención del biodiesel.

presentacion final V6 - PowerPoint

ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO TRANSICIONES ANIMACIONES PRESENTACIÓN CON DIAPOSITIVAS REVISAR VISTA COMPLEMENTOS

Portapapeles Diapositivas Fuente Párrafo Dibujo Edición

11 ¿QUÉ NECESITA LA MICROALGA PARA CRECER?  
12 CRECIMO Y EVOLUCIÓN DE LA MICROALGA  
13 SEGUIREMOS TOMANDO MUESTRAS DE LA MICROALGA PARA VER SU EVOLUCIÓN  
14 COMPONENTES DEL BIOMECTOR  
15 ¿CÓMO FUNCIONA EL FOTÓFITO?  
16 TRANSFERENCIA

• SEGUIDO A ESO, DECIDIMOS QUE POR CADA CIERTO TIEMPO IRÍAMOS TOMANDO MUESTRAS DE LA MICROALGA, PARA PODER VERLAS EN EL MICROSCOPIO.

DIAPOSITIVA 13 DE 17 ESPAÑOL (MÉXICO) NOTAS COMENTARIOS 100% 11:32 p. m. 05/07/2018

**Figura 9:** Evolución de la microalga *Chlorella Vulgaris*.



*Figura 8: Prototipo del biorreactor.*

## XVIII. CONCLUSIONES

Un biorreactor es un dispositivo muy útil para cultivar lo que se necesite y al mismo tiempo este aumenta la producción del mismo, siempre y cuando esté correctamente hecho pues un fallo del mismo puede provocar una deficiencia o fallo del sistema del biorreactor, lo que se resulta de estos fallos es un retraso y deficiencia por parte del biorreactor.

Pero esta no es la única forma en que se puede presentar un fallo en el cultivo ya que en el dado caso de que este mal o bien construido, si no se tiene cuidado con el tipo de iluminación que se necesita, nutrientes, oxigenación, control de Dióxido de carbono, etc.

Puede dañar a nuestro cultivo lo que no sería factible para una empresa y/o laboratorio que lo utilizó por lo tanto debe de tener cuidado en estos aspectos.

Un sistema cerrado de cultivo tiene una efectividad mucho más alto que un cultivo de sistema abierto, en nuestro caso cultivamos la microalga mayormente conocida como: *Chlorella Vulgaris* ya que su productividad es muy alta para poder extraer lo que se necesite para el biocombustible. En un sistema abierto, el tiempo para su producción es de 3 semanas aproximadamente y en nuestro biorreactor aceleramos ese proceso a 1 semana.

Como se puede notar es algo muy significativo para su producción lo que sería de gran ayuda para la industria y para los laboratorios o lugares donde se deba ocupar.

Este diseño como se puede notar, funciona correctamente y tanto que inclusive puede llegar a ser modificado, ya sea para hacerlo más grande o más pequeño todo esto depende del espacio y de la utilidad que se le dará.

Esta investigación permitió investigar y evaluar el uso de la microalga *Chlorella* en la producción de biomasa de forma natural y sin contaminarla con nutrientes químicos que la puedan dañar, ya que esta microalga será utilizada en algo muy importante y no se puede tener un cultivo contaminado lo que nos resultaría un producto malo.

Las microalgas hoy en día son una buena fuente de investigación, lo cual será de gran ayuda para el sector energético y alimenticio, las derivaciones de estas microalgas es algo fantástico ya que se logran utilizar de manera antes mencionada en el sector alimenticio y energético. La cual se puede transformar en biocarburo natural o permite el estudio de la bioluminiscencia que en un futuro no muy lejano puede ser muy útil. También se está utilizando mucho esta alga para el tratado de aguas residuales a lo que nos conduce a decir que tiene muchos usos y aumentar su producción no es mala idea.

## **XIX. AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a la escuela "CECyT 2 Miguel Bernard " por la educación de calidad que me brindo en estos 3 años, y al INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL.

A los directivos y presentes de administración por permitirnos presentar este proyecto.

## **XX. REFERENCIAS**

Acién Fernández, F.G., Fernández Sevilla, J.M., Molina Grima, E. (2013). *Photobioreactors for the production of microalgae*. Rev. Environ. Sci. Biotechnol.

Boylestad R, Nashelsky L. (1993). *Electricidad, electrónica y electromagnetismo: principios y aplicaciones*. Editorial, TRILLAS, ISBN 9789682443350.

Buono, S., Langellotti, A.L, Martello, A. Rinna, F., Fogliano, V. (2014). *Functional ingredients from microalgae*, Food Funct. %, 1669-1685.

Ferrer Giménez C, Amigó Borrás V. (2003). *Tecnología de materiales*, Editorial Superior Arquitectura, ISBN, 978-84-9705-363-1.

Groover M. (1996). *Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas*. Editorial, McGraw-Hill Interamericana, ISBN, 970106240X.

Carrasco Moreno J. Mallorquín Egea S. (2018). *Prácticas y procesos de taller de mecanizado 2ª edición*. editorial, Marco combo 2018. ISBN, 9788426726254

Stephenson AL, Dennis JS, Howe CJ, Scott SA, Smith AG. *Influence of nitrogen limitation regime on the production by Chlorella vulgaris of lipids for biodiesel feedstocks*. Biofuels 2010.

Steve F.Krar, Atur R. Gill, Peter Smid. (2009). *Tecnología de las máquinas y herramientas 6ª edición*. Editorial, Alfaomega, ISBN 6077686891.



Villanueva Pruneda S.A., (1983). *Manual de métodos de fabricación metal mecánica 4ª edición*. AGT editorial, ISBN, 978-978-8407-78-2.

Xiong W, Li X, Xiang J, Wu Q. (2008). *High-density fermentation of microalga Chlorella protothecoides in bioreactor for microbiodiesel production*. Appl Microbiol Biotechnol.

Ma FR, Hanna MA (1999). *Producción de biodiesel: una revisión*. Bioresour Technol 70.

Becker (1994). *Medición del crecimiento de algas*. En: microalgas, biotecnología y microbiología. Cambridge University Press,

R. Filali, S. Tebbani, D. Dumur, A. Isambert, D. Pareau y F. Lopes, "*Identificación de los parámetros del modelo de crecimiento para un cultivo de Chlorella vulgaris en un fotobiorreactor*", undécima aplicación informática en biotecnología, 2010, Lovaina, Bélgica, julio.

G. Bastin y D. Dochain, (1990). "*Estimación en línea y control adaptativo del biorreactor*", Process Measurement and Control, vol. 1, Elsevier, Amsterdam.

S. Nouals, "*Modélisation d'un photobioracteur pour le pilotage de microalgues*", tesis doctoral, Ecole Centrale Paris, Chatenay-Malabry, Francia, 2000.

Sánchez, E., Garza, M., Almaguer, V., Sáenz, I. & Liñán, A. (2008). *Estudio cinético e isotermas de adsorción de Ni (II) y Zn (II) utilizando biomasa del alga Chlorella sp. inmovilizada*. Ciencia UNAL.

Mitchell D. et al., (1992). *General principles of reactor design and operation for solid substrate cultivation*. In Rolz (Ed), solid Substrate Cultivation. Elsevier Applied Science.