

03072

12
24

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES,
UNIDAD ACADÉMICA DE LOS CICLOS PROFESIONAL Y
DE POSGRADO**

**DESARROLLO DE SUSTITUTOS DE LA TIERRA NEGRA
COMO MATERIALES DE COBERTURA PARA CULTIVO
DE CHAMPIÑÓN**

**TESIS DE POSGRADO QUE PARA OBTENER EL GRADO
DE:
MAESTRO EN BIOTECNOLOGIA**

**PRESENTA:
RANGEL CASTRO, JUAN IGNACIO**

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1996

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Este trabajo se realizó en el Departamento de Alimentos y Biotecnología del la Facultad de Química, UNAM, bajo la asesoría del Dr Hermilo Leal Lara. Las determinaciones fisicoquímicas se hicieron en el Laboratorio de Física de Suelos del Departamento de Edafología, Instituto de Geología UNAM.

Agradezco a

El Dr Hermilo Leal Lara por su asesoramiento en esta parte de mi preparación académica. Obtengo también una formación integral que no otorga papeles...pero como se atesora.

A la M en B Rebeca Ramírez Carrillo por su gran apoyo.

Al Dr Sergio Palacios Mayorga , jefe del Depto de Edafología del Instituto de Geología, por su apoyo para la realización de los análisis de las muestras y sus valiosas aportaciones durante el desarrollo del trabajo.

A la M en C Silvia Sánchez , encargada del Laboratorio de Física de Suelos del Instituto de Geología, por su gran ayuda en las determinaciones edafológicas de las muestras.

A mis padres y hermanos

Después de todo es necesario detenerse para reflexionar, soñar, agradecer... y volver a aturdirse con esa consciente sensación de vivir.

Haré lo que pueda y viviré de acuerdo con las virtudes que conozco, y sin duda El se acordará de mí...

T. Caldwell

CONTENIDO

RESUMEN

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 CULTIVO DEL CHAMPIÑÓN.	1
1.2 IMPORTANCIA Y FUNCIÓN DEL MATERIAL DE COBERTURA	1
1.3 CARACTERÍSTICAS QUE DEBEN PRESENTAR LOS MATERIALES DE COBERTURA	3
1.4 NUEVOS MATERIALES DE COBERTURA	6
1.4.1 PERSPECTIVAS EN MÉXICO	7
1.5 OBJETIVOS	9

CAPITULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 MATERIALES DE COBERTURA EMPLEADOS	10
2.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS MATERIALES DE COBERTURA	10
2.2.1 DENSIDAD REAL	10
2.2.2 DENSIDAD APARENTE	11
2.2.3 POROSIDAD	11
2.2.4 TAMAÑO DE PARTÍCULA	11
2.2.5. TEXTURA	12
2.2.6 PERMEABILIDAD	12
2.2.7 CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA	13
2.2.8 pH POTENCIAL Y REAL	13
2.2.9 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	14
2.2.10 IONES INTERCAMBIABLES	14
2.2.11 IONES SOLUBLES	15
2.2.12 CONTENIDO DE MATERIA OR Y C/N	15
2.3 EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CHAMPIÑÓN CON COBERTURAS	16
2.4 DISEÑO ESTADÍSTICO	18

CAPITULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES DE COBERTURA	19
3.2 EXPERIMENTO N° 1. EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE CHAMPIÑÓN CON DIFERENTES MATERIALES DE COBERTURA A NIVEL COMERCIAL.	34
3.3 EXPERIMENTO N° 2. EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE CHAMPIÑÓN CON DIFERENTES MATERIALES DE COBERTURA A NIVEL COMERCIAL.	38

CAPITULO 4. CONCLUSIONES

CAPÍTULO 5. BIBLIOGRAFÍA

RESUMEN

El cultivo del champiñón es un procedimiento que conjunta una variedad de factores físicoquímicos y biológicos, los cuales son afectados recíprocamente durante el proceso de crecimiento y producción de cuerpos fructíferos y de los que depende en gran medida la obtención de producciones de importancia comercial. Un aspecto fundamental durante este proceso de producción es la presencia de un material de cobertura sobre el cual se desarrollen y crezcan los esporóforos. La turba y la tierra negra han sido los materiales de mayor empleo como coberturas en las plantas de producción a nivel comercial, sin embargo, ambos materiales son obtenidos de fuentes naturales y son ecológicamente importantes para la conservación de los ecosistemas de donde se extraen. Con el objetivo de sustituir parcial o totalmente el uso de la tierra negra como material de cobertura en la producción de champiñón, la cascarilla de arroz y la fibra de coco, dos residuos agroindustriales fueron sometidos a una serie de pruebas físicoquímicas para determinar la factibilidad de su empleo en la producción de champiñones (*Agaricus bisporus*). Para estas pruebas se utilizó tierra negra, cascarilla de arroz y fibra de coco, por separado y en una mezcla 50:50, observándose que la presencia de estos subproductos influyó favorablemente sobre varias de las características de importancia para la producción de esporóforos, como la porosidad y la capacidad de retención de agua, sin influir negativamente en otros factores como son el pH y la conductividad eléctrica. Se evaluó la productividad a nivel comercial de coberturas de tierra con altas proporciones de cascarilla de arroz ya sea entera o molida y fibra de coco (50, 75 y 85 %). Los resultados obtenidos indican en algunos casos que es posible sustituir un 50 % y hasta un 85 % de la tierra negra en la formulación del material de cobertura, ya que se obtienen rendimientos similares o mejores a los de las coberturas de tierra negra. Además, se realizaron determinaciones de los niveles de pH y conductividad eléctrica durante el período de producción de esporóforos y se observó que no existe ninguna correlación entre estos dos parámetros y la productividad de los materiales de cobertura evaluados.

1.- INTRODUCCIÓN

1.1 CULTIVO DEL CHAMPIÑÓN.

El cultivo comercial de champiñón (*Agaricus bisporus*) es un proceso que se ha desarrollado extensivamente desde mediados de este siglo en países como Francia, Inglaterra, Holanda, Taiwan, China, Corea del Sur y los Estados Unidos. En estos países esta industria ha prosperado rápidamente hasta llegar a formar parte muy importante de su economía (Spencer D.M., 1985). En otras naciones, como en México, la producción de este tipo de hongos ha tenido una evolución relativamente limitada, por lo que las expectativas para el desarrollo de esta industria con fines al abastecimiento del mercado nacional son muy amplias.

Los champiñones, como el resto de los hongos, son organismos heterótrofos que requieren ser cultivados en un sustrato a base de materia orgánica preparado por un proceso de composteo. Como ingredientes principales se utiliza generalmente paja con estiércol de caballo y después de su fermentación en pilas de composteo a cielo abierto se le somete a un proceso de fermentación termofílica controlada. El sustrato pasteurizado, una vez enfriado a 25 °C, es inoculado con micelio crecido en semillas de trigo previamente esterilizadas. Al incubarse el sustrato, a 25 °C en un medio ambiente con alta humedad y sin ventilación, es colonizado por el micelio en 12 a 14 días. Se aplica entonces sobre el sustrato una capa de cobertura de un espesor de 3 a 5 cm. Después de 7 ó 9 días, el micelio se hace visible sobre la superficie de la cobertura, procediendo a ventilar y abatir la temperatura ambiental a 16-18 °C, disminuyendo también de ésta manera la concentración de CO₂ a niveles de 0.07-0.08%. Bajo éstas condiciones se induce la fase generativa del hongo, presentándose la formación de esporóforos maduros en los 5 ó 6 días siguientes. Los cuerpos fructíferos se producen casi intermitentemente en ciclos de fructificación con volúmenes importantes durante un periodo de 5 a 6 semanas (Visscher H.R. 1982).

1.2 IMPORTANCIA Y FUNCIÓN DEL MATERIAL DE COBERTURA.

En el proceso del cultivo del champiñón, el empleo de un material de cobertura sobre el sustrato es indispensable dado que es precisamente en esta capa donde se provoca y ocurre la transición de la fase vegetativa a la reproductora. El material de cobertura debe reunir ciertas características, las cuales son también de importancia para determinar la calidad de los hongos cosechados y la productividad del cultivo. El inicio de la fructificación ocurre solamente cuando las condiciones del medio cambian impidiendo que continúe el desarrollo vegetativo del micelio. Las hifas del micelio que se encuentran justo abajo de la superficie de la cobertura empiezan a agregarse formando pequeños nódulos, conocidos como primordios, los que al desarrollarse formarán los esporóforos. Dado el tamaño y peso de estas estructuras se requiere que la capa de cobertura sea lo suficientemente profunda y

estable para permitir el crecimiento de los cuerpos fructíferos (Chang F.S & Hayes W.A., 1978).

Aunque se desconoce con exactitud como funciona la capa de cobertura durante la fructificación de *Agaricus sp.* se manejan diferentes eventos relacionados con el medio de cobertura para que se presente la formación de los esporóforos. Un aspecto frecuentemente mencionado es la presencia de un microclima en la capa de cobertura, el cual es fundamental para la transición de la fase vegetativa a la reproductora. Esto permite también la generación de un gradiente en las concentraciones de diversos gases como es el CO₂, lo cual es de importancia crítica para la fructificación del hongo. Concentraciones en el sustrato de CO₂ entre 0.1 a 0.5% no presentan repercusiones negativas en el crecimiento del micelio, sin embargo con estas concentraciones en la cobertura se inhibe el desarrollo de los primordios. La formación de primordios se realiza únicamente a concentraciones menores a 0.1% y se ha observado que para evitar que los cuerpos fructíferos presenten deformaciones como estípites elongados y ausencia del pileo, los niveles de CO₂ deben ser todavía menores (Flegg, 1993).

En la cobertura se lleva a cabo un proceso de evaporación que provoca a su vez un transporte de nutrimentos del sustrato a la capa de cobertura en donde se van acumulando, influyendo negativamente en la producción de los esporóforos particularmente en el caso de ciertos iones (Hayes, 1981). Se ha observado que la presencia de sodio y potasio propicia un ambiente poco favorable para la actividad biológica modificando la fisiología del champiñón y su asociación con la microflora de la cobertura (Yeo y Hayes, 1979). En referencia a este punto, se ha propuesto que la cobertura debe ser un medio donde sobrevivan ciertos organismos que se relacionan simbióticamente con el micelio del champiñón (Vischer, 1982). En coberturas formuladas a base de turba, se considera que bacterias del género *Pseudomonas* son determinantes para la fructificación y el crecimiento del cuerpo fructífero de *Agaricus sp.* (Hayes, 1985). En concordancia con esto se ha reportado un efecto sobre la fructificación de *Agaricus sp.* y el crecimiento de diferentes bacterias presentes en la cobertura por parte del ion bicarbonato producido por la solubilización del CO₂ en agua a un pH de 7.5-8.0 (Nair N.G. et al, 1974). Los otros tipos de bacterias encontradas en las coberturas corresponden a los géneros *Flavobacterium*, *Xanthomonas*, y *Bacillus* principalmente (Cresswell y Hayes, 1978).

Se considera también que algunas fitohormonas juegan un papel muy importante en el número de primordios producidos: las actividades de la microflora y de estos compuestos han sido relacionados en cuanto a sus efectos sobre la obtención de cuerpos fructíferos. Las fitohormonas encontradas como productos del metabolismo del micelio del hongo, son auxinas, citoquininas y giberelinas, asociándose las concentraciones más altas con la presencia de la microflora previamente mencionada, (Hayes, 1981). El etileno ha sido otro compuesto de esta naturaleza que se ha implicado también en el crecimiento del cuerpo fructífero (Vischer H.R., 1978).

1.3 CARACTERÍSTICAS QUE DEBEN PRESENTAR LOS MATERIALES DE COBERTURA.

Para que un material de cobertura pueda funcionar como se ha descrito, este debe presentar ciertas características físicas, químicas y biológicas. Entre los factores físicos y químicos de mayor importancia en la literatura se menciona una alta capacidad de retención de agua, un alto porcentaje de porosidad, una textura tal que mantenga una estructura estable durante la preparación del material así como durante la producción de esporóforos, un porcentaje relativamente bajo de materia orgánica, un pH neutro ó cercano a éste y una concentración mínima de sales (Hayes W.A., 1978, 1981).

En cuanto a la capacidad de retención de agua es necesario que el material presente una rápida absorción así como que permita un aporte constante de ésta para la formación de los esporóforos. La cantidad de agua que logra retener un material se ve afectado por diferentes factores como la densidad, el tamaño de las partículas y el tratamiento previo a la producción (Flegg P.B., 1954). La cobertura regula también el intercambio de agua entre la composta y el aire, dado que pierde humedad con la evaporación pero la gana durante el período de producción a través de los riegos. Materiales de cobertura con capacidades de retención de agua de 70% (Hayes W.A., 1981) hasta 90% (Levanon D., 1984) han sido reportado como altamente productores. En trabajos recientes se ha hecho énfasis en la importancia de que se mantenga un alto contenido de humedad en la cobertura durante la producción de cuerpos fructíferos con el objeto de que la actividad de agua en el medio sea alta y constante ya que se han observado bajas producciones cuando la actividad de agua decrece por el aumento en la concentración de sales (Kalberer P.P., 1991). Con la finalidad de incrementar la capacidad de retención de agua se han llegado a utilizar aditivos como la vermiculita ó el carbón activado, obteniéndose rendimientos más altos en comparación a cuando se utiliza turba sola (Stoller, 1979).

La estabilidad estructural de un material es un aspecto que influye directamente sobre su capacidad para retener agua. Es necesario que durante el riego el agua no llegue hasta la composta ya que en este caso ésta se pudre. Además, la cobertura debe tener la capacidad de absorber y liberar agua con el fin de mantener los niveles que requiere el cultivo, independientemente de la humedad relativa de las naves de producción (Hayes W.A., 1979). Es importante señalar que el cuerpo fructífero contiene entre un 90 y 95% de agua (Kalberer P.P. 1991), de ahí también la importancia de que el material sea un buen almacén de ésta, para así mantener un constante suministro a los esporóforos en desarrollo. El contenido de materia orgánica se encuentra directamente relacionada con la capacidad de un material para mantener una buena estructura, considerándose que un suelo con un 5% de materia orgánica es capaz de mantener una buena estructura durante el desarrollo del hongo

(Chang F.S. and Hayes W.A., 1978), por lo que se recomienda seleccionar coberturas con proporciones mayores de materia orgánica. De manera contradictoria, ciertos autores señalan que el material de cobertura debe presentar un contenido muy bajo de materia orgánica. Sin embargo, esta indicación se refiere a que la proporción de carbohidratos fácilmente asimilables es la que debe ser mínima, ya que estos representan una fuente de nutrimentos para organismos contaminantes e inhiben la formación de esporos ya que la fructificación es un mecanismo de sobrevivencia del micelio cuando este se encuentra en un medio bajo en nutrimentos. Esto explica porque el lodo de la producción del papel con un alto contenido de materia orgánica (66.9 %) y una relación de 60:1 de C/N presenta rendimientos semejantes a los obtenidos con la turba (Hayes W.A., 1981), materiales caracterizados por un alto contenido de materia lignocelulósica y muy bajo contenido de nutrimentos de fácil asimilación.

También se considera que un alto contenido de arcillas aumenta la capacidad de retención de agua del material por lo que se recomienda emplear como cobertura a suelos con una proporción mayor de arcilla que de arena (Edwards R.L., 1978). Sin embargo, se obtuvieron producciones de hongos similares a la turba al emplear coberturas preparadas con lodos de la fabricación del papel con un relativamente bajo contenido de arcilla (9.38%) y alto contenido de limos (49%) y de arena (41.62%). Probablemente este resultado sea consecuencia de su alto contenido de fibras lignocelulósicas (Hayes W.A., 1978).

Una alta porosidad en el material de cobertura se requiere para permitir el intercambio gaseoso y el paso del micelio y el del agua entre la composta y la atmósfera. Suelos que han permitido el crecimiento de las raíces de las plantas son considerados como óptimos no solamente por su carga microbiológica, sino también por la estructura porosa que llegan a presentar (Chang F.S and Hayes W.A., 1978). Se han utilizado coberturas con porosidades muy diversas, desde 50 % (Hayes, 1981) hasta 92 % (Levanon, 1984.). Conjuntamente con la porosidad de un material de cobertura debe considerarse que su textura no se modifique ó altere con el riego y que además soporte el trabajo físico al que se le somete para prepararlo con un tamaño de partícula homogéneo.

La permeabilidad es un parámetro relacionado a la porosidad y la capacidad de retención de agua que es afectada por la textura y en particular por la presencia de granulometrías muy finas ya que agregados muy pequeños son compactados fácilmente disminuyendo la porosidad y con ello la difusión de gases así como la productividad del material (Edwards R.L. and Flegg P.B., 1952). Es por esto que se aconseja utilizar materiales con uniformidad de agregados para evitar problemas en la porosidad y durante la humidificación de la cobertura (Flegg P.B., 1952).

Algunos agentes químicos se han empleado para mantener la estructura del material de cobertura durante el proceso de producción de champiñones. Se han utilizado como elementos cementantes silicatos de sodio, de potasio (Edwards R.L. and Flegg P.B., 1952).

de aluminio (Reeve E. et al. 1959), hidróxido de calcio y carbonato de calcio (Nair et al. 1974), siendo estos dos últimos los de mayor empleo en la actualidad en las plantas de producción en todo el mundo.

Se recomienda ajustar el pH de la cobertura a un valor neutro ó ligeramente alcalino con la finalidad de prevenir la competencia con el micelio del champiñón de otros organismos como los mohos, pues éstos crecen en medios ácidos. Además de adicionarse como agentes cementantes, el carbonato e hidróxido de calcio, son generalmente adicionados como elementos neutralizantes. Al emplear coberturas preparadas con lodos de la producción del papel, se obtuvieron mayores producciones al suplementarlas con carbonato de calcio. (Hayes W.A., 1981). El pH de los materiales que han sido evaluados como coberturas se encuentra cercano a la neutralidad, entre 7.4 y 7.7 (Hayes, 1981), 8.1 y 8.3 (Levanon, 1984) y 6.58 y 7.18 (Allison, 1962). A pesar de la importancia que se le da a éste parámetro, no se ha estudiado su repercusión durante el desarrollo de los esporóforos.

La conductividad eléctrica es un parámetro que indica la cantidad de sales disueltas en un material de cobertura. Se ha observado que las sales son desplazadas desde la composta independientemente del desarrollo miceliar en la cobertura, siendo más bien el resultado de un proceso físico. La acumulación de sales está determinada entonces por la evaporación y la diferencia de gradientes entre la composta y la cobertura (Flegg P.B., 1961). Una alta concentración de sales en el medio inhibe el desarrollo de los cuerpos fructíferos, es por ello que el material debe presentar una baja conductividad eléctrica para considerar su posible empleo como cobertura de champiñones. Conductividades mayores a 9.7×10^3 micromhos/cm pueden provocar disminuciones significativas en la producción de hongos, mientras que niveles cercanos a los 54×10^3 micromhos/cm pueden inhibir completamente la formación de esporóforos. Una cobertura preparada con turba generalmente presenta una conductividad eléctrica de 2.8×10^3 micromhos/cm. Aparentemente, la adición de carbonato de calcio impide una acumulación excesiva de sales en la cobertura, sin embargo no existen investigaciones suficientes donde se determine la cantidad óptima de carbonato que se debe agregar a un material para obtener las mayores producciones (Hayes, W.A., 1981). Similarmente al caso del pH, la conductividad es un parámetro poco estudiado con respecto a su efecto durante el proceso productivo de champiñones. Asociado a este parámetro se ha reportado que la acumulación excesiva de ciertos iones como sodio, potasio, calcio y magnesio en el material de cobertura puede ocasionar efectos negativos sobre el crecimiento y producción de cuerpos fructíferos; sin embargo no se conoce el mecanismo de acción por el cuál altas concentraciones de estos inhiben el desarrollo de los esporóforos (Hayes, W.A., 1981).

En relación a las características biológicas, un material de cobertura debe encontrarse libre de patógenos pero permitir el desarrollo de cierta microflora que aparentemente tiene un efecto positivo sobre la fructificación del hongo. Los factores fisicoquímicos mencionados anteriormente repercuten, al igual que en el micelio de *Agaricus*, en la microbiota que se

desarrolla en el material de cobertura (Hayes W.A., 1979). Para evitar la presencia de organismos contaminantes en el material de cobertura, durante la preparación de ésta se procede a pasteurizarla ya sea por medios físicos, como es la inyección de vapor caliente para aumentar la temperatura, ó por medios químicos, usando formalina ó bromuro de metilo (Chang F.S. and Hayes W.A., 1978).

1.4 NUEVOS MATERIALES DE COBERTURA.

Hasta mediados de este siglo, en Inglaterra se empleaba tradicionalmente tierra negra como material de cobertura, preferentemente de textura arcillosa. Posteriormente en 1953, Edwards y Flegg desarrollaron mezclas a base de turba con las cuales obtuvieron mejores rendimientos (Flegg P.B. y Wood D.A., 1985). Desde entonces éste ha sido el material de cobertura de mayor empleo en la producción de champiñón a nivel mundial, siendo los países de Europa y Norteamérica sus principales abastecedores. El alto costo de importación es una desventaja para los países productores donde no existen zonas de extracción de este material (Hayes, 1981) por lo que en México se ha utilizado tradicionalmente tierra negra como cobertura con la desventaja de una inferior calidad y productividad. Tanto el uso de la turba como el de la tierra negra producen un deterioro ambiental de importancia por la sobre-explotación de las turberas o del mantillo de los bosques.

Los materiales evaluados como posibles sustitutos de turba se presentan en la Tabla 1.1, clasificándolos de acuerdo a su naturaleza como materiales orgánicos e inorgánicos. En términos generales, con la mayoría de los materiales orgánicos mencionados se reportan rendimientos similares a los obtenidos con la turba. Sin embargo, es sumamente escasa la información sobre sus características físicoquímicas y biológicas y de como influyen sobre su productividad. Por otra parte, a pesar de los altos rendimientos obtenidos con los materiales inorgánicos el escalamiento de su uso a nivel industrial requiere al parecer de una investigación más completa.

Es importante señalar que estos trabajos se han realizado en diferentes partes del mundo como por ejemplo Inglaterra, Estados Unidos, Australia e Israel, lo cual indica el amplio interés en encontrar materiales que puedan ser empleados como sustitutos de la turba. En países como Australia e Israel, como en el caso de México, ésta búsqueda surge de la carencia de yacimientos locales de turba lo que implica que se tenga que importar desde Europa y Norteamérica. Por otro lado, a pesar de la disponibilidad de turba en estas regiones, se prevé su agotamiento en un cierto plazo por lo que también en estas latitudes comienza a surgir la necesidad de encontrar nuevos materiales de cobertura.

TABLA 1.1: MATERIALES DE COBERTURA EVALUADOS COMO SUSTITUTOS DE TURBA

MATERIAL DE COBERTURA ORGÁNICOS		
	REFERENCIA	PAÍS
Lodos de fabricación de papel	Hayes <i>et al</i> 1978	Inglaterra
Papel de desecho	Stoller B. 1978, Dergham <i>et al</i> 1991	Estados Unidos Alemania
Pasta de desecho de cartón reciclado	Clancy y Horton 1981	Australia.
Lodo de fermentación termofílica del estiércol	Dan Levanon <i>et al</i> 1984	Israel.
Corteza y madera de pino de fibrada	Bodwen y Allen 1976	Estados Unidos
Aserrín	Bodwen y Allen 1976	Estados Unidos
Cobertura reciclada	Bodwen y Allen 1976	Estados Unidos
Composta reciclada	Bodwen y Allen 1976	Estados Unidos
Composta de desechos municipales	Bodwen y Allen 1976	Estados Unidos
Bagazo de azúcar	Bodwen y Allen 1976	Estados Unidos
Paja	Bodwen y Allen 1976	Estados Unidos
Fibra de coco	Border D. 1993	Inglaterra
MATERIALES DE COBERTURA INORGÁNICOS		
Poliuretano	Visscher H. 1980	Holanda
Vermiculita	Visscher H. 1980	Holanda
Arcilla	Visscher H. 1980	Holanda
Precipitados de Carbonato de Calcio.	Visscher H. 1980	Holanda

1.4.1 PERSPECTIVAS EN MÉXICO.

Como ya se mencionó, México es un país en el que no existen yacimientos de turba por lo que se emplea tierra negra como material de cobertura para producir champiñón. Sin embargo, además de la baja calidad de los hongos producidos en este material, el costo ecológico es muy alto por la gran importancia que tiene para las zonas boscosas, dada la amplia diversidad de microorganismos que alberga y su alto contenido de materia orgánica, la cual sirve como un regulador de humedad y de sustrato para la biota del suelo de los bosques. Por lo anterior, en el Departamento de Alimentos y Biotecnología de la Facultad de Química, UNAM, se han realizado algunas investigaciones con el fin de encontrar alternativas que permitan sustituir el uso de este recurso natural. Para considerar a cualquier material como un probable sustituto, ya sea de la tierra negra ó de la turba, este debe reunir las siguientes propiedades (Border D., 1993):

- Mantener niveles de producción similares a los de la tierra negra
- Presentar un costo competitivo
- Presentar un amplia disponibilidad
- Encontrarse libre de patógenos
- Ser un material de fácil manejo

En base a lo anterior, la selección de posibles sustitutos de la tierra negra se realizó considerando particularmente que fueran altamente disponibles y de bajo costo. Dado que la mayor producción de hongos a nivel nacional se obtiene en la zona del Altiplano, en la región comprendida entre los estados de la Ciudad de México y Guadalajara, dichos materiales deberían de provenir de regiones cercanas a ésta. Además, se dio prioridad a materiales que fueran poco aprovechados y que incluso eventualmente representarían una fuente potencial de contaminación y daño ecológico en las zonas en las que se generaran y se concentran.

Como se observa en la Tabla 1.1, una amplia variedad de residuos lignocelulósicos han sido probados como coberturas en diferentes partes del mundo. Con estos antecedentes, se escogieron dos desechos agroindustriales, la cascarilla de arroz y la fibra de coco, para determinar su eventual utilización como coberturas de champiñón.

Durante la industrialización del arroz como producto básico en la alimentación de nuestro país, se genera una gran cantidad de cascarilla. Se ha considerado que para el período correspondiente a 1995-1996 la producción nacional de arroz alcanzará las 450 mil toneladas, y se importarán otras 63 mil. La producción anual de arroz así como la cantidad importada genera aproximadamente un 20 % de cascarilla durante su procesamiento, por lo que se obtendrán cerca de 102 mil toneladas de este subproducto lignocelulósico (Cía. Arrocería Covadonga, 1996. Comunicación personal). El uso de la cascarilla es muy limitado, como filtro-ayuda para ciertos procesos o bien como cama para las galeras de producción de pollo y de algunas investigaciones para determinar su factibilidad como

fuelle para la obtención de carbón activado o como vehículo de inoculantes de hongos endomicorrízicos (Palacios M. S., 1996).

La fibra de coco, también llamada germinaza ó bonote, corresponde al mesocarpio del fruto y es un residuo generado durante obtención de copra y coco desecado. Un problema de importancia ecológica se presenta en los lugares en los que se encuentra este residuo debido a que trae consigo la aparición de roedores e insectos nocivos. Los trabajos de investigación realizados en México enfocados a la utilización de la fibra de coco han tenido como principal objetivo adaptarla como coberturas del suelo para el cultivo del cocotero y en el viverismo (Cintra M.O. ,1984).

En 1989, México con 160 mil toneladas fue el cuarto país productor de copra en el mundo después de Filipinas con 1,830 , Indonesia con 1340 y la India con 370 millones de toneladas. Por otra parte, los estados más productivos a nivel nacional durante el período de 1993 fueron Guerrero con 37,691 toneladas, Tabasco con 24,091 y Colima con 23,385 toneladas. En la actualidad no existen datos estadísticos sobre la cantidad de fibra de coco que se genera en el país a partir de la industrialización del cocotero para obtener como ya se ha mencionado copra, coco rayado, pasta , carbón activado, coco-fruta (para el consumo en fresco), maderas, hojas y el producto de la savia que contiene entre el 12 y 15 % de sacarosa (SAGAR, Dirección General de Política Agrícola, 1994). Sin embargo, partiendo del hecho de que las fibras del mesocarpio representan alrededor del 35% del peso total del fruto maduro (Cintra M.O., 1984) y de que en 1994 se produjeron alrededor de 176 mil toneladas de coco (SAGAR, Dirección General de Política Agrícola, 1994), la cantidad de fibra que se genero fue de cerca de 61,600 toneladas.

1.5. OBJETIVOS DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN

A partir de los materiales seleccionados, con este trabajo se pretende desarrollar materiales de cobertura para la producción de champiñones, en donde la tierra negra este sustituida parcial ó totalmente como componente básico. Para alcanzar dicho objetivo se plantea identificar, en una primera instancia, una serie de determinaciones fisicoquímicas que permitan caracterizar a los diferentes materiales de cobertura, preparados utilizando a los materiales seleccionados solos o en mezclas con tierra negra. En función de los resultados obtenidos, se propondrán formulaciones para evaluar la producción de champiñones en una planta productora comercial utilizando tierra negra como control. Se intentara determinar una posible relación entre alguna de las determinaciones fisicoquímicas con las productividades obtenidas.

2.-MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 MATERIALES DE COBERTURA

En la preparación de los materiales de cobertura se utilizaron tres ingredientes fundamentales, tierra negra, cascarilla de arroz y fibra de coco, solos ó en mezclas volumétricas. La tierra negra se obtuvo del abastecimiento utilizado por la planta productora de champiñones donde se realizó la evaluación, el cual provenía de bancos de tierra negra del área de Huitzilac, Mor. Se empleó sola (TN) o suplementada (TNP) con carbonato de calcio (100 Kg/m^3) o con cal de construcción (25 Kg/m^3). La cascarilla de arroz se utilizó entera (CE), o molida con molino de martillos (CM) y se obtuvo de la beneficiadora de arroz Buenavista de Cuautla, Morelos. La fibra de coco "natural" (FCN), se obtuvo de una planta productora de copra localizada en Colima Col., mientras que la fibra de coco empleada para el viverismo (FCV), fue adquirida en un local de abasto para viveristas productores de plantas de ornato. La totalidad de los materiales se presentan en la Tabla 2.1.

Para las pruebas físicoquímicas, los materiales lignocelulósicos se emplearon sin la suplementación con carbonato de calcio ó cal, por lo que en las mezclas la cantidad de carbonato presente provenía de la tierra negra preparada. Las formulaciones seleccionadas para su posterior análisis se prepararon en relaciones volumétricas, de acuerdo a la metodología que se sigue en la planta productora champiñón en la que se realizó la evaluación de productividad.

2.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS MATERIALES DE COBERTURA

Los materiales a analizar fueron previamente secados en una estufa a 60 grados centígrados durante 12 hrs. Los parámetros determinados en las diferentes coberturas se presentan en la Tabla 2.1 y se describen a continuación.

2.2.1 *DENSIDAD REAL* (Black C.A., 1965): En un picnómetro a peso constante se agregó material de cobertura hasta una tercera parte. Posteriormente se adicionó agua hervida (destilada) hasta las dos terceras partes del recipiente aplicándose un movimiento de rotación suave para desalojar el aire, posteriormente se dejó reposar durante 30 min y

TABLA 2.1: MATERIALES DE COBERTURA EVALUADOS

TIERRA NEGRA
TIERRA PREPARADA
TIERRA PREPARADA:CASCARILLA DE ARROZ 50:50
CASCARILLA DE ARROZ
TIERRA PREPARADA:FIBRA DE COCO DE VIVERO 50:50
FIBRA DE COCO DE VIVERO
FIBRA DE COCO NATURAL
FIBRA DE COCO NATURAL:CASCARILLA DE ARROZ 50:50
TIERRA PREPARADA:FIBRA DE COCO NATURAL 50:50
TIERRA DE AZOLVE

TABLA 2.2: DETERMINACIONES PARA CARACTERIZAR LOS MATERIALES DE COBERTURA

DENSIDAD REAL
DENSIDAD APARENTE
POROSIDAD
TAMAÑO DE PARTÍCULA
TEXTURA
PERMEABILIDAD
CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA
pH
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA
IONES INTERCAMBIABLES
IONES SOLUBLES
MATERIA ORGÁNICA
C/N

finalmente se adicionó agua destilada de tal manera que se llenara el capilar del tapón del picnómetro. La densidad se obtuvo por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad real} = S / S+A - (s+a)$$

S= peso del material (g)

A= peso del agua (g) sola en el picnómetro

s+a= peso del suelo y el agua mezclados (g)

2.2.2 DENSIDAD APARENTE (American Society for Test and Materials, 1958): En una probeta de 10 ml se agregó material de cobertura y se golpeó ligeramente en una superficie plana para compactar un poco el material. Nuevamente se agregó material hasta los 10 ml y se pesó la probeta llena.

$$\text{Densidad aparente} = \text{peso del suelo (g)} / \text{volumen (ml)}$$

2.2.3 POROSIDAD: A partir de la relación entre la densidad real y aparente, se obtuvo el espacio poroso de el material, por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Porosidad} = \text{Densidad real} - \text{Densidad aparente} / \text{Densidad real} \times 100$$

2.3.4 TAMAÑO DE PARTICULA: Para la separación de los materiales de cobertura en sus diferentes tamaños de partícula se utilizaron 100 g de material seco, los cuales fueron separados en partículas de 2.00 a 0.05 mm con diferentes tamices (Wentworth, Tamices) de acuerdo a U.S. Standard. Soil Survery Staff, 1951. Se aplicó agitación manual durante 1 minuto y posteriormente se peso la cantidad de material que fue retenida en cada malla para así relacionarla porcentualmente con la cantidad de material original. Los tamices utilizados para la separación de diferentes partículas fueron los siguientes:

No de Malla	Tamaño de partícula (mm)
10	2.00
18	1.00
35	0.50
60	0.25
140	0.10
270	0.05

2.2.5 *TEXTURA* (Bouyoucos G.J., 1963): Se pesaron 55 g de material y se colocaron en un vaso de Berselius de 500 ml, posteriormente se agregó agua oxigenada a saturación, se mezcló con un agitador de vidrio y se pasó a baño maría para oxidar la materia orgánica. Al finalizar, se pesaron 50 g del material y se colocaron en un vaso de batidora con un dispersante químico llamado calgon. Se agitó durante 10 min y se trasladó a una probeta de 1000 ml la cuál fue aforada con agua de la llave. Después de agitar durante un minuto se dejó reposar y a los 40 segundos se tomó la primera lectura con la ayuda de un hidrómetro. Se mantuvo así en reposo y a las dos horas se realizó la segunda lectura. Se tomaron también las temperaturas durante las lecturas realizadas, con un termómetro de mercurio, para calcular las correcciones necesarias por posibles variaciones en ésta. Los porcentajes de los 3 tipos de partícula determinados se obtuvieron a través de las siguientes fórmulas:

$\% \text{ de limos} + \% \text{ de arcillas} = \text{primera lectura} \times 100 / \text{g de suelo.}$

$\% \text{ de arena} = 100 - (\% \text{ de limo} + \% \text{ de arcilla}).$

$\% \text{ de arcilla} = \text{segunda lectura} \times 100 / \text{g de suelo.}$

$\% \text{ de limos} = (\% \text{ de limo} + \% \text{ de arcilla}) - \% \text{ de arcilla.}$

2.2.6 *PERMEABILIDAD* (Palmer and Troeh, 1977): La permeabilidad se puede medir por medio de un aparato muy simple para hacer pasar verticalmente agua por un cilindro con material saturado, de preferencia con una carga constante de agua y midiendo el índice de flujo de equilibrio. La velocidad del paso del agua a través del núcleo (cilindro) con muestra, varía dependiendo de la textura, el contenido de materia orgánica ó de la agregación presente en el material analizado. En un material ó suelo arenoso existe una gran porosidad y por lo tanto el paso del agua es mucho más rápido que en un material ó suelo arcilloso, debido a que la arcilla sella los poros e impide el paso del agua, a menos que exista un alto contenido de materia orgánica que facilite la agregación de las partículas, permitiéndole así una mayor amplitud en el espacio para el paso del agua. Para esta determinación se utilizó un cilindro de plástico transparente, de área y altura conocida, sujetándole un papel filtro en el extremo inferior con una liga. El material de cobertura se agregó sin compactar hasta una altura de 10 cm., el cilindro se colocó en una gradilla añadiéndole agua destilada hasta una altura de 15 cm para mantener así un tirante de agua de 5 cm. sobre el nivel del material de cobertura. Una vez que el material se ha saturado y el goteo se ha estabilizado, se miden el volumen de agua drenada durante un lapso de tiempo dado.

La permeabilidad se obtuvo por medio de la siguiente fórmula:

$$K = V \times 10 / t \times A \times h = (\text{cm/hr})$$

V= volúmen de agua filtrada (cm³)

t= intervalo de tiempo (hr)

A= área del cilindro (cm²)

h= altura del cilindro (cm)

K= permeabilidad (cm / hr)

2.2.7 CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA: (Palacios M.S., 1995): La Capacidad de Retención de Agua a condición atmosférica se determinó empleando recipientes de metal de 8.5 cm de diámetro por 4 cm de altura, con un papel filtro cubriendo la base del recipiente metálico, la cual estaba perforada a manera de tamiz. Se agregaron 10 g de material en el recipiente y se colocó en una bandeja con agua, la que por capilaridad ascendió para humedecer la muestra. Antes de la saturación se retiró el recipiente de la bandeja y se dejó drenar durante 12 hr.

$$\text{CRA} = \text{peso húmedo (g)} - \text{peso drenado (g)} / \text{peso húmedo (g)} \times 100.$$

El procedimiento para obtener la capacidad de campo y el punto de marchitez fue el siguiente: se utilizaron cámaras (ollas) de presión (Forsythe W., 1957) y membranas de porcelana para 1 y de 15 Bar de presión, la última para el punto de marchitez. Se colocaron anillos de hule sobre ellas y se les agregó material hasta llenarlos. Posteriormente en un recipiente se saturaron con agua destilada de una forma similar a como se hace para la capacidad a condición atmosférica. A continuación se trasladaron las membranas a una cámara de presión que soporta 5 Bares para la capacidad de campo y de 15 para el punto de marchitez. Inmediatamente se conectó el equipo y se reguló a 0.3 Bares hasta que dejó de salir agua por la manguera de desagüe de la cámara. Se depresurizó la olla lentamente y por diferencia de pesos se determinó la capacidad de retención de agua a esta presión. El Agua Aprovechable se obtiene de la diferencia entre la Capacidad de Campo y el Punto de Marchitez Permanente.

2.2.8 pH POTENCIAL y REAL: Se pesaron 5 g de material en frascos de vidrio a los cuales se les añadió CaCl₂ 0.01 M ó agua destilada en una proporción 1:3 (p/v) para determinar el pH potencial y real respectivamente. Se taparon los recipientes y se colocaron en un agitador mecánico durante un lapso de 12 hr. La determinación del pH se realizó con

un Potenciómetro WTW, agitando cuidadosamente el frasco alrededor del electrodo de vidrio hasta que la lectura se estabilizó. Fue importante tapar los frascos para evitar difusión de CO₂ a la muestra y consecuentemente acidificación de la misma.

2.2.9 *CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA* (Richard L.A., 1980): Para esta prueba se utilizaron las muestras empleadas previamente para determinar el pH real, empleando un puente de conductividad de Wheatstone y un conductímetro de marca Philips PR-9501. Para la determinación de conductividad del sobrenadante, la fase líquida se decantó y se recibió en la celda de un conductímetro, en la cuál se realizó la medición. Para determinar la conductividad de la suspensión total, la muestra se agitó manualmente para homogenizarla y posteriormente se colocó en la celda del conductímetro. Para el análisis del extracto de saturación se preparó una pasta de saturación colocando 250 g de material seco en un recipiente y agregando agua hasta lograr la homogenización de ésta. Un criterio empleado para saber cuando la pasta llega a la saturación es por el brillo de la reflexión de la luz o bien porque fluya ligeramente si se inclina el recipiente o se deslize fácilmente en una espátula. Después de homogenizarse, las mezclas se dejaron en reposo durante 12 hr y se comprobó nuevamente el criterio de saturación. Para obtener el extracto se preparó un embudo Buchner con papel filtro en donde se colocó la pasta saturada y se aplicó vacío. El extracto se recibió en un matraz kitasato y posteriormente se vació en un recipiente de vidrio de donde se tomó la muestra para este análisis. Si este filtrado estaba turbio, se realizó una filtración posterior.

2.2.10 *IONES INTERCAMBIABLES* (Black C.A, 1965): Se pesaron 4 g de material seco en un tubo de centrifuga de 50 ml y se le agregaron 33 ml de acetato de amonio IN a pH 7 agitandose durante 5 minutos. Posteriormente se centrifugó a 2500 rpm por un lapso de 5 minutos (o hasta que el sobrenadante quedó transparente) y se decantó el sobrenadante en un matraz aforado de 100 ml. Este mismo procedimiento de extracción se repitió 2 veces más y los extractos fueron decantados en el mismo matraz aforado de 100 ml. Finalmente se aforó el matraz con solución de acetato de amonio IN a pH 7 y de estos extractos se tomaron alicuotas para realizar las determinaciones de sodio y potasio por el método de flamometría (Corning 400 Flame photometer).

Para determinar la cantidad total de iones calcio y magnesio se procedió de la siguiente forma: se tomaron 5 ml del extracto de saturación y se colocaron en un matraz erlenmeyer

de 250 ml, se diluyeron con agua destilada hasta 150 ml y se agregaron 15 ml de una solución amortiguadora de NH_4Cl y 10 gotas de cada uno de los siguientes reactivos: KCN, $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$, $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ y trietanolamina. Se esperó a que se llevaran a cabo las reacciones y se calentó un poco cuando fue necesario para acelerarlas. Se añadieron 10 gotas de Negro de Eriocromo y se tituló con una solución de EDTA hasta obtener un viraje del color rosa a violeta.

Para obtener la concentración de iones calcio se tomó una alícuota de 5 ml del extracto y se colocó en un matraz erlenmeyer de 250 ml, se diluyó con agua destilada hasta 150 ml y se agregaron 10 gotas de cada uno de los siguientes reactivos: KCN, $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ y trietanolamina. Se añadió 1 ml de NaOH al 10% para llevar el pH a 12 y 0.05 g de indicador de murexide y se tituló con la solución de EDTA. Las concentraciones de ambos iones se obtuvieron con las siguientes fórmulas:

$$\text{Meq de Calcio + Magnesio} = \frac{\text{ml de EDTA gastados con negro de Eriocromo} \times N \times 100}{\text{peso de la muestra}}$$

$$\text{Meq de Ca} = \frac{\text{ml de EDTA gastados con murexida} \times N \times 100}{\text{peso de la muestra}}$$

$$\text{Meq de Mg} = (\text{Meq de calcio} + \text{Magnesio}) - (\text{Meq de Calcio})$$

2.2.11 *IONES SOLUBLES* (Black C.A., 1965): Para la determinación de iones solubles se empleó el procedimiento anterior con la modificación de que las muestras que se tomaron fueron las obtenidas de la pasta de saturación.

2.2.12 *CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA Y RELACIÓN C/N*: El contenido de materia orgánica total se obtuvo de acuerdo al análisis de Walkley-Black (1965). En un matraz erlenmeyer de 500 ml se colocó una muestra de 0.5 g de material (0.05 g para materiales con gran cantidad de materia orgánica ó 2 g si el material era aparentemente pobre) y se añadieron 10 ml de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 1N mezclando ambos mediante un movimiento del matraz. Se adicionaron 20 ml de H_2SO_4 concentrado y se continuó mezclando durante 1 min para asegurar el contacto del reactivo y el material. Se mantuvo en reposo durante un período de 20 a 30 min y posteriormente se diluyó la solución a 200 ml con agua y se añadieron 10 ml de H_3PO_4 al 85%, 0.2 g de NaF y 30 gotas de una disolución de indicador de difenilamina. Finalmente se realizó una titulación con sulfato ferroso amónico. El color inicial verde oscuro debido a los iones cromo fue virando a azul turbio a medida que avanzó

la valoración hasta cambiar bruscamente a verde brillante. El porcentaje de materia orgánica se obtuvo por medio de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ M.O.} = 10 (1 - T/S) \times 1.34$$

S = valoración del blanco ml de disolución ferrosa

T = valoración de la muestra, ml de disolución

El porcentaje de carbón orgánico total se obtiene con la siguiente fórmula (Black C.A., 1965):

$$\% \text{ C org} = \% \text{ M.O.} / 1.724$$

El factor 1.724 se toma considerando que la material orgánica contiene un 58% de carbón orgánico.

El Nitrógeno total fue determinado por el método de Kjeldhal: Se pesó 1.0 g de muestra y se colocó en un matraz kjeldahl de 800 ml, se agregaron 5.3 g de una mezcla catalizadora de sulfato de cobre y sulfato de sodio, y se añadieron 20 ml de ácido sulfúrico concentrado. Posteriormente se calentó la solución hasta obtener un color azul-verde y de aspecto transparente y a continuación se agregaron 40 ml de una solución concentrada de hidróxido de sodio y 0.2 g de granalla de zinc, conectándose inmediatamente al equipo de destilación. El destilado se recibió en un matraz de 500 ml, con 50 ml de ácido clorhídrico 0.1N, en el cual se agregaron previamente 5 gotas de indicador rojo de metilo. El exceso de ácido se tituló con una solución valorada de hidróxido de sodio 0.1N hasta obtener un cambio de coloración de rojo a amarillo. Los cálculos realizados para obtener la concentración de nitrógeno fueron los siguientes:

$$\% \text{N} = (\text{ml blanco} - \text{ml muestra}) \times \text{N NaOH} \times 0.014 \times 100 / \text{g de la muestra.}$$

2.3 EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CHAMPIÑÓN CON DIFERENTES MATERIALES DE COBERTURAS

Para la evaluación de los materiales de cobertura en la producción de champiñón a nivel comercial, se utilizó tierra negra, cascarilla de arroz entera ó molida y fibra de coco natural, ya sea solos ó en mezclas volumétricas de estos. Como control se empleo una cobertura de tierra negra suplementada con 20 Kg m³ de cal de construcción. Algunas coberturas fueron suplementadas con carbonato de calcio, en cuyo caso cada material fue preparado por

separado adicionándole $100\text{Kg}/\text{m}^3$ de este suplemento, tomando de ahí las cantidades necesarias para obtener las formulaciones seleccionadas. Las mezclas se llevaron a la saturación con agua de la llave y se pasteurizaron con formalina al 43% utilizando 1 litro por cada metro cúbico de cobertura, dejándoseles en reposo por 15 a 16 hrs antes de aplicarlas como cobertura a los sustratos en las bolsas de producción.

Las evaluaciones de las coberturas se realizaron en naves de producción a nivel comercial con bolsas de plástico con 35 kg de composta propagada con micelio. El sustrato fue preparado en la planta productora de champiñones donde se realizaron estas evaluaciones. Después de 15 días de incubación en la nave de producción a 25°C , se colocaron 10 litros de cobertura a cada bolsa con sustrato. Las condiciones para la propagación del micelio para la fructificación y para la producción y cosecha (7 semanas) fueron las normalmente utilizadas en la práctica industrial.

Con cada evaluación de productividad todas las bolsas con sustrato fueron sometidas a las mismas condiciones ya que para cada ciclo de cultivo la totalidad de la composta fue preparada con el mismo tratamiento y las condiciones en las naves de producción, como ventilación, riego, temperatura y humedad fueron las mismas para todas las bolsas. Por lo tanto, estas variables experimentales se consideraron como independientes.

Para cada lote de composta se manejaron hasta 120 bolsas de sustrato como máximo. De esta manera, fue posible plantear la evaluación simultánea de 10 materiales de cobertura utilizando 12 réplicas por cada variable, las cuales fueron distribuidas aleatoriamente en el espacio de la nave de producción. Se formaron grupos de 3 bolsas, por lo que se contaron con 4 distintas posiciones para cada material para detectar con mayor facilidad algún efecto de los factores antes mencionados. Se registró diariamente el número y el peso total de los hongos cosechados, reportándose estos datos como los pesos acumulados de hongos por cada bolsa de 35 Kg de sustrato así como el peso unitario de los hongos producidos en cada material de cobertura.

2.4 DISEÑO ESTADÍSTICO

Los resultados de la caracterización fisicoquímica así como de la evaluación de productividad a nivel comercial se evaluaron por medio de un análisis de varianza de una vía para detectar posibles diferencias significativas, primero entre parámetros determinados y posteriormente entre coberturas con respecto a la productividad de champiñones. De la misma forma se detectó por medio de un análisis de dos vías si existía algún efecto de repeticiones. Se realizaron asimismo, pruebas de rangos múltiples para determinar como se agrupaban los materiales desde el punto de vista de sus características fisicoquímicas y de su productividad y así definir que materiales de cobertura podrían sustituir a la tierra negra.

Los resultados de la segunda evaluación fueron sometidos a un análisis factorial para determinar la existencia de una probable interacción entre los valores de pH y/o conductividad eléctrica con la productividad de alguno de los materiales de cobertura.

La totalidad de los análisis se realizaron con la ayuda del paquete estadístico SPSS.

3.-RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La sustitución parcial ó total de la tierra negra como componente básico de las tierras de cobertura para el cultivo de champiñón, constituye el objetivo fundamental del presente proyecto. Una de las causas que motivaron este estudio fue el evitar mayores daños al ecosistema debido al uso de tierra proveniente del mantillo de áreas boscosas. Por ello, los materiales a emplear además de ser ecológicamente aceptables, deberían presentar ciertas características que permitieran suponer un buen desempeño como materiales de cobertura.

Por las razones anteriores se inició esta investigación con una caracterización fisicoquímica de los materiales seleccionados, incluyendo también como control la tierra negra, la cual ha sido tradicionalmente usada como capa de cobertura. Con estas pruebas fue entonces posible seleccionar aquellos materiales con un mayor potencial para ser evaluados como materiales de cobertura en una prueba de productividad a nivel comercial en una planta de producción de champiñón. A partir de estos resultados, se seleccionaron nuevas formulaciones de materiales para llevar a cabo una segunda prueba de producción a nivel comercial, en donde además de los datos de productividad, se tomaron muestras de cada material de cobertura para estudiar el cambio en el pH y la conductividad eléctrica durante todo el ciclo de corte. Finalmente se buscó una probable relación entre alguno de estos dos factores con la producción de cuerpos fructíferos en los diferentes materiales de cobertura.

3.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES DE COBERTURA

Para esta primer etapa de la investigación se decidió utilizar tierra negra como control ya que ha sido el material más ampliamente empleado en México. La tierra negra se utilizó sola (Tierra negra), adicionada con carbonato de calcio en una proporción de 100 kg/m^3 (Tierra preparada), o bien con cal (20Kg/m^3), la cual es la formulación más común en la cobertura de la producción comercial de champiñones en México. Se decidió también evaluar una muestra de los sedimentos de una laguna de azolve ó vaso de precipitación (Tierra de azolve) tomada durante el período en que no hay precipitación pluvial. Esta última se analizó debido a que a la vista presentaba una estructura similar a la tierra negra, así como un fácil manejo para nuestros fines. Se seleccionaron también dos tipos de subproductos agroindustriales lignocelulosícos en base a su disponibilidad, facilidad de manejo y bajo costo: la cascarilla de arroz (Cascarilla) y la fibra de coco, de la cual se

utilizaron dos presentaciones, la fibra empleada por los viveristas (Fibra de coco de viveros) y la fibra natural (Fibra de coco natural). Por un lado, en experimentos previos realizados en el Departamento de Alimentos y Biotecnología, Facultad de Química, se identificó un alto potencial de la cascarilla de arroz para la producción de champiñón. La fibra de coco por otra parte, es un material que presenta características que a primera vista parecen muy adecuadas y superiores a las de la cascarilla de arroz, y que además ha encontrado un uso creciente en el viverismo. Dado que no existían datos sobre las características físicas y químicas de estos subproductos se decidió emplear una serie de pruebas, algunas de ellas de uso común para los análisis de suelos, para caracterizar estos subproductos y sus mezclas con tierra. Es importante señalar que para el análisis de los resultados debe tomarse en cuenta que se utilizaron proporciones volumétricas en la preparación de las muestras.

Como es ya conocido (ver Introducción), una alta porosidad en la capa de cobertura, es necesaria para permitir tanto el paso de gases y sustancias solubles, así como el del micelio del hongo. La porosidad de un material se calcula en base a la relación entre dos determinaciones, la densidad real y la densidad aparente, a partir de las cuales es posible calcular el volumen vacío de cierto material. La densidad real ó de partícula, considera únicamente a las partículas sólidas de un material. La técnica empleada se fundamenta de hecho en la exclusión del aire de los poros al ser reemplazado por agua, permitiendo así conocer el peso de las partículas presentes en el material, y el volumen real que estas ocupan. El valor de esta determinación es una constante para cualquier suelo ó material ya que no varía con el espacio libre entre las partículas, y se define como la masa (peso) por unidad de volumen de las partículas sólidas del material. Los valores de densidad real determinados para los diferentes materiales (ver Tabla 3.1) se separan en 5 grupos estadísticamente diferentes, siendo la Tierra preparada con 2.01 g/ml uno de los materiales mas densos, junto con la tierra negra. Tierra preparada:Cascarilla, Tierra preparada:Fibra de coco de viveros y Tierra de azolve. Al considerar las mezclas con Cascarilla y Fibra de coco de vivero, probablemente la tierra negra es el componente que produce la alta densidad presentada por las mezclas. La Fibra de coco natural tiene una menor densidad que la Fibra de coco de viveros, y esto se refleja cuando se analizan las mezclas preparadas con tierra negra, ya que la Tierra preparada:Fibra de coco de viveros es más densa que la Tierra preparada:Fibra de coco natural. La Cascarilla tiene una densidad más alta que la Fibra de coco natural, sin embargo las mezclas con tierra preparada no son diferentes estadísticamente.

TABLA 3.1: DENSIDADES Y POROSIDAD DE LOS MATERIALES DE COBERTURA

MATERIALES DE COBERTURA	DENSIDAD (g/ml)		POROSIDAD (%)
	REAL	APARENTE	
TIERRA NEGRA	1.98 de	0.8 d	59.84 a
TIERRA PREPARADA	2.01 de	0.76 d	61.86 a
TIERRA PREPARADA-CASCARILLA DE ARROZ 50:50	1.85 de	0.56 c	69.9 bc
CASCARILLA DE ARROZ	1.49 bc	0.07 ab	95.3 d
TIERRA PREPARADA-FIBRA DE COCO DE VIVERO 50:50	2.03 e	0.49 a	75.86 c
FIBRA DE COCO DE VIVERO	1.36 b	0.14 b	89.7 d
FIBRA DE COCO NATURAL	0.64 a	0.07 ab	88.6 d
FIBRA DE COCO NATURAL-CASCARILLA DE ARROZ 50:50	0.63 a	0.09 ab	88.61 d
TIERRA PREPARADA-FIBRA DE COCO NATURAL 50:50	1.70 cd	0.6 c	64.7 ab
TIERRA DE AZOIVE	2.11 e	0.78 d	63.03 ab

Nota: letras iguales para cada evaluación indican que no existe diferencia significativa de acuerdo a la Prueba de Duncan para

$\alpha=0.05$

La densidad aparente se define como el peso por unidad de volumen del material en su conjunto y no de las partículas sólidas, incluyéndose el espacio que se encuentra entre las partículas. Se sabe que en materiales ó suelos orgánicos la densidad aparente es muy baja en comparación con aquellos de tipo mineral. Los resultados muestran 4 grupos diferentes donde la Tierra preparada con 0.76 g/ml se encuentra nuevamente entre los materiales más densos, junto con la Tierra sola y Tierra de azolve. Se observa para todas las mezclas una menor densidad con respecto a los materiales consistentes solo en tierra, lo que seguramente se debe a la mayor proporción de materia orgánica proporcionada por los diferentes subproductos empleados.

Los materiales de mayor porosidad en esta caracterización fueron la cascarilla de arroz, Fibra de coco de viveros, Fibra de coco natural y Fibra de coco natural:cascarilla de arroz; los restantes presentaron porcentajes mayores ó iguales que la Tierra preparada, lo que indica que los residuos lignocelulósicos, producen un aumento en el espacio poroso calculado. La Tierra preparada contiene un 61.86% de porosidad mientras que la cascarilla de arroz llega hasta 95.30%. Los materiales mas porosos son pues, los que tienen un mayor volumen ocupado por aire con respecto a los demás. Los residuos orgánicos al aumentar significativamente la porosidad y disminuir las densidades, producen una estructura más abierta y que nos permite pensar en un soporte de fácil acceso físico para el micelio. Se puede decir también, que la adición de carbonato de calcio a la tierra negra no presenta ningún efecto sobre los 3 parámetros determinados.

Otro aspecto físico de un material que es importante de conocer, es la distribución de tamaños de partícula que presenta. Con esta información y mediante el conocimiento de algunos parámetros como la porosidad o la permeabilidad, es posible mejorar una mezcla de materiales, al modificar su estructura para buscar que presenten las características que más convienen para su empleo durante el periodo de producción.

El tamizado de los materiales permitió analizar la distribución de partículas en tamaños de 0.05 a 2 mm (Tabla 3.2). Se observa en general una gran diversidad de tamaños en los diferentes materiales, dependiendo de la formulación con que han sido preparados. Materiales como la cascarilla de arroz que contiene los porcentajes más altos (58.01%) para partículas mayores a 2 mm, no presenta partículas de 0.05 y 0.1 mm, lo que por otra parte

TABLA 3.2: DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑOS DE PARTÍCULA EN LOS MATERIALES DE COBERTURA

MATERIALES DE COBERTURA	TAMAÑO DE PARTÍCULA (mm)						
	2.00	1.00	0.50	0.25	0.10	0.05	
TIERRA NEGRA	4.26 d	6.46a a	9.32 d	36.00 f	18.58 h	21.66 d	
TIERRA PREPARADA	5.06 d	6.92 a	7.52 b	15.28 c	14.98 f	48.72 g	
TIERRA PREPARADA:CASCARILLA DE ARROZ 50:50	9.94 f	8.16 b	7.68 c	26.48 e	20.18 i	26.06 e	
CASCARILLA DE ARROZ	58.01 i	38.71 f	3.06 a	0.19 a	0.00 a	0.00 a	
TIERRA PREPARADA:FIBRA DE COCO DE VIVERO 50:50	6.63 e	7.88 b	10.52 e	15.19 c	15.27 g	42.27 f	
FIBRA DE COCO DE VIVERO	11.56 g	16.44 d	26.81 h	43.14 g	0.83 b	1.19 b	
FIBRA DE COCO NATURAL	4.5 c	17.3 e	29.1 i	24.8 d	14.20 e	10.00 c	
FIBRA DE COCO NATURAL:CASCARILLA DE ARROZ 50:50	31.6 h	46.3 g	14.9 f	8.10 b	2.30 c	1.70 b	
TIERRA PREPARADA:FIBRA DE COCO NATURAL 50:50	3.3 h	6.98 a	10.56 e	15.86 c	15.32 g	47.84 g	
TIERRA DE AZOLVE	2.00 a	10.2 c	17.64 g	57.70 h	3.80 d	10.40 c	

Nota: letras iguales para cada evaluación indican que no existe diferencia significativa de acuerdo a la Prueba de Duncan para

$\alpha=0.05$

explica la alta porosidad del material. La Tierra preparada tiene una gran cantidad de partículas menores de 0.05 mm (48.74%) similar a la mezcla Tierra preparada:Fibra de coco natural (47.84%), lo que indica nuevamente la importancia de la tierra negra en esta formulación. Un resultado semejante se presenta con la Tierra preparada:Fibra de coco de viveros pero en menor proporción (42.27%), debido tal vez a que en la fibra de uso para viveros hay un menor porcentaje de partículas de 0.05 mm con respecto a la fibra natural.

Los residuos orgánicos están constituidos principalmente por partículas de 0.25 a 2 mm con la observación de que en la Fibra de coco natural la proporción de partículas mayores a 2 mm es muy baja . Al realizarse el análisis de las mezclas con Tierra preparada, se observa para algunas distribuciones un aumento significativo con respecto a la Tierra preparada. En la Fibra de coco natural:casarilla de arroz como se esperaba, existen porcentajes muy altos de partículas mayores de 1 y 2 mm, seguramente por la presencia de la casarilla de arroz.

Considerando que estos resultados reportan un porcentaje en peso y no un número de partículas ó unidades de volumen, un porcentaje alto en peso de algún tipo de partícula, no necesariamente indica su predominancia en cuanto al número de éstas. Es por ello que la densidad real de los diferentes materiales, esta estrechamente relacionada a esta determinación.

En vista de estas consideraciones, adquiere mayor importancia caracterizar estos materiales en términos de su textura, en particular a la tierra negra preparada. El análisis de textura permite conocer la distribución de las partículas menores de 0.05 mm para clasificarlas dentro de las arcillas, limos y arenas. En la bibliografía se menciona que los materiales con bajos porcentajes de arcilla con respecto a limos y arenas funcionan bien como coberturas. Debido a que el método empleado fue diseñado para suelos, únicamente los materiales formulados a base de tierra fueron empleados para la realización de esta determinación. Se consideró que la presencia de residuos lignocelulósicos presentaría problemas para llevar a cabo esta metodología, ya que inicialmente se requiere oxidar la material orgánica. Además, el tiempo que permanece el micelio del hongo durante la fase vegetativa y reproductora, no es suficiente para que se presente una degradación del material considerable, que repercuta en el análisis de textura.

De acuerdo a la Tabla 3.3, la Tierra preparada presenta porcentajes adecuados de los tres tipos de partícula. Al utilizar carbonato de calcio hay una redistribución de éstas, disminuyendo el porcentaje de arenas y arcillas como consecuencia de un aumento en el de los limos. De igual manera, se puede observar que existen cantidades mayores de arenas y limos con respecto a las arcillas. Este análisis nos ayuda a comprender mejor la influencia de la tierra negra sobre las diferentes mezclas en las que interviene, tal como se indicó previamente. La presencia de la tierra negra produce un aumento en las partículas menores a 0.05 y 0.1 mm, lo que aunado a sus altas densidades, implica que materiales con proporciones muy altas de partículas de gran tamaño, por ejemplo mayores a 2 mm como en la cascarilla de arroz, al ser mezclados con tierra presenten una distribución más adecuada, formándose aglomerados y modificándose otros parámetros como la capacidad de retención de agua y la permeabilidad.

La permeabilidad se define como la capacidad de un suelo ó material para permitir el paso de agua ó aire. Se requiere que los materiales de cobertura presenten cierta permeabilidad, de manera que se logre el paso de componentes de la composta hacia la atmósfera. En este transporte también es importante la porosidad, aunque un material poroso no necesariamente es muy permeable, ya que otros factores pueden influir en este parámetro, como son la cantidad de material orgánica, el tamaño de partícula y la tensión superficial, entre otros.

Los coeficientes de permeabilidad para varios de los materiales evaluados se presentan en la Tabla 3.4, observándose que los materiales que contiene tierra son los menos permeables. La permeabilidad de la tierra negra disminuye cuando se le adiciona carbonato de calcio (de 5.32cm/h a 3.37cm/h), pasando de un material clasificado como permeable cuando está solo, a medio permeable cuando está con carbonato de calcio. La Tierra de azolve con 1.57cm/h, se clasifica como un material poco permeable a pesar de presentar un alto porcentaje de arena. La cascarilla de arroz y Fibra de coco de viveros son materiales muy permeables, 184.8 y 102.7 cm/h respectivamente; cuyos coeficientes disminuyen al mezclarlos con tierra, a 65.2 y 23.31 cm/h, aunque se siguen clasificando como materiales muy permeables. Cuando se agrega agua a un material de cobertura durante el período de producción, se requiere que ésta no drene hacia la composta, ya que puede dañar el micelio que se encuentra en su parte superior. De acuerdo a estos resultados, un gran cuidado debe

TABLA 3.3: TEXTURA DE LOS MATERIALES DE COBERTURA CONSISTENTES EN TIERRA

MATERIALES DE COBERTURA	TAMAÑO DE PARTÍCULA (%)		
	ARENA	LIMOS	ARCILLAS
TIERRA NEGRA	49.10	34.54	16.36
TIERRA PREPARADA	45.46	40.00	14.54
TIERRA DE AZOLVE	64.00	21.00	15.00

Nota: Prueba realizada de acuerdo al método de Bouyoucas

TABLA 3.4: PERMEABILIDAD DE LAS DIFERENTES MUESTRAS

MATERIALES DE COBERTURA	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (cm/h)	CLASIFICACION
TIERRA NEGRA	5.32	PERMEABLE
TIERRA PREPARADA	3.37	MEDIO PERMEABLE
TIERRA PREPARADA:CASCARILLA DE ARROZ	65.27	MUY PERMEABLE
50:50	184.86	MUY PERMEABLE
CASCARILLA DE ARROZ	23.31	MUY PERMEABLE
TIERRA PREPARADA:FIBRA DE COCO DE VIVERO	102.73	MUY PERMEABLE
50:50	1.57	POCO PERMEABLE
FIBRA DE COCO DE VIVERO		
TIERRA DE AZOLVE		

tenerse con el riego a las distintas coberturas, sobre todo de aquellas preparadas con cascarilla de arroz ó fibra de coco.

Un parámetro relacionado a la cualidad de un material de intercambiar agua y de funcionar como un almacén de la misma es la capacidad de retención de agua. Esta característica es fundamental para el uso de un material de cobertura ya que a una mayor capacidad de retención de agua puede esperarse una mayor producción de cuerpos fructíferos. En la Tabla 3.5, se presentan las capacidades de retención de agua de los materiales evaluados. En la prueba de drenado a la presión atmosférica de la Ciudad de México (77 KPa), todos los materiales presentan una capacidad igual ó mayor que la Tierra preparada. Los residuos orgánicos son capaces de almacenar una gran cantidad de agua con respecto a su peso seco, presentando tanto solos como en sus mezclas con Tierra preparada valores de capacidad de retención de agua mucho mayores que la Tierra preparada. En cuanto al empleo de carbonato de calcio, no se encontró ninguna diferencia entre la Tierra sola y la Tierra preparada.

Para el caso particular de este parámetro, es necesario señalar que la capacidad de retención de agua de un material de cobertura debe considerar su densidad y el volumen en que será empleado durante el proceso de producción. Es decir, aún cuando un material presente una alta capacidad de retención con respecto a su peso, lo más importante es la cantidad de agua que logra almacenar por unidad de volumen del material para el posterior uso de ésta por parte del micelio del hongo durante su desarrollo. Por estas consideraciones, se propone que en trabajos posteriores de caracterización de materiales, esta determinación se realice considerando un volumen unitario del material de cobertura en vez de el peso unitario.

Tomando en cuenta la consideración anterior, es de señalarse que algunos de los materiales con alta porosidad como la cascarilla de arroz, la Fibra de coco de viveros, Fibra de coco natural y la Fibra de coco natural:cascarilla de arroz, presentan una capacidad de retención de agua también alta, 73.2, 78.7, 92.9 y 89.2 % respectivamente. Al parecer, la mayoría de sus poros retienen agua, aunque probablemente existe una mayor proporción de macroporos que de microporos. Esto puede deducirse de los análisis de permeabilidad y tamaño de partícula que sugieren la presencia de una mayor cantidad de macroporos por el hecho de que sus tamaños de partícula se aglutinan en las clasificaciones mayores a 0.25 mm y que son en general materiales muy permeables. Lo anterior significa que con un exceso de agua

TABLA 3.5: PRUEBAS DE RETENCION DE AGUA DE LOS MATERIALES DE COBERTURA

MATERIALES DE COBERTURA	RETENCION DE AGUA (g agua/100g peso seco)			
	DRENADO A CONDICION ATMOSFERICA	CAPACIDAD DE CAMPO (33 KPa)	PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE (1500 KPa)	AGUA APROVECHABLE
TIERRA NEGRA	43.37 a	53.97	22.1	31.87
TIERRA PREPARADA	42.88 a	63.57	21.16	35.81
TIERRA PREPARADA CASCARILLA DE ARROZ 50:50	48.42 ab	-	-	-
CASCARILLA DE ARROZ	73.24 d	-	-	-
TIERRA PREPARADA FIBRA DE COCO DE VIVERO 50:50	46.03 ab	-	-	-
FIBRA DE COCO DE VIVERO	78.77 de	-	-	-
FIBRA DE COCO NATURAL	92.9 f	-	-	-
FIBRA DE COCO NATURAL CASCARILLA DE ARROZ 50:50	89.27 ef	-	-	-
TIERRA PREPARADA FIBRA DE COCO NATURAL 50:50	57.36 c	-	-	-
TIERRA DE AZOVI	28.94 a	51.67	19.77	31.9

Agua aprovechable=retención de agua a 33 KPa-Retención de agua a 1500 KPa

Letras iguales para cada material indican que no existe diferencia significativa de acuerdo a la Prueba de Duncan para $\alpha=0.05$

dichos espacios entre las partículas, funcionan más como canales que como poros de retención de agua. Esto obviamente es una desventaja para estos materiales, ya que como se mencionó con anterioridad, la proporción de agua que logran almacenar con respecto a su volumen es muy baja, por lo que pueden presentarse limitaciones en el suministro de agua al inicio de la producción de esporóforos.

La capacidad de campo y el punto de marchitez permanente son otros parámetros indicativos de la capacidad de retención de agua. Estas pruebas se realizan utilizando presiones de 33 y 1500 KPa respectivamente. Estas pruebas de retención de agua a capacidad de campo y punto de marchitez permanente se llevaron a cabo únicamente en los materiales consistentes en tierra debido a la técnica empleada. El proceso de saturación inicial por ascenso del agua por capilaridad, presentó algunos problemas en los materiales formulados a base de alguno de los subproductos lignocelulósicos debido a que son materiales con densidades muy bajas. Por otra parte, se consideró que al no existir problemas de desecación en los materiales de cobertura en la planta de producción dado que estos son regados continuamente, entonces la determinación más provechosa sería la de retención de agua a condición atmosférica.

La Tierra preparada presentó una mejor retención de agua que la Tierra sola, probablemente porque el carbonato de calcio ayuda a retener una mayor cantidad del agua que el material ha absorbido, por un aumento en las atracciones iónicas. Esto se reflejó en un incremento en el porcentaje de agua aprovechable de la Tierra preparada (35.9 %) con respecto a la Tierra sola (31.6 %), valores obtenidos de la diferencia de la retención a 33 KPa y 1500 KPa, que indican cuanta agua puede ser extraída por el micelio antes de que se ésta se agote.

Un pH neutro ó ligeramente alcalino se ha propuesto como el óptimo para impedir el crecimiento de organismos competidores de *Agaricus*, como son bacterias y otro tipo de hongos. Se considera que materiales adicionados con un neutralizante funcionan mejor como coberturas que cuando se emplean solos, probablemente por una mejor regulación del pH.

Existen dos formas para la medición del pH, uno conocido como potencial y otro como real. Las diferencias se refieren al tipo de solvente que se utiliza para realizar ambas

determinaciones y al significado que se obtiene con cada uno. Para determinar el pH potencial la muestra se suspende en una solución de cloruro de calcio 0.01 M ó de potasio 0.1 M. mientras que en el caso del pH real se utiliza agua destilada para tal efecto. Al solubilizar un material ácido ó neutro en cloruro de calcio para determinar el pH potencial, se obtiene un valor de pH menor que al usar agua. Los cationes adicionados desplazan a los iones H^+ hacia la solución, contrarrestando así el suministro de iones H^+ aportados por el agua presente como solvente. De manera general, lo que se presenta es una sustitución de los iones hidrógeno por iones calcio en las moléculas de soluto, permitiendo obtener una medición más representativa del pH del material analizado, ya que con esta medición se disminuye el efecto de la presencia de sales en el material analizado, es decir el abonamiento.

El pH real se determina utilizando como solvente agua destilada. Este es el tipo de análisis que se emplea generalmente para reportar los valores de pH en los materiales que se han estudiado hasta la fecha en la bibliografía. Esta determinación es de mayor importancia debido a que los materiales que se emplean durante la producción de cuerpos fructíferos, se humidifican con agua y se mantienen en riego continuo.

En la Tabla 3.6 se observan los resultados de las determinaciones de pH potencial y real de los materiales de cobertura caracterizados. En la determinación del pH potencial, realizada con cloruro de calcio 0.01 M, se obtuvieron 6 grupos estadísticos diferentes. La Tierra preparada (7.58) presentó un pH mayor que la Tierra sola (5.42), tal como se espera por la adición del carbonato de calcio el cual en presencia del cloruro de calcio, promoverá un exceso de iones Ca^{2+} , contribuyendo a un pH ligeramente menor que al emplear agua como solvente. Es posible detectar incluso que ambos materiales se encuentran en los puntos extremos de la clasificación estadística, ya que la Tierra sola junto con la Tierra de azolve (5.4) muestran los niveles más ácidos, mientras que la Tierra preparada es por su parte, junto con la Tierra preparada: fibra de coco de viveros (7.62) uno de los materiales con menor acidez. Finalmente entre la Fibra de coco de viveros y Fibra de coco natural no se encontraron diferencias significativas.

En cuanto al pH real, se puede observar una separación en 7 grupos, donde encontramos una diferencia significativa entre la Tierra sola (8.08) y la Tierra preparada (6.21), tal como ocurrió en la determinación anterior y que reafirma el mecanismo propuesto de acción del

TABLA 3.6: pH POTENCIAL Y REAL DE LOS MATERIALES DE COBERTURA

MATERIALES DE COBERTURA	pH	
	POTENCIAL	REAL
TIERRA NEGRA	5.42 a	6.21 e
TIERRA PREPARADA	7.58 f	8.08 h
TIERRA PREPARADA:CASCARILLA DE ARROZ 50:50	7.43 e	8.05 h
CASCARILLA DE ARROZ	5.6 c	5.84 ab
TIERRA PREPARADA:FIBRA DE COCO DE VIVERO 50:50	7.62 f	7.7 f
FIBRA DE COCO DE VIVERO	5.47 h	6.07 d
FIBRA DE COCO NATURAL	5.5 b	5.92 bc
FIBRA DE COCO NATURAL:CASCARILLA DE ARROZ 50:50	5.79 d	6.00 c cd
TIERRA PREPARADA:FIBRA DE COCO NATURAL 50:50	7.42 e	7.86 g
TIERRA DE AZOIVE	5.4 a	5.79 a

Nota: Letras iguales para cada evaluación indican que no existe diferencia significativa de acuerdo a la Prueba de Duncan para

$\alpha=0.05$

CaCl₂ sobre los diferentes cationes. Los valores más ácidos los encontramos para la cascarilla de arroz (5.84) y la Tierra de azolve (5.79), mientras que los más altos los presentan precisamente la Tierra preparada y la Tierra preparada: cascarilla de arroz (8.05).

Como puede observarse, de los valores obtenidos para la Fibra de coco natural y la Fibra de coco de viveros se desprende la conclusión de que la Fibra de coco de viveros seguramente contiene algún tipo de fertilizante, dado que este material se emplea en invernaderos para la producción florística comercial adicionándosele probablemente algún compuesto para permitir un mejor crecimiento de la planta. Mientras que el pH potencial es el mismo para ambos materiales, el mayor pH real de la Fibra de coco de viveros indica la solubilización de un agente químico externo.

Para el caso de la tierra negra se observó un aumento significativo en ambas determinaciones de pH cuando se añade carbonato de calcio como agente neutralizante. A pesar de que los materiales restantes se encuentran en grupos estadísticamente diferentes a la Tierra preparada, se debe tener en cuenta que a las muestras consistentes de cascarilla de arroz, Fibra de coco natural y Fibra de coco de viveros no se les añadió carbonato de calcio para neutralizarlos, y en las mezclas el carbonato añadido fue el correspondiente a la proporción de tierra negra utilizada. Por lo tanto, se considera que no existirá algún problema en añadir dicho compuesto en cantidades iguales a las que se utilizan para la preparación de la tierra, a los materiales que resulten seleccionados para evaluar la producción de esporóforos.

La conductividad eléctrica es una determinación que se ha realizado comúnmente para la caracterización de materiales de cobertura, ya que a través de ésta es posible conocer la cantidad de sales solubles presentes en dicho material. Se ha considerado que en coberturas con bajos niveles de conductividad se obtienen mejores producciones que con aquellos de valores elevados. En la Tabla 3.7, se presentan las conductividades de los diferentes materiales analizados.

Para la determinación de la cantidad de sales solubles en los diferentes materiales, se prepararon suspensiones con agua 1:3 p/v midiendo la conductividad tanto en el sobrenadante como en la suspensión ó mezcla total. Se hizo además una pasta de saturación y a través de vacío se obtuvo un extracto en el que se analizó también la cantidad de sales

TABLA 3.7: DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE EXTRACTOS (mmhos/cm) DE LOS MATERIALES DE COBERTURA

MATERIALES DE COBERTURA	SUSPENSIÓN (1:3)		EXTRACTO DE SATURACIÓN
	SOBRENADANTE	SUSPENSIÓN TOTAL	
TIERRA NEGRA	0.2 a	0.18 a	0.33
TIERRA PREPARADA	0.44 ab	0.49 bc	0.5
TIERRA PREPARADA:CASCARILLA DE ARROZ 50:50	0.43 ab	0.38 ab	0.95
CASCARILLA DE ARROZ	0.36 b	0.27 ab	-
TIERRA PREPARADA:FIBRA DE COCO DE VIVERO 50:50	2.45 e	2.15 e	6.48
FIBRA DE COCO DE VIVERO	2.94 f	2.94 f	-
FIBRA DE COCO NATURAL	2.16 d	2.14 e	-
FIBRA DE COCO NATURAL:CASCARILLA DE ARROZ 50:50	1.29 c	1.26 d	-
TIERRA PREPARADA:FIBRA DE COCO NATURAL 50:50	1.05 c	0.77 c	1.83
TIERRA DE AZOLVE	3.6 g	3 f	3.96

Nota: Letras iguales para cada evaluación indican que no existe diferencia significativa de acuerdo a la Prueba de Duncan para $\alpha=0.05$

presentes. Sin embargo, este último análisis debido a la complejidad de la metodología solo se realizó en algunas de las muestras estudiadas. La conductividad del sobrenadante de la Tierra sola (0.20mmhos/cm) presenta un valor menor que la Tierra preparada (0.44 mmhos/cm), el cual es además estadísticamente igual al de la Tierra preparada:cascarilla de arroz y la cascarilla de arroz. El valor más alto de conductividad lo presenta la TLA con 3.6 mmhos/cm. Por otra parte, la Fibra de coco de viveros muestra una mayor conductividad que la Fibra de coco natural lo que realirma lo señalado sobre la posible adición de fertilizantes para el empleo de producción de plantas de invernadero.

Los valores de conductividad eléctrica de la suspensión total se agrupan de manera similar a la determinación anterior, observándose como la conductividad de la Tierra preparada (0.49 mmhos/cm) es mayor que la de Tierra sola (0.18 mmhos/cm) e igual que la Tierra preparada:cascarilla de arroz y la cascarilla de arroz. También en este caso, la Tierra de azolve con 3.0 mmhos/cm es el material con la conductividad mas alta. Entre la Fibra de coco de viveros y la Fibra de coco natural hay diferencias que pudieran explicarse en base a las mismas consideraciones anteriores..

Las determinaciones en los extractos de saturación muestran que la conductividad más baja la presenta la Tierra sola (0.33 mmhos/cm) y la mas alta la Tierra preparada:Fibra de coco de viveros (6.48 mmhos/cm). Las mediciones correspondientes a las mezclas Tierra preparada:Fibra de coco de viveros y Tierra preparada:Fibra de coco natural son estadísticamente diferentes, presentando una mayor cantidad de sales la primera formulación.

De manera general, considerando las 3 determinaciones de conductividad, se puede decir que la Tierra preparada presenta un valor mayor que la Tierra sola, lo que se explica por la presencia del carbonato de calcio. Los valores más altos se presentan en la Tierra de azolve, la Fibra de coco de viveros y Fibra de coco natural y sus mezclas con tierra, al contrario de la cascarilla de arroz donde sus valores son muy bajos incluso en la mezcla con tierra negra preparada. De acuerdo a los datos reportados en la bibliografía, todos estos materiales presentan conductividades que se encuentran dentro de los rangos reportados como aceptables para un buen desarrollo del medio en la cobertura; sin embargo, en el caso de la Tierra preparada:Fibra de coco de viveros a pesar de que mostrar valores aceptables, desde este punto se comenzó a considerar la posibilidad de emplear solamente a la mezcla con

Fibra de coco natural en la etapa siguiente etapa, correspondiente a la producción de esporóforos, tomando en cuenta también la mayor disponibilidad de ésta última.

La presencia de ciertos iones se ha relacionado con fenómenos de inhibición en la formación de esporóforos de *Agaricus bisporus*. Entre los más importantes se mencionan el sodio, el potasio, el calcio y el magnesio. Se considera que altas concentraciones de estos, particularmente de los 2 primeros, resultan en disminuciones considerables en la producción de hongos. Existen 2 formas para determinar las concentraciones de iones de un material de cobertura, los iones solubles y los intercambiables. Se realizaron los 2 tipos de análisis mencionados en todos los materiales de cobertura experimentales. El análisis de iones intercambiables señala la cantidad que un determinado material puede ceder al medio al mantenerse en contacto con el micelio del hongo. La extracción de iones durante este análisis se realizó con acetato de amonio 1N, pH 7. En el caso de los solubles, se determina la concentración de iones que se logran solubilizar al extraerse por el método de pasta de saturación, empleándose agua destilada como solvente durante este procedimiento.

En relación a los iones intercambiables, en la Tabla 3.8 se observa que la concentración de sodio aumenta significativamente cuando se compara la Tierra preparada (6.0 ppm) con la Tierra sola (0.8 ppm). Sin embargo, la concentración más alta la presenta la Tierra de azolve (27.0 ppm), mientras que la cascarilla de arroz, la Tierra preparada:cascarilla de arroz y la Tierra sola son los materiales con las concentraciones más bajas.

En la determinación de potasio se obtuvieron valores semejantes entre la Tierra preparada (1.70 ppm) y la Tierra sola (1.30 ppm); formando estos además parte del grupo estadístico de menor concentración. Por otra parte, la Fibra de coco de viveros presentó la concentración de potasio más alta (127.50 ppm) que es más del doble de los que contiene la Fibra de coco natural. Esto reafirma el hecho de que probablemente dicho material fue suplementado con fertilizantes, para un posterior empleo en los invernaderos, y que además es posterior empleo de la Fibra de coco natural era más recomendable que el de la Fibra de coco de viveros.

Las siguientes dos determinaciones, calcio y magnesio, reflejan la presencia del agente neutralizante adicionado a la tierra negra, en donde las concentraciones de ambos iones son superiores a 100 meq/100 g, valores que ninguno de los materiales restantes llega a

TABLA 3.8: CONCENTRACIÓN DE IONES INTERCAMBIABLES DE LOS MATERIALES DE COBERTURA

MATERIALES DE COBERTURA	Na+1 ppm	K+1 ppm	Ca+2 meq/100g	Mg+2 meq/100g
TIERRA NEGRA	0.80 a	1.30 a	24.00 c	9.00 d
TIERRA PREPARADA	6.00 c	1.70 a	100.00 e	100.00 e
TIERRA PREPARADA: CASCARILLA DE ARROZ 50:50	1.10 a	3.20 a	22.00 c	3.50 b
CASCARILLA DE ARROZ	0.63 a	27.30 b	0.00 a	0.00 a
TIERRA PREPARADA: FIBRA DE COCO DE VIVERO 50:50	7.30 cd	77.50 e	35.00 d	6.50 c
FIBRA DE COCO DE VIVERO	6.45 cd	127.50 f	0.38 a	1.50 a
FIBRA DE COCO NATURAL	14.60 e	52.00 d	9.25 b	1.00 a
FIBRA DE COCO NATURAL: CASCARILLA DE ARROZ 50:50	8.00 d	42.00 c	2.50 a	0.30 a
TIERRA PREPARADA: FIBRA DE COCO NATURAL 50:50	3.50 b	4.20 a	24.00 c	4.75 b
TIERRA DE AZOLVE	27.00 f	55.00 d	14.25 b	3.35 b

Nota: Letras iguales para cada evaluación indican que no existe diferencia significativa de acuerdo a la Prueba de Duncan para

$$\alpha=0.05$$

presentar, de hecho en la cascarilla de arroz su presencia no fue detectada. Adicionalmente a este material, la Fibra de coco de viveros y Fibra de coco natural:cascarilla de arroz presentaron las concentraciones de calcio más bajas, mientras que para el magnesio, la cascarilla de arroz, la Fibra de coco de viveros, la Fibra de coco natural y la Fibra de coco natural:cascarilla de arroz presentaron las menores concentraciones.

En la Tabla 3.9 se muestran las concentraciones de iones solubles en los materiales de tierra y las mezclas con fibra de coco. Debido a que el análisis se realizó en los extractos de las pastas de saturación, solamente se analizaron las concentraciones de este tipo de iones en los materiales mencionados. Se encontró que la Tierra de azolve contiene los porcentajes más altos en los 4 diferentes iones y esto se puede explicar tomando en cuenta que dicha muestra pertenece a un sitio donde se almacena una gran cantidad de agua durante el período de precipitación, y que funciona como un vaso de regulación para las zonas cercanas. La permeabilidad del suelo aunada a una intensa evaporación y a un suministro continuo de drenajes provoca la acumulación de altas concentraciones de algunos iones y compuestos.

Entre la Tierra preparada y la Tierra sola existen diferencias muy claras en cuanto a la concentración de iones solubles, presentándose mayores concentraciones en la Tierra preparada. Un caso excepcional se observa con el sodio, donde la Tierra sola posee una mayor concentración de este ion con respecto a la Tierra preparada. Las mezclas con los dos tipos de fibra de coco aumentan considerablemente los índices de los diferentes iones, aunque es más acentuado este aumento en la Tierra preparada:Fibra de coco de viveros, excepto por la concentración de calcio que es ligeramente mayor en la Tierra preparada:Fibra de coco natural.

Se considera que el material de cobertura debe presentar niveles bajos de nutrimentos que puedan ser utilizados por el micelio del hongo, ya que de lo contrario éste se encontrará en un ambiente favorable para su desarrollo vegetativo. De esta manera no se le enfrenta a condiciones limitantes, que son las promotoras de la formación de cuerpos fructíferos, y consecutivamente de la producción de esporas. Los resultados de la relación C/N y el contenido de Materia Orgánica se señalan en la Tabla 3.10. Como se puede observar, la presencia de carbonato de calcio no influyó en ninguna de las dos determinaciones. La Tierra preparada con 14.0 de C/N y 10.82 % de M.O, no presentó alguna diferencia

TABLA 3.9: CONCENTRACIÓN DE IONES SOLUBLES EN LOS MATERIALES DE COBERTURA DE TIERRA Y DE SUS MEZCLAS CON GERMINAZA

MATERIALES DE COBERTURA	Na⁺¹ (ppm)	K⁺¹ (ppm)	Ca⁺² (meq/100g)	Mg⁺² (meq/100g)
TIERRA NEGRA	29	2.60	0.10	0.17
TIERRA PREPARADA	26	3.60	0.20	0.58
TIERRA PREPARADA:FIBRA DE COCO DE VIVERO 50:50	99	745.00	0.63	2.44
TIERRA PREPARADA:FIBRA DE COCO NATURAL 50:50	38	14.00	0.68	1.36
TIERRA DE AZOLVE	118	729.00	1.88	4.04

TABLA 3.10: RELACIÓN C/N Y CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA DE LOS MATERIALES DE COBERTURA

MATERIALES DE COBERTURA	C/N	MATERIA ORGÁNICA (%)
TIERRA NEGRA	11.3 a	10.15 a
TIERRA PREPARADA	14 a	10.82 a
TIERRA PREPARADA:CASCARILLA DE ARROZ 50:50	12 a	11.16 a
CASCARILLA DE ARROZ	82 e	52.09 c
TIERRA PREPARADA:FIBRA DE COCO DE VIVERO 50:50	17.8 b	17.25 b
FIBRA DE COCO DE VIVERO	72.3 d	73.08 e
FIBRA DE COCO NATURAL	66.6 c	79.51 f
FIBRA DE COCO NATURAL:CASCARILLA DE ARROZ 50:50	99.5 f	65.3 d
TIERRA PREPARADA:FIBRA DE COCO NATURAL 50:50	18.5 b	17.91 b

Nota: Letras iguales para cada evaluación indican que no existe diferencia significativa de acuerdo a la Prueba de Duncan para $\alpha=0.05$

significativa con respecto a la Tierra sola, con 11.3 de C/N y 10.15 % de M.O. Como era de esperarse, en los residuos agroindustriales se observaron las relaciones C/N y los contenidos de M.O. más altos debido a la presencia de altos niveles de lignina y celulosa.

La determinación realizada en los diferentes materiales de cobertura, correspondió a la cantidad de materia orgánica total y a pesar de que en los residuos orgánicos existen concentraciones muy altas de ésta, no nos es posible asegurar que esta característica pueda influir negativamente sobre la formación de los esporóforos en el material evaluado. Sabemos que la turba es un material orgánico que se produce por la degradación de materia vegetal presente en zonas de alta humedad como es el caso de los bosques, por lo tanto la concentración de materia orgánica es muy alta en este tipo de material, sin embargo es la cobertura que se ha empleado con los mejores resultados de productividad a nivel mundial, por lo que seguramente la concentración de la fracción orgánica soluble es muy baja. De esta manera, de dicho análisis se deduce que en trabajos posteriores de investigación sobre introducción de nuevos materiales de cobertura, es más importante determinar la cantidad de nutrimentos de fácil asimilación, como carbohidratos solubles, que la cantidad de materia orgánica total.

En la Tabla 3.11 se presentan algunos materiales referidos en la bibliografía como adecuados para su uso como coberturas de champiñón, se mencionan la turba, los lodos de la producción del papel y una mezcla de ambos. Es interesante comparar los valores de algunos de los parámetros indicados, con los resultados obtenidos en este proyecto, en particular hacer la comparación con valores de la Tierra preparada que es la cobertura de mayor empleo en la producción de champiñón en México.

Las capacidades de retención de agua (CRA) de los materiales reportados en la bibliografía, de 71 a 93%, son mayores con respecto a los de la Tierra preparada que presenta un porcentaje de retención mucho menor, incluso menor al 50%. Por su parte, en la Fibra de coco natural y su mezcla con cascarilla de arroz se obtienen valores semejantes a los reportados para la turba y los lodos de la fermentación termofílica del estiércol.

Es importante recordar que para obtener la CRA en los materiales de cobertura experimentales, se emplearon relaciones peso a peso, por lo que se considera que este parámetro sería más representativo si la relación hubiese sido volumétrica, dado que en la

significativa con respecto a la Tierra sola, con 11.3 de C/N y 10.15 % de M.O. Como era de esperarse, en los residuos agroindustriales se observaron las relaciones C/N y los contenidos de M.O. más altos debido a la presencia de altos niveles de lignina y celulosa.

La determinación realizada en los diferentes materiales de cobertura, correspondió a la cantidad de materia orgánica total y a pesar de que en los residuos orgánicos existen concentraciones muy altas de ésta, no nos es posible asegurar que esta característica pueda influir negativamente sobre la formación de los esporóforos en el material evaluado. Sabemos que la turba es un material orgánico que se produce por la degradación de materia vegetal presente en zonas de alta humedad como es el caso de los bosques, por lo tanto la concentración de materia orgánica es muy alta en este tipo de material, sin embargo es la cobertura que se ha empleado con los mejores resultados de productividad a nivel mundial, por lo que seguramente la concentración de la fracción orgánica soluble es muy baja. De esta manera, de dicho análisis se deduce que en trabajos posteriores de investigación sobre introducción de nuevos materiales de cobertura, es más importante determinar la cantidad de nutrimentos de fácil asimilación, como carbohidratos solubles, que la cantidad de materia orgánica total.

En la Tabla 3.11 se presentan algunos materiales referidos en la bibliografía como adecuados para su uso como coberturas de champiñón, se mencionan la turba, los lodos de la producción del papel y una mezcla de ambos. Es interesante comparar los valores de algunos de los parámetros indicados, con los resultados obtenidos en este proyecto, en particular hacer la comparación con valores de la Tierra preparada que es la cobertura de mayor empleo en la producción de champiñón en México.

Las capacidades de retención de agua (CRA) de los materiales reportados en la bibliografía, de 71 a 93%, son mayores con respecto a los de la Tierra preparada que presenta un porcentaje de retención mucho menor, incluso menor al 50%. Por su parte, en la Fibra de coco natural y su mezcla con cascarilla de arroz se obtienen valores semejantes a los reportados para la turba y los lodos de la fermentación termofílica del estiércol.

Es importante recordar que para obtener la CRA en los materiales de cobertura experimentales, se emplearon relaciones peso a peso, por lo que se considera que este parámetro sería más representativo si la relación hubiese sido volumétrica, dado que en la

TABLA 3.11: PARÁMETROS REPORTADOS Y DETERMINADOS EXPERIMENTALMENTE

DETERMINACIÓN	DATOS BIBLIOGRÁFICOS			DATOS EXPERIMENTALES	
	REFERENCIA	MATERIAL	VALOR	MATERIAL	VALOR
CRA	(HAYES, 1981)	LPP: TURBA	71%	COND. ATMOSFERICA	43%
	(LEVANON, 1984)	LFTE	90%	TIERRA PREPARADA	
	(LEVANON, 1984)	TURBA	91-93%	FIBRA DE COCO NATURAL	93%
	(HAYES, 1981)	LPP: TURBA	50%	FIBRA DE NATURAL: CASCARILLA	89%
	(LEVANON, 1984)	LFTE	91-92%	TIERRA PREPARADA	61%
POROSIDAD				CASCARILLA DE ARROZ	95%
	(LEVANON, 1984)		95-96%	FIBRA DE COCO DE VIVERO	90%
TEXTURA			ARENA 41.6%	FIBRA DE COCO NATURAL	89%
	(HAYES, 1978)	LPP	LIMO 49%	TIERRA PREPARADA	45%
			ARCILLA 9.4%		40%
M. O.					14%
	(HAYES, 1978)	LPP	66.90%	TIERRA PREPARADA	10.82%
C/N				FIBRA DE COCO NATURAL	79.50%
	(HAYES, 1978)	LPP	60:01:00	TIERRA PREPARADA	113:1
				FIBRA DE COCO NATURAL	66.6:1
				CASCARILLA DE ARROZ	82:01:00
				FIBRA NATURAL: CASCARILLA	99:1
pH	(HAYES, 1981)	LPP s/ CaCO ₃	7.4-7.7	TIERRA PREPARADA	8.08
	(LEVANON, 1984)	LFTE	8.1-8.3	CASCARILLA DE ARROZ	5.84
	(LEVANON, 1984)	TURBA s/ CaCO ₃	3.3-3.7	FIBRA DE COCO NATURAL	5.92
	(LEVANON, 1984)	TURBA con CaCO ₃	7.7-7.4		
	(ALLISON, 1962)	TURBA "	6.58-7.18		
CE	(HAYES, 1981)	TURBA	2.8 mmhos/cm	TIERRA PREPARADA	0.49 mmhos/cm (susp total)
	(HAYES, 1981)	LPP	9.7 mmhos/cm*	CASCARILLA DE ARROZ	0.27 " "
	(HAYES, 1981)	LPP	2.5 mmhos/cm	T. PREPARADA: CASCARILLA	0.38 " "
				FIBRA DE COCO DE VIVERO	2.94 " "
			FIBRA DE COCO NATURAL	2.14 " "	
			TIERRA DE AZOLVE	3.00 " "	

LFTE Lodos de la fermentación termofílica del estiércol

LPP Lodos de la producción de papel

* Concentración inhibitoria

Mezclas preparadas en proporción 50:50

producción a nivel comercial, la cobertura es adicionada por unidad de volumen (10 litros a cada bolsa de 35 Kg de composta) mas no por unidad de peso. Por consiguiente, es muy importante conocer la cantidad de agua retenida por los 10 litros del material de cobertura utilizado.

Comparando únicamente estos resultados, podría concluirse que la tierra negra preparada sería menos eficiente que los materiales reportados en la bibliografía como buenos productores a nivel comercial. Sin embargo, dado que este es uno de los materiales que se emplean en México y que históricamente fue el primer material de cobertura que se utilizó a nivel mundial, resulta importante compararla con otros materiales que presentan una capacidad de retención de agua mayor, como es el caso de la Fibra de coco natural.

La porosidad de los diferentes materiales reportados en la bibliografía se encuentra en un rango de 50 a 96%. En términos generales se puede señalar que los materiales seleccionados para este proyecto presentan porosidades similares.

En relación a los análisis de textura se puede observar que los lodos de la producción de papel (LPP) y la Tierra preparada son materiales muy parecidos, ya que ambos presentan mayores porcentajes de arenas y limos con respecto a las arcillas.

Mientras que en la Tierra preparada el contenido de materia orgánica es del 10.8%, en los LPP el valor es cercano al 70%, y en la Fibra de coco natural se presenta en un 79.5% como resultado de la naturaleza lignocelulósica de estos 2 últimos materiales. Por otra parte, los LPP presentan una relación C/N de 60:1, la Tierra preparada de 11:1, la Fibra de coco natural de 66:1, la cascarilla de arroz 82:1 y la Fibra de coco natural:cascarilla de arroz 99:1.

Los valores de pH de los materiales reportados en la bibliografía, exceptuando los LPP, son todos ácidos, y son neutralizados con la adición de carbonato de calcio. De igual forma, los materiales evaluados en este estudio como la cascarilla de arroz y Fibra de coco natural presentan valores ácidos, aumentando su pH cuando son mezclados con la tierra negra preparada

Los datos de conductividad eléctrica reportados en la bibliografía son valores muy altos, indicándose que aquellos del orden de 9.7 mmhos/cm fueron inhibitorios para la formación de cuerpos fructíferos en coberturas preparadas con LPP (Hayes , 1984). Estos valores de conductividad tan altos fueron determinados durante la producción de champiñón en coberturas sin "retapado". Los valores de conductividad eléctrica que se reportan para la turba (2.8 mmhos/cm) y los LPP (2.5 mmhos/cm) antes de su colocación en las camas de producción son similares, aunque durante el proceso de producción la turba presentó niveles inferiores a los inhibitorios, mencionados anteriormente en los LPP.

En referencia a los resultados determinados en este estudio, la Tierra preparada y la cascarilla de arroz presentaron los valores mas bajos de conductividad eléctrica, mientras que algunos como la Fibra de coco natural mostraron valores similares a los datos reportados en la bibliografía. Por ello se concluyó la necesidad de determinar este parámetro durante la producción a nivel comercial, para evaluar la existencia de algún cambio significativo durante la cosecha que permitiera deducir un probable efecto sobre la producción de hongos.

No obstante la existencia de diferencias considerables entre los valores de algunos de los parámetros reportados en la literatura para la caracterización de materiales de cobertura con los datos determinados experimentalmente en este estudio, puede concluirse que ciertos parámetros son de importancia decisiva, dentro de los cuales se encuentran la capacidad de retención de agua (CRA), la porosidad, el pH y la conductividad eléctrica (CE). La importancia de la CRA se debe a que el cuerpo fructífero contiene más del 90% de humedad, por lo que requiere durante su desarrollo una fuente de agua continua para permitir la producción de hongos más pesados y en mayor cantidad, en particular con cepas altamente productivas. Los niveles de porosidad relativamente altos (mayores a 50%) son necesarios en un material de cobertura para permitir el flujo continuo de sustancias a la atmósfera tanto de la composta, como del micelio del hongo. El pH se presenta como un parámetro importante para el desarrollo de los esporóforos no solo porque un crecimiento óptimo del micelio es posible en cierto rango de pH, sino porque la competencia con algunos mohos se puede controlar con un pH alcalino. Finalmente, la CE es un parámetro que al indicarnos la concentración de sales que puede encontrarse en algún material de cobertura, requiere ser determinado para no sobrepasar ciertos niveles que pueden ser

dañinos para el micelio y por lo tanto repercutir de forma negativa en la productividad del material.

De estos cuatro parámetros mencionados, solamente la CRA es marcadamente inferior en la Tierra preparada con respecto a los materiales reportados en la bibliografía. Es factible por lo tanto considerar que no se presentará algún problema con el resto de los materiales experimentales, dado que almacenan mayores cantidades de agua, considerando su propio peso y con respecto al control (Tierra preparada).

En esta primera parte del proyecto, además de haber logrado la caracterización fisicoquímica de los diferentes materiales estudiados, fue posible observar que a diferencia de la manipulación de materiales de cobertura preparados con un solo componente, al emplear mezclas, sus características dependen principalmente del material más denso presente en la formulación, como resultado de que éstas se prepararon utilizando relaciones volumétricas en vez de considerar sus pesos.

3.2 EXPERIMENTO No 1: EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE CHAMPIÑÓN CON DIFERENTES MATERIALES DE COBERTURA A NIVEL COMERCIAL

Para las pruebas de productividad de los materiales de cobertura, se empleó un sustrato preparado a través de una Fase I de composteo a cielo abierto, seguida de una Fase II de pasteurización, realizada en túneles a granel. Este sustrato fue preparado en la Planta Productora donde se realizaron los experimentos de producción.

De acuerdo a los resultados de la caracterización fisicoquímica anterior, se seleccionaron diferentes materiales para emplearse como coberturas y valorar su productividad. Para este experimento se decidió utilizar adicionalmente un material formulado con cascarilla molida, considerando que esto permitiría una mayor porosidad, una menor permeabilidad y un aumento de la CRA.

Se utilizó como cobertura control a la tierra negra, preparada con carbonato de calcio (100 Kg/m^3) ó con cal (25 Kg/m^3). La cascarilla de arroz entera ó molida y la fibra de coca natural se mezclaron en diferentes proporciones con tierra negra neutralizada con carbonato

de calcio. La fibra de coco natural por otra parte se empleó al 100% para probar si sus características físicoquímicas, anteriormente determinadas, eran suficiente indicativo para resultar en producciones superiores a los dos materiales testigo. Las mezclas se elaboraron en proporciones volumétricas, similarmente a como se indicó en las pruebas anteriores. Las cantidades de carbonato de calcio adicionadas a los materiales lignocelulósicos fueron en las mismas proporciones que para la tierra negra, es decir $100\text{Kg}/\text{m}^3$. Una vez conformadas las diferentes mezclas, se humidificaron a saturación con agua de la llave, y se pasteurizaron con formalina al 43% utilizando 1 litro por cada metro cúbico de cobertura, dejándosele en reposo por 15 a 16 hrs antes de aplicarlas como cobertura a los sustratos en las bolsas de producción.

Se estableció un diseño experimental para comparar la producción de hongos entre los distintos materiales de cobertura. La composta Fase II fue inoculada con micelio de champiñón y empacada en bolsas de plástico de 35 Kg para su incubación champiñón tal como se realiza en el proceso normal de la planta productora donde se realizó el experimento. Cuando la composta se encontraba totalmente propagada con micelio, las bolsas se taparon con 10 litros de cobertura humidificada con agua de la llave. Con cada material de cobertura se cubrieron 12 bolsas de sustrato, las que se distribuyeron de manera aleatoria en grupos de 3 bolsas, en 4 sitios diferentes de una nave de producción. Con la finalidad de evitar que los resultados de productividad fueran afectados por los factores ambientales, las bolsas con las coberturas experimentales se ubicaron de manera aleatoria, buscando así que ante una variación de temperatura ó humedades en alguna zona de la nave, se presentara el mismo efecto sobre diferentes materiales de cobertura y no en un solo grupo de estos.

Para este experimento se emplearon 9 diferentes materiales de cobertura (Tabla 3.12), lo que dio como resultado un total de 108 bolsas. Una vez colocada la cobertura, se les mantuvo a 22°C durante 15 días para permitir la propagación vegetativa en la cobertura y de, pués proceder a disminuir la temperatura hasta 18 grados para provocar así el cambio de la fase vegetativa a la reproductora.

Se registró el número y el peso total de los hongos producidos por cada bolsa para calcular así para cada material de cobertura la media aritmética de la producción de hongos (en gramos) por cada 35 Kg de composta Fase II y el peso promedio de los hongos cosechados

TABLA 3.12: MATERIALES DE COBERTURA EMPLEADOS EN EL EXPERIMENTO 1

MATERIALES DE COBERTURA
T (CON CAL)
T (CON CARBONATO)
FIBRA DE COCO NATURAL (100)
TIERRA CON CARBONATO + FIBRA DE COCO NATURAL (50 : 50)
TIERRA CON CARBONATO + FIBRA DE COCO NATURAL (25 : 75)
TIERRA CON CARBONATO + CASCARILLA ENTERA (50 : 50)
TIERRA CON CARBONATO + CASCARILLA ENTERA (25 : 75)
FIBRA DE COCO NATURAL + CASCARILLA ENTERA (50 : 50)
TIERRA CON CARBONATO + CASCARILLA MOLIDA (25 : 75)

(g/ hongo). En la Tabla 3.13 se presenta la producción semanal de champiñón para cada material de cobertura, indicándose su separación en diferentes grupos estadísticos de acuerdo a la prueba de Duncan para un $\alpha = 0.05$. Se observó que entre las semanas 2 y 3, la mayoría de los materiales presentaron las producciones más altas, aunque en algunos casos, como en la T (con cal), T (con carbonato) y Fibra de coco natural+Cascarilla entera, también en la semana 4 se obtuvieron producciones considerables. En la semana 6 fueron muy pocos los materiales que presentaron producciones similares a las semanas anteriores, observándose en la semana 7 las producciones más bajas de todo el ciclo productivo.

Estos resultados de productividad semanal fueron también analizados estadísticamente de acuerdo a la prueba de Duncan $\alpha = 0.05$ considerando los datos para una misma semana de corte. Como se puede ver en la Tabla 3.14, los materiales que presentaron producciones iguales ó mayores que la T (con cal) durante cada semana de corte fueron: Tierra (con carbonato) +Fibra de coco natural (25:75), Tierra (con carbonato) +Cascarilla entera (50:50), Tierra (con carbonato) +Cascarilla entera (25:75) y la Tierra (con carbonato) +Cascarilla molida (25:75). Como se observa, en la Fibra de coco natural (100%) se obtuvieron las menores producciones semanales con respecto al resto de los materiales de cobertura. La Fibra de coco natural+Cascarilla entera (50:50) presentó bajas producciones, aunque estadísticamente superiores a la Fibra de coco natural (100%).

En la Tabla 3.15 se presentan los datos de la producción acumulada en el período de 7 semanas corte, los cuales son consecuencia de los resultados observados en las tablas anteriores. De acuerdo al análisis de estos resultados en la prueba de Duncan $\alpha = 0.05$, se observa que los materiales mencionados en la tabla anterior como los mas productivos compiten muy bien con el material control, T (con cal). Con la Fibra de coco natural (100%) se obtuvieron las producciones más bajas, y las altas desviaciones estándar en algunas semanas indican que las unidades experimentales de este material presentaron producciones muy heterogéneas. Los materiales restantes presentaron una mayor homogeneidad en cuanto a la productividad de sus 12 unidades experimentales, ya que las desviaciones estándar calculadas fueron menores que las medias aritméticas. Las producciones más bajas se presentaron con la Fibra de coco natural (100%), la T (con carbonato), Tierra (con carbonato) +Fibra de coco natural (50:50) y Fibra de coco natural+Cascarilla entera (50:50), las cuales se clasifican entre los dos grupos de menor producción.

TABLA 3.13: ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN SEMANAL DE CHAMPIÑÓN CON LOS DIFERENTES MATERIALES DE COBERTURA DE ACUERDO A LA PRUEBA DE DUNCAN

MATERIALES DE COBERTURA	PRODUCCIÓN SEMANAL DE CHAMPIÑÓN (g hongo fresco/35 kg composta Fase II) SEMANAS DE PRODUCCIÓN						
	1	2	3	4	5	6	7
TI CON CALI	295 ± 55 bc	428 ± 163 cd	473 ± 245 d	272 ± 222 b	121 ± 116 a	176 ± 140 b	111 ± 134 a
TI CON CARBONATO	223 ± 45 d	288 ± 41 d	145 ± 135 c	95 ± 155 bc	37 ± 43 ab	42 ± 51 ab	13 ± 25 a
FIBRA NATURAL 100	58 ± 44 a	77 ± 72 a	77 ± 139 a	91 ± 155 a	42 ± 85 a	25 ± 37 a	58 ± 103 a
TIERRA+FIBRA NATURAL 50:50	263 ± 79 b	359 ± 115 b	240 ± 349 b	84 ± 112 a	41 ± 72 a	32 ± 58 a	28 ± 38 a
TIERRA+FIBRA NATURAL 25:75	482 ± 54 c	832 ± 180 d	304 ± 173 b	177 ± 104 a	167 ± 115 a	193 ± 147 a	179 ± 142 a
TIERRA+CASCARILLA ENTERA 50:50	511 ± 133 d	724 ± 267 c	528 ± 462 b	151 ± 198 a	133 ± 151 a	131 ± 158 a	67 ± 76 a
TIERRA+CASCARILLA ENTERA 25:75	411 ± 59 b	572 ± 147 c	368 ± 378 b	160 ± 149 a	91 ± 85 a	29 ± 39 a	68 ± 78 a
FIBRA NATURAL+CASCARILLA ENTERA 50:50	188 ± 20 c	212 ± 19 c	216 ± 114 c	173 ± 174 bc	79 ± 118 ab	76 ± 76 ab	67 ± 60 a
TIERRA+CASCARILLA MOLIDA 25:75	488 ± 54 b	774 ± 39 c	453 ± 221 b	129 ± 100 a	131 ± 134 a	75 ± 57 a	51 ± 65 a

Letras iguales para un mismo material de cobertura indican que no existe diferencia significativa en la producción de una semana a otra para un alfa=0.05

TABLA 3.14: ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN SEMANAL DE CHAMPIÑÓN PARA CADA SEMANA DE CORTE DE DUNCAN*

ACUERDO A LA PRUEBA DE

MATERIALES DE COBERTURA	PRODUCCIÓN SEMANAL DE CHAMPIÑÓN (g de hongo fresco / 35 kg composta Fase II) SEMANAS DE PRODUCCIÓN						
	1	2	3	4	5	6	7
T (CON CAL)	295±55 d	428±163 d	473±245 de	272±222 b	121±116 a-c	176±140 c	111±134 bc
T (CON CARBÓN ACTIVADO)	223±45 b	288±41 bc	145±135 ab	95±155 a	37±43 a	42±51 a	13±25 a
FIBRA NATURAL 100	49±44 a	77±72 a	77±139 a	91±155 a	42±85 a	25±37 a	58±103 ab
TIERRA+FIBRA NATURAL 50:50	262±79 cd	359±115 cd	248±349 a-c	84±112 a	41±72 a	32±58 a	20±38 a
TIERRA+FIBRA NATURAL 25:75	482±54 f	832±100 g	304±173 a-e	172±104 ab	167±115 c	193±147 c	179±142 c
TIERRA+CASCARILLA ENTERA 50:50	511±133 f	724±267 f	528±462 e	191±198 ab	133±151 bc	131±158 bc	67±76 ab
TIERRA+CASCARILLA ENTERA 25:75	411±59 e	572±147 e	368±378 b-e	168±149 ab	91±85 a-c	29±39 ab	68±78 ab
FIBRA NATURAL+CASCARILLA ENTERA 50:50	188±20 b	212±19 b	216±114 a-c	173±174 ab	79±118 ab	76±76 ab	67±60 ab
TIERRA+CASCARILLA MOLIDA 25:75	488±54 f	774±39 f	453±221 c-e	129±100 a	131±134 bc	75±57 a	51±65 ab

* Letras iguales para una misma semana de corte indican que no existe diferencia significativa en la producción para un $\alpha=0.05$.

TABLA 3.15: ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN ACUMULADA DE CHAMPIÑÓN CON LOS DIFERENTES MATERIALES DE COBERTURA DE ACUERDO A LA PRUEBA DE DUNCAN *

MATERIALES DE COBERTURA	PRODUCCIÓN ACUMULADA DE CHAMPIÑÓN (g hongo fresco/35 kg composta Fase II) SEMANAS DE PRODUCCIÓN						
	1	2	3	4	5	6	7
TIERRA CALI	295 ± 55 d	724 ± 178 d	119 ± 250 c	1469 ± 409 c	1590 ± 492 c	1766 ± 577 cd	1877 ± 631 cd
TIERRA CARGUATU	223 ± 45 bc	511 ± 85 bc	657 ± 199 b	752 ± 305 b	789 ± 318 b	831 ± 355 b	844 ± 363 ab
FIBRA NATURAL 100	50 ± 44 a	127 ± 116 a	204 ± 226 a	295 ± 370 a	337 ± 451 a	361 ± 478 a	411 ± 572 a
TIERRA + FIBRA NATURAL 50:50	263 ± 79 cd	627 ± 185 cd	862 ± 466 b	946 ± 549 b	987 ± 679 b	1019 ± 631 b	1039 ± 659 b
TIERRA + FIBRA NATURAL 25:75	482 ± 54 f	1314 ± 46 f	1618 ± 178 de	1790 ± 240 c-e	1957 ± 305 cd	2150 ± 359 de	2379 ± 417 d
TIERRA + CASCARILLA ENTERA 50:50	511 ± 133 f	1235 ± 400 f	1754 ± 587 c	788 ± 357 b	867 ± 425 b	2299 ± 787 e	2276 ± 801 d
TIERRA + CASCARILLA ENTERA 25:75	411 ± 59 e	982 ± 206 e	1351 ± 495 cd	1511 ± 601 cd	1602 ± 619 c	1631 ± 622 c	1691 ± 609 c
FIBRA NATURAL + CASCARILLA ENTERA 50:50	188 ± 20 b	400 ± 24 b	616 ± 203 b	788 ± 357 b	867 ± 425 b	944 ± 429 b	1011 ± 468 b
TIERRA + CASCARILLA MOLIDA 25:75	480 ± 54 f	1254 ± 89 f	1707 ± 207 e	1837 ± 254 de	1968 ± 334 cd	2043 ± 351 c-e	2094 ± 399 cd

* Letras iguales para una misma semana de corte indica que no existe diferencia significativa en la producción de una semana a otra para un $\alpha=0.05$

En la Tabla 3.16 se muestran los pesos promedio de los hongos cosechados en los diferentes materiales de cobertura. Los esporóforos de menor peso se obtuvieron en la T (con cal), la T (con carbonato) y la Tierra (con carbonato) +Fibra de coco natural (50:50). Aparentemente no existe una correlación entre este parámetro y la producción de hongos (g/semana) ya que, aunque en la T (con carbonato) se conjuntaron los hongos de menor peso y una baja cantidad, en la T (con cal) y la Tierra (con carbonato) +Fibra de coco natural (50:50) se obtuvieron altas cantidades de hongos pero también de bajo peso. Por otro lado, se observa que la Fibra de coco natural (100%) y la Fibra de coco natural+Casarilla entera (50:50) produjeron hongos pesados pero en poca cantidad. En los materiales restantes se obtienen hongos pesados y en cantidades altas.

Sobre esta parte del experimento es interesante señalar como en los materiales consistentes en tierra se produjeron hongos ligeros pero en una gran cantidad, mientras que si bien en los residuos agroindustriales se obtuvieron hongos pesados, estos se cosecharon en una cantidad menor. En las mezclas se produjeron hongos pesados y en gran cantidad, con excepción de los hongos de la Tierra (con carbonato) +Fibra de coco natural (50:50). Así pues, los hongos más pesados los producen los materiales que tienen las más bajas producciones, como son la Fibra de coco natural (100%) y Fibra de coco natural+Casarilla entera (50:50). Se ha reportado en la literatura que los materiales con bajas producciones, presentan hongos muy pesados, lo cuál se reafirma con este primer experimento de producción.

Se puede concluir entonces de acuerdo a los resultados de este experimento, que las semanas de mayor producción de cuerpos fructíferos fueron la segunda y la tercera, mientras que en las restantes se presentó una disminución considerable en las productividades de todos los materiales de cobertura. Los materiales con las mayores producciones acumuladas fueron la T (con cal) la Tierra (con carbonato) +Fibra de coco natural (25:75), la Tierra (con carbonato) +Casarilla entera (50:50), la Tierra (con carbonato) +Casarilla entera (25:75) y la Tierra (con carbonato) +Casarilla molida (25:75). Esos materiales presentaron también producciones semanales parecidas, lo que quiere decir que existe un desarrollo en producción muy similar, aun cuando el peso promedio de los hongos producidos por la T (con cal) sea menor con respecto a los otros

TABLA 3.16: PESO PROMEDIO (g) DE HONGOS PRODUCIDOS CON LOS DIFERENTES MATERIALES DE COBERTURA EN EL EXPERIMENTO 1

MATERIALES DE COBERTURA	PESO PROMEDIO (g)
T (CON CAL)	11.54 a
T (CON CARBONATO)	11.77 a
FIBRA NATURAL 100	17.03 b
TIERRA+FIBRA NATURAL 50:50	14.70 a
TIERRA+FIBRA NATURAL 25:75	14.53 ab
TIERRA+CASCARILLA ENTERA 50:50	15.15 ab
TIERRA+CASCARILLA ENTERA 25:75	13.79 ab
FIBRA NATURAL+CASCARILLA ENTERA 50:50	16.9 b
TIERRA+CASCARILLA MOLIDA 25:75	15.00 ab

Nota Letras iguales indican que no existe diferencia significativa de acuerdo a la Prueba de Duncan para $\alpha=0.05$

materiales, es decir la presencia de los residuos lignocelulósicos provocó un aumento en el peso de los esporóforos cosechados en las diferentes mezclas .

Se planteó la realización de un segundo experimento de producción para evaluar nuevamente algunos materiales que presentaron buenas producciones en el experimento previo, añadiendo algunas modificaciones a las formulaciones con un mayor potencial. En función de los resultados obtenidos, se presentaba interesante evaluar una eventual correlación entre la productividad y algún factor fisicoquímico de la cobertura, particularmente el pH y la conductividad eléctrica.

3.3 EXPERIMENTO 2. EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE CHAMPIÑÓN CON DIFERENTES MATERIALES DE COBERTURA A NIVEL COMERCIAL

En la Tabla 3.17 se presenta una relación de los materiales de cobertura empleados en el siguiente experimento. Con la finalidad de disminuir al máximo la cantidad de tierra utilizada en la preparación de los materiales, se optó por emplear una menor cantidad de ésta en estas formulaciones, aumentando así la proporción del subproducto lignocelulósico.

Además de registrar las producciones de cuerpos fructíferos se tomaron muestras de cada material de cobertura para realizar análisis de pH y conductividad eléctrica, que como ya se indicó, nos permitirían detectar alguna probable relación entre ellos y la productividad.

Se planteó un diseño estadístico para evaluar diferentes aspectos en función de la experiencia obtenida con el experimento anterior. Para ello se propuso evaluar la existencia de interacciones que indicaran la asociación de determinados valores de pH o de conductividad eléctrica con ciertos materiales de cobertura o el estado de avance de la producción (semanas de corte). Las interacciones evaluadas fueron:

TABLA 3.17: MATERIALES DE COBERTURA EMPLEADOS EN EL EXPERIMENTO 2

MATERIAL DE COBERTURA	
T (CON CAL)	
T (CON CARBONATO)	
TIERRA+FIBRA NATURAL	[25 : 75]
TIERRA+FIBRA NATURAL	[15 : 85]
TIERRA +CASCARILLA ENTERA	[25 : 75]
TIERRA +CASCARILLA ENTERA	[15 : 85]
TIERRA+CASCARILLA MOLIDA	[25 : 75]
TIERRA+CASCARILLA MOLIDA	[15 : 85]
TIERRA+CASCARILLA MOLIDA	[50 : 50]
TIERRA AL DOBLE DE CARBONATO+FIBRA NATURAL	[25 : 75]

material de cobertura vs semana de corte
material de cobertura vs pH
material de cobertura vs CE
semana de corte vs pH
semana de corte vs CE
pH vs CE

De la misma forma se evaluaron las siguientes correlaciones para determinar si en ciertos valores de pH o de conductividad eléctrica se obtendrían las producciones más altas de hongos:

pH vs Productividad
CE vs Productividad

Debido al diseño estadístico empleado, diferente al experimento anterior, en este caso se requirió analizar los resultados de forma global, por lo que se aplicó la prueba de Duncan para un $\alpha = 0.05$, considerando el total de los resultados obtenidos con todos los materiales de cobertura y durante las 7 semanas de corte.

En la Tabla 3.18 se analiza la productividad semanal de los distintos materiales de cobertura. De manera semejante al experimento número 1, en la mayoría de los materiales se obtuvieron las mejores producciones durante las semanas 2 y 3. sin embargo, existen algunos que presentaron niveles altos de productividad a lo largo de las 7 semanas de corte como fueron los casos de la Tierra (con carbonato) +Cascarilla entera (25:75), la Tierra (con carbonato) + Cascarilla molida (15:85) y la Tierra (con carbonato) +Cascarilla molida (50:50). Esto significa que con estos materiales de cobertura se obtuvieron altas cantidades de hongos durante todo el período de corte, repercutiendo en beneficios a nivel comercial, ya que permite una producción más estable. Con estos 3 materiales se observó un máximo de producción en las primeras semanas, un ligero descenso en la semana 5 y nuevamente un aumento en las producciones a partir de la semana 6 y 7, a diferencia de la Tierra (con cal), la Tierra (con carbonato) y el resto de los materiales, que presentaron una producción máxima hasta la semana 3 y después un marcado descenso de productividad.

En el análisis estadístico de la producción acumulada (Tabla 3.19) se ve reflejado parcialmente el efecto mencionado con anterioridad. Se observaron producciones mayores

TABLA 3.18: ANÁLISIS GLOBAL DE LAS PRODUCCIONES SEMANALES DE CHAMPIÑÓN CON LOS DIFERENTES MATERIALES DE COBERTURA DE ACUERDO A LA PRUEBA DE DUNCAN *

MATERIALES DE COBERTURA	PRODUCCIÓN SEMANAL DE CHAMPIÑÓN										
	(g de hongo fresco/35 kg de composta Fase II)										
	SEMANAS DE PRODUCCIÓN										
	1	2	3	4	5	6	7				
T (CON CAL)	194 ± 156 a-l	398 ± 299 l-o	354 ± 216 l-o	265 ± 174 c-o	200 ± 121 a-j	149 ± 131 a-l	117 ± 83 a-d				
T (CON CARBONATO)	198 ± 239 a-j	390 ± 308 k-o	255 ± 171 b-m	226 ± 144 a-l	190 ± 184 a-i	162 ± 112 a-g	110 ± 94 a-c				
TIERRA+FIBRA NATURAL 25:75	240 ± 144 a-m	372 ± 167 j-o	439 ± 288 no	342 ± 231 b-o	119 ± 99 a-d	193 ± 144 a-i	112 ± 83 a-l				
TIERRA+FIBRA NATURAL 15:85	251 ± 208 a-m	409 ± 346 m-o	309 ± 212 l-o	210 ± 173 a-j	171 ± 141 a-h	202 ± 145 a-j	137 ± 135 a-l				
TIERRA+CASCARILLA ENTERA 25:75	77 ± 136 a	171 ± 197 a-h	222 ± 267 a-k	240 ± 169 a-m	162 ± 100 a-g	227 ± 198 a-l	221 ± 205 a-k				
TIERRA+CASCARILLA ENTERA 15:85	89 ± 162 ab	272 ± 214 c-o	365 ± 321 l-o	255 ± 145 b-m	242 ± 161 a-m	196 ± 181 a-l	161 ± 160 a-g				
TIERRA+CASCARILLAMOLIDA 25:75	126 ± 217 a-d	271 ± 226 c-o	216 ± 193 a-k	246 ± 220 a-m	127 ± 118 a-c	149 ± 167 a-l	104 ± 118 a-c				
TIERRA+CASCARILLAMOLIDA 15:85	128 ± 143 a-c	351 ± 192 i-o	325 ± 247 g-o	225 ± 93 a-l	197 ± 182 a-j	193 ± 118 a-l	208 ± 157 a-l				
TIERRA+CASCARILLAMOLIDA 50:50	202 ± 192 a-l	285 ± 186 d-o	439 ± 334 o	234 ± 209 g-o	202 ± 128 a-l	302 ± 163 c-o	342 ± 229 h-e				
TIERRA AL DOBLE DE CARBONATO+FIBRA NATURAL 25:75	236 ± 173 a-m	388 ± 325 k-o	264 ± 166 c-n	246 ± 156 a-m	158 ± 104 a-g	115 ± 106 a-d	79 ± 83 ab				

* Letras iguales en cualquiera de los materiales de cobertura indican que no existe diferencia significativa en la producción para un $\alpha=0.05$

TABLA 3.19: ANÁLISIS DE LAS PRODUCCIONES ACUMULADAS DE CHAMPIÑÓN CON LOS DIFERENTES MATERIALES DE COBERTURA DE ACUERDO A LA PRUEBA DE DUNCAN *

MATERIALES DE COBERTURA	PRODUCCIÓN ACUMULADA DE CHAMPIÑÓN													
	(g hongo fresco/ 35 kg composta Fase II)													
	SEMANAS DE PRODUCCIÓN													
	1	2	3	4	5	6	7							
T (CON CAL)	194 ± 159	c	592 ± 375	gh	946 ± 542	n	1211 ± 653	u	1411 ± 739	A	1560 ± 825	EF	1676 ± 886	H
T (CON CARBONATO)	198 ± 239	c	588 ± 489	gh	843 ± 559	l	1069 ± 635	q	1253 ± 716	w	1421 ± 793	A	1531 ± 845	DE
TIERRA+FIBRA NATURAL 25:75	240 ± 144	d	611 ± 243	gh	1050 ± 421	pq	1392 ± 609	A	1510 ± 646	CD	1703 ± 678	H	1820 ± 748	J
TIERRA+FIBRA NATURAL 15:85	251 ± 208	d	661 ± 515	i	970 ± 635	o	1180 ± 673	t	1350 ± 739	z	1552 ± 863	EF	1689 ± 974	H
TIERRA+CASCARILLA ENTERA 25:75	77 ± 136	a	249 ± 271	d	471 ± 521	f	711 ± 575	j	872 ± 618	lm	1099 ± 713	r	1321 ± 797	y
TIERRA+CASCARILLA ENTERA 15:85	87 ± 162	a	360 ± 281	d	725 ± 562	j	980 ± 599	ū	1221 ± 643	uv	1417 ± 763	A	1578 ± 794	F
TIERRA+CASCARILLAMOLIDA 25:75	126 ± 217	b	397 ± 369	e	613 ± 528	gh	859 ± 735	lm	986 ± 807	o	1135 ± 936	s	1239 ± 1018	u-w
TIERRA+CASCARILLAMOLIDA 15:85	128 ± 143	b	480 ± 170	f	805 ± 355	k	1029 ± 391	p	1226 ± 487	uv	1419 ± 540	A	1627 ± 611	G
TIERRA+CASCARILLAMOLIDA 50:50	202 ± 192	c	487 ± 279	f	926 ± 587	n	1250 ± 751	vw	1453 ± 796	B	1755 ± 879	I	2096 ± 947	K
TIERRA AL DOBLE DE CARBONATO+FIBRA NATURAL 25:75	236 ± 172	d	624 ± 483	h	888 ± 579	m	1134 ± 676	s	1292 ± 741	x	1407 ± 822	A	1486 ± 880	C

* Letras iguales en los materiales de cobertura indican que no existe diferencia significativa en la producción para un $\alpha=0.05$

con la T (con carbonato) + Fibra de coco natural (25:75) y T (con carbonato) + Cascarilla molida (50:50) mientras que la Tierra (con cal) presenta producciones de hongos estadísticamente menores que la Tierra (con carbonato) +Fibra de coco natural (15:85). De los 3 materiales mencionados, dos de ellos están formulados con Fibra de coco natural y bajas proporciones de tierra, por lo que presentan un gran potencial para su empleo a nivel comercial de acuerdo al objetivo planteado inicialmente de disminuir al máximo el uso de la tierra negra.

No obstante que la Tierra (con carbonato) +Cascarilla molida (50:50) es el material que presentó la máxima producción de hongos, en los otros materiales formulados a partir de cascarilla molida Tierra (con carbonato) +Cascarilla molida (15:85) y Tierra (con carbonato) +Cascarilla molida (25:75) se obtuvo una buena producción al emplear 85% de Cascarilla molida, pero la mas baja de todo el experimento al emplear 75%, por lo que no es posible con estos resultados plantear una correlación entre la productividad y la proporción de cascarilla molida.

Por otra parte, al analizar las diferencias entre la Tierra (con carbonato) +Fibra de coco natural (25:75) y la Tierra(al doble de carbonato)+Fibra de coco natural (25:75) que contenía el doble de carbonato de calcio con respecto al resto de las formulaciones, se observó una disminución en la productividad al aumentar la cantidad de neutralizante. De este resultado podemos concluir que la cantidad de carbonato empleada originalmente es adecuada, al menos para este material de cobertura. Sin embargo, sería conveniente en un trabajo posterior disminuir la proporción de carbonato de calcio para determinar si con menores cantidades de éste, se obtienen producciones semejantes a las de este experimento.

Los valores de pH en los materiales de cobertura durante la etapa de producción se presentan en la Tabla 3.20. Se observa que el pH al final de la primer semana de producción tiende a ser mucho menor respecto al pH de material al momento del tapado (tiempo 0). El caso de la Tierra (con cal) es el más claro, donde el pH disminuyó de 9.2 a 7.87. En la primer semana el pH de todos los materiales bajo a niveles de entre 7.45 y 7.87, lo que se puede explicar por el efecto del crecimiento del micelio y la correspondiente secreción de ácidos orgánicos, producto de su metabolismo.

TABLA 3.20 : ANÁLISIS GLOBAL DE LOS VALORES DE pH DURANTE EL PERÍODO DE PRODUCCIÓN DE CHAMPIÑÓN DE ACUERDO A LA PRUEBA DE DUNCAN *

MATERIALES DE COBERTURA	SEMANAS DE PRODUCCIÓN									
	0	1	2	3	4	5	6	7		
TICON CALI	9.20 ± 0.19 e	7.87 ± 0.03 t-v	7.90 ± 0.06 uv	7.91 ± 0.03 v	7.81 ± 0.06 q-v	7.76 ± 0.01 q-u	7.90 ± 0.02 uv	7.81 ± 0.04 q-v		
TICON CARBONATO	8.04 ± 0.07 c	7.61 ± 0.02 e-m	7.69 ± 0.01 l-q	7.66 ± 0.01 g-p	7.71 ± 0.04 l-r	7.63 ± 0.03 f-o	7.60 ± 0.11 e-l	7.65 ± 0.06 f-p		
TIERRA+FIBRA NATURAL 25:75	7.96 ± 0.04 c	7.55 ± 0.09 a-h	7.69 ± 0.12 i-q	7.66 ± 0.04 g-p	7.72 ± 0.09 k-s	7.58 ± 0.05 c-j	7.94 ± 0.02 v	7.75 ± 0.04 n-t		
TIERRA+FIBRA NATURAL 15:85	7.98 ± 0.01 c	7.52 ± 0.04 a-f	7.64 ± 0.07 f-p	7.56 ± 0.09 a-i	7.66 ± 0.07 g-q	7.61 ± 0.01 e-m	7.81 ± 0.04 q-v	7.55 ± 0.08 a-h		
TIERRA+CASCARILLA ENTERA 25:75	7.79 ± 0.11 b	7.57 ± 0.01 b-l	7.63 ± 0.08 f-o	7.54 ± 0.11 a-h	7.61 ± 0.05 e-m	7.53 ± 0.01 a-g	7.73 ± 0.01 l-s	7.52 ± 0.07 a-f		
TIERRA+CASCARILLA ENTERA 15:85	7.69 ± 0.03 ab	7.43 ± 0.06 a	7.60 ± 0.04 e-l	7.59 ± 0.02 d-k	7.58 ± 0.06 c-j	7.49 ± 0.01 a-e	7.74 ± 0.17 m-l	7.58 ± 0.04 c-j		
TIERRA+CASCARILLAMOLIDA 25:75	7.72 ± 0.09 ab	7.45 ± 0.07 a-c	7.61 ± 0.07 e-m	7.49 ± 0.03 a-c	7.49 ± 0.07 a-e	7.45 ± 0.03 a-c	7.81 ± 0.08 q-v	7.44 ± 0.06 ab		
TIERRA+CASCARILLAMOLIDA 15:85	7.62 ± 0.01 a	7.45 ± 0.05 a-c	7.75 ± 0.10 n-t	7.65 ± 0.10 f-p	7.60 ± 0.06 e-l	7.59 ± 0.04 d-k	7.77 ± 0.02 p-u	7.62 ± 0.06 e-n		
TIERRA+CASCARILLAMOLIDA 50:50	8.67 ± 0.06 d	7.49 ± 0.04 a-e	7.57 ± 0.07 b-l	7.49 ± 0.09 a-f	7.62 ± 0.05 e-n	7.46 ± 0.03 a-d	7.84 ± 0.06 r-v	7.65 ± 0.09 f-p		
TIERRA AL DOBLE DE CARBONATO+FIBRA NATURAL 25:75	8.01 ± 0.01 c	7.67 ± 0.09 b-p	7.85 ± 0.06 s-v	7.77 ± 0.06 p-u	7.71 ± 0.06 l-r	7.67 ± 0.06 h-p	7.90 ± 0.08 uv	7.73 ± 0.04 l-s		

* Letras iguales indican que no existe diferencia significativa para un $\alpha=0.05$

Durante el período de cosecha, sin embargo, las diferencias observadas se encuentran en rangos muy pequeños ubicándose los valores entre 7.43 y 7.91. Esto es probablemente resultado de la capacidad del carbonato de calcio que evita que el pH siga disminuyendo a consecuencia de los productos metabólicos del micelio, ó bien por el aumento de la concentración de sales en la cobertura, producto de la evaporación de agua y el consiguiente transporte de estas desde la composta.

De acuerdo al análisis estadístico, no existe correlación alguna entre los niveles de pH y las productividades obtenidas, lo que indica que bajo estos rangos de pH este parámetro no influye sobre la producción de hongos. Asimismo, no se presentó alguna interacción entre los materiales de cobertura y un valor de pH determinado.

La conductividad eléctrica fue el otro factor analizado en los materiales de cobertura, durante el período de producción, estos resultados se observan en la Tabla 3.21. Con excepción de la Tierra (con carbonato) +Cascarilla molida (50:50), en el resto de los materiales de cobertura se presentó un incremento de los valores de conductividad (expresado en mmhos/cm) con respecto a los valores presentados al momento de aplicar la cobertura (tiempo 0). Los valores de las conductividades varían en un rango más amplio que en el caso del pH, ya que existen datos de 0.34 hasta 4.25 mmhos/cm. Sin embargo, el análisis estadístico señaló que no existe una correlación entre los niveles de conductividad y las producciones obtenidas. Similarmente como se observó para el caso del pH, dentro de los niveles manejados de este parámetro no se encontró algún tipo de repercusión sobre las productividades de los diferentes materiales de cobertura. Tampoco se encontró interacción alguna con respecto a las diferentes coberturas, es decir, los valores de conductividad no están asociados a un material en específico ó a una cierta etapa de producción ó semana de corte.

Los pesos promedio de éste segundo experimento se indican en la Tabla 3.22. A diferencia del experimento anterior, en éste caso no existe una diferencia significativa entre los pesos promedio de los hongos cosechados en los diferentes materiales de cobertura evaluados. Dado que la conductividad eléctrica no presentó algún efecto sobre la producción es posible decir que tampoco influye sobre el peso de los esporóforos cosechados, es decir, las diferencias de producción se deben a la cantidad de cuerpos fructíferos producidos y no a que en algunos materiales se cosecharon hongos más pesados que en otros.

TABLA 3.21: ANÁLISIS GLOBAL DE LOS VALORES DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (mmhos cm⁻¹) DURANTE EL PERÍODO DE PRODUCCIÓN DE CHAMPIÑÓN DE ACUERDO A LA PRUEBA DE DUNCAN.*

MATERIALES DE COBERTURA	SEMANAS DE PRODUCCIÓN													
	0	1	2	3	4	5	6	7						
TIERRA CALI	0.5 ± 0.03 ab	1.00 ± 0.21 d-e	2.22 ± 0.28 l-r	1.75 ± 0.1 d-o	2.15 ± 0.55 h-r	1.88 ± 0.17 e-p	3.04 ± 0.2 r-y	3.79 ± 0.08 yz						
TIERRA CARBONATO	0.3 ± 0.01 a	1.48 ± 0.21 b-j	1.57 ± 1.14 b-k	1.64 ± 0.06 b-l	1.77 ± 0.06 d-o	1.64 ± 0.22 b-l	3.40 ± 0.37 u-y	3.57 ± 0.03 w-z						
TIERRA-FIBRA NATURAL 25:75	1.29 ± 0.11 ab	2.69 ± 1.31 p-v	3.12 ± 0.95 s-y	2.73 ± 0.79 p-w	2.66 ± 0.08 a-v	3.15 ± 0.34 s-y	1.91 ± 0.27 e-p	3.51 ± 0.26 v-z						
TIERRA-FIBRA NATURAL 15:85	1.45 ± 0.37 ab	3.13 ± 2.04 s-y	2.08 ± 0.94 g-q	2.57 ± 1.07 m-u	2.15 ± 0.88 h-r	2.94 ± 0.47 q-y	3.31 ± 0.63 t-y	4.25 ± 0.15 zA						
TIERRA-CASCARILLA ENTERA 25:75	1.55 ± 2.08 b	1.30 ± 0.28 b-l	0.01 ± 0.14 a-c	0.76 ± 0.34 ab	0.01 ± 0.35 a-c	0.92 ± 0.06 a-d	1.07 ± 0.42 a-e	2.36 ± 0.4 j-s						
TIERRA-CASCARILLA ENTERA 15:85	0.40 ± 0.03 ab	1.73 ± 0.23 d-n	0.34 ± 0.18 a	0.95 ± 0.61 a-d	1.32 ± 0.41 b-l	1.28 ± 0.13 a-g	1.05 ± 0.29 a-e	1.34 ± 0.07 b-l						
TIERRA-CASCARILLAMOLIDA 25:75	0.42 ± 0.05 ab	1.13 ± 0.08 a-f	1.08 ± 0.06 a-e	1.45 ± 0.1 b-j	1.28 ± 0.01 a-h	1.46 ± 0.13 b-j	1.72 ± 0.2 c-n	1.67 ± 0.01 b-m						
TIERRA-CASCARILLAMOLIDA 15:85	0.46 ± 0.01 ab	1.07 ± 0.07 a-e	0.93 ± 0.15 a-d	1.14 ± 0.06 a-f	1.76 ± 0.03 d-o	1.05 ± 0.16 a-e	1.06 ± 0.08 a-e	1.98 ± 0.03 f-p						
TIERRA-CASCARILLAMOLIDA 50:50	1.47 ± 0.06 b	1.25 ± 0.03 a-h	1.29 ± 0.10 b-h	1.14 ± 0.03 a-f	1.37 ± 0.1 b-l	0.95 ± 0.02 a-d	1.07 ± 0.04 a-e	1.53 ± 0.34 b-j						
TIERRA AL DOBLE DE CARBONATO-FIBRA NATURAL 25:75	1.20 ± 0.25 ab	4.76 ± 0.75 A	2.06 ± 0.46 p-x	2.63 ± 0.39 n-v	3.39 ± 0.32 u-y	2.49 ± 0.17 i-t	2.47 ± 0.21 k-t	3.72 ± 0.13 x-z						

* Letras iguales indican que no existe diferencia significativa para un $\alpha=0.05$

TABLA 3.22: PESO PROMEDIO (g) DE HONGOS PRODUCIDOS CON LOS DIFERENTES MATERIALES DE COBERTURA DURANTE EL EXPERIMENTO 2

MATERIALES DE COBERTURA	PESO PROMEDIO (g)
T (CON CAL)	19.53
T (CON CARBONATO)	22.19
TIERRA+FIBRA NATURAL 25:75	19.29
TIERRA+FIBRA NATURAL 15:85	19.7
TIERRA+CASCARILLA ENTERA 25:75	22.26
TIERRA+CASCARILLA ENTERA 15:85	19.67
TIERRA+CASCARILLA MOLIDA 25:75	19.78
TIERRA+CASCARILLA MOLIDA 15:85	20.41
TIERRA+CASCARILLA MOLIDA 50:50	20.49
TIERRA AL DOBLE DE CARBONATO+FIBRA NATURAL 25:75	20.73

No existe diferencia significativa entre los pesos de los hongos de los materiales evaluados

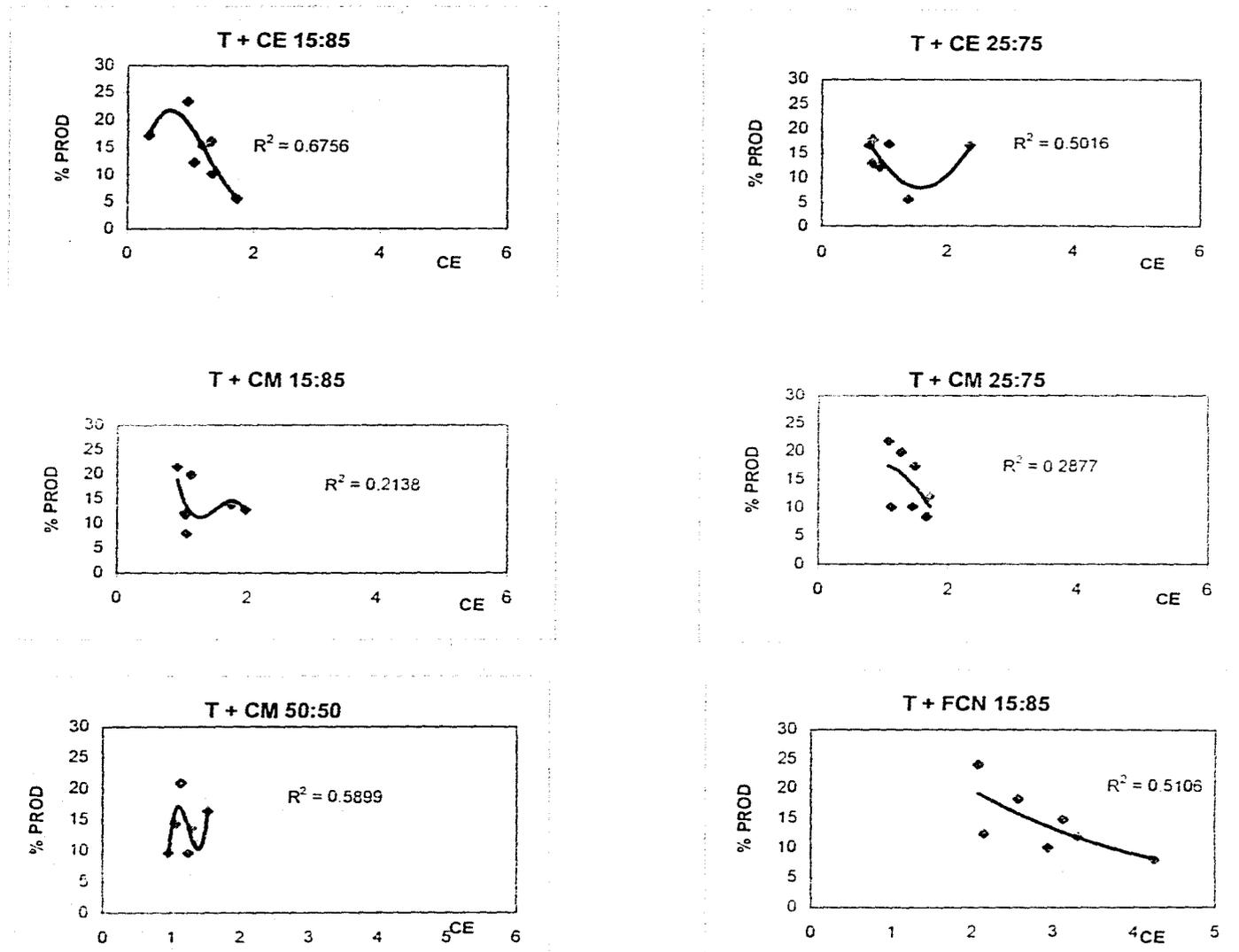
Debido a que entre la conductividad eléctrica y la productividad no se encontró una correlación lineal, se consideró adecuado buscar una eventual correlación de estos parámetros a través de polinomios de orden superior (2,3,4... etc orden). Con el objetivo de estandarizar las productividades de las diferentes coberturas, se decidió expresarlas como una producción semanal porcentual. Por ello la producción total acumulada se consideró como el 100% y con base en esta cantidad se obtuvo el porcentaje que representaba la producción de cada semana para cada material de cobertura. Este valor se graficó con la conductividad correspondiente a esa semana de corte. Se realizaron pruebas de análisis de tendencias con los diferentes polinomios de orden superior para encontrar en cuál se presentaba el valor máximo de coeficiente de correlación (R). Los resultados de este análisis se presentan en la Figura 1.

Como puede observarse, los materiales preparados con cascarilla de arroz, entera ó molida, tienen conductividades que van desde menos de 1 mmhos/cm hasta 2.5 mmhos/cm. Sin embargo, las correlaciones con el porcentaje de productividad son muy bajas.

Los materiales preparados con tierra negra exclusivamente ó bien con diferentes proporciones de fibra de coco natural, presentaron mayores conductividades que los materiales de cascarilla de arroz, obteniéndose valores de 2 a 5 mmhos/cm. Como ya se mencionó, a excepción de la Tierra(al doble de carbonato)+Fibra de coco natural (25:75), en todos los materiales se determinaron correlaciones muy bajas entre conductividad y la producción semanal porcentual.

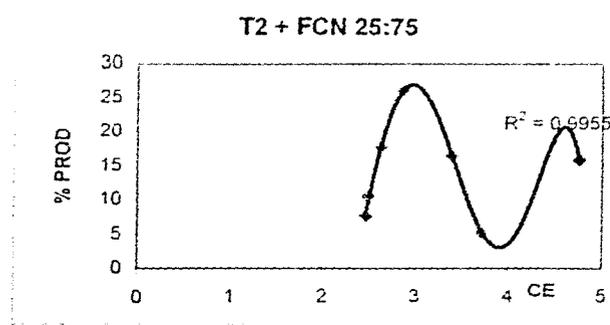
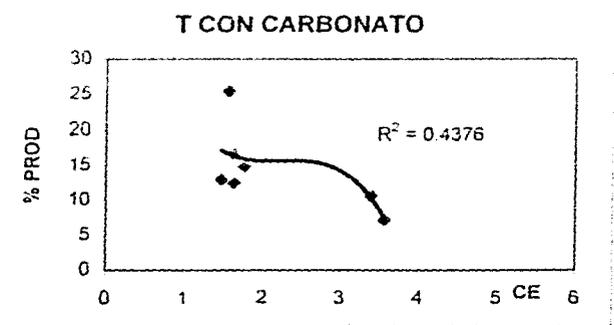
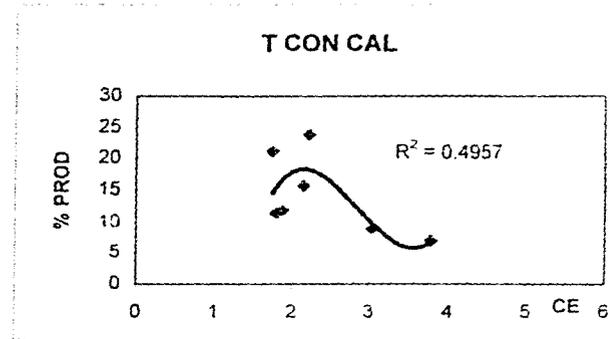
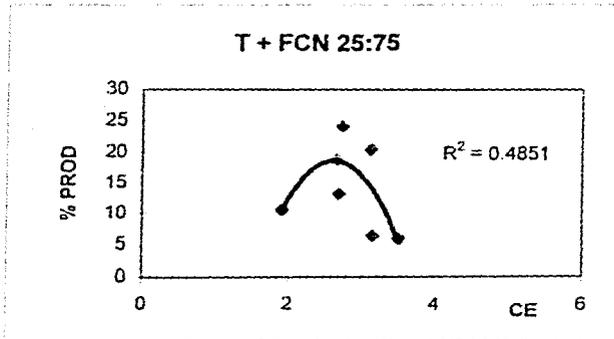
En el caso particular de la Tierra(al doble de carbonato)+Fibra de coco natural (25:75), la gráfica que le corresponde se puede interpretar de la siguiente forma: en la conductividad eléctrica cercana a 3 mmhos/cm se obtiene el mayor porcentaje en productividad del material; pero al aumentar la concentración de sales, se presenta un decremento productivo gradual. Finalmente, el último dato referente a conductividad, y que es mayor a 4 mmhos/cm, es donde puede observarse un nuevo incremento de la producción, lo que puede significar más bien un dato aislado, resultado probablemente de un error de tipo operacional.

FIGURA 1: AJUSTE A UNA ECUACIÓN POLINOMIAL DE SEGUNDO GRADO DE LA PRODUCCIÓN SEMANAL Y LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (mmhos/cm) DE CADA SEMANA DE CORTE PARA LOS DIFERENTES MATERIALES DE COBERTURA.



DATOS OBTENIDOS POR MEDIO DE ANÁLISIS DE LINEAS DE TENDENCIA DE TIPO POLINOMIAL

FIGURA 1: AJUSTE A UNA ECUACIÓN POLINOMIAL DE SEGUNDO GRADO DE LA PRODUCCIÓN SEMANAL Y LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (mmhos/cm) DE CADA SEMANA DE CORTE PARA LOS DIFERENTES MATERIALES DE COBERTURA.



DATOS OBTENIDOS POR MEDIO DE ANÁLISIS DE LINEAS DE TENDENCIA DE TIPO POLINOMIAL

Se decidió que este tipo de análisis se realizara considerando únicamente la producción semanal porcentual con los datos de conductividad, y no los datos de pH, dada la gran similitud de valores de pH que se determinaron para los diferentes materiales de cobertura, lo que dificultaría el encontrar algún tipo de correlación.

Fue posible observar con este tipo de análisis, que en general no existe una asociación significativa de los valores de conductividad eléctrica con la producción, al menos en los materiales de cobertura empleados y bajo las condiciones de trabajo en que se realizó la evaluación

El resumen de valores tanto de la caracterización fisicoquímica así como de la producción de champiñón en las diferentes coberturas se presentan en las Tablas 3.23 y 3.24 para la cascarilla de arroz y en la 3.25 y 3.26 para la fibra de coco. El efecto por la presencia de alguno de los dos residuos agroindustriales al ser mezclados en mezclas volumétricas 50:50 con tierra, fue generalmente favorable en la mayoría de las características fisicoquímicas determinadas. Por otra parte, las pruebas de productividad de champiñón a nivel comercial presentaron algunas diferencias de consideración, como en el caso observado con el material consistente en Tierra (con carbonato) que produjo un 45% de hongos con respecto a la T (con cal) en el experimento no. 1 mientras que en el experimento no. 2 su producción fue del 91 % en relación al control. La cascarilla de arroz molida (Tabla 3.24), en proporción de 25:75, presentó una productividad en el primer experimento del 112% y en el segundo solo del 74%. Por su parte en la fibra de coco natural en proporción 25:75 (Tabla 3.26) se obtuvo una productividad del 127% en el experimento no. 1, mientras que en el experimento no. 2 fue del 109%, aunque mantuvo su mejor nivel con respecto la cobertura control.

Estas observaciones indican que probablemente existió alguna diferencia durante la etapa de preparación del sustrato para ambos experimentos. Las determinaciones de pH y conductividad eléctrica en los materiales de cobertura a lo largo del proceso de cosecha en el experimento no. 2 demostraron que las fluctuaciones entre estos no fueron significativas; por otra parte, las condiciones ambientales de las naves de producción se mantuvieron constantemente estables por lo que se deduce que ninguno de estos dos aspectos, es decir la preparación y manipulación de las coberturas así como el manejo de las condiciones de producción, fueron los factores que generaron las diferencias señaladas, sino que tal vez fue

TABLA 3.23: CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE COBERTURAS FORMULADAS A BASE DE CASCARILLA DE ARROZ

PARÁMETRO	UNIDADES	MATERIALES DE COBERTURA			
		TN	TNP	TNP:CA (50:50)	CA
POROSIDAD	(%)	59.84	61.86	69.9	95.3
TAMANO DE PARTICULA					
2.00 mm		4.26	5.06	9.94	58.01
1.00 mm		6.46	6.92	8.16	38.71
0.50 mm	%	9.32	7.52	7.68	3.06
0.25 mm		36.00	15.28	26.48	0.19
0.10 mm		18.58	14.98	20.18	0
0.05 mm		21.66	48.72	26.06	0
ANÁLISIS TEXTURAL					
ARENA		49.10	45.46	-	-
LIMOS	(%)	34.54	40.00	-	-
ARCILLAS		16.36	14.54	-	-
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD	(cm/h)	5.32	3.37	65.27	184.86
CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA					
DRENADO A CONDICIÓN ATMOSFÉRICA		43.37	42.88	48.42	73.24
CAPACIDAD DE CAMPO	(33 KPa)	53.97	63.57	-	-
PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE	(1500 KPa)	22.10	27.76	-	-
AGUA APROVECHABLE		31.87	35.81	-	-
pH					
POTENCIAL REAL		5.42	7.58	7.43	5.6
REAL		6.21	8.08	8.05	5.84
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA*					
SOBRENADANTE		0.20	0.44	0.43	0.35
SUSPENSIÓN TOTAL	mmbos/cm	0.18	0.49	0.36	0.27
EXTRACTO DE SATURACIÓN		0.33	0.50	0.95	-
CATIONES SOLUBLES					
Na+1	ppm	0.80	6.00	11	0.63
K+1	ppm	1.30	1.70	3.2	27.3
Ca+2	meq/100g	24.00	100	22	0
Mg+2	meq/100g	9.00	100	3.5	0
C/N		11.30	14.00	12.00	82.00
MATERIA ORGÁNICA	(%)	10.15	10.82	11.16	52.09

* SOLUCIÓN 1:3

TN Tierra negra

TNP Tierra preparada

CA Cascarilla de Arroz

TABLA 3.24: PRODUCCIÓN DE CHAMPIÑÓN EN COBERTURAS A BASE DE CASCARILLA DE ARROZ

EXPERIMENTO No 1

MATERIALES DE COBERTURA	PRODUCCIÓN ACUMULADA DE CHAMPIÑÓN (g/35 Kg de composta Fase II)	PRODUCTIVIDAD [%]	PESO UNITARIO DE HONGOS PRODUCIDOS g
T (CON CAL)	1877±631	100	11.54
T (CON CARBONATO)	844±363	45	11.77
TIERRA +CASC ENTERA (50:50)	2276±801	121	15.15
TIERRA +CASC ENTERA (25:75)	1691±609	90	13.79
TIERRA +CASC MOLIDA (25:75)	2094±399	112	15.00

EXPERIMENTO No 2

MATERIALES DE COBERTURA	PRODUCCIÓN ACUMULADA DE CHAMPIÑÓN (g/35 Kg de composta Fase II)	PRODUCTIVIDAD [%]	PESO UNITARIO DE HONGOS PRODUCIDOS g
T (CON CAL)	1676 ± 886	100	19.53
T (CON CARBONATO)	1531 ± 845	91	22.19
TIERRA +CASC ENTERA (25:75)	1321 ± 797	79	22.26
TIERRA +CASC ENTERA (15:85)	1578 ± 794	94	19.67
TIERRA +CASC MOLIDA (25:75)	1239 ± 1018	74	19.78
TIERRA +CASC MOLIDA (15:85)	1627 ± 611	97	20.41
TIERRA +CASC MOLIDA (50:50)	2096 ± 947	125	20.49

TABLA 3.25: CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LOS MATERIALES DE COBERTURA FORMULADOS A BASE DE FIBRA DE COCO

PARÁMETRO	UNIDADES	MATERIALES DE COBERTURA					
		TN	TNP	TNP:FCV (50:50)	FCV	FCN	TNP:FCN (50:50)
POROSIDAD	(%)	59.84	61.86	75.86	89.7	88.6	64.7
TAMANO DE PARTÍCULA							
2.00 mm		4.26	5.06	6.63	11.56	4.5	3.3
1.00 mm		6.46	6.92	7.88	16.44	17.3	6.98
0.50 mm	%	9.32	7.52	10.52	26.81	29.1	10.56
0.25 mm		36.00	15.28	15.19	43.14	24.8	15.86
0.10 mm		18.58	14.98	15.27	0.83	14.20	15.32
0.05 mm		21.66	48.72	42.27	1.19	10.00	47.84
ANÁLISIS TEXTURAL							
ARENA	(%)	49.10	45.46	-	-	-	-
LIMOS		34.54	40.00	-	-	-	-
ARCILLAS		16.36	14.54	-	-	-	-
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD	(cm/h)	5.32	3.37	65.27	102.73		23.31
CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA							
DRENADO A CONDICIÓN ATMOSFÉRICA		43.37	42.88	46.03	78.77	92.9	57.36
CAPACIDAD DE CAMPO	(33 KPa)	53.97	63.57	-	-	-	-
PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE	(1500 KPa)	22.10	27.76	-	-	-	-
AGUA APROVECHABLE		31.87	35.81	-	-	-	-
pH							
POTENCIAL REAL		5.42	7.58	7.62	5.47	5.5	7.42
		6.21	8.08	7.7	6.07	5.92	7.86
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA*							
SOBRENANANTE		0.20	0.44	2.45	2.24	2.16	1.05
SUSPENSIÓN TOTAL	mmhos/cm	0.18	0.49	2.15	2.54	2.14	0.77
EXTRACTO DE SATURACIÓN		0.33	0.50	6.48	-	-	1.83
CATIONES SOLUBLES							
Na+1	ppm	0.80	6.00	7.3	6.45	14.6	3.5
K+1	ppm	1.30	1.70	77.5	127.5	52	4.2
Ca+2	meq/100g	24.00	100	35	0.38	9.25	24
Mg+2	meq/100g	9.00	100	6.5	1.5	1	4.75
C/N		11.30	14.00	17.8	72.3	66.6	18.5
MATERIA ORGÁNICA	(%)	10.15	10.82	17.25	73.08	79.51	17.91

* SOLUCIÓN 1:3
 TN TIERRA NEGRA
 TNP TIERRA PREPARADA
 FCV FIBRA DE VIVERO
 FCN FIBRA NATURAL

TABLA 3.26: PRODUCCIÓN DE CHAMPIÑÓN EN COBERTURAS A BASE DE FIBRA DE COCO NATURAL

EXPERIMENTO No 1

MATERIALES DE COBERTURA	PRODUCCIÓN ACUMULADA DE CHAMPIÑÓN (g/35 Kg de composta Fase II)	PRODUCTIVIDAD [%]	PESO UNITARIO DE HONGOS PRODUCIDOS g
T (CON CAL)	1877±631	100	11.54
T (CON CARBONATO)	844±363	45	11.77
FIBRA NATURAL (100)	411±572	22	17.03
TIERRA+FIBRA NATURAL (50:50)	1039±659	55	14.7
TIERRA+FIBRA NATURAL (25:75)	2379±417	127	14.53

EXPERIMENTO No 2

MATERIALES DE COBERTURA	PRODUCCIÓN ACUMULADA DE CHAMPIÑÓN (g/35 Kg de composta Fase II)	PRODUCTIVIDAD [%]	PESO UNITARIO DE HONGOS PRODUCIDOS g
T (CON CAL)	1676 ± 886	100	19.53
T (CON CARBONATO)	1531 ± 845	91	22.19
TIERRA+FIBRA NATURAL (25:75)	1820 ± 748	109	19.29
TIERRA+FIBRA NATURAL (15:85)	1689 ± 974	101	19.7
TIERRA AL DOBLE DE CARBONATO+FIBRA NATURAL (25:75)	1486 ± 880	89	20.73

ocasionado por alguna variación en las compostas en las que se inoculó el micelio del champiñón. Tomando en cuenta estas aseveraciones se pueden presentar las siguientes conclusiones y propuestas para posteriores trabajos que se realicen bajo condiciones similares a las presentadas en esta investigación.

5. CONCLUSIONES

Los resultados de esta investigación, sin llegar a ser definitivos, permiten establecer una serie de factores que serán de gran utilidad para la realización de trabajos posteriores, correspondientes al desarrollo de materiales de cobertura como sustitutos de la tierra negra, en el proceso de producción del champiñón.

Los parámetros fisicoquímicos determinados inicialmente durante la caracterización de los potenciales sustitutos de la tierra negra, presentaron valores que se encuentran dentro de los niveles que en la literatura se proponen como adecuados para el buen funcionamiento de un material de cobertura. Es por esto que se sugiere considerar de los parámetros evaluados, los 4 siguientes para realizar una evaluación inicial de un material no utilizado a la fecha, a reserva de que se requiera realizar otras pruebas para definir su real potencial como cobertura.

- Porosidad mayor al 60%
- Capacidad de retención de agua mayor a 40%
- pH neutro ó ligeramente básico
- Conductividad eléctrica menor a 4.25 mmhos/cm.

A pesar de que los análisis estadísticos indican que se presentaron diferencias altamente significativas entre los materiales de cobertura empleados durante la etapa de producción a nivel comercial, dichas diferencias, particularmente las del segundo experimento, son muy pequeñas para la mayoría de los materiales empleados por lo que su impacto es mínimo en el contexto de la producción comercial.

En los dos experimentos realizados, las producciones obtenidas con cada material de cobertura evaluado presentaron altas desviaciones estándar, indicando una alta variabilidad entre cada bolsa de sustrato, lo que dificulta el análisis general de los resultados en cuanto a la selección de un material de una productividad más alta que la tierra negra. No obstante, tomando nuevamente en cuenta que las diferencias son de baja consideración en referencia a la productividad de la mayoría de los materiales de cobertura, se puede señalar que al utilizar fibra de coco natural ó cascarilla de arroz, entera ó molida, fue posible sustituir parcialmente a la tierra negra como material de cobertura para el cultivo del champiñón hasta en un 85% en volumen sin que el rendimiento se vea modificado.

Se intentó encontrar una correlación de la evolución de los valores de pH y la conductividad eléctrica en la cobertura durante la fase de producción de cuerpos fructíferos con los niveles de rendimiento. Los valores de pH presentados en los materiales de cobertura durante la fructificación fueron de 7.43 como mínimo y 7.94 como máximo y los de conductividad eléctrica fueron de 0.76 mmhos/cm como mínimo y 4.25 mmhos/cm

como máximo, sin encontrarse algún patrón claro de interacción de estos parámetros con los niveles de productividad del cultivo.

Se augura un amplio potencial para el uso de coberturas con fibra de coco ó cascarilla de arroz; no obstante es necesario que se afinen las proporciones óptimas de los diferentes ingredientes, el manejo específico de las coberturas durante su preparación y en la etapa de cultivo. Además es recomendable realizar las evaluaciones de producción comercial con sustratos que presentan una mayor homogeneidad dentro de cada lote y entre diferentes lotes de producción de sustrato, para identificar de manera confiable aquellos materiales más productivos que la tierra negra.

Finalmente, se propone que el estudio microbiológico de los materiales de cobertura seleccionados deberá ser incluido de manera paralela a las pruebas físicoquímicas aquí recomendadas, con el objeto de encontrar una posible interacción entre estos dos factores con los niveles de producción de champiñón.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Allison W.A. & Kneebone L.R. 1962. Influence of pH and casing soil on mushroom production. *Mushroom Science* 5: 81-89.
- Atkins F.C. 1974. Guide to mushroom growing. Faber and Faber. London, England.
- Black C.A. 1965. Methods of soil analysis, physical and mineralogical properties, including statistics of measurements and sampling. American Society of Agronomy (Agronomy No. 9)
- Bouyoucos G.J. 1963. Direction for making mechanical analysis of soil by hydrometer methods. *Soil Science*. 42-25-30.
- Bodwen J.D. & Allen P.G. 1974-76. Cultural studies on mushrooms.: Lee Valley Experimental Horticulture Station.
- Border D. 1993. Alternatives to peat. *Mushroom Journal: Casing Seminar*. 29.
- Cintra M. O. 1984. desarrollo de un proceso enzimático para la obtención de aceite de coco. Tesis de Licenciatura. Fac. Química. UNAM.
- Clancy G. & Horton P.R. 1981. Laboratory and field testing as a substitute for sphagnum peat moss casing in the cultivation of *Agaricus bisporus*. *Mushroom Science* XI: 441-451. 152:281-288.
- Cresswell P.A. & Hayes W.A. 1978 . Further investigations on the bacterial ecology of the casing layer. *Mushroom Science* X:347-359.
- Dergham Y. *et al.* 1991 . Waste paper as a substitute for peat in mushroom (*Agaricus bisporus*) casing soil production. *Science and Cultivation of Edible Fungi*, Maher. Balkema, Rotterdam.
- Edwards R.L. & Flegg P.B. 1953. Experiments with artificial casing mixture for casing mushrooms beds, *Mushroom Science* 2. 149,160.
- Flegg P.B. 1953. Pore space and related properties of casing materials. *Mushroom Science* II, 149-161.
- Flegg P.B. 1961. The effects of adding soluble salts to the casing layer on the yield and size of cultivated mushrooms. *Journal of Horticultural Science*. 36: 145-148.
- Flegg P.B. 1993 . Carbon Dioxide. *Mushroom Journal: Casing Seminar*. 29.
- Forsythe W. 1957. manual de laboratorio de física de suelos. IICA San José costa Rica.
- Hayes W.A. 1981 . Interrelated studies of physical, chemical and biological factors in casing soils and relationships with productivity in commercial culture of *Agaricus bisporus* Lange. *Mushroom Science* XI: 103-129.
- Hayes W.A. 1985 . Interactions between compost and casing soil substrates in the culture of *Agaricus bisporus*. *Mushroom Journal*
- Jane D.B. & Allen P.G. 1974-76 . Culture studies on mushrooms. Lee Valley Experimental Horticulture Station. 67-75.
- Kalberer P.P 1991. Water relations of the mushroom culture (*Agaricus bisporus*): Influence on the crop yield and on the dry matter content of the fruit bodies. *Mushroom Sci.* 13: 269-274.

- Levanon D. *et al.* 1984 . Recycling agricultural waste for mushroom.: Mushroom Journal 133: 13-17.
- Nair N.G. & Hayes W.A. 1974. Suggested role of carbon dioxide and oxygen in the casing layer. In "The Casing Layer". Proceeding of aston Seminar in Mushroom Science 1: 27-36.
- Palmer & Troeh. 1977. Introductory Soil Science. Laboratory Manual. 2a De. Iowa State. University Press.
- Reeve E., Backes R. W., Murphy W.S., Schramer J.M. & Volbretch I.A. 1959. Mushroom casing soil cropping experiments. Mushroom Science 4: 251-259.
- Richard L.A. *et al* 1980. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Ed. Limusa. México.
- SAGAR 1994. Subsecretaria de Agricultura. Dirección General de Política Agrícola. sistema producto, copra, datos básicos.
- Spencer D.M. 1985. The biology and technology of the cultivated mushroom. Glasshouse Crops Research Institute, Littlehampton, England.
- Stoller B.B. 1978 . Synthetic casing for mushroom beds. Mushroom Science X: 187-215.
- Visscher H.R. 1982 . Substitutes for peat in mushroom casing soil. Mushroom Journal 118: 353-358.
- Visscher H.R. 1978 . Fructification of *Agaricus bisporus* in relation to the relevant microflora in the casing soil. Mushroom Science X: 641-665.
- Walkley, A. 1935. An examination of methods for determining organic carbon and nitrogen in soil. Jour. Agr. Soil (England) 25.
- Winter E.J. 1977. El agua, el suelo y la planta. De Diana. México.
- Yeo S.G. & Hayes W.A. 1978 A new medium for casing mushroom beds. Mushroom Science X: 217-229.