



# Revista AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica

Volúmen 1, número 4, año 2008 ISSN 0718-378X  
PP

## **Tratamiento biológico con *Phanerochaete chrysosporium* de los residuos agroindustriales de la industria del Tequila, para el aumento de su digestibilidad como complemento del alimento de rumiantes**

Biological treatment of agroindustrial's wastes from the Tequila Industry with *Phanerochaete chrysosporium* to increase its digestibility as a supplement feed for ruminants.

CLEMENTINA RITA RAMÍREZ CORTINA  
MARÍA DE LA SOLEDAD ALONSO GUTIÉRREZ  
LUC RIGAL

### ABSTRACT

The bagasse of the Agave Tequilana Weber, blue variety, an agroindustrial waste from the tequila industry was characterized by physicochemical analysis. Physical characteristics indicated that this waste is made up of an heterogeneous fibrous material and a non fibrous organic material in the shape of fine particles. The chemical analysis indicates that it contains 42% of cellulose, 14 % of lignin, 18.5 % of hemicelluloses, 2.6 % of total nitrogen, 0.8 % of pectin, 1.2 % of oil and greases, 6.2 % of total reducing sugars, and 6.7 % of ashes. According to these analyses it was found that hemicelluloses, lignin and sugars can be used as a complement of animal feed by the reduction of lignin, and for this purpose the increase in digestibility of the agave bagasse was investigated by means of a biological treatment with the *Phanerochaete chrysosporium* fungus. The semi-solid fermentation was conducted at different humidity levels (20%, 60%, and 80%) and a temperature of 30°C. The sterilized bagasse underwent treatments that achieved a digestibility of 60% after 45 days. On the other hand, non-sterilized bagasse presented a digestibility of 55% after a 21 day-treatment. Untreated bagasse presented a digestibility of 36%. The optimal humidity for treatment was 80%.

#### IV-Ramírez-México.

### Tratamiento biológico con *Phanerochaete chrysosporium* de los residuos agroindustriales de la industria del Tequila, para el aumento de su digestibilidad como complemento del alimento de rumiantes.

**CLEMENTINA RITA RAMÍREZ CORTINA.** Ingeniero Químico. Doctorado en Ingeniería de Procesos en purificación del agua. INSA Toulouse, Francia. Experiencia: en evaluación, tratamiento y control de la calidad del agua. Profesora e Investigadora de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, México, D. F.

**MARÍA DE LA SOLEDAD ALONSO GUTIÉRREZ.** Ingeniero Bioquímico. Doctorado en tratamiento de residuos vegetales. INP de Toulouse, Francia. Experiencia: Tratamiento de agua residual sólidos residuales agrícolas y municipales. Asesora de proyectos ambientales.

**LUC RIGAL.** Ingeniero Químico. Doctor del l'Institut National Polytechnique de Toulouse, France. Experiencia: tratamiento de residuos agroindustriales. Trabajo actual: Ingenieur de Recherche – INP Toulouse, France.

**Dirección:** Universidad Autónoma Metropolitana – Azcapotzalco, San Pablo 180, Colonia Reynosa Tamaulipas, Delegación Azcapotzalco, CP 02200 México D. F. México. Teléfono: (55) 5318-9044, Fax: (55) 5394-7378, e mail: [crrc@correo.azc.uam.mx](mailto:crrc@correo.azc.uam.mx)

#### RESUMEN

El bagazo del Agave *tequilana* W. cv *azul*, residuo agroindustrial de la industria del tequila, fue caracterizado físico-químicamente. Las características físicas indicaron que este residuo está compuesto de material fibroso heterogéneo y de un material orgánico no fibroso en forma de partículas finas. El análisis químico indica un contenido de celulosa 42%, lignina 14 %, hemicelulosas 18.5 %, nitrógeno total 2.6 %, pectinas 0.8 %, grasas y aceites 1.2 %, azúcares reductores totales 6.2 %, cenizas 6.7 %. De acuerdo a estos análisis se vio que las hemicelulosas, la lignina y los azúcares pueden ser utilizados como complemento de alimento animal reduciendo la lignina, para lo cual, se procedió a una investigación del aumento de la digestibilidad del bagazo de agave con el uso de un tratamiento biológico utilizando el hongo *Phanerochaete chrysosporium*. Las condiciones operatorias de la fermentación semi-sólida fueron: diferentes humedades (20, 60, 80 %), temperatura de 30°C. Se hicieron tratamientos con bagazo de agave esterilizado obteniéndose una digestibilidad de 60% con 45 días de tratamiento, con bagazo sin esterilización la digestibilidad fue de 55% a 21 días de tratamiento. El bagazo sin tratamiento tuvo una digestibilidad de 36%. La humedad óptima para el tratamiento fue de 80%.

**Palabras clave:** Digestibilidad, Agave, tratamiento, *Phanerochaete chrysosporium*, bagazo.

## INTRODUCCIÓN

El tequila es una bebida alcohólica originaria de México, cuya materia prima es el *Agave tequilana* W. cv *azul*. Durante su fabricación, se obtiene como residuo agroindustrial, el bagazo de agave después de la extracción del jugo. Este residuo se genera aproximadamente en una proporción de 0.78 Kg de bagazo/litro de tequila y su disposición final es problemática, por lo cual existe el interés de su transformación y valorización a través de tecnologías adecuadas que sean factibles desde un punto de vista técnico-económico.

El análisis de la composición química del bagazo de Agave puso en evidencia una proporción mayoritaria de fibras lignocelulósicas y la repartición de celulosa, hemicelulosas y lignina es relativamente aproximada a la de otros residuos lignocelulósicos como las pajas de cereales o los residuos de girasol, por lo cual su valorización en la alimentación animal puede ser contemplada. El objetivo principal de este trabajo es la valorización de este residuo como complemento en las formulaciones de la alimentación de rumiantes. Para elegir la tecnología más apropiada, fue necesario realizar protocolos de experimentación para probar la digestibilidad del bagazo sin ningún tratamiento adicional y con tratamiento biológico utilizando el hongo *Phanerochaete chrysosporium* para aumentar su digestibilidad. Las pruebas de digestibilidad se realizaron por la técnica “in sacco”.

Los experimentos de tratamiento biológico se realizaron a diferentes humedades (20, 60, 80 %) del bagazo. Se probaron dos condiciones del bagazo, con esterilización y sin esterilización del bagazo antes de la inoculación del hongo. La esterilización fue con el propósito de que el único microorganismo que creciera fuera exclusivamente el *Phanerochaete chrysosporium*, para aumentar más la digestibilidad del bagazo. Los resultados mostraron que la mayor digestibilidad del bagazo tratado con esterilización y el hongo fue de 55% y 60% con 14 y 45 días de tratamiento biológico respectivamente. En el caso del bagazo no esterilizado y tratado con el hongo, mostraron un por ciento de digestibilidad de 54 % a los 21 días de tratamiento.

## METODOLOGÍA

Caracterización química del bagazo de agave.

El bagazo utilizado para su caracterización química fue tomado de dos fábricas de tequila en la ciudad de Tequila, Jalisco, México. Se usaron dos tipos de muestras, una directamente a la salida del proceso con una humedad de 62 % y otra tomada del depósito del bagazo donde debido a que está a la intemperie se seca llegando a 10 % de humedad. El bagazo se molió para obtener una muestra homogénea.

Los análisis que se realizaron para la caracterización química del bagazo de agave fueron: humedad, celulosa, hemicelulosas, ligninas, materia nitrogenada total, grasas y aceites, azúcares reductores, pectinas y cenizas. Los métodos de análisis empleados para la determinación de estos constituyentes fueron: métodos gravimétricos para la humedad y cenizas; la celulosa, las hemicelulosas y las ligninas por el método de Van Soest y Wine (ADF-NDF) y la materia nitrogenada total por el método de Kjeldahl; grasas y aceites por extracción con éter en un reactor tipo soxhlet [E.N.S.A.T,1992]. Los azúcares reductores totales se analizaron por el método de Fehling [Prat,1993] y las pectinas se determinaron por extracción con ácido clorhídrico diluido a pH 2, precipitadas con etanol y cuantificadas por método gravimétrico [Monties, 1982]. Todos los análisis se realizaron por triplicado.

#### Caracterización física del bagazo de agave.

Las características físicas del bagazo se realizaron en el bagazo con 10 % de humedad residual. Los análisis realizados fueron: largo de las fibras; caracterización de las fracciones de las fibras obtenidas en tamices de malla de 0.5, 10 y 20; análisis microscópicos. La degradación de las ligninas ha sido objeto de varias investigaciones, particularmente en los fenómenos de la descomposición de la madera.

#### Tratamiento biológico del bagazo de agave.

En la naturaleza, la biodegradación de los materiales vegetales es realizada por diferentes tipos de microorganismos, más o menos especializados para cada uno de los componentes químicos de los vegetales, con cinéticas de degradación diferentes. De forma general, los polímeros más rápidos a degradarse son las hemicelulosas, después la celulosa y finalmente las ligninas. Existen 1600 especies de hongos que producen la descomposición de la madera, dividiéndose en dos grupos, los champiñones de la descomposición café y los de la descomposición blanca: Esta clasificación está basada en el color del micelio del hongo y del residuo que queda sobre el material de soporte, en comparación con los de la descomposición blanca que corresponden a una degradación completa de la lignina [Glaser, 1988], a este grupo pertenece el *Phanerochaete chrysosporium*.

El *Phanerochaete chrysosporium* se caracteriza por la producción de esporas sexuales, las basidiosporas, que se encuentran fuera de la estructura especializada llamada basidio [Alexopoulos, 1996].

Los tratamientos biológicos con inoculación de hongos como el *Phanerochaete chrysosporium* que poseen una actividad lignolítica, además de su rol de degradación de la lignina, representan una fuente de proteínas y vitaminas. Este tipo de tratamiento con *Phanerochaete chrysosporium* es el que se probó en esta investigación.

#### Digestibilidad del bagazo de agave.

Las pruebas de digestibilidad se realizaron con bagazo seco de agave *tequilana* W. cv *azul*, tratados con el hongo *Phanerochaete chrysosporium*. La digestibilidad se determinó por el método directo de "in sacco" en el rumen del estómago de una vaca fistulada. Las pruebas se hicieron con bolsas de nylon con 50 g de bagazo tratado, introduciéndolas en el rumen del estómago de la vaca, dejándolas durante 48 horas, posteriormente, se sacaron la bolsa de nylon, se lavaron y secaron para pesarlas y calcular la digestibilidad. La digestibilidad se calculó usando la siguiente fórmula:

$$D = \frac{(mI - mR) \times 100}{mI}$$

Siendo :

mI : gramos de agave tratado inicial en los sacos de nylon.

mR : gramos de agave tratado residual en las bolsas de nylon (lavadas y secadas) después de 48

de haber permanecido dentro del rumen del estómago de la vaca fistulada.

Protocolo de tratamiento biológico.

El *Phanerochaete chrysosporium* fué cultivado en un medio sintético, recolectándose las esporas para inocular el bagazo. Se usaron 50 g de bagazo de Agave molido esterilizado y no esterilizado. Las muestras de bagazo se introdujeron en matraces Erlenmeyer y se les agregó agua hasta obtener humedades de 20, 60 y 80%. Posteriormente se agregaron las esporas de *Phanerochaete chrysosporium*. Los matraces se pusieron a incubar a 30°C durante 45 días.

Cada semana se retiraron dos matraces de la incubación para observar el crecimiento del hongo indicándolo con signos ( + ) según fuera el crecimiento. El bagazo tratado se secó y se molió para hacer las pruebas de digestibilidad por el método “in sacco” utilizando bolsas de nylon con el bagazo tratado. El tratamiento y las pruebas de digestibilidad se hicieron por triplicado.

## RESULTADOS

Composición química del bagazo de agave.

Los análisis de la composición química del bagazo de agave *tequilana* W. cv *azul* (Tabla 1), pusieron en evidencia una proporción mayoritaria de fibras lignocelulósicas. La repartición de celulosa, hemicelulosas y ligninas es relativamente aproximada a las de otros residuos lignocelulosicos como las pajas de cereales y los residuos de girasol después de la extracción del aceite (Tabla 2), residuos que han sido ampliamente estudiados para la alimentación animal [Magro, 1995; Bazus, 1991]

Las pajas de cereales son utilizadas como complemento alimenticio en rumiantes (bovinos, ovinos y caballos) particularmente cuando la producción de forraje ha sido insuficiente [Bureau au común des pailles, 1991].

Por analogía con la composición de estos sustratos lignocelulósicos (Tabla 2) la valorización del bagazo de agave *tequilana* W. cv *azul* para la alimentación de rumiantes puede ser propuesta. Para aumentar la digestibilidad del bagazo de agave se propuso un tratamiento biológico con *Phanerochaete chrysosporium*.

Compuesto	Bagazo húmedo	Bagazo seco
Humedad (%)	62	5
Materia seca (%)	38	94
Celulosa (% Materia Seca)	41	43
Hemicelulosas (% MS)	18	19
Lignina (% MS)	12	15
Nitrógeno total (% MS)	2,5	3
Cenizas (% MS)	2	6
Grasas y aceites (% MS)	0,7	1
Pectinas (% MS)	/	1
Azúcares reductores (% MS)	22	5-10
Otros (% MS)	1,8	2

**Tabla 1: Composición química del bagazo de Agave.**

Compuesto	Paja de trigo (% M.S.)	Residuos de girasol (% M.S.)
Minerales (cenizas)	5,5	2,0
Grasas y aceites	0,6	3,5
Nitrógeno total	2,6	3,5
Azúcares reductores	1,1	/
Celulosa	43	41
Hemicelulosas	28,7	20
Lignina	12,7	25

**Tabla 2 : Composición de residuos lignocelulosicos aproximados al bagazo de agave *tequilana* W. cv *azul* [Magro,1995 y Bazus 1991]**

Caracterización física de bagazo de agave *tequilana* W. cv *azul* .

Los análisis físicos directos del bagazo nos indicaron que tiene dos tipos de estructura, una fibrosa y otra formada por un polvo fino (*Figura 1*). La parte fibrosa es heterogénea (*Figura 2*).



**Figura 1: Componentes físicos del bagazo, fibra y polvo fino**



**Figura 2: Partes heterogéneas del bagazo de agave**