



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

Uso de subproductos forestales como cobertura  
para la producción comercial de champiñón  
(*Agaricus bisporus*)

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**  
**BIÓLOGA**

**P R E S E N T A:**

**IGNACIA CORNEJO MUNGUÍA**

**DIRECTOR DE TESIS: DR. HERMILO LEAL LARA**



**CIUDAD DE MÉXICO 2018**



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.

Hoja de datos del jurado

1.- Datos de la alumna

Cornejo

Munguía

Ignacia

5591060777

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Biología

088612779

2.- Datos del tutor

Dr. Hermilo

Leal

Lara

3.- Datos del sinodal 1

Dr. Joaquín

Cifuentes

Blanco

4.- Datos del sinodal 2

Dr. Sigfrido

Sierra

Galván

5.- Datos del sinodal 3

M. C. Celia Elvira

Aguirre

Acosta

6.- Datos del sinodal 4

Dra. Rebeca

Ramírez

Carrillo

7.- Datos del trabajo escrito

Uso de subproductos forestales como cobertura para la producción comercial de champiñón

(*Agaricus bisporus*)

75 p

2018

## **AGADECIMIENTOS**

Agradezco a la vida por haberme permitido llegar a la meta fijada y no abandonarme en los momentos más difíciles para concluir la carrera.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por haberme aceptado.

A la facultad de Ciencias, al laboratorio de Biotecnología de Alimentos de la Facultad de Química por aceptar la realización de este trabajo.

Al Dr. Hermilo Leal Lara y a la Doctora Rebeca Ramírez Carrillo por darme la oportunidad de materializar este experimento bajo su dirección, reconozco en ellos su capacidad científica y experiencia en el tema abordado.

Doctora Rebe, agradezco y valoro las exhortaciones, recomendaciones y la disposición con las que sin duda alguna logré finalizar.

A los miembros del jurado por haber aceptado ser mis sinodales, por sus valiosas aportaciones y oportunas observaciones al presente trabajo.

A la empresa Hongos de México por otorgar facilidades para la realización de este proyecto.

A la Bióloga Ma. De Lourdes Hernández y a los Viveros de Coyoacán

Mi gratitud y reconocimiento a los profesores de la carrera de Biología, Yolanda Caballero Arroyo, Silvia y Clara de la materia de física general, Silvia Toral, Ricardo Estrada, Humberto Cruz Blanca, Mario Almaraz, José Luis Villarruel Ordaz... quienes durante mi formación universitaria persistieron con profesionalismo y sus enseñanzas para concluir.

A mis compañeros y amigos de la Facultad, Natalia Carvajal Herrera y José Luis Romero, a Josefina Garduño Gómez con quienes compartí momentos y coincidimos en concluir propósitos académicos.

Un reconocimiento a la Bióloga Natalia Carvajal Herrera y a Paloma Garabito Yáñez por sus aportaciones y su disposición en el desarrollo y culminación de este trabajo.

Mi gratitud por siempre a mis hermanos, a mis adorables sobrinas y sobrinos, primos y a todos mis familiares, así como a la familia Vargas Garabito por su presencia en mi vida.

## **DEDICATORIA**

A la memoria de mis padres, abuelos, mi hermano Rafa, a mi hermana Amalia quien contribuyó en la obtención de material para realizar este trabajo, a mi madre, y a mi abuela Rosa Ávila, mujeres incansables que hasta el final de su vida me enseñaron a luchar contra la adversidad y no desistir hasta finalizar.

A mi padre, quien me enseñó el gusto por el trabajo, a ellos, quienes se adelantaron en el camino de la vida y no llegaron al final de este trabajo, donde estén, estoy segura que les alegrará saber de éste logro.

**ÍNDICE****Páginas**

	<b>RESUMEN</b>	
1	<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
1.1	Características básicas de los hongos	1
1.2	Aspectos taxonómicos de los hongos.	2
1.2.1	Basidiomycota	2
1.3	<i>Agaricus bisporus</i>	3
1.3.1	Morfología	4
1.3.2	Nutrición	5
1.3.3	Reproducción	6
1.3.4	Ciclo biológico	6
1.4	Importancia del cultivo de hongos comestibles	8
1.4.1	Importancia comercial de la producción de hongos comestibles	9
1.4.2	Valor nutricional de los champiñones	10
1.5	Inicio y tendencia del cultivo de champiñón en México	12
1.6	Cultivo de champiñón	13
1.6.1	Proceso del cultivo de champiñón	13
1.6.2	Fases de desarrollo del cultivo de champiñón	14
1.7	Cobertura, importancia y su función	16
1.7.1	Materiales de cobertura	18
1.7.2	Problemática del uso de turba para cobertura de champiñón	19
1.7.3	Materiales alternativos a la turba para cobertura de champiñón	21
2	<b>JUSTIFICACIÓN</b>	28
3	<b>HIPÓTESIS</b>	30
4	<b>OBJETIVOS</b>	30
5	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	31
5.1	Material biológico	31
5.2	Preparación de materiales de cobertura	31
5.2.1	Preparación de corteza húmeda	32
5.2.2	Preparación de papel húmedo	32
5.2.3	Preparación de mezclas de cobertura	32

5.2.4	Preparación de cobertura corteza-papel (1:2)	33
5.2.5	Preparación de cobertura corteza-papel (1:1)	34
5.2.6	Preparación de cobertura corteza-papel (3:1)	34
5.2.7	Preparación de cobertura corteza-papel (5:1)	35
5.3	Retención de agua y densidad de los materiales de cobertura	35
5.4	Condiciones para la producción experimental de champiñones	42
5.5	Análisis estadístico de resultados	44
6	<b>EXPERIMENTOS Y RESULTADOS</b>	45
6.1.	Caracterización de los materiales de cobertura experimentales	45
6.2	Producción de champiñones	46
6.2.1	Producción semanal de champiñones	46
6.2.2	Producción semanal acumulada de champiñones	47
6.2.3	Máximo rendimiento significativo en coberturas experimentales	48
6.2.4	Peso unitario de champiñones en coberturas experimentales	50
7	<b>DISCUSIÓN</b>	54
8	<b>CONCLUSIONES</b>	58
9	<b>RECOMENDACIONES</b>	59
10	<b>LITERATURA CITADA</b>	61
11	<b>ANEXOS</b>	65

## RESUMEN

Se utilizaron como cobertura para la producción de champiñones (*Agaricus bisporus*) mezclas de corteza de árbol (pino rojo) y papel bond de reciclaje con la finalidad de sustituir a la turba empleadas actualmente en la producción comercial. Estos materiales fueron elegidos debido a que presentan como ventajas: amplia disponibilidad, bajo costo y facilidad de manejo. Se comparó la producción de champiñones obtenida con coberturas de mezclas de estos materiales en las proporciones corteza-papel 1:2, 1:1, 3:1 y 5:1 con la obtenida con una cobertura comercial (control) utilizada por una empresa productora de hongos. La cosecha de hongos se realizó durante 8 semanas y se calcularon los valores del rendimiento máximo significativo para las 5 coberturas evaluadas. La comparación de estos valores por medio de un análisis de varianza indicó que no hubo diferencias significativas entre ellos. Los rendimientos obtenidos, entre 325 y 339 kg de hongos frescos /ton de substrato indicaron que es posible sustituir la cobertura comercial por los materiales antes mencionados ya que con éstos se obtuvieron rendimientos similares a los obtenidos con la cobertura control.



# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Características básicas de los hongos

Los hongos en el sentido más amplio y tradicional, son organismos eucariontes, heterótrofos (carecen de clorofila), unicelulares (levaduras) o pluricelulares (filamentosos) con mecanismos de crecimiento y desarrollo distintos a los de las plantas y animales. Incluyen formas microscópicas y macroscópicas (macromicetos), su reproducción puede ser sexual o asexual y producen esporas (García, 2000). Su capacidad para crear alianza con otros organismos y su poderoso sistema enzimático son dos de sus cualidades más sobresalientes.

Desempeñan un papel crucial en el funcionamiento de los ecosistemas, ayudan a reciclar desechos que la naturaleza produce transformándolos en materia prima para perpetuar la vida en nuestro planeta (Tellería, 2011). Algunos son saprobios, se nutren de materia orgánica en descomposición, o simbioses cuando tienen algún tipo de relación con otros organismos (Herrera y Ulloa, 1990).

Los hongos filamentosos poseen estructuras somáticas con crecimiento apical provistas de paredes celulares que individualmente se denominan hifas mismas que se ramifican periódicamente detrás de los ápices dando como resultado la formación de talos o tejidos fúngicos (Deacon, 2006), presentan una pared celular rica en sustancias llamadas glucanos y quitina que permiten a los hongos mantenerse erguidos (Herrera y Ulloa, 1990., Webster y Weber, 2007).

La nutrición de los hongos es por absorción de materia (viva o muerta) en la que viven, proceso que se lleva a cabo en el ápice de las hifas que es donde todavía no se forma la pared celular y donde hay un mayor intercambio de componentes. Los nutrientes que entran en las células se difunden por medio de proteínas específicas, que solo permiten el paso de moléculas pequeñas (monosacáridos, aminoácidos y péptidos pequeños) (Deacon, 2006), y para esto, primero digieren el alimento del medio externo y después lo absorben a través de sus paredes y membranas celulares (lisotrofia) por medio de enzimas que liberan a través de las paredes de las hifas, siendo capaces de digerir moléculas complejas y prácticamente insolubles

(carbohidratos, proteínas, lípidos, polisacáridos, entre otras) transformándolas en nutrientes simples y solubles (Tellería, 2011).

La reproducción en los hongos puede ser sexual ó asexual, la reproducción sexual implica meiosis y es importante porque genera variación genética; es un medio para reparar daños en el ADN generados por mutaciones ó por algún error en la replicación, esto es una ventaja crucial de la meiosis (Moore D.*et al.*; 2008); la reproducción sexual se puede dar de diferentes formas, puede ser (homotálica) en hongos con talo autocompatible, o (heterotálica) en hongos con talo no compatible.

El homotalismo puede ser primario o secundario; en el primero se forma un micelio con segmentos binucleados y cuyos núcleos de cada célula son indistintos genéticamente, siendo este micelio capaz de formar esporomas. El homotalismo secundario consta de un micelio dicariótico fértil originado a partir de una espora con dos núcleos meióticos compatibles (Webster y Weber 2007).

## **1.2. Aspectos taxonómicos de los hongos**

Los hongos están ubicados en el reino Fungi, abarca cuatro phyla: Zygomycota, Chytridiomycota, Ascomycota y Basidiomycota (Webster y Weber 2007). En 2007, el reino Fungi incorporó un nuevo subreino, Dikarya, que reúne dos grupos mayoritarios de hongos: Ascomycota y Basidiomycota. Todas las especies incluidas en éstos grupos, comparten la presencia de hifas septadas y dicarióticas (provistas de tabiques) que las dividen en células con dos núcleos por célula. Este segundo carácter alude el nombre del subreino Dikarya (dos núcleos) que integra aproximadamente el 98% de las especies fúngicas conocidas, agrupa desde levaduras hasta especies hifales pluricelulares (Tellería, 2011).

### **1.2.1. Basidiomycota**

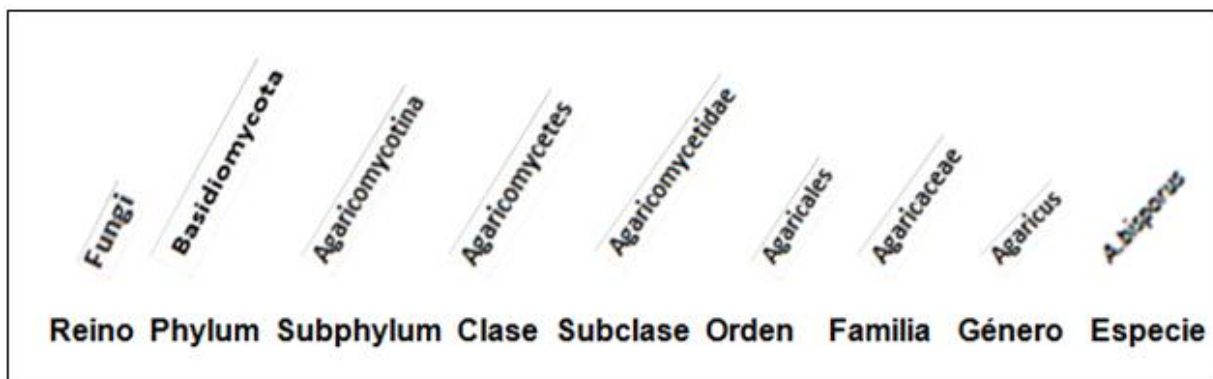
El phylum Basidiomycota incluye a los Agaricomycetes y forman un grupo de hongos muy grande y diverso en el cual se encuentra la mayoría de los hongos comestibles. Los Agaricomycetes representan los procesos de desarrollo de esporomas (partes

comestibles de los hongos) más complejos conocidos en el reino de los hongos; las formas van de simples a complejas mismas que pueden cambiar drásticamente por mutaciones y por condiciones ambientales adversas, este grupo de hongos tiene genomas relativamente grandes con más de 10,000 diferentes genes, muchos de los cuales son expresados durante el proceso del desarrollo en tejidos y tiempos específicos; controlan también el inicio de formación y el desarrollo de los hongos (Kues y Navarro Gonzales 2015). Los Agaricomycetes producen esporas sexuales (basidiosporas) en los esporomas o basidiomas los cuales portan estructuras especializadas conocidas como basidios. En la mayoría de las especies de este grupo cada basidio produce 4 basidiosporas, aunque pueden ser 1, 2 ó más de 4 que al llegar a su madurez son fuertemente expulsadas al ambiente (Deacon, 2006) y cuyo papel en términos evolutivos es la diseminación de las esporas y así perpetuar la especie (Tellería, 2011).

### **1.3. *Agaricus bisporus* (Lange) Imbach**

*A. bisporus* es un macromiceto, hongo filamentoso denominado genéricamente champiñón que produce esporomas comestibles, debe su nombre al hecho de producir dos basidiosporas sobre la mayoría de los basidios y corresponde a la principal especie comestible cultivada en el mundo (García, 2000).

De acuerdo al Index Fungorum (2016), *Agaricus.bisporus* pertenece al reino Fungi, phylum Basidiomycota, subphylum Agaricomycotina, clase Agaricomycetes, subclase Agaricomycetidae, orden Agaricales, familia Agaricaceae, género *Agaricus*, especie *A. bisporus* (figura 1.1).

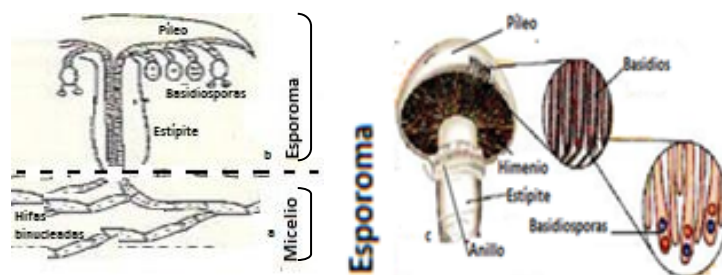


**Figura 1.1** Ubicación taxonómica de *A. bisporus*

### 1.3.1. Morfología

*A. bisporus* está formado por un talo (cuerpo) con dos partes fundamentales, micelio y esporoma (figura 1.2). El micelio (figura 1.2 a), consta de un grupo de hifas; células septadas formadas por largas cadenas de células dicarióticas dispuestas en hileras con crecimiento apical y ramificado mismas que llevan a cabo diferentes funciones en cada una de las partes del hongo y que en su conjunto forman una red denominada micelio; su pared celular está constituida mayoritariamente por polisacáridos neutros (formados principalmente por glucosa y en menor porcentaje galactosa, manosa y xilosa), aminados (N-acetilglucosamina en forma de quitina), proteínas y lípidos con menor proporción (García, 2000). Esporoma (figura 1.2 b), presenta estípite o pie céntrico y corto 4-7cm, de forma cilíndrica con base más o menos gruesa, es blanco, separable del píleo con un anillo ascendente, membranoso, sencillo y persistente en la parte media superior. El píleo es la parte visible del hongo, tiene forma globosa, textura lisa, de color blanco, y cuyo diámetro puede alcanzar 2-10 cm, en el está contenido el himenio (tejido fértil) de tipo laminar organizado en forma radial con láminas apretadas y desiguales, estas se oscurecen cuando el hongo madura dando a la masa esporal un color pardo, violáceo o café (Carrillo, 2003); el himenio contiene basidios (estructuras reproductoras) donde se producen las esporas sexuales (meiosporas) (Deacon, 2006). Las esporas son de forma subglobosa, de color violáceo y presentan sobre la pared celular una cubierta melanizada en su

superficie externa misma que las preserva frente a las condiciones ambientales adversas (García, 2000).



Figuras 1.2. Partes que forman el cuerpo de *A. bisporus*.

a: Micelio. b: Esporoma (García, 2000), c: Esporoma mostrando basidios y basidiosporas. (windows life) modificado por Cornejo. M. I.

### 1.3.2. Nutrición

*A. bisporus* como organismo heterótrofo (no produce su propio alimento), se nutre de materia orgánica en descomposición (saprobio), absorbe nutrientes de los sustratos donde se desarrolla, y para ello, produce una mezcla de enzimas hidrolíticas y oxidantes que despolimerizan los componentes de los sustratos constituidos por celulosa, hemicelulosa y lignina de donde obtiene la mayor parte de sus nutrientes. El micelio se encarga de colonizar el medio, buscar las fuentes de alimento, digerirlo con sus potentes enzimas para finalmente absorberlo (Tellería, 2011).

Estudios recientes han demostrado la participación de sus enzimas como, las hemotiolato peroxidasas empleadas para descomponer lignina y metabolitos asociados presentes en el suelo, así como la importancia de las manganeso peroxidasas multicobre para su crecimiento sobre lignocelulosas (material vegetal seco) que son principalmente desechos o subproductos de la agricultura. (<http://cordis.europa.eu/result/rcn/91796-eshtml> European Union, 2015).

### 1.3.3. Reproducción

La reproducción de *A. bisporus* es sexual del tipo homotálico secundario; en este tipo de reproducción sólo se forma la mitad del número común de esporas y no 4 como generalmente produce la mayoría de las especies del mismo género, consta de un micelio dicariótico fértil originado a partir de una espora con 2 núcleos meióticos compatibles (García, 2000).

### 1.3.4. Ciclo biológico

*Agaricus bisporus* presenta un ciclo biológico característico con 2 diferentes rutas, en el se encuentra la fase somática y la fase reproductora donde se producen las estructuras sexuales en esporomas (fig.1.3).



**Figura 1.3. Ciclo biológico de *Agaricus bisporus***

**Fase somática:** a, germinación de esporas. b, micelio secundario binucleado. **Fase reproductiva:** c, formación de primordios. d, esporoma joven. e, esporoma maduro. f, liberación de esporas sexuales (meiosporas).

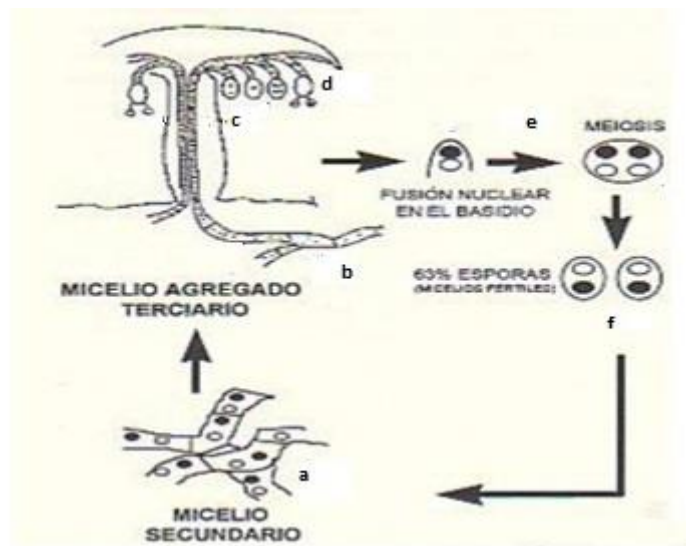
El ciclo biológico va desde la germinación de esporas hasta la formación de esporomas con nuevas esporas (Figuras 1.3 y 1.4). Cuando las esporas germinan desarrollan un tubo germinal que crece, se ramifica y origina hifas binucleadas fértiles desarrollando directamente el micelio secundario del hongo que es capaz por sí mismo de formar esporomas, esta primera etapa de crecimiento es conocida como

fase somática. La segunda etapa o fase reproductora inicia con la formación de primordios; esto ocurre cuando las condiciones ambientales se tornan desfavorables, ya sea por escasez de nutrientes o cuando disminuye la humedad o la temperatura del medio ambiente; dado que el micelio para producir esporomas necesita un estímulo (ofensivo). Los primordios crecen y dan origen a las estructuras visibles conocidas como champiñones (García, 2000) que cuando maduran contienen en el himenio basidios, (estructuras reproductoras) en los que se producen las esporas sexuales (basidiosporas) y acontecen dos eventos importantes para la reproducción sexual; cariogamia (fusión de núcleos), seguida de la meiosis o división nuclear, en la cual hay recombinación genética, segregación de genes, y una reducción en la ploidía a (n) cromosomas (Deacon, 2006). Las basidiosporas se producen en parejas (fig. 1.4), portando cada una dos núcleos compatibles por lo que son fértiles, mismas que después de la meiosis se desarrollan y forman directamente el micelio secundario dando lugar en su desarrollo final a los esporomas (García, 2000).

La formación de esporomas en *A. bisporus* como en el resto de los Agaricomycetes sigue un esquema definido por fases diurnas y nocturnas con distintas etapas predecibles a lo largo del tiempo de su desarrollo (Kues y Navarro Gonzales 2016), inicia cuando en el micelio los tejidos del estípite y el píleo se diferencian y se forman los primordios, etapa que toma cinco días; los primordios crecen, maduran y culmina esta etapa del desarrollo en cariogamia y meiosis que acontecen en los basidios con la subsecuente producción de basidiosporas paralela a la maduración de esporomas (elongación del estípite y expansión del píleo) y finalmente la liberación de las esporas; cuando estas alcanzan el sustrato y si las condiciones del medio (temperatura, humedad, CO<sub>2</sub> y disponibilidad de nutrientes), más la suma de factores genéticos y químicos que influyen en la morfogénesis de los hongos lo permiten, se originan nuevos filamentos, iniciándose un nuevo ciclo (Kues y Navarro-González, 2015)

En *A. bisporus* como en el resto de los Agaricomycetes, es importante considerar que las células del tejido tisular de los esporomas durante las fases morfogenéticas del ciclo celular; toman un curso particular de diferenciación como respuesta a la interacción de su programa genético intrínseco con factores genéticos y físicos,

mismos que pueden estimular la continuidad del desarrollo ó inhibir la formación de otras estructuras (Moore D. *et al.*, 2008).



**Figura 1.4 Principales etapas del ciclo celular de *Agaricus bisporus***

a: micelio secundario. b: micelio agregado. c: basidios en diferentes estadios de madurez en el borde del píleo. d: basidio con esporas sostenidas por esterigmas. e: meiosis. f: esporas binucleadas después de la meiosis, (García, 2000), modificado por Cornejo Munguía I.

#### 1.4. Importancia del cultivo de hongos comestibles

El consumo de hongos comestibles a nivel mundial es muy antiguo; en México es una tradición que data desde la época de la colonia, debido a que las culturas mesoamericanas ya los utilizaban como alimento (Cappello *et al.*, 2006). Actualmente su cultivo tiene un significativo impacto en la producción de alimentos y ayuda a resolver el problema ambiental por acumulación de residuos del sector agropecuario.

La importancia de los hongos comestibles, sean cultivados o silvestres, en la alimentación, es la aportación nutricional, ya que pueden cubrir parte de los requerimientos proteicos de la nutrición humana, en el funcionamiento de los ecosistemas, dado que están involucrados en numerosos fenómenos biológicos y químicos vinculados a la desintegración de la materia orgánica. Uno es la bioconversión de los residuos agrícolas lignocelulósicos como fuente para la



producción de hongos comestibles a través de procesos de fermentación sólida, lo que representa una alternativa para la obtención de alimento humano rico en proteínas (Royse, 2007).

La importancia ecológica del cultivo de hongos comestibles radica en la utilización y reciclaje de más de 500,000 toneladas anuales de subproductos agrícolas, agroindustriales y forestales (Martínez-Carrera *et al.*, 2005), reduciendo así el impacto ambiental por acumulación de residuos, ya que es posible usar el sustrato postcultivo de hongos cultivados (Royse, 2007). Entre los posibles usos del sustrato postcultivo están, la reutilización en el cultivo de hongos como material de cobertura para *Agaricus* spp. y como sustrato para otras especies (Rinker, 2002). Además, el uso de hongos en biorremediación (purificación de aire, agua, suelos y de sustratos contaminados con plaguicidas, control de plagas y enfermedades). Es importante señalar la acción de lacasas (enzimas) producidas por algunos hongos comestibles, entre ellos *A. bisporus*, que son útiles en la degradación de compuestos tóxicos, como residuos petroleros, pesticidas y colorantes por lo que es innegable su importancia ecológica y económica (Galindo *et al.*, 2008). Adicionalmente, se ha encontrado que el extracto de *A. bisporus* presenta propiedades antimicrobianas contra algunas bacterias patógenas de importancia para la salud pública (Beelman *et al.*, 2003; Abah y Abah, 2010). Sus componentes activos han demostrado cualidades orgánicas o medicinales asociadas con efectos inmunomoduladores terapéuticos (Zaidman *et al.*, 2005). El champiñón también se ha utilizado como aditivo en alimentos procesados y presenta propiedades medicinales importantes que se mantienen aun después de la cocción (Jagadish *et al.*, 2009).

#### **1.4.1. Importancia comercial de la producción de hongos comestibles**

La producción comercial de hongos comestibles tiene importantes repercusiones sociales y económicas, actualmente en México se estima que la producción comercial en fresco es alrededor de 62,374 toneladas anuales. Nuestro país es el mayor productor de hongos comestibles de Latinoamérica, generando alrededor del 80.8% de la producción total de esa región. La mayor proporción (95.5%) de la producción

de los hongos comestibles cultivados en México corresponde a la especie *Agaricus bisporus*, champiñón blanco (56,684.5 t/año) y champiñón café 4.5% (328 t/año), seguido de *Pleurotus ostreatus* 4.86% (3,000 t/año) y *Lentinula edodes* con 0.04% (25t/año) (Martínez-Carrera *et al.*, 2010), (tabla 1.1).

Tabla 1.1. Producción anual estimada de hongos comestibles cultivados comercialmente en México, incluyendo cantidad y proporciones de producción para el periodo 1991-2011.

Nombre comercial	Producción nacional							
	1991 <sup>a</sup>		2005 <sup>a</sup>		2009		2011	
	Producción (Toneladas)	P (%)	Producción (Toneladas)	P (%)	Producción (Toneladas)	P (%)	Producción (Toneladas)	P (%)
Champiñones	8,680	96.0	45,260	95.35	43,595	93.69	59,349	95.1
Champiñón blanco	8,680	100.0	44,931.5	99.27	42,482	97.4	56,684.5	95.5
Champiñón café	-	-	328.5	0.73	1,113	2.6	2,664.5	4.5
“Setas” (blanca, gris, café)	356	4.0	2,190	4.62	2,920	6.28	3,000	4.86
“Shiitake”	-	-	18.2	0.038	18.2	0.039	25	0.04
“Reishi”	-	-	PC	-	PC	-	-	-
“Maitake”	-	-	PC	-	PC	-	-	-
Total	9,036	100	47,468.2	100	46,533.2	100	62,374	100

<sup>a</sup> Martínez-Carrera *et al.* (2010).

P= Proporción. PC= Nivel de pruebas a escala comercial. Nombres científicos: champiñones [*Agaricus bisporus* (J.E. Lange) Pilát]; “shiitake” [*Lentinula edodes* (Berk.) Pegler]; “setas” (*Pleurotus* spp.); “reishi” [*Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst.]; “maitake” [*Grifola frondosa* (Dicks.) Gray].

#### 1.4.2. Valor nutricional de los champiñones

El valor dietético de los champiñones, (bajo contenido en carbohidratos y grasas), significativo contenido de proteínas (de 20-40% del peso seco) más del 89% del contenido de agua y vitaminas, son valores nutricionales que los colocan por arriba de la mayoría de los vegetales (tabla 1.2).

**Tabla 1.2. Comparación nutricional del champiñón (%) respecto a otros alimentos con base al peso fresco**

Componentes nutricionales	Alimentos				
	Champiñones	Espinacas	Papas	Leche	Carne
Agua (%) de peso fresco	88-90	93	75	87	60
Proteínas	2.95-3.70	2.2	2	3.5	18
Grasas	0.25-0.30	0.3	0.1	3.7	14.8
Carbohidratos	4.00-6.80	1.0	21	4.8	0.3
Minerales	1.00	1.9	1.1	0.7	0.5
Fibras	1.00	1.6	0.8	0.3	0.4
Calorías*	27	23	87	60	214

\*Calorías en 100g de hongo fresco

Fuente: Setas de Cuivá (2007) y Agrobot (2005)

Las propiedades nutricionales de los champiñones dependen de factores como, tipo de sustrato y condiciones de manejo en que se cultivan, la cantidad de materia orgánica y el contenido de humedad.

Dada la composición de *A. bisporus*, presenta una particular importancia en la alimentación; su significativo valor nutricional es el alto contenido de proteínas y aminoácidos esenciales como fenilalanina, isoleucina, leucina, treonina, valina y metionina (Martínez-Carrera *et al.*, 2004). En general aportan agua, proteínas, carbohidratos y minerales destacándose el contenido de selenio, potasio, fósforo y magnesio (Tabla 1.3), así como vitamina B1 (Tiamina), vitamina B2 (Rivoflavina), vitamina B5 (Ácido pantoténico), vitamina B9 (Ácido fólico) y vitamina D (Calciferol) (Lelley, 2007).

**Tabla 1.3 Contenido de vitaminas y minerales de *A. bisporus* (champiñón)**

<b>Componentes nutricionales</b>	<b>Producto fresco consumido (<math>\mu\text{g}/100\text{ g}</math>)</b>
Tiamina (vitamina B1)	100
Riboflavina (vitamina B2)	470
Acido pantoténico (vitamina B5)	2 250
Ácido fólico (B9)	27
Calciferol (vitamina D)*	1.88
Sodio	21 000
Potasio	450 000
Selenio*	28

Fuente Lelley (2007).

### **1.5. Inicio y tendencia del cultivo de champiñón en México**

La fungicultura se practica ya en más de 70 países, y junto con el clásico cultivo de champiñón se han multiplicado las investigaciones para producir otras especies de hongos muy apreciados en la gastronomía. Aunque el cultivo de champiñones inicio hace unos 300 años, fue registrado en la lista de hongos cosechados en varios países de América hasta la segunda mitad del siglo XX (Guzmán *et al.*, 2008).

En nuestro país, el cultivo de champiñón se remonta al año 1931 con la llegada de José Leben y se logró establecer la primera planta productora en 1939. Más su producción formal inició en la década de los 70's (1974) en Cuajimalpa, D.F., en la empresa Hongos de México S.A. de C.V. (Martínez-Carrera *et al.*, 1991).

Actualmente, Monte Blanco-Hongos de México es la corporación líder con 6 unidades de producción dentro del territorio nacional, más la existencia de otras compañías dedicadas al cultivo de este agarical en diferentes regiones del país.

(<http://www.champi.com.mx/about.html>, Fernández, 2005).

*A. bisporus*, es la principal especie de hongos comestibles cultivados en el mundo con una producción equivalente al 40% del monto producido y consumido a nivel internacional; entre 1995 y 2006, la producción nacional de champiñones incremento 36% (Lahman, 2007) y actualmente es alrededor de 56,684.5t/anuales (Martínez-Carrera *et al.*, 2005;2010).

De la producción mundial de *A. bisporus* aproximadamente el 55% es procesada principalmente para conservar el producto para consumo futuro y alrededor del 50% de la producción es enlatada, mientras que el 5% es deshidratada. El resto es consumido en fresco, situación que se está incrementando más rápido que el mercado procesado. En algunos países el consumo fresco alcanza más del 75% del mercado (Royse, 2007).

## **1.6. Cultivo de champiñón**

El cultivo de champiñón igual que el de otros hongos comestibles, es una agroindustria que ofrece notables ventajas económicas, (producción y exportación); ecológicas, (degradación de subproductos agrícolas, agroindustriales y forestales) (Martínez-Carrera *et al.*, 2010), y sociales ya que además de producir un alimento de excelente calidad para consumo humano, es una actividad que genera empleos de forma directa e indirecta (Jarquin y Cuevas, 2007).

### **1.6.1. Proceso del cultivo de champiñón**

El cultivo de champiñón es un proceso de alta complejidad tecnológica que conjunta varios factores tanto fisicoquímicos, como biológicos, y para ello se requiere de un control preciso de las condiciones ambientales (humedad, temperatura, ventilación,

entre otros) y del correcto funcionamiento de cada una de las etapas, por lo que también se requieren inversiones elevadas (Fernández, 2005).

Para la producción comercial de champiñones existen distintos sistemas de producción a nivel mundial; éstos son una serie de eventos secuenciales con los cuales se simula el crecimiento natural de cepas fúngicas. Los sistemas de producción pueden variar según el tipo de contenedores utilizados para el sustrato, las formas de distribución, espacio físico del área de fructificación, forma de monitorear las condiciones ambientales entre otras, los sistemas más conocidos son:

- 1.-Sistema Americano o de camas
- 2.-Sistema Holandés o de bandejas que actualmente tiene la mayor tecnología
- 3.-Sistema Francés o de (bolsa plástica), éste es el más empleado a nivel artesanal por ser práctico y ajustable a diferentes niveles de inversión (fig. 1.5).



1. Sistema Americano



2. Sistema Holandes



3. Sistema Francés

**Figura 1.5. Algunos sistemas para producir champiñones (Fernández, 2005)**

### **1.6.2. Fases de desarrollo del cultivo de champiñón**

Debido a que el champiñón carece de estructuras fisiológicas para producir su propio alimento (heterótrofo), es necesario prepararle condiciones y medios para su desarrollo, por ello, primeramente se prepara un sustrato con características físicas, químicas y microbiológicas que permitan su desarrollo micelial y posteriormente establecer las condiciones de cada una de las fases del ciclo biológico. De acuerdo a Albertó (2008), *A. bisporus* se desarrolla favorablemente sobre sustratos en descomposición que contengan una (relación C/N 17/16), por lo que el compost (sustrato) está constituido por paja de cereales, estiércol y yeso. El sustrato es

preparado por un complicado proceso de fermentación termofílica controlada (composteo) de pajas y estiércoles (Figura.1.6). En términos generales, el proceso de cultivo consta de las siguientes etapas:

- 1.- Preparación del sustrato: Fase I (composteo)
- 2.- Preparación del sustrato Fase II (pasteurización)
- 3.- Siembra y propagación del micelio en el sustrato fase III
- 4.- Aplicación de cobertura y propagación del micelio en ella.
- 5.- Formación de primordios y desarrollo de esporomas.
- 6.- Cosecha.



**Figura 1.6 Esquema general del proceso del cultivo de champiñón**

Las dos primeras etapas, Fase I y Fase II, tratan de la preparación del sustrato del que se van a nutrir los champiñones, las cuatro etapas siguientes incluyen el desarrollo del cultivo desde la siembra hasta la cosecha. Al inicio de la Fase I, la paja es hidratada y se le agrega estiércol de pollo y yeso (Samp, 2007). El material ya mezclado y bien hidratado se coloca en una instalación con inyección de aire a presión para permitir la fermentación aeróbica, esta etapa dura alrededor de 2 semanas a temperatura de (50-75°C), lo que favorece el proceso de degradación microbiológica y química de los materiales modificándose asimismo sus características fisicoquímicas. De esta forma se eliminan también patógenos que

podrían tener un efecto negativo en el cultivo o en la salud de los consumidores de champiñones (Laborde, 2007).

La Fase II ocurre cuando la composta preparada en la Fase I, se coloca en un túnel de pasteurización a una temperatura de (55-60°C) durante una semana. En ésta fase se promueve el crecimiento de una microflora por hongos termófilos y bacterias que favorecen las condiciones para el desarrollo de carpóforos de *A. bisporus* (Sánchez, 2007). Cuando se utilizan túneles para incubar, el sustrato una vez enfriado a una temperatura de 25°C, es inoculado al momento de llenar los túneles (Royse y Beelman, 2007). A esta fase se denomina Fase III y corresponde a la incubación del micelio en el sustrato manteniendo la temperatura a 26°C durante 13-16 días. Una vez que el sustrato ha sido colonizado por el micelio de *Agaricus*, se aplica una capa de cobertura de un espesor de 3-5 cm sobre el sustrato, aplicando riegos para ajustar la humedad de la cobertura cuando el micelio se hace visible sobre la superficie de la cobertura (Royse, 2007). En ese punto, se procede a ventilar las naves de producción y abatir la temperatura ambiental hasta 16-18°C y así disminuir la concentración de CO<sub>2</sub> a niveles de 0.07-0.08%. Bajo estas condiciones se induce la fase reproductiva de los hongos y se presenta la formación de primordios después de 5 o 6 días que posteriormente maduran a esporomas en otros 6 a 7 días, iniciándose así la primera cosecha (Albertó, 2008). Es importante considerar factores; genéticos, fisiológicos y ambientales que influyen durante el desarrollo de los hongos (Kues y Navarro, 2016), así como las plagas y enfermedades en el proceso del cultivo, ya que la suma de estos factores repercuten en la producción final esperada; las plagas más comunes son insectos que ovopositan en el sustrato y dañan el material fúngico y los esporomas en desarrollo (Rinker, 2007).

### **1.7. Cobertura; importancia y su función**

La cobertura es un material o combinación de ingredientes empleados como un recubrimiento superior del sustrato o composta en el cultivo comercial de champiñón (Royse, 2007), y tiene como finalidad prioritaria estimular la producción de



champiñones, constituye el soporte físico en el que se forman, se desarrollan y se anclan los esporomas (Figura 1.7).

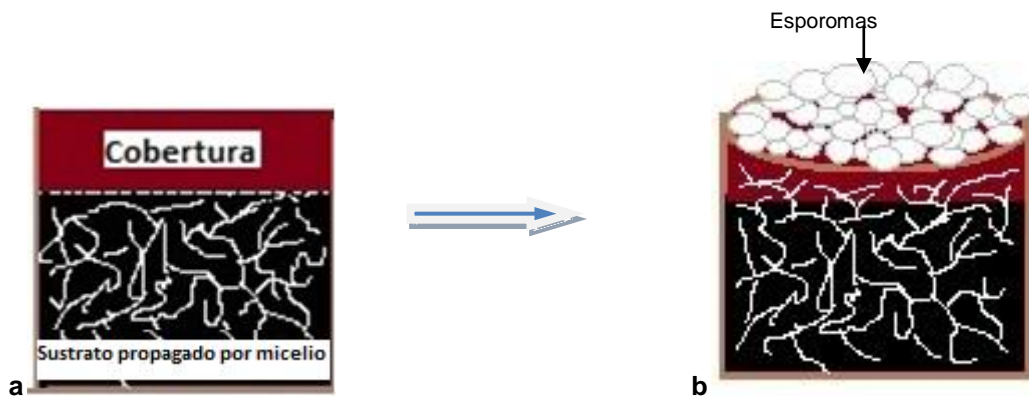


Figura 1.7 Cobertura.

a: Cobertura y sustrato propagado por micelio. b: Esporomas anclados en la cobertura.

El uso de un material de cobertura en el cultivo de *A. bisporus* es de suma importancia para estimular la formación de primordios y proveer el agua para la maduración de los esporomas (Royse, 2007). Su uso es fundamental, ya que en ella ocurre la transición de la fase somática (desarrollo del micelio), a la fase reproductiva (producción de esporomas) (figura 1.8), y de esto dependen en gran medida las altas producciones.

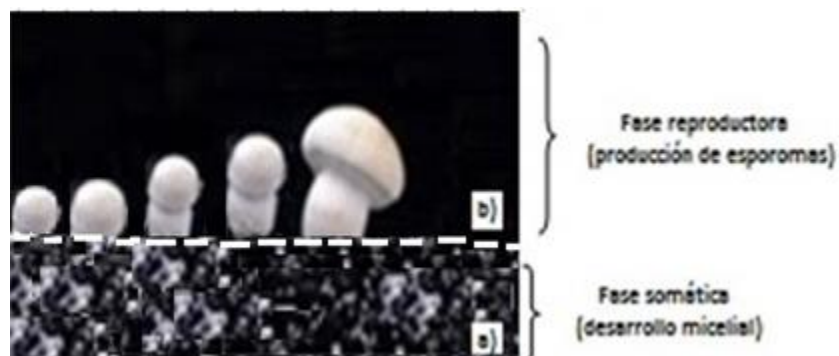


Figura 1.8 Fases de desarrollo del champiñón

a) Fase somática. b) Fase reproductora. (Martínez-Carrera, 2010), modificado por Cornejo Munguía. I.

Normalmente los champiñones no se desarrollan sobre sustratos sin cobertura en el cultivo comercial debido a diversos factores como, humedad insuficiente, alta concentración de sales solubles en el sustrato y falta de un microambiente que se desarrolla en las estructuras porosas de la cobertura donde las condiciones ambientales son específicas (Fernández, 2005). Aparte de las indicadas cumple con otras funciones.

La capa de cobertura, además de mantener el grado de humedad adecuado, puede estimular la liberación de sustancias generadas por poblaciones microbianas, las cuales están implicadas en la estimulación del desarrollo de los esporomas; esto provoca importantes cambios morfológicos en la transición de la fase somática a la formación de esporomas (Choudhary, 2011). También confluyen en ella factores que estimulan la formación de los esporomas conjuntamente con las condiciones ambientales como, temperatura, humedad e intercambio gaseoso entre el sustrato y la cobertura, así como la interacción del micelio del champiñón con ciertos microorganismos presentes en ella (Royse, 2007). Regula también el intercambio de agua entre la composta y el aire, ya que pierde humedad con la evaporación pero la gana a través de los riegos durante el periodo de producción (Hayes *et al* 1978).

### **1.7.1. Materiales de cobertura**

Los criterios para elegir los materiales de cobertura son ciertas características físicas, químicas y biológicas, además del rendimiento logrado, la calidad, disponibilidad y el costo (Martínez-Carrera *et al.*, 2007). De acuerdo a lo anterior, para que un material pueda ser utilizado como cobertura debe reunir ciertas características fisicoquímicas y biológicas; las de mayor importancia que se mencionan en la literatura para determinar la calidad de los hongos y la productividad del cultivo son:

- Capacidad de retención de agua mayor al 40%
- La estructura debe ser porosa 60% y disgregada aunque esté húmeda
- Deberá presentar un pH de 7.0-7.5
- Concentración mínima de sales

- Conductividad eléctrica menor a 4.25mmhos/cm (Rangel *et al*2006)
- Mantener la humedad del sustrato en el nivel deseado
- Suministrar una reserva de agua para la maduración de los hongos
- Favorecer el crecimiento de una microbiota que estimula la producción y, contener ciertas bacterias como *Pseudomonas putida* y *Alcaligenes faecalis*, que influyen en el desarrollo y morfogénesis de *A. bisporus* (Choudhary,2011)
- Deberá ser un material limitado en nutrientes respecto al sustrato (Jarial *et al.*, 2005), sobretodo con una mínima proporción de carbohidratos fácilmente asimilables, evitando así el desarrollo de organismos que inhiben la formación de esporomas dado que estos se forman cuando el micelio se encuentra en un medio bajo en nutrientes como mecanismo de sobrevivencia.

De acuerdo a (Hayes *et al*1978), materiales con capacidad de retención de agua de 70%, han sido reportados como altamente productivos, ya que a mayor capacidad de retención de agua puede esperarse una mayor producción de hongos.

### **1.7.2. Problemática del uso de turba para cobertura de champiñón**

Como ya se mencionó, en el cultivo de champiñones determinante el uso de una capa de cobertura debido a que en ella se presentan las condiciones fisicoquímicas y biológicas satisfactorias para estimular la formación, desarrollo y producción de esporomas (Choudhary, 2011). Generalmente se utilizan turbas como cobertura (musgo proveniente de Canadá en el caso de México) (Fernández, 2005). Desde 1950, la turba ha sido el mayor componente como coberturas en el Reino Unido y debido a sus características fisicoquímicas de buena aireación, retención de agua, bajo contenido de nutrientes y de sales solubles, su uso se ha incrementado.

La problemática con el uso de turba (peat moss), es la sobreexplotación de turberas y agotamiento de la misma ya que su formación es lenta, se reporta que anualmente en los depósitos de turba solo se forma una capa de alrededor de 4-8 cm de espesor, y para cosecharla debe esperarse de 7-10 años o más. Es importante considerar la

dificultad de abastecimiento actual de turba así como el deterioro ambiental que se genera por su extracción. Además, tanto en México como en países donde la turba no está disponible, el costo de importación es elevado, siendo los países de Europa y Norteamérica los principales abastecedores de grandes cantidades de turba en los países de Australia y el sur de África. Actualmente, en España se necesitan cerca de 150,000m<sup>3</sup> anuales de cobertura considerando que en la zona productora de champiñón de Castilla-La Mancha, se concentra cerca del 45% de la producción nacional (Pardo-Giménez *et al.*, 2010).

En Alemania, más de 100,000m<sup>3</sup> de turba se usan al año para la producción comercial de hongos. En el Reino Unido, 100,000m<sup>3</sup>. En otras regiones del mundo, como Francia, España y China Oriental, donde la cobertura tradicionalmente es elaborada de suelos minerales y aditivos localmente disponibles, se ha generado un incremento y una tendencia a incorporar el uso de turba como coberturas debido a que el uso de materiales alternativos, corteza de árbol y fibra de coco son utilizados solamente en extensiones limitadas (Vedié, 1995; Noble y Dobrovin-Pennigton, 2001; Pardo-Giménez *et al.*, 2010). Asimismo, la actividad de extraer turba genera un desequilibrio ecológico importante debido a severos daños ocasionados en el medioambiente como destrucción de hábitats, alteración de la riqueza y diversidad biológica entre las poblaciones fúngicas. Por ello es importante frenar la sistemática lapidación de bosques y selvas, así como fomentar estudios micobióticos (Estrada-Martínez *et al.*, 2009).

En el Reino Unido, la industria de la horticultura incluyendo a productores de hongos, ha estado dentro de la presión gubernamental y de grupos ambientalistas desde principios de 1990 para reducir el uso de turba (Pryce, 1991), esta presión también es para productores domésticos y minoritarios para incrementar el uso de coberturas libres de turba (Mackenzie, 2010). Muchos son los materiales que, solos o en combinación, han sido empleados como cobertura para el cultivo de champiñón, tanto a nivel comercial como a nivel experimental, sin embargo, actualmente solo algunos de ellos han tenido aplicación en la práctica (Pardo-Giménez *et al.*, 2010). De aquí el interés por el uso de materiales alternativos con vistas a reemplazar a las tierras de

cobertura orgánicas habitualmente usadas con la ventaja de disminuir los costos de elaboración, reducir el uso de turba y el impacto negativo en el medio ambiente.

### **1.7.3. Materiales alternativos a la turba para cobertura de champiñón**

Diversos materiales han sido evaluados como posibles sustitutos de la turba utilizada para la cobertura en la producción comercial de champiñones. De los materiales alternativos más estudiados resaltan en primer término los intentos para sustituir parcialmente a la turba, con sustrato postcultivo en compañía con la fibra de coco, los que a continuación se mencionan.

Rangel *et al.* (2006) evaluaron el uso de una mezcla con un residuo agroindustrial propio de clima cálido, la **cascarilla de arroz y fibra de coco** para sustituir el uso de la "tierra negra" (andosol húmico) como material de cobertura en la producción de champiñón. En pruebas a nivel comercial, si bien los rendimientos fueron similares en el control de tierra negra y la mezcla con 85% de cascarilla de arroz, se cosecharon hongos de mejor calidad y mayor peso promedio en la mezcla de cascarilla de arroz. No obstante, los rendimientos obtenidos fueron bajos, menores a 100 kg /ton de sustrato fase II.

Pardo-Giménez *et al.* (2008) evaluaron mezclas de **fibra de coco (FC) y sustrato postcultivo (SMS)** (con 2 meses de intemperización). Se encontraron similares eficiencias biológicas con 2 coberturas comerciales, (turba o de suelo mineral adicionado con fibra de coco), 89.6 y 95.3 % respectivamente, a las obtenidas con coberturas con 100 y 80 % de fibra de coco (92.7 y 92.9% de eficiencia biológica), las cuales fueron menores en las mezclas con 60 y 40% de fibra de coco (82.6 y 72.4% de eficiencia biológica), y la más baja eficiencia biológica, 56.9%, se obtuvo con la cobertura de sustrato postcultivo (SMS) al 100%. Se observó también un ligero retraso en el inicio de la cosecha al incrementar la proporción de SMS en la cobertura, aunque se presentó una tendencia a aumentar el tamaño de los champiñones, un mayor contenido de materia seca y mejor textura, se observó peor coloración al aumentar la proporción de SMS. Los autores plantearon como viable el

uso de SMS en nuevos ciclos de cultivo como una alternativa para reemplazar parcialmente a sustratos orgánicos empleados como coberturas.

En un estudio posterior, Pardo-Giménez *et al.* (2010) evaluaron el uso al 100 % de **sustrato postcultivo (SMS)** después de lavarlo con 1 ó 2 volúmenes de agua o bien mezclándolo al 20% (4:1) o 40% (3:2) con turba rubia o fibra de coco. La conductividad eléctrica de las coberturas control era de 205  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para la mezcla de suelo mineral con fibra de coco y 831  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para la mezcla de turba rubia con lodos de carbonato de calcio de la industria azucarera, mientras la cobertura comercial de Topterra® presentaba 221  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y el de Torreblanca 900  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . El sustrato postcultivo (SMS) presentó una alta conductividad eléctrica **1616 y 1306  $\mu\text{S}/\text{cm}$**  aun después de ser lavado con 1 ó 2 volúmenes de agua, respectivamente. La conductividad eléctrica fue 942 y 1479  $\mu\text{S}/\text{cm}$  al mezclar turba rubia con 20 ó 40% de sustrato postcultivo (SMS) y de 969 y 1611  $\mu\text{S}/\text{cm}$  al mezclar fibra de coco con 20 ó 40% de sustrato postcultivo (SMS). Los pesos unitarios cosechados en las distintas coberturas estaban en el rango de 10 a 12 g por pieza, sin detectarse diferencias significativas. Las eficiencias biológicas de las coberturas testigo fueron de 95.8, 98.9 y 104.7 % para Torreblanca, Topterra® y turba rubia con lodos de carbonato de calcio de la industria azucarera. La eficiencia biológica fue de 95.8 y 90% en el sustrato postcultivo (SMS) lavado con 1 o 2 volúmenes, respectivamente. Sorprendentemente, se obtuvo una eficiencia biológica de 88.2 y 100% en la turba rubia con 20 o 40% de sustrato postcultivo (SMS), y de 90.1 y 98.1% con la fibra de coco y sustrato postcultivo (SMS) al 20 y 40% respectivamente. Con estos resultados, los autores plantearon al (SMS) como una alternativa interesante para reemplazar a las tierras y sustratos orgánicos utilizados habitualmente como coberturas, con la doble ventaja de disminuir los costos de elaboración y el impacto ambiental

Más recientemente, Dhar *et al.* (2012) evaluaron varios materiales de cobertura obteniendo los mejores rendimientos (en el rango de 16 kg/100kg composta) con 2 tipos de **fibra de coco (compostada) (FC)** y el **sustrato postcultivo (SMS)** (intemperizado por 2 años). Rendimientos menores se obtuvieron al combinar SMS y FC ó SMS con cascarilla de arroz quemada, 148 y 143 kg/ton de composta, y aún

menores se obtuvieron con los otros materiales evaluados, tales como composta de residuos urbanos y estiércol de vaca (intemperizado por 2 años). La capacidad de retención de agua reportada para estos materiales fue de 20 y 33 % para los 2 tipos de fibra de coco (FC) y de 50% para el sustrato postcultivo (SMS). Los pesos unitarios cosechados en las distintas coberturas estaban en el rango de 14 g por pieza con los 2 tipos de fibra de coco y de 15.5 g con el sustrato postcultivo (SMS).

Barry *et al.* (2012) suplementaron **sustrato postcultivo (SMS)** con vermiculita, perlita y arena grado horticultura (al 10 y 30% v/v) encontrando que al usar vermiculita al 30% obtenían los mayores rendimientos (243 kg/ton) sin encontrar un efecto al tamizar el SMS. En un segundo experimento se evaluó vermiculita (mediana o fina) añadida al 10, 20, 30 y 40% (v/v). Al incrementar la adición de vermiculita se observó un aumento en la capacidad de retención de agua y la porosidad, reduciéndose la densidad, de manera más marcada al añadir 40%. Al usar vermiculita grado fino se aumentó la capacidad de retención de agua. Los mayores rendimientos, 188 y 178 kg/Ton, se obtuvieron al añadir 30% de vermiculita, grado fino y mediano respectivamente. Valores menores que los obtenidos con la cobertura comercial de turba, 255 kg/ton, pero superiores al usar únicamente SMS, 158 kg/ton.

Pardo-Giménez *et al.* (2012), evaluaron la producción de champiñones y **sustrato postcultivo (SMS)**. La conductividad eléctrica de la cobertura control (suelo mineral solo) era de 126  $\mu\text{S/cm}$ , la mezcla de suelo mineral con fibra de coco o con corteza de pino fue de 173  $\mu\text{S/cm}$  y la mezcla con sustrato postcultivo (SMS) fue 1839  $\mu\text{S/cm}$ . La porosidad fue de 67.3% para el suelo mineral, y de 69.1, 71.7 y 70.6 % para la mezcla con fibra de coco, corteza de pino y sustrato postcultivo (SMS), respectivamente, mientras que la capacidad de retención de agua fue de 43.1, 49.2, 55.4 y 53.6 ml por 100g de materia seca, respectivamente. Se evaluó la producción de champiñones en sustratos no suplementados y suplementados con Promycel 600, los pesos unitarios cosechados en la cobertura de suelo mineral, 34.5 y 36.6 g, fueron muy superiores a los obtenidos al mezclar fibra de coco (25.3 y 26.7), corteza de pino (23 y 25.2) o sustrato postcultivo (SMS) (29.6 y 32.2). La eficiencia biológica obtenida con la cobertura de suelo mineral, 87.8 y 90.8, fue inferior a la obtenida al mezclar

fibra de coco (111.6 y 116.7) o corteza de pino (112.3 y 106.2), pero mayor que en la mezcla con sustrato postcultivo (SMS) (66.2 y 73.5).

Referente al uso de corteza de árbol, Pardo-Giménez *et al.* (2004) evaluaron cinco mezclas de suelo con **turba café**, **turba negra(BP)**, **corteza de pino(PB)**, **fibra de madera(WF)** y **fibra de coco(CF)** en proporciones 4:1 (v/v) con espesor de 3cm. Usaron 3 cepas para esta evaluación encontrando que la producción dependía, del tipo de cobertura y la cepa empleada. Con la cepa Pla8.9 el mayor peso unitario se obtuvo con fibra de madera (14.3 g) y la mayor producción al usar fibra de coco o corteza de pino, 303 y 288 kg /ton de composta), valores superiores que con las coberturas control, con turba negra o café, 265 y 255 kg/ton de composta, respectivamente. Con la cepa Blancochamp BL-40 el mayor peso unitario se obtuvo nuevamente con fibra de madera (14.4 g) y la mayor producción al usar fibra de coco o corteza de pino, 326 y 331 kg/100 ton de composta, respectivamente. El mayor peso unitario con la cepa Gurelan 45 se obtuvo también con fibra de madera y con la fibra de coco (16.5 y 15.6 g respectivamente) mientras que en este caso los rendimientos de las 5 mezclas de coberturas fueron similares, de 257 a 296 kg/ton de composta. En todos los casos, se observó que la proporción de champiñones no comercializables fue muy baja sin ser afectada por el tipo de cobertura empleada.

En un trabajo posterior, Noble y Dobrovin-Pennington (2005) evaluaron la producción con una cobertura de **turba negra y café** con 25 % de residuos de origen forestal (**corteza de pino composteada**). Si bien la capacidad de retención de agua cerca de la saturación no se modificó, si disminuyó la capacidad de retención de agua al aplicar una presión de succión de 1.5 kPa. Aunque la cobertura con 25% de corteza de pino composteada presentó un menor rendimiento que el control, 230 y 260 kg/ton de composta, respectivamente, la calidad de los hongos producidos fue mayor, en términos del contenido de materia seca, 8.3 y 7.9% respectivamente, mientras que el rendimiento de hongos grandes fue igual, 100 kg/ton de composta.

Jaarsveld& Korsten (2008) reportan que en Sudáfrica, debido a que carece de turba, se usa corteza de acacia composteada en las coberturas, la cual favorece el desarrollo de *Chromelosporiumfulvum* (CinnamonbrownMold), un moho competidor



del champiñón que inhibe su crecimiento, reduce los rendimientos y produce alergias respiratorias. Estos autores evaluaron el efecto del tratamiento térmico de algunos materiales como **fibra de coco**, **bagazo de caña** y **lodo de la producción de azúcar** con potencial para sustituir a la corteza de acacia composteada en las coberturas. Determinaron fenólicos solubles, pH, conductividad eléctrica, capacidad de retención y suministro de agua, aislamiento e identificación de microorganismos predominantes y curvas de esporulación de *C. fulvum*, reportando que el tratamiento térmico afecta el contenido de fenoles y algunas características físicas.

**Residuos de la fabricación de papel**, específicamente efluentes frescos de la fabricación de pulpa y papel, como componente de la cobertura para la producción de champiñones fueron evaluados por primera vez por Bels-Koning en 1950. Posteriormente, Hayes *et al.* (1978) evaluaron **lodos de la producción de papel y pulpa de papel (PPMB)** como material de cobertura. El PPMB es un producto sólido que consiste de fibras de lignina y celulosa residuales del tratamiento mecánico y químico de la madera para la elaboración de papel y pulpa; también contiene arcilla, almidón, caseínas y otros compuestos orgánicos e inorgánicos. Es un lodo con 8% de sólidos (w/v) que se recupera en lagunas de sedimentación de los efluentes del proceso y se desecha en tiraderos a cielo abierto. El PPMB fresco tiene alto contenido de agua (superior al 90%), una conductividad de 2500  $\mu\text{ohms cm}^{-1}$  y pH 5.2. Después de 18 meses de intemperización, el PPMB presenta una conductividad de 115  $\mu\text{ohms cm}^{-1}$ , pH 3.8, contenido de agua 74.2 % y 66.9% de materia orgánica (Yeo y Hayes, 1978). En el 33.1% de cenizas predomina Ca (76.5 ppm), Na (32.4 ppm), Mg (9.7ppm) y K (2.75 ppm). En el material fresco se presenta una abundante microbiota, principalmente *Pseudomonas* y hongos superiores, que tienden a desaparecer después de 1 año de intemperización dando lugar a la colonización por diversos tipos de plantas.

El PPMB intemperizado se ajustó a pH 7.5 con  $\text{CaCO}_3$  para aplicarlo como cobertura en pruebas de laboratorio y a escala comercial. Bajo condiciones de laboratorio la producción en la cobertura con PPMB se adelantó por 2 días a la cobertura comercial con turba, mientras que en los experimentos bajo condiciones comerciales no se detectaron diferencias al cosecharse 2 brotes (30 días). Los rendimientos en

condiciones de laboratorio alcanzaron valores de 200 g/kg de composta y en condiciones de producción comercial de 16 kg/m<sup>2</sup>, aproximadamente 160 kg/ton de composta (Hayes *et al.*, 1978). Bajo las condiciones de laboratorio, en la cobertura de turba se produjo una mayor cantidad de primordios (58 vs 23) aunque el número de hongos cosechados fue menor (17 vs 22) por lo que el peso promedio fue mayor (10.4 vs 8.6 g), es decir se cosecharon hongos más grandes, lo que de acuerdo a Hayes *et al.* (1978) es resultado de la mayor actividad bacteriana a partir de la cobertura hasta el primer brote, 10<sup>9</sup> y 10<sup>8</sup> respectivamente. Bajo ambas condiciones, los hongos cosechados en coberturas de PPMB fueron de mejor calidad (86.4 y 72.1 de reflectancia, respectivamente) y con más alto contenido de materia seca (10.5 y 8.0%, respectivamente).

La conductividad eléctrica de las coberturas de turba y PPMB aumentó al finalizar el periodo de producción (Yeo & Hayes, 1978). Existe controversia acerca del efecto de este aumento en la concentración de sales sobre la disminución en los rendimientos y el aumento en la calidad de los hongos con los brotes sucesivos. Hayes (1972) indica que mientras ciertos cationes inhiben la fructificación, otros la favorecen. En la cobertura con PPMB, se observan aumentos importantes en la concentración de K, de un valor insignificante hasta 5000 ppm, de Na de 100 a 800 ppm y de Fe soluble en agua de 0 a 30 ppm.

Posteriormente, Dergham y Lelley (1991) **evaluaron por primera vez el uso de residuos de papel de desecho en mezclas con turba**. Al utilizar papel intemperizado por 2 meses en un experimento inicial, el rendimiento con el control fue 217 kg/ton de sustrato, similar al de la mezcla con 10% o con 50% de papel, 220 y 221 kg/ton sustrato, respectivamente. En la cobertura con 100% de papel se produjo el rendimiento más bajo, 179 kg/ton sustrato, aunque sin presentarse diferencias significativas. En un segundo experimento se utilizó papel con 1 año de intemperización. En este caso el rendimiento con el control de turba al 100%, 309 kg/ton sustrato, fue similar al obtenido con 60% de papel (307 kg/ton sustrato). Igual que en el primer experimento, al usar 100% de papel se obtuvo un rendimiento significativamente menor (280 kg/ton sustrato). Respecto a la capacidad de retención de agua (CRA), el papel utilizado 100% contenía un valor de 263.91 ml agua/100g de

materia orgánica seca; con estos resultados Dergham y Lelley (1991) recomendaban el uso de papel en mezclas con turba, dado que el papel está disponible, es de bajo costo y beneficia al medio ambiente al darle uso.

Sassine *et al.* (2005), utilizaron **papel reciclado (papel periódico y de oficina)** cortado en tiras de 5 mm. No lograron producir champiñones con una cobertura de papel sin procesar, por lo que decidieron compostearlo a baja temperatura (30°C) por tiempos prolongados (60 días). Únicamente al usar papel composteado con 0.7% de N, lograron producir champiñones pero con muy bajos rendimientos, 25% del rendimiento obtenido con una cobertura control de turba (peat moss) aunque los pocos hongos cosechados eran más pesados, casi 60 g, en comparación con 20 g de los hongos cosechados en la cobertura con turba. Adicionalmente en la cobertura de papel se presentaron hongos con malformaciones y un débil crecimiento micelial en la cobertura. Estos autores consideran que la baja producción al usar coberturas con papel, podría deberse a los bajos niveles de CO<sub>2</sub> resultado de la pobre estructura del papel y a la baja capacidad de retención de agua del papel, 24% respecto a la turba.

## 2. JUSTIFICACIÓN

El cultivo de champiñón se visualiza como una alternativa de desarrollo económico y social; debido a sus características cualitativas su producción no solo se ha mantenido desde hace muchos años, si no que se ha incrementado (Royse, 2007). México ubicado entre los primeros quince países productores de hongos comestibles en América Latina y décimo sexto a nivel mundial (Martínez-Carrera *et al.*, 2010).

Uno de los principales problemas en el cultivo comercial de champiñones, es que no se desarrollan sin un material de cobertura, misma que se fundamenta en el uso de turbas y suelo mineral de diferentes orígenes (capa arable, subsuelo) como material de base. La turba es la cobertura predominante en el mundo para el cultivo comercial por lo que es previsible principalmente agotamiento de reservas, al mismo tiempo, esta actividad generar un impacto negativo en los ecosistemas (Pardo-Giménez *et al.*; 2010); por otro lado, el uso de turba ha llegado a tener un costo cada vez más elevado, sobretodo en lugares donde no existen turberas (Dergham y Lelley 1991), además del riesgo que implica la importación de turba de que se pudieran introducir microorganismos exóticos.

Algunos materiales utilizados como sustitutos han mostrado resultados de producción competitivos a la turba, sin embargo, el costo de su aplicación es elevado; otros materiales alternativos son de bajo costo con la desventaja de mostrar baja producción respecto a la turba.

Por lo antes mencionado surge la necesidad de utilizar materiales de cobertura alternativos con la finalidad de sustituir parcial o totalmente el uso de turba empleada actualmente como cobertura en la producción comercial de champiñones, razón por la cual en este trabajo se buscaron y evaluaron materiales ecológicamente aceptables para desarrollar coberturas alternativas, que permitan lograr rendimientos similares o mayores que los que se obtienen con las coberturas comerciales. Los resultados de la evaluación de los materiales experimentales en este trabajo, permitirán la introducción de materiales alternativos a la turba. Los materiales evaluados fueron subproductos forestales: corteza de árbol (pino rojo) y pulpa de

papel bond de reciclaje. Ambos materiales son de bajo costo y fácil manejo, además de que no presentan un riesgo sobre los recursos naturales, incluyendo el caso de la corteza de pino ya que es un subproducto forestal que se genera del principal tipo de árbol maderable en México.

Es previsible que al combinar estos materiales se logre una mezcla que con una alta capacidad de retención de agua y muy buena porosidad, es de esperar que el papel de desperdicio presente una alta capacidad para retener agua dado que está constituido esencialmente por fibras de celulosa altamente hidratables.

Por otra parte, la corteza de árbol, es un material altamente poroso, rico en lignina y celulosa, que también puede retener altas cantidades de agua en sus poros. De acuerdo a Rainey *et al.*(1987), la corteza de pino posibilita elevados rendimientos cuando es utilizada como cobertura, debido a que además de ser un material residual presenta buena aireación y la posibilidad de cosechas precoces. Los hongos son cosechados con mayor calidad y limpios dado que se desarrollan separados en la superficie de la cobertura (Allen, 1976). Ambos materiales se caracterizan también por presentar un bajo contenido de nutrientes, condición básica para un material de cobertura, son de bajo costo y buena disponibilidad.

### **3. HIPÓTESIS**

Será posible sustituir las coberturas comerciales para el cultivo de champiñones elaboradas con turba importada por mezclas de corteza de árbol con papel reciclado, ya que son de naturaleza lignocelulosica, presentan alta porosidad y capacidad de retención de agua así como bajo contenido de nutrientes.

### **4. OBJETIVOS**

#### **Objetivo general**

Evaluar cuantitativamente cuatro mezclas de corteza de árbol y papel reciclado como cobertura para conocer su respuesta productiva y posteriormente utilizarlas como coberturas en la producción comercial de *A. bisporus*.

#### **Objetivos particulares:**

- Formular materiales de cobertura alternativos utilizando mezclas de corteza de árbol y pulpa de papel reciclado.
- Evaluar la producción de champiñones utilizando las coberturas alternativas y la cobertura comercial (control).

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Material biológico

Se utilizó la cepa de *Agaricus bisporus* A15 producida comercialmente por Sylvan Inc. USA, suministrada a Champiñones Monteblanco (Sta. María Rayón, Estado de México) la cual se sembró en el sustrato comercial que la empresa prepara de manera regular para su operación comercial.

### 5.2. Preparación de materiales de cobertura.

El presente trabajo se llevó a cabo en el laboratorio del Departamento de Biotecnología de Alimentos, Facultad de Química "E" UNAM. Los materiales utilizados para formular las coberturas fueron, corteza de pino rojo obtenida de los viveros de Coyoacán en la Ciudad de México y papel blanco (Bond) de desperdicio de oficinas que se obtuvo de un almacén de reciclados (figura 5.1). Se utilizó Carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y formaldehído (43%) grado técnico, y como control, una cobertura comercial proporcionada por la empresa Hongos de México.

En este estudio se decidió que, para preparar los distintos materiales de cobertura, se utilizaran proporciones volumétricas con el objeto de relacionar más fácilmente estos experimentos con la práctica comercial y así posibilitar la aplicación de los resultados obtenidos a la situación de una producción comercial. Cabe aquí entonces aclarar que, en la producción comercial de champiñones, regularmente los materiales son manejados especificando los volúmenes requeridos de los distintos materiales, ya sea en la preparación de los sustratos para el cultivo como para los materiales de cobertura. En las producciones comerciales se utilizan cantidades muy grandes de materiales por lo que no es práctico estar pasándolos continuamente. A manera de ejemplo, en una producción comercial promedio se preparan semanalmente alrededor de 200 m<sup>3</sup> de cobertura. En el caso de las coberturas, como se aplican en capas de 4.5 cm de espesor sobre las camas de sustrato ya invadido con micelio, los requerimientos de cobertura para el proceso se establecen considerando aproximadamente 45 a 50 litros de cobertura para cada m<sup>2</sup> de cama de cultivo. Para

asegurar la estandarización de los procesos, y la calidad de los mismos, la humedad y las densidades de los materiales son regularmente determinados y de esta manera llevar un registro de los pesos secos y húmedos de las materias primas y de los sustratos, así como de los materiales de cobertura. Puede observarse que, en la literatura sobre el uso y desarrollo de nuevas coberturas, las proporciones de los materiales utilizados esta indicadas en términos volumétricos.

### **5.2.1. Preparación de corteza húmeda.**

Para preparar corteza húmeda con  $\text{CaCO}_3$  se utilizaron 1000 ml de corteza seca fragmentada en trozos o cubos de aproximadamente  $1\text{cm}^3$  equivalente a 400 g (densidad = 0.40 g/ml), se añadieron 933 ml de agua y se dejó en inmersión por 4 días. Posteriormente la corteza húmeda fue drenada y al volumen resultante (1.480ml) se le adicionaron 86.9 g  $\text{CaCO}_3$ , se mezclaron los materiales obteniéndose un volumen de corteza húmeda con  $\text{CaCO}_3$  de 1.490ml. Se determinó la densidad de la mezcla resultante y el rendimiento respecto a la corteza seca inicial (Figura 5.1).

### **5.2.2. Preparación de papel húmedo.**

A 1000 g de tiras papel seco de 3cm de ancho, se añadieron 4,802 ml de agua, se dejó en inmersión por 4 días, después de drenar el exceso de agua, se añadieron 3,201g de  $\text{CaCO}_3$  y se mezclaron obteniendo un volumen final de la mezclade 8, 484 g (7,188 ml). Se determinó la densidad de la mezcla resultante y el rendimiento respecto a la cantidad de papel seco inicial (Figura 5.2).

### **5.2.3. Preparación de mezclas de cobertura.**

Las mezclas de corteza y papel se prepararon en las siguientes proporciones: 1:2, 1:1, 3:1 y 5:1 (v/v). En la Tabla 5.1 se indican los volúmenes de corteza húmeda con carbonato de calcio y papel húmedo con carbonato de calcio para preparar cada una de las diferentes mezclas.



**Tabla 5.1. Volúmenes de corteza de pino y papel utilizados para la preparación de las mezclas evaluadas.**

Mezclas corteza: papel (v/v)	Volumen (L)	
	Corteza húmeda con CaCO <sub>3</sub>	Papel húmedo con CaCO <sub>3</sub>
1:2	5	10
1:1	8	8
3:1	12	4
5:1	25	5

Las cantidades requeridas para preparar los volúmenes necesarios de corteza húmeda y papel húmedo con carbonato, se calcularon a partir de los procedimientos ya descritos (preparación de 1000 ml de corteza seca y 1000 g de papel seco, respectivamente). Las mezclas se desinfectaron con 16 ml de formaldehído concentrado disuelto en medio litro de agua, excepto la mezcla corteza-papel (5:1) a la que se añadieron 18 ml. Las mezclas se dejaron en reposo por 2 días antes de aplicarse como cobertura.

#### **5.2.4. Preparación de cobertura corteza-papel (1:2).**

La preparación de esta mezcla se realizó como se presenta en el Figura 5.3, a partir de un volumen inicial de 3,355 ml de corteza seca a la cual se añadieron 3,130 ml de H<sub>2</sub>O, se dejó en inmersión por 4 días, después de drenar el excedente de agua, el volumen de corteza húmeda obtenido de 4,960 ml, se suplementó con 292 g de carbonato de calcio y se mezclaron. El papel se preparó a partir de 1,390 g de papel seco, se añadieron 6,678 ml de H<sub>2</sub>O, se dejó en inmersión 4 días, se drenó el excedente de agua, al volumen de papel húmedo se añadieron 4,452 g de carbonato

de calcio y se mezclaron, la mezcla (1:2), se preparó con 5,000 ml de corteza preparada y 10,000 ml de papel preparado, se añadieron 16 ml de formol, se mezclaron y se dejaron por 2 días para su desinfección obteniendo un volumen de cobertura corteza–papel (1:2) de 12,629 ml.

#### **5.2.5. Preparación de cobertura corteza-papel (1:1).**

Para preparar la mezcla corteza–papel en proporciones iguales (1:1) como se muestra en el Figura 5.4, se utilizaron 5,368 ml de corteza seca, a los que se añadieron 5,008 ml de H<sub>2</sub>O dejándola en inmersión por 4 días, posteriormente se drenó el exceso de agua, se añadieron 466 g de CaCO<sub>3</sub> y se mezclaron. El papel se preparó con 1,112 g de papel seco, se añadieron 5,342 ml de agua dejándolo en inmersión por 4 días, después de drenar el exceso de agua se suplementó con 3,561 g de CaCO<sub>3</sub> y se mezclaron los materiales. La mezcla corteza–papel (1:1) se preparó con 8,000 ml de corteza preparada y 8,000 ml de papel preparado, más 16 ml de formol dejándola por 2 días para su desinfección, obteniendo un volumen de esta cobertura de 14,899 ml.

#### **5.2.6. Preparación de cobertura corteza–papel (3:1).**

En la Figura 5.5 se puede ver que la mezcla corteza–papel 3:1 se preparó con un volumen inicial de 8,571 ml de corteza seca, se añadieron 7,514 ml de H<sub>2</sub>O dejándola en inmersión por 4 días, el volumen de corteza húmeda drenada de 11,919 ml, se suplementó con 700 g de CaCO<sub>3</sub>, se mezclaron los materiales obteniendo un volumen de 12,000 ml. Para preparar el papel se utilizaron 556 g de papel seco, se añadieron 2,672 ml de H<sub>2</sub>O, se dejó 4 días en inmersión posteriormente fue drenado el excedente de agua y se suplementaron con 1,781 g de CaCO<sub>3</sub> y se mezclaron los materiales obteniendo un volumen de 4000 ml. La cobertura corteza–papel (3:1), se preparó con 12,000 ml de corteza preparada y 4,000 ml de papel preparado, se añadieron 16 ml de formol, se mezclaron y se dejaron reposar por 2 días para desinfectar obteniendo un volumen de esta cobertura de 17,504 ml.

### 5.2.7. Preparación de cobertura corteza-papel (5:1).

La preparación de esta mezcla se inició, como se muestra en la Figura 5.6, con 17,857 ml de corteza seca, se adicionaron 15,654 ml de H<sub>2</sub>O dejándola en inmersión por 4 días, después de drenar el volumen de corteza húmeda fue de 24,832 ml, se adicionaron 1,458g de CaCO<sub>3</sub> y se mezclaron, el volumen de la mezcla fue de 25,000 ml. La preparación del papel se inició con un volumen de 695 g de papel seco, se añadieron 3,340 ml de H<sub>2</sub>O, después de dejar en inmersión por 4 días, el papel fue drenado y se adicionaron 2,226g de CaCO<sub>3</sub> y se mezclaron obteniendo un volumen de 5000 ml. La cobertura corteza–papel (5:1) se preparó con 25,000 ml de corteza preparada y 5,000 ml de papel preparado y se añadieron 18 ml de formol dejando la mezcla reposar 2 días antes de usarse obteniéndose un volumen final de cobertura de 23,904 ml.

### 5.3. Retención de agua y densidad de los materiales de cobertura

Antes de preparar los materiales de cobertura, corteza de árbol y papel reciclado, se determinó el contenido de humedad en su máxima capacidad de retención de agua y la densidad que presentaba cada material Tabla 6.1. El contenido de humedad de cada material se determinó por el método del peso seco de horno; para ello se pesaron 2 muestras de 50 g de cada material de cobertura recién preparado, las muestras se secaron en un horno a 75°C hasta alcanzar peso constante y se utilizó la siguiente fórmula.

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{\text{Pesohúmedo} - \text{Pesoseco}}{\text{Pesohúmedo}} \times [100]$$

Para determinar la densidad de los materiales, se llenó un contenedor de 1 litro con cada uno de los materiales, se pesó y la densidad se expresó en términos de g/ml.

**Figura 5.1. Materiales para preparar corteza húmeda.**

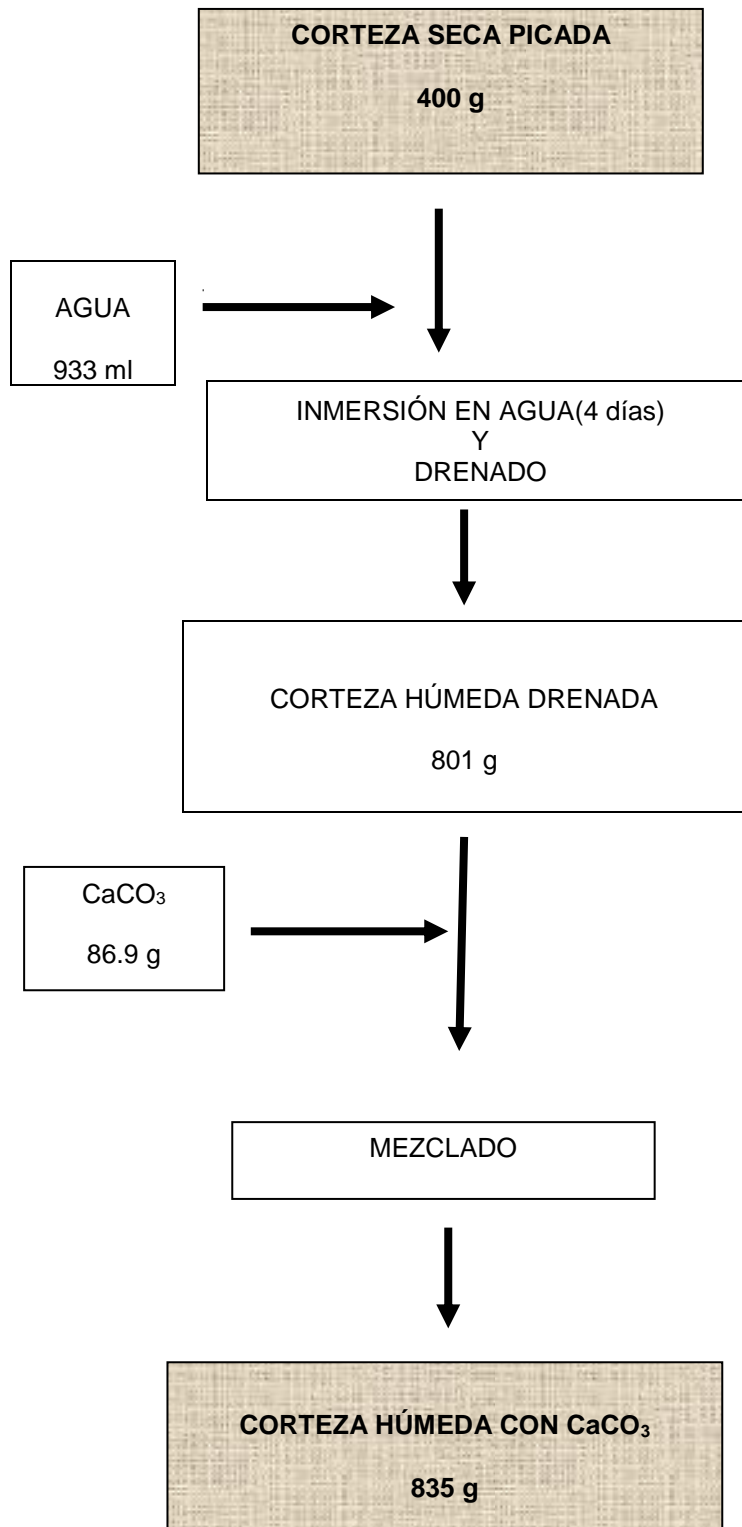
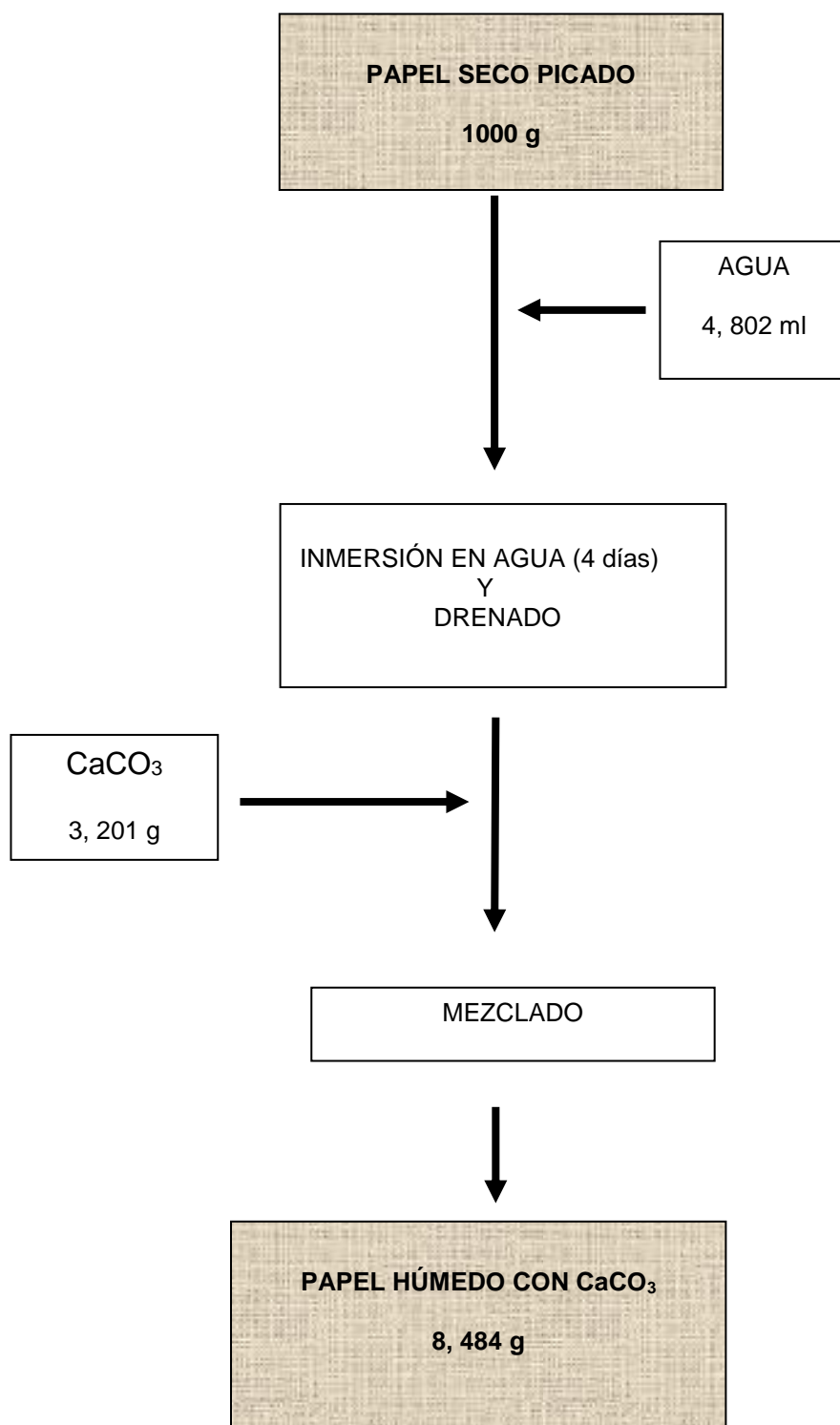
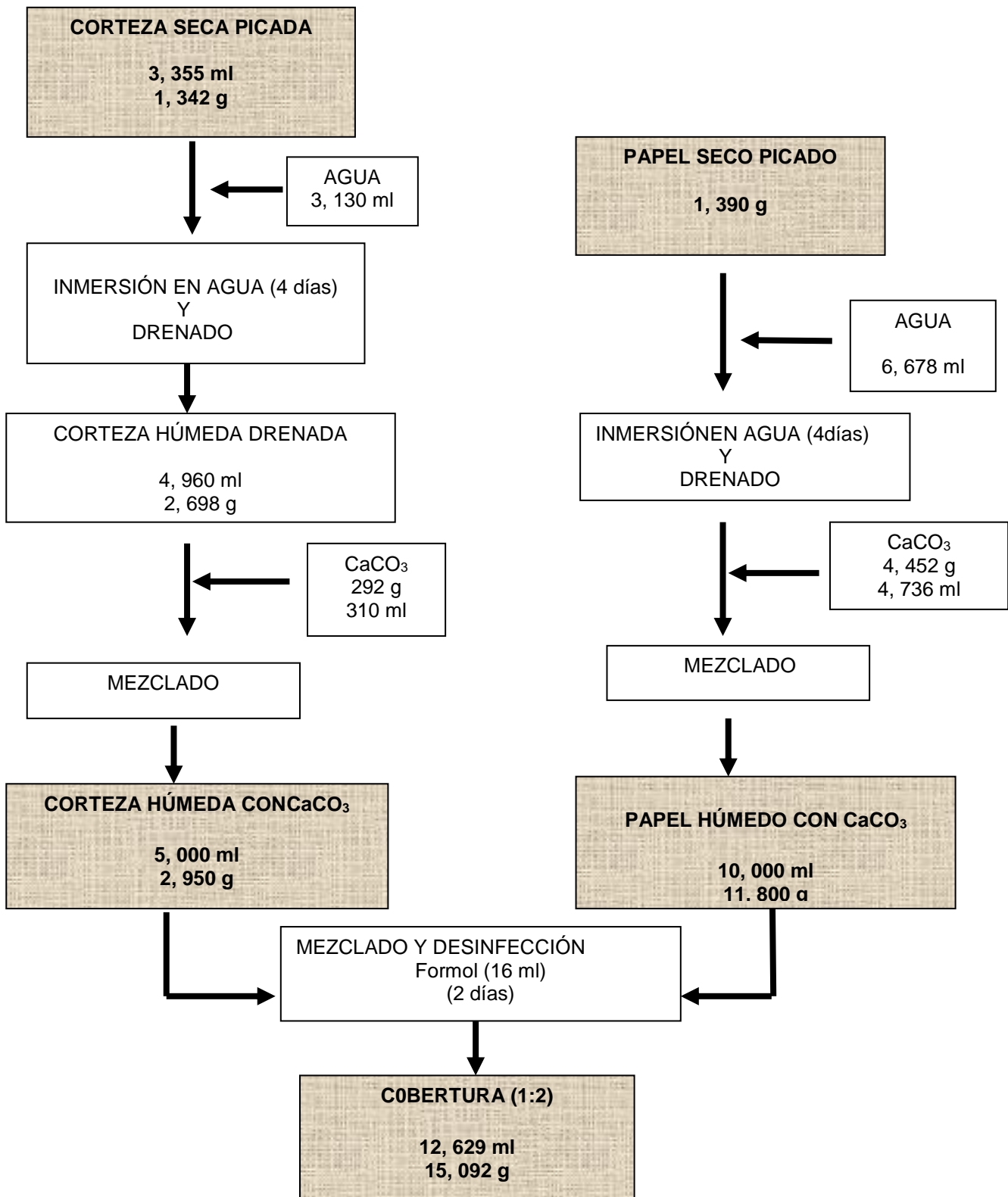


Figura 5.2. Materiales para preparar papel húmedo.



**Figura 5.3. Preparación experimental de mezcla corteza:papel (1:2).**



**Figura 5.4. Preparación experimental de mezcla corteza:papel (1:1).**

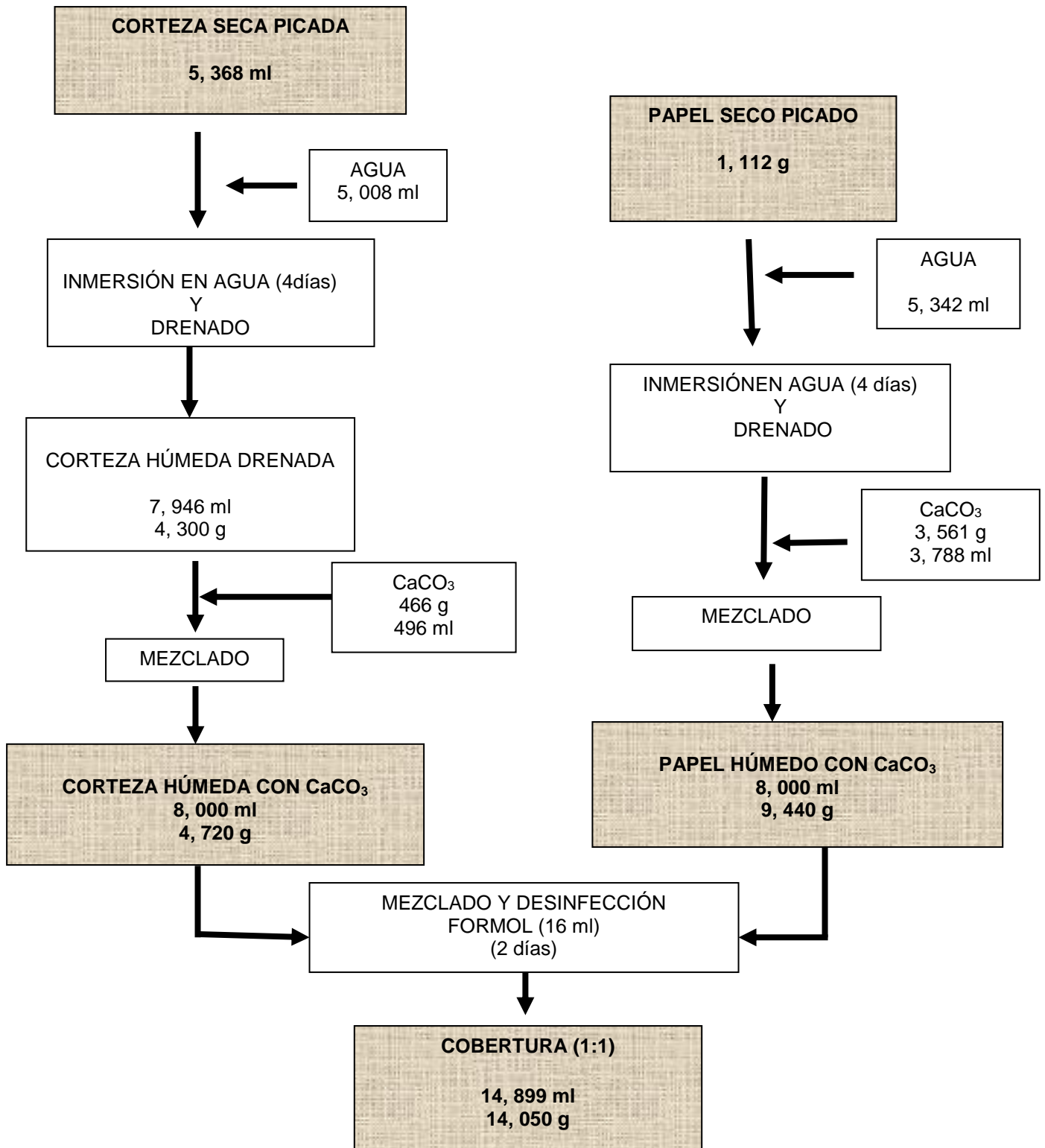


Figura 5.5. Preparación experimental de mezcla corteza:papel (3:1).

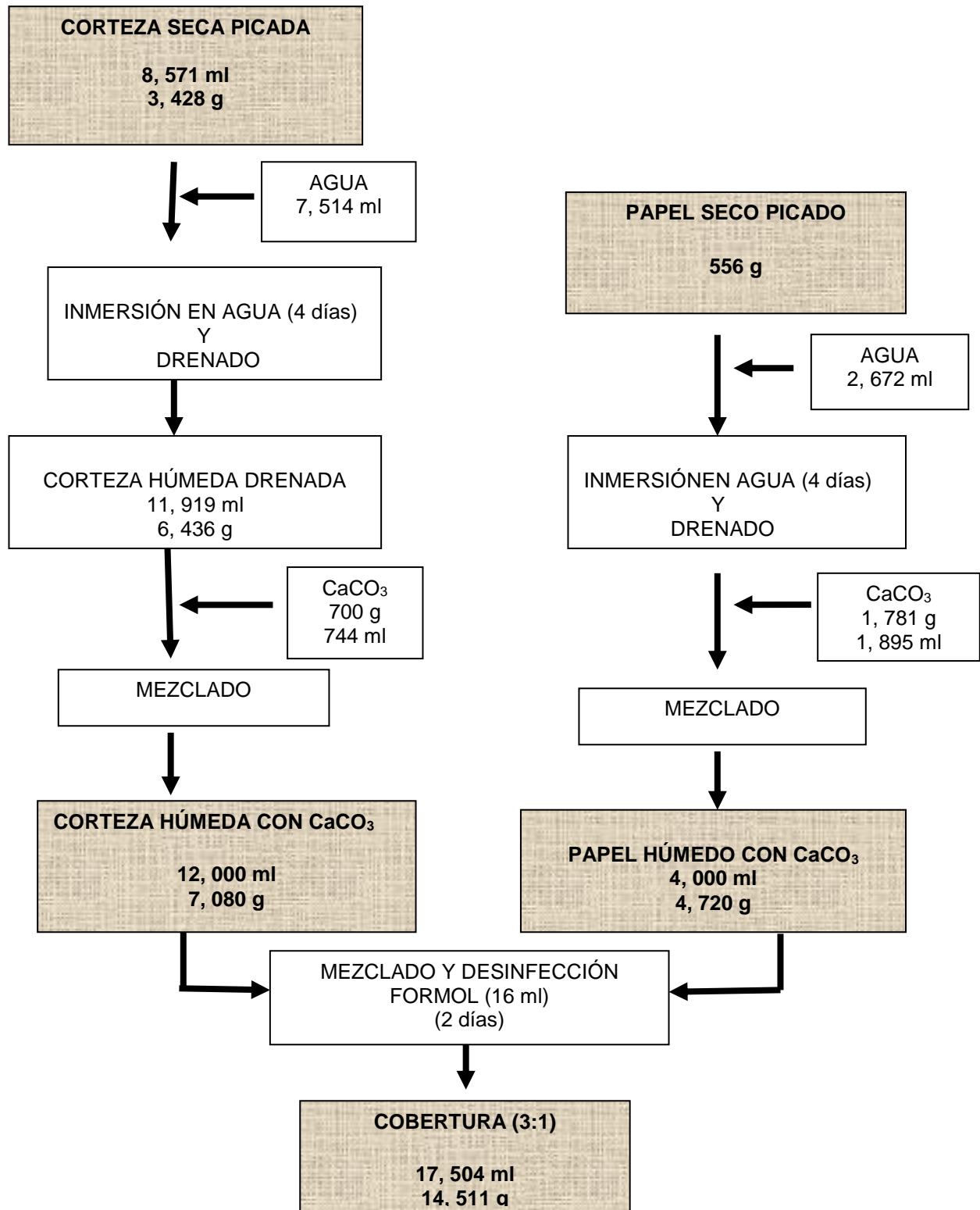
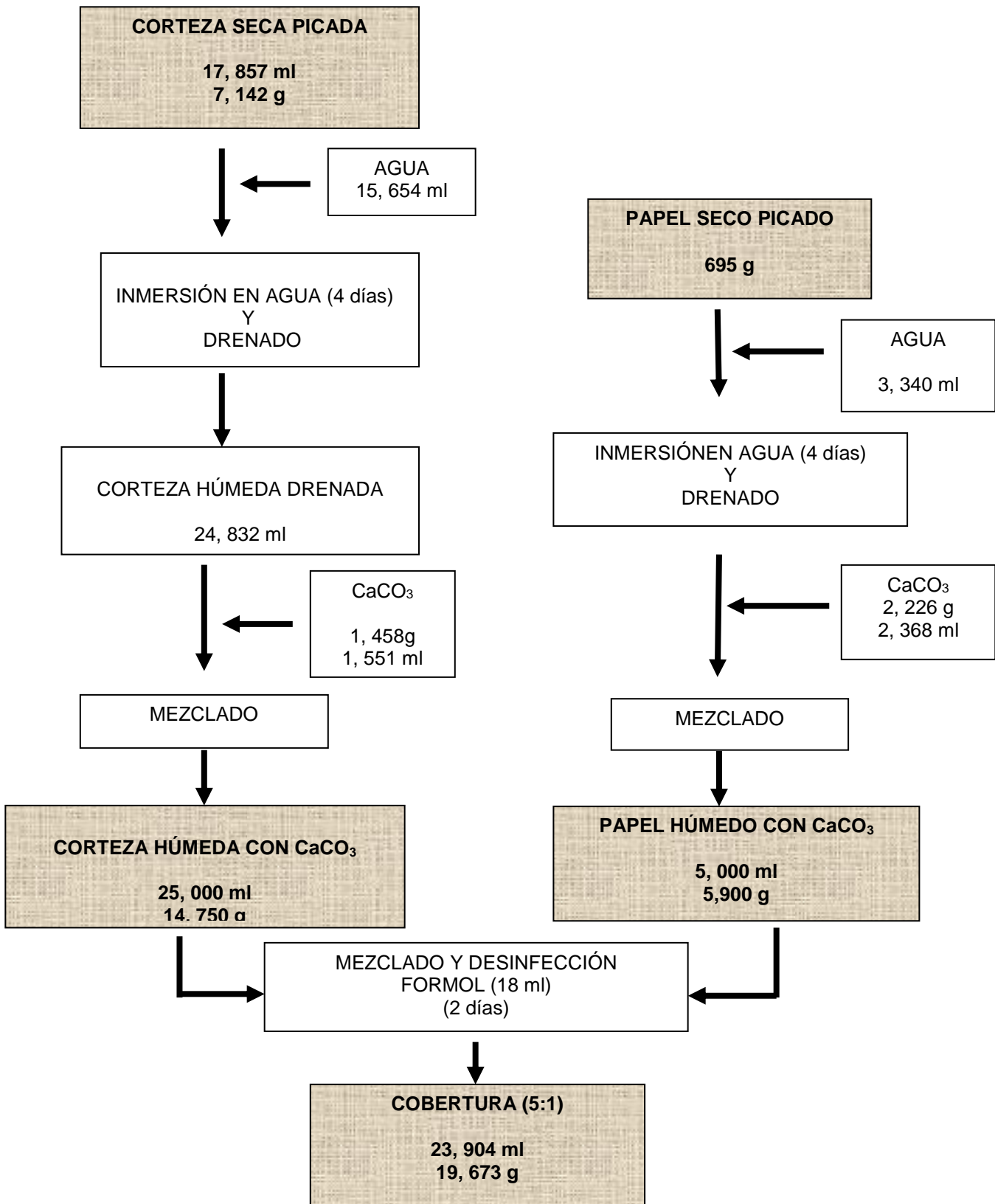




Figura 5.6. Preparación experimental de mezcla corteza:papel (5:1).



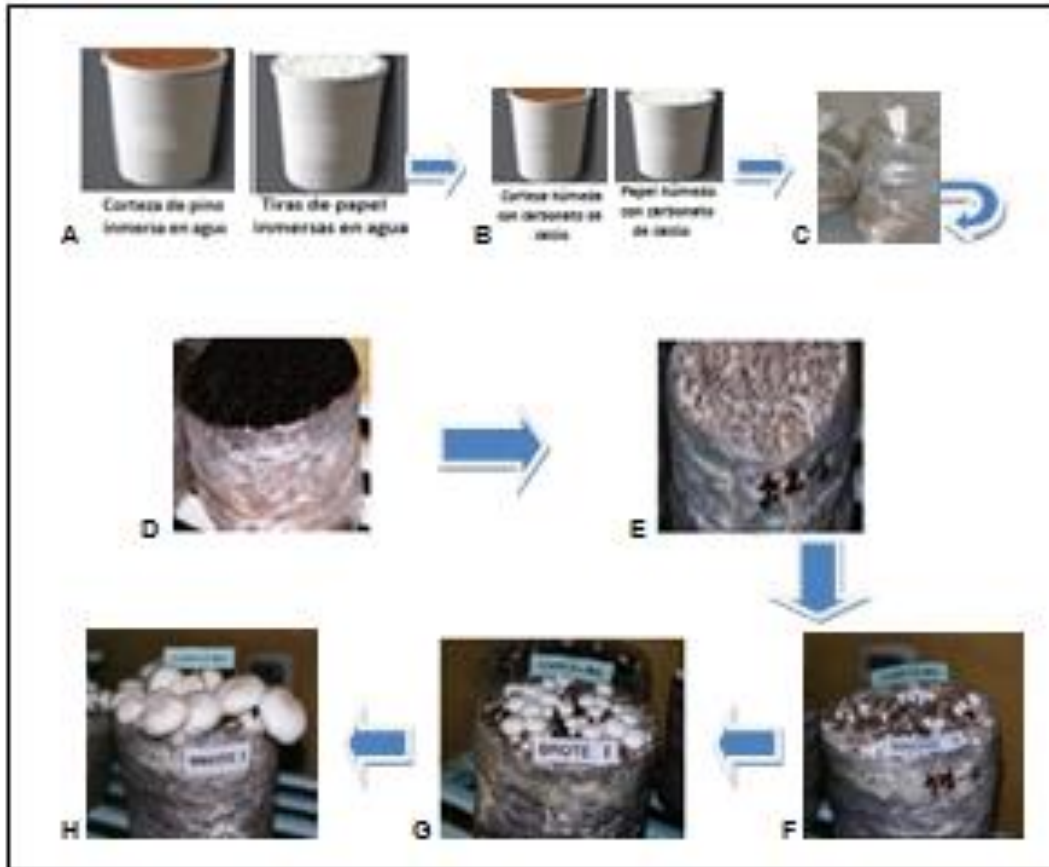
#### **5.4. Condiciones para la producción experimental de champiñones.**

Para la producción de champiñones, el sustrato utilizado en este trabajo se recibió recién inoculado de la empresa Champiñones Monteblanco (Sta. María Rayón, Estado de México) que también suministró el material de cobertura utilizada como control. Ambos materiales fueron preparados de acuerdo a una fórmula propiedad de la misma empresa que utiliza en su operación cotidiana para la producción comercial de champiñones. El sustrato comercial que la empresa prepara de manera regular para su operación comercial se inoculó al 0.3% con la cepa de *Agaricus bisporus* A15 producida comercialmente por Sylvan Inc. USA.

El sistema de producción empleado fue el denominado francés o de “bolsa plástica”, que consiste en agrupar las bolsas con sustrato inoculado y colocarlas en diferentes niveles de altura. El sustrato inoculado con humedad de 64.5%, se empacó en bolsas de plástico (polietileno) planas de 35 x 45 cm, que al llenarse desarrollaron un diámetro de 22 cm con una altura de 18cm, formando unidades con 3 kg. (peso húmedo). La superficie del sustrato inoculado fue nivelada y compactada con la finalidad de obtener una superficie y espesor uniformes evitando así la formación y acumulación de gases en ciertos puntos, los bordes de las bolsas se doblaron para cerrarlas parcialmente y de esta manera mantener la humedad del mismo y promover el desarrollo micelial o proceso metabólico en el que el micelio se nutre del sustrato y crece si las condiciones del medio ambiente, (temperatura, humedad, y concentración de CO<sub>2</sub>) lo permiten, dado que la rapidez de la colonización o propagación del micelio depende de las condiciones del medio de desarrollo. Se prepararon 7 réplicas para cada una de las 5 mezclas de cobertura evaluadas, resultando un total de 35 bolsas con sustrato, incluyendo la cobertura comercial de Hongos de México. Las bolsas se incubaron a temperatura constante de 25°C, sin ventilación y en oscuridad total. Después de 10 días, el micelio fue visible y había colonizado o propagado totalmente al sustrato. En ese momento se aplicaron los distintos materiales de cobertura incluyendo la cobertura control sobre la superficie de los sustratos. Cada bolsa recibió 1.75 L del respectivo material de cobertura para alcanzar un espesor de aprox. 4.5 cm de altura. Después de incubar las bolsas por 14 días adicionales, el micelio había colonizado la cobertura. En ese momento se procedió a inducir la formación de

primordios o primera etapa del desarrollo de esporomas ya que el micelio cultivado en condiciones ideales no produce champiñones, necesita de un estímulo que le provoque una reacción (de defensa), para ello, las bolsas fueron transferidas al área de producción, donde se cambiaron las condiciones de crecimiento micelial, temperatura y % de CO<sub>2</sub>. La temperatura se disminuyó a 18°C, se estableció ventilación intermitente manteniendo una humedad relativa entre 75 a 90%, condiciones en las cuales se desencadena la producción de esporomas en *Agaricus bisporus*. Al trasladar las bolsas al área de producción, se aplicó sobre la cobertura un riego inicial con fungicida (1g de Benlate diluido en 500 ml de agua distribuyéndolo junto con un riego ligero y homogéneo). Posteriormente se aplicaron riegos ligeros diariamente durante 3 días hasta hidratar la cobertura a saturación. Bajo estas condiciones, en aproximadamente 6 a 7 días se empezaron a formar los primordios (pequeñas aglomeraciones de micelio) y cuando alcanzaban el tamaño de un chícharo (aproximadamente 4 mm de diámetro), se aplicaron diariamente hasta 3 riegos fuertes durante el día para saturar la cobertura ventilando el área durante 1 hora después de cada riego.

De los primordios se desarrollaron esporomas en los siguientes días y se cosecharon cuando el diámetro del píleo presentaba un 50% del tamaño del estípite y el velo aún no se había separado. La primera cosecha se inició 27 días después de la aplicación de la cobertura y se continuó cosechando diariamente durante 8 semanas registrando el número peso de hongos producidos de cada una de las coberturas. Después de cada corte se retiraron los restos de hongos adheridos a la superficie de la cobertura. En las bolsas donde quedaron huecos en la superficie de la cobertura producidos durante la cosecha, se aplicó la mezcla de cobertura correspondiente para taparlos. Para cada material, se calculó la producción semanal y la producción semanal acumulada (kg de hongo fresco/ton de sustrato, asimismo la eficiencia biológica (EB), tablas 6.2, 6.3.y 6.4. En la (figura 5.7) se muestran algunas fases del cultivo experimental de champiñones.



**Figura 5.7. Algunas fases del cultivo experimental de *A. bisporus*.**

**A, B y C,** preparación de materiales de cobertura, **A:** Hidratación de corteza de pino y papel. **B:** Materiales drenados con carbonato de calcio. **C:** Bolsas de polietileno con coberturas en desinfección. **D:** Incubación del micelio de *A. bisporus* en el sustrato. **E:** Incubación del micelio de *A. bisporus* en la cobertura 1:2 v/v. **F:** Primordios visibles en la cobertura 1:1 v/v primera fase del desarrollo de esporomas. **G:** esporomas jóvenes en la cobertura 1:1 v/v. **H:** Esporomas maduros en la cobertura 1:1.

### 5.5. Análisis estadístico de resultados.

Para la realización del análisis estadístico, se utilizó el paquete estadístico (SPSS para Windows versión 18.0). Se empleó la técnica de análisis de varianza (ANOVA) para evaluar los datos. Para comprobar cuál fue la cobertura más productiva de las cinco coberturas evaluadas, se determinó la semana de producción donde se alcanzó el máximo rendimiento significativo (MRS) por medio de un análisis estadístico. Posteriormente los valores del MRS de las cuatro mezclas experimentales y el control fueron comparados entre sí por medio de un análisis de varianza para detectar

posibles diferencias significativas entre las coberturas respecto a la producción y así definir que material podría sustituir a la turba como cobertura.

## **6. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS.**

El objetivo fundamental de este trabajo está constituido por la formulación y evaluación de materiales de cobertura alternativos, para posteriormente poder introducirlos en la producción comercial de *A. bisporus* sustituyendo parcial o totalmente el uso de turba, evitando así mayores daños al medio ambiente, prever el agotamiento de turba y con la ventaja de disminuir los costos de elaboración de coberturas. Para ello, cuatro mezclas de cobertura experimentales formuladas a partir de subproductos forestales corteza de árbol y papel de reciclaje donde además de evaluar cuantitativamente parámetros de productividad, se realizó la caracterización de los principales factores físicos mencionados en la literatura.

### **6.1. Caracterización de los materiales de cobertura experimentales.**

En la Tabla 6.1 se presentan los resultados de la caracterización de los materiales de cobertura utilizados. Respecto a la humedad que presentaron en el momento de su aplicación sobre el sustrato, la cobertura 1:2 muestra la mayor capacidad de retención de agua por materia orgánica seca (284 ml/100g materia orgánica seca) y la 5:1, con mayor proporción de corteza, presentó la menor retención (152 ml/100g materia orgánica seca), mientras que en los controles, corteza húmeda 100% fue 133 ml/100g materia orgánica seca y en el papel húmedo 100%, 333 ml/100g materia orgánica seca. Otro parámetro importante es el contenido de agua en las coberturas al momento de aplicarse; en los controles se observó que la corteza húmeda 100%; presentó 64 ml/100g de cobertura y el papel húmedo 100% 50 ml/100g de cobertura y en este caso, la cobertura 5:1 presentó el mayor contenido, 61 ml/100g cobertura y el menor contenido se observó en la cobertura 3:1 (46 ml/100g de cobertura). Dado que la capa de cobertura se aplica sobre el sustrato con un espesor definido, el contenido de agua por unidad de volumen de cobertura es de suma importancia. En

relación a este parámetro, el contenido de agua de los controles fue de 36 ml/100ml cobertura para la corteza húmeda 100% y 60 ml/100ml cobertura para el papel húmedo 100%; de las mezclas, la cobertura 1:2 presentó el mayor contenido de humedad con 61 ml/100ml cobertura y la cobertura 3:1 presentó el menor valor, 39 ml/100ml cobertura. Referente a la densidad, corteza húmeda 100% (0.56g/ml), papel 100% (1.18g/ml), la cobertura con mayor densidad fue 1:2 (1.20g/ml) y la menor 5:1 (0.82g/ml).

**Tabla 6.1 Retención de agua y densidad de mezclas de corteza de árbol/papel como materiales de cobertura.**

Materiales de Cobertura (Corteza/Papel)			Retención de agua (ml/100g materia orgánica seca)	Contenido de agua de cobertura preparada (Incluye CaCO <sub>3</sub> )		Densidad (g/ml)
Proporciones (v/v %)	Fracción de corteza (%)	Fracción de papel (%)		En peso (ml/100g cobertura)	Volumétrico (ml/100 ml cobertura)	
1:2	33	66	284	51	61	1.20
1:1	50	50	234	54	51	0.94
3:1	75	25	167	46	39	0.83
5:1	82	18	152	61	50	0.82
Corteza húmeda (100%)			133	64	36	0.56
Papel húmedo (100%)			333	50	60	1.18
			Cuanta agua puede retener la materia orgánica	Cuanta agua hay presente en la cobertura		
			Agua retenida (ml) por 100 g de materia orgánica seca (de la mezcla de corteza y papel)	Agua contenida (ml) por 100 g de cobertura ya preparada	Agua contenida (ml) por 100 ml de cobertura ya preparada	

## 6.2. Producción de champiñones.

### 6.2.1. Producción semanal de champiñones.

En términos generales se observó que, en la primera y tercera semana se cosechó la mayor producción de hongos (tabla 6.2). En la cobertura control, la mayor producción de hongos se obtuvo en la tercera semana (112 kg de hongos frescos/ ton de sustrato), seguida de 58.9 kg en la cuarta semana. En la mezcla de cobertura corteza:papel (5:1), la mayor producción se obtuvo en la primera semana 163 kg seguida de (1:2) con 162.1 kg y 75.9 kg en la segunda semana.

**Tabla 6.2 Producción semanal de champiñones en 5 materiales de cobertura (kg de hongos frescos/ ton de sustrato inoculado).**

Semanas de producción	Materiales de cobertura (Corteza:Papel)				
	Control	1:2	1:1	3:1	5:1
1	38.6 ± 40.3	162.1 ± 8.7	144.1 ± 30.6	125.8 ± 63.6	163.0 ± 38.1
2	41.3 ± 47.6	75.9 ± 46.7	10.4 ± 22.6	30.9 ± 35.7	10.1 ± 19.8
3	112.0 ± 42.1	63.0 ± 34.3	126.7 ± 32.2	111.5 ± 13.7	81.6 ± 21.0
4	58.9 ± 74.7	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	38.1 ± 24.2	51.4 ± 45.1
5	32.0 ± 34.4	38.6 ± 31.3	52.8 ± 33.0	21.9 ± 22.6	25.4 ± 28.9
6	22.2 ± 23.5	9.4 ± 20.9	9.6 ± 15.4	21.6 ± 20.5	11.9 ± 15.4
7	20.9 ± 29.9				
8	34.8 ± 34.1				

### 6.2.2. Producción semanal acumulada de champiñones.

Dado que la producción por semana no permite una adecuada interpretación de los resultados, con los datos anteriores se determinó la producción semanal acumulada

(kg hongo fresco /ton de sustrato) que se presenta en la (Tabla6.3). Para una correcta interpretación de los resultados obtenidos con los distintos materiales de cobertura fue necesario determinar la semana donde se alcanzó la máxima producción de hongos para cada material, para la cual se realizó un análisis de varianza con los datos de cada material de cobertura y se determinó la semana donde se obtuvo el máximo rendimiento significativo (MRS). Los resultados del análisis estadístico muestran que con la cobertura control este valor es de 325.8 kg hongo fresco /ton de sustrato y se alcanza en la 7ª semana de producción, mientras que con las coberturas experimentales de corteza de árbol y papel de reciclado, el MRS se alcanzó 2 semanas antes, (5ª semana de producción) y sus valores oscilan entre 328 y 340 kg hongo fresco /ton de sustrato.

**Tabla 6.3 Producción semanal acumulada de champiñones en 5 materiales de cobertura (kg de hongos frescos/ ton de sustrato inoculado)**

Semanas de producción	Materiales de cobertura (Corteza:Papel)				
	Control	1:2	1:1	3:1	5:1
1	38.6 ± 40.3 <sup>a</sup>	162.1 ± 8.7 <sup>a</sup>	144.1 ± 30.6 <sup>a</sup>	125.8 ± 63.6 <sup>a</sup>	163.0 ± 38.1 <sup>a</sup>
2	79.9 ± 34.5 <sup>a</sup>	238.5 ± 47.1 <sup>b</sup>	154.5 ± 20.5 <sup>a</sup>	156.7 ± 72.5 <sup>b</sup>	173.1 ± 50.0 <sup>a</sup>
3	191.9 ± 44.5 <sup>b</sup>	301.0 ± 21.2 <sup>c</sup>	281.1 ± 35.0 <sup>b</sup>	268.2 ± 63.2 <sup>c</sup>	254.8 ± 48.7 <sup>b</sup>
4	250.8 ± 60.6 <sup>c</sup>	301.0 ± 21.2 <sup>c</sup>	281.1 ± 35.0 <sup>b</sup>	306.3 ± 71.3 <sup>d</sup>	306.2 ± 81.6 <sup>c</sup>
5	282.8 ± 32.5 <sup>cd</sup>	339.6 ± 26.3 <sup>d</sup>	333.9 ± 39.2 <sup>c</sup>	328.2 ± 79.6 <sup>de</sup>	331.6 ± 71.0 <sup>cd</sup>
6	304.9 ± 24.8 <sup>d</sup>	348.9 ± 28.5 <sup>d</sup>	343.5 ± 26.0 <sup>c</sup>	349.8 ± 65.7 <sup>e</sup>	343.5 ± 66.2 <sup>d</sup>
7	325.8 ± 39.6 <sup>de</sup>				
8	360.7 ± 50.2 <sup>e</sup>				

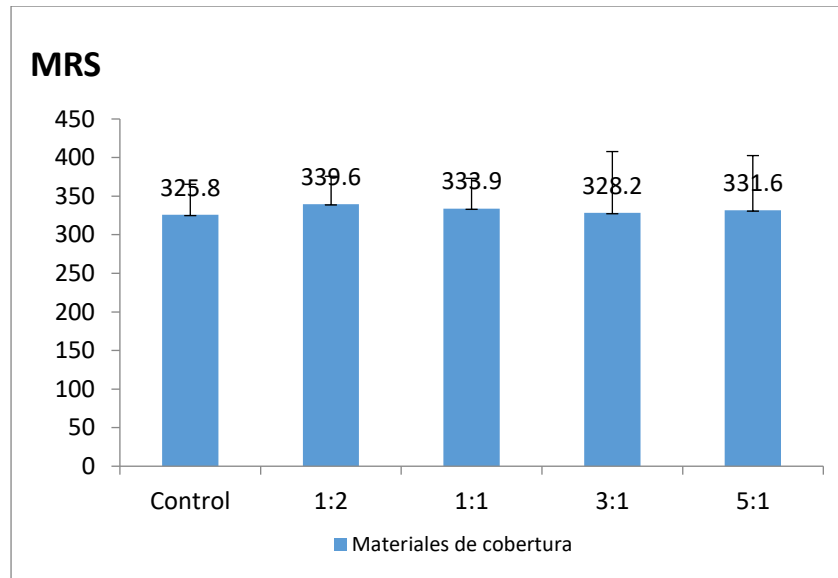
Letras diferentes en un mismo material de cobertura indican diferencias significativas entre las semanas de producción.

 Semana donde se obtiene el máximo rendimiento significativo para cada material de cobertura



### **6.2.3. Máximo rendimiento significativo (MRS) en coberturas experimentales**

Al ser comparados los valores del máximo rendimiento significativo de las 4 mezclas experimentales y la cobertura control entre sí por medio de un análisis de varianza, se observó que no se presentaron diferencias significativas entre ellos (325–339 kg /de hongo fresco por tonelada de sustrato sembrado) (Tabla 6.3, Figura 6.1).



**Figura 6.1: Máximo rendimiento significativo de champiñones en 5 materiales de cobertura (kg de hongos frescos/ ton de sustrato inoculado)**

**Tabla 6.4 Productividad de champiñones en mezclas de corteza de árbol/papel como materiales de cobertura**

Materiales de Cobertura (Corteza/Papel)		Tiempo de cosechado para MRS (semanas)	Rendimiento (Kg/Ton sustrato fresco)	Eficiencia biológica (g hongo / 100 g sustrato seco)	Tasa de producción(EB /día de cosechado)
Proporciones (v/v %)	Fracción de papel (%)				
Control	0	7	325.8 ± 39.6 <sup>a</sup>	98.7	2.0
1:2	66	5	339.6 ± 36.2 <sup>a</sup>	102.9	2.9
1:1	50	5	333.9 ± 39.2 <sup>a</sup>	101.2	2.9
3:1	25	5	328.2 ± 79.6 <sup>a</sup>	99.5	2.8
5:1	18	5	331.6 ± 71.0 <sup>a</sup>	100.5	2.9

Letras iguales entre los materiales de cobertura indican que no hay diferencias significativas entre ellos.

En la Tabla 6.4 se resumen los resultados de producción de las diferentes coberturas experimentales. Como ya se mencionó, el máximo rendimiento se obtuvo en la quinta semana con las diferentes mezclas, corteza/papel, mientras que con la cobertura control, se alcanzó el máximo rendimiento en la séptima semana. En la Tabla 6.4 también se indican los valores respectivos de la eficiencia biológica (EB), que corresponde al peso (kg) de hongos frescos cosechados por cada 100 kg de sustrato en base seca. Se indica asimismo la tasa de producción en donde se considera el tiempo de producción requerido para alcanzar la máxima eficiencia biológica. En ambos parámetros, no se encontraron diferencias entre las variables experimentales, ni respecto al control.

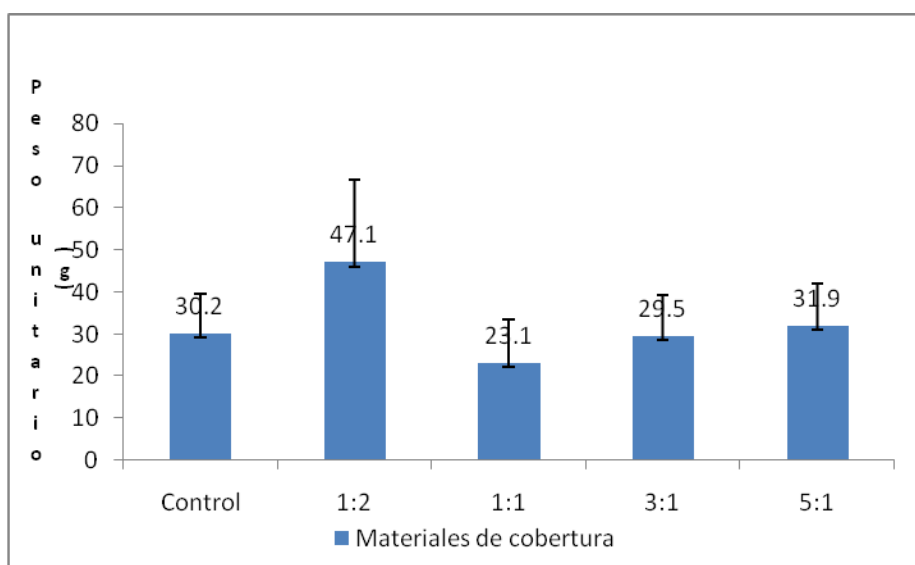
#### **6.2.4. Peso unitario de champiñones en coberturas experimentales**

Resultaba interesante determinar si el peso unitario de los champiñones cosechados en cada uno de los materiales de cobertura evaluados (dentro de las 8 semanas de producción) variaba dependiendo de los materiales de cobertura; para ello se realizó un análisis de varianza, el cual demostró que no hubo diferencias significativas en el peso unitario de los hongos cosechados debido a los materiales evaluados.

El peso promedio de los hongos fluctuó desde un valor de 23 g para la cobertura corteza: papel 1:1 hasta 47 g en la cobertura corteza: papel 1:2, mientras que con la cobertura control el peso promedio fue de 30 g (Tabla 6.5, Figura 6.2). No obstante el alto peso promedio para la cobertura corteza: papel 1:2, un análisis de varianza mostró que no hubo diferencia significativa en el peso unitario de los hongos cosechados debida a los materiales de cobertura evaluados, lo cual es resultado de la amplia variación en los datos de las 7 réplicas.

**Tabla 6.5 Peso unitario de los hongos (g) para la producción al MRS de cada material de cobertura**

Semanas de producción	Materiales de cobertura (Corteza: Papel)				
	Control	1:2	1:1	3:1	5:1
1	38.0 ± 9.8	18.2 ± 1.8	28.1 ± 5.7	24.9 ± 9.7	36.8 ± 9.0
2	41.4 ± 9.5	60.6 ± 14.4	12.8 ± 12.8	18.1 ± 18.6	17.5 ± 8.5
3	32.2 ± 18.2	51.1 ± 20.4	16.5 ± 4.8	27.8 ± 6.0	26.5 ± 9.7
4	27.4 ± 8.6			32.2 ± 14.0	44.2 ± 15.2
5	23.3 ± 10.7	58.5 ± 5.5	35.0 ± 26.2	44.5 ± 18.3	34.7 ± 17.1
6	13.9 ± 1.4				
7	35.2 ± 37.6				
<b>Peso unitario promedio</b>	30.2 ± 9.5	47.1 ± 19.7	23.1 ± 10.3	29.5 ± 9.8	31.9 ± 10.2



**Figura 6.2 Peso unitario (g) con los distintos materiales de cobertura al máximo rendimiento significativo (MRS).**

En la Figura 6.3 se muestran los fenotipos de los hongos cosechados en los distintos materiales de cobertura. Puede observarse que los champiñones cosechados en las coberturas de corteza: papel no mostraron algún tipo de deformación respecto a los cosechados en la cobertura control, y que más bien tendieron a estar más limpios y

más grandes en las coberturas con corteza: papel, es decir mostraron una mejor calidad comercial, aunque en la cobertura control, los hongos presentaron tamaño uniforme, se discute más adelante.

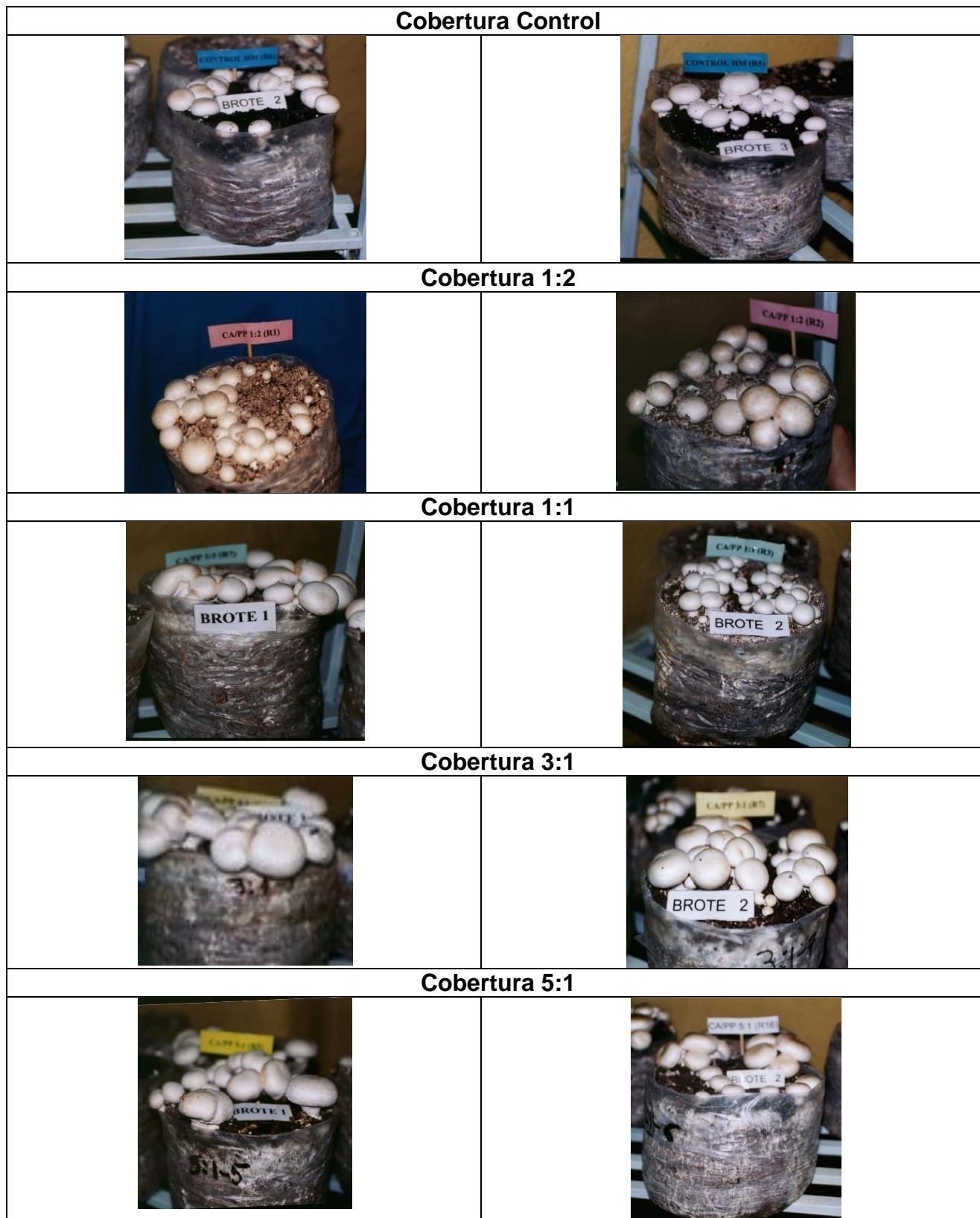


Figura 6.3. Esporomas en los distintos materiales de cobertura.

## 7. DISCUSIÓN

La mayoría de los trabajos realizados buscando la sustitución de turba en la cobertura para la producción de champiñones han intentado el uso de sustrato postcultivo (SMS). Se ha establecido que resulta indispensable dejarlo intemperizar por periodos de más de 1 ó 2 años, o bien aplicar riegos regulares para retirarles el exceso de sales minerales que se acumulan durante el proceso de cultivo (Pardo-Giménez *et al.*, 2008, 2010). Existen muy pocos trabajos publicados con materiales alternos y aún menos que indiquen el uso de corteza de árbol o residuos de papel.

En este estudio se seleccionó corteza de árbol y papel de reciclaje para formular coberturas ya que son materiales de tipo lignocelulósico, inertes, es decir con muy poca cantidad de nutrientes disponibles para el desarrollo de organismos contaminantes, pero que presentan características adecuadas en términos de una alta capacidad de retención de agua y porosidad. Los rendimientos de champiñones obtenidos en este estudio fueron de 325 kg/ton de sustrato para la cobertura comercial de turba (control) hasta 339 kg/ton para la cobertura de corteza-papel 1:2. Pardo-Giménez *et al.* (2004) evaluaron 5 distintas mezclas de suelo como cobertura, incluyendo unas mezclas con corteza de pino (CP) y fibra de madera (FM) en proporciones 4:1 (v/v), utilizando 3 cepas diferentes Pla 8.9, Gurelan 45 y BL-40. En las mezclas que contenían corteza de pino los rendimientos de las 3 cepas fueron de 288, 296 y 331 kg/ton de sustrato. El rendimiento de la última cepa está en el rango de los obtenidos en este trabajo, 325 para el control y 339 kg/ton de sustrato para la cobertura corteza de árbol y papel 1:2. Es de llamar la atención que los rendimientos obtenidos por Pardo-Giménez *et al.* (2004) con las coberturas control fueron mucho más bajos, 265 y 255 kg/ton de sustrato con turba negra o café respectivamente. Con relación al peso unitario, de las cinco mezclas evaluadas, los mayores se obtuvieron con fibra de madera, 14.3, 14.4 y 16.5 g con la cepa Pla 8.9, BL-40, Gurelan 45, respectivamente. En el presente estudio, el peso unitario obtenido con la mezcla corteza: papel 5:1, que representa la cobertura con mayor proporción de corteza, fue de 31.9 g, el cual es el doble del peso unitario reportado en el estudio de Pardo-Giménez *et al.* (2004).

En un estudio posterior, Pardo-Giménez *et al.* (2012) evaluaron la producción de champiñones en una cobertura de mezclas de suelo mineral con fibra de coco, corteza de pino y sustrato postcultivo (SMS). Entre los parámetros reportados destaca la capacidad de retención de agua que fue de 43.1, 49.2, 55.4 y 53.6 ml por 100g de materia seca. En el presente estudio la corteza húmeda al 100%, presentó una mucho mayor capacidad de retención de agua, 133ml por 100g de materia seca, y en las coberturas corteza: papel, los valores fluctuaron entre 152 y 284, valores muy superiores a los reportados por Pardo-Giménez *et al.* (2012). La producción de champiñones en coberturas no suplementadas y suplementadas con Promycel 600 resultó en eficiencias biológicas para la cobertura de suelo mineral 87.8 y 90.8%, para las mezclas con fibra de coco de 111.6 y 116.7% al utilizar corteza de pino de 112.3 y 106.2%. Estos valores se encuentran en el rango de las eficiencias biológicas del presente estudio, de 100%, tanto con la cobertura control como al utilizar corteza: papel. Los pesos unitarios obtenidos en la cobertura de suelo mineral fueron de 34.5 y 36.6 g, valores muy superiores a los obtenidos al mezclar fibra de coco (25.3 y 26.7), corteza de pino (23 y 25.2) o con el sustrato postcultivo (SMS) (29.6 y 32.2). En el presente estudio, con las coberturas corteza: papel, se obtuvieron hongos de mayor peso, en el rango de 30 g, con excepción de la mezcla 1:1 que produjo hongos de 23g.

Bels-Koning (1950) evaluó por primera vez el uso de residuos de la fabricación de papel, específicamente efluentes frescos de la fabricación de pulpa y papel, como componente de la cobertura para la producción de champiñones. Posteriormente, Hayes *et al.* (1978) evaluaron lodos de la producción de papel y pulpa (PPMB) como material de cobertura en pruebas de laboratorio y a escala comercial encontrando que, en condiciones de laboratorio la producción en la cobertura con PPMB se adelantó por 2 días a la cobertura comercial con turba, sin detectarse diferencias bajo condiciones comerciales al cosecharse 2 brotes (30 días). Los rendimientos en condiciones de laboratorio alcanzaron valores de 200 g /kg de sustrato y en condiciones de producción comercial de 16 kg/m<sup>2</sup>, aproximadamente 160 kg/ton de sustrato. Estos rendimientos fueron mucho menores a los obtenidos en el presente estudio con las mezclas corteza:papel, que fluctuaron en el rango de 325 a 339kg/ton



de sustrato. Bajo las condiciones de laboratorio, en la cobertura de turba se produjo una mayor cantidad de primordios (58-23) aunque el número de hongos cosechados fue menor (17-22) por lo que el peso promedio fue mayor (10.4-8.6 g), es decir se cosecharon hongos más grandes, lo que de acuerdo a Hayes *et al.*(1978) es resultado de la mayor actividad bacteriana a partir de la cobertura hasta el primer brote,  $10^9$  y  $10^8$ , respectivamente. Estos pesos unitarios son marcadamente inferiores a los obtenidos en el presente estudio con las coberturas corteza:papel (30 g).

Dergham y Lelley (1991) evaluaron por primera vez el uso de residuos de papel en mezclas de turba con papel de desecho, usando en un experimento inicial, papel intemperizado por 2 meses. El rendimiento con la cobertura control (turba) fue 217 kg/ton de sustrato, similar al de la mezcla con 10% o con 50% de papel, 220 y 221 kg/ton sustrato, respectivamente. Al usar 100% de papel obtuvieron un rendimiento significativamente menor, 180 kg/ton sustrato, aunque sin presentarse diferencias significativas. En un segundo experimento utilizaron papel con un año de intemperización. En este caso el rendimiento con el control (turba) fue 309 kg/ton sustrato, similar al obtenido con 60% de papel (307 kg/ton sustrato). Estos valores son semejantes a los obtenidos en este estudio con las mezclas corteza:papel (325-339 kg/ton sustrato) aunque aquí es importante señalar que en el presente estudio se utilizó papel reciclado, es decir, no intemperizado o degradado. Es de hacer notar que el papel con un año de intemperización utilizado por estos autores presentaba una alta capacidad de retención de agua, 263.91 ml agua/100g de materia orgánica, valor mucho mayor que el correspondiente al papel reciclado utilizado en este estudio, 133 ml/100g de materia orgánica.

En un estudio más reciente, Sassine *et al.* (2005) utilizaron una cobertura de papel reciclado (papel periódico y de oficina) sin procesar con la cual no lograron producir champiñones. Produjeron champiñones únicamente al compostear el papel por 60 días y suplementarlo con 0.7% de N, no obstante, los rendimientos resultaron muy bajos, 25% del rendimiento obtenido con una cobertura control de turba (peat moss). En este caso, se presentó un débil crecimiento micelial en la cobertura de papel y se produjeron hongos con malformaciones. Los autores consideran que la baja producción al usar coberturas con papel, podría deberse a los bajos niveles de CO<sub>2</sub>

debido a la pobre estructura del papel y a la baja capacidad de retención de agua del papel, 24%, respecto a la turba. En el presente estudio, la mezcla corteza:papel 1:2 fue la más productiva, 339 kg/ton de sustrato, y además, donde se obtuvo el mayor peso promedio, 41 g de peso unitario; tanto en esta mezcla, como en la mezcla corteza: papel 5:1 con mayor proporción de corteza, se desarrollaron hongos con estípites de mayor tamaño; 7.4, 9.4 y 12 cm de diámetro, y peso de 84, 102 y 171 g. En términos generales, se obtuvieron hongos más limpios y sin algún tipo de deformación respecto a los cosechados con el control (figura 6.3); situación que pudiera deberse a que con el procedimiento utilizado en este experimento, se logró obtener una mezcla con muy buena porosidad condición básica de un material de cobertura. En el caso de la preparación del papel reciclado se logró producir una textura de gránulos gruesos y grandes (disgregada) debido a la gran cantidad de carbonato de calcio que se añadió con un alto contenido de agua que al mezclarse con la corteza de árbol, se generó una cobertura con una buena porosidad, lo cual no puede obtenerse al usar solamente papel. Las características físicas (capacidad de retención de agua, textura granulosa y disgregada) que mostraron estas coberturas; seguramente permitieron el desarrollo de hongos más limpios, sin deformaciones y más grandes respecto al control; ya que estos contienen más de 90 % de agua.

Es importante considerar que la producción final esperada; también depende de la influencia de los factores físicos, genéticos y químicos mencionados anteriormente. Estudios genéticos realizados por Kues y Navarro *et al.*, (2016) refieren la influencia del fotoperiodo en el desarrollo de las distintas etapas y partes de los hongos, además de la acción de genes que se expresan en tiempos y tejidos específicos desde el inicio y durante el desarrollo de los hongos.

## **8. CONCLUSIONES.**

Bajo las condiciones experimentales en las que se realizó este estudio y basándose en los resultados obtenidos, además de considerar que, los valores de producción obtenidos se ubican entre los niveles propuestos en la literatura y que dan respuesta a los objetivos planteados en este estudio, se llegó a las siguientes conclusiones:

Se puede inferir que, estos resultados sin llegar a ser definitivos permiten aportar datos que se pueden integrar en la realización de trabajos posteriores en el desarrollo de materiales de cobertura alternativos a la turba en la producción comercial de champiñones, decreciendo así el impacto negativo al medio ambiente y el costo elevado de importación de turba.

El uso de mezclas de papel de desecho con corteza de árbol, permitió lograr un material, con alta proporción de materia orgánica en donde se logró combinar una alta capacidad de retención de agua y porosidad adecuada en un material libre de nutrientes y patógenos potencialmente contaminantes. Esta propuesta tecnológica resulta muy atractiva dada la facilidad de preparación de las mezclas, el no requerir de una etapa de intemperización o composteo de los materiales y la estabilidad estructural durante su almacenamiento. No obstante, para concretar el posible uso comercial de las mezclas corteza:papel como materiales debe considerar, costos de adquisición y el desarrollo de las metodologías para la preparación de las mezclas, así como su aplicación en las naves de producción, en términos de procedimientos, equipamiento e infraestructura.

## 9. RECOMENDACIONES.

Dado que los objetivos del presente trabajo estuvieron dirigidos a formular y evaluar materiales alternativos de cobertura para la producción comercial de champiñones, a partir de los datos de producción evaluados con los materiales experimentales corteza de árbol y papel de reciclaje, se propone:

- a) Continuar con la investigación respecto al uso de ambos materiales, ya que se requieren más estudios para hacerlos competitivos con la turba, particularmente del uso directo de papel (no degradado), así como en otras presentaciones. Bajo los mismos criterios considerar el uso de corteza de árbol.
- b) Realizarla caracterización “completa” de los parámetros fisicoquímicos de los materiales propuestos en este experimento y así mejorar su respuesta productiva.
- c) Considerar que los datos obtenidos en el presente trabajo a nivel experimental podrían beneficiar al sector productor de champiñones, por ello, sería útil escalar pruebas con los materiales evaluados en este estudio a nivel comercial.
- d) Desarrollar y profundizar estudios sobre el rol y características de la cobertura para conocer su función dado que no han sido totalmente comprendidas, es un gran reto encontrar un material sustituto de la turba que esté disponible en volumen y bajo costo para solucionar la demanda en la producción de champiñones.
- e) Ampliar la divulgación de los beneficios que ofrece el consumo de champiñones así como el mercado de producción, ya que son beneficiados productores y consumidores que finalmente son quienes aprueban o no el producto.
- f) Implementar prácticas regulatorias de bioseguridad para los consumidores en cuanto al uso de materiales de cobertura para la producción comercial de hongos comestibles.
- g) Plantear diseños de nuevas fórmulas de materiales alternativos a la turba, con prácticas, tecnología y materiales amigables con el medio ambiente y no ver la producción de champiñones solamente como una máquina para hacer dinero.

h) Promover prácticas de control de las principales plagas del champiñón (Dípteros) con mecanismos de control físico y biológico, y así disminuir la aplicación de productos fitosanitarios (insecticidas) que generan efectos negativos sobre el cultivo como, pérdidas de rendimiento, menor calidad y posibles riesgos en los consumidores, además de que el uso de insecticidas ha generado resistencia a estos productos.

i) Fomentar y ampliar estudios morfogénéticos de las distintas fases de desarrollo del champiñón, para comprender más el rol de la cobertura en el cultivo y su correlación, asimismo, saber cómo regular prácticas sin control de la formación directa de esporomas, situación que genera disminución de la variabilidad genética.

## 10. LITERATURA CITADA.

- Abah S.E., Abah G. (2010). Antimicrobial and antioxidant potentials of *Agaricus bisporus*. *Advances in Biological Research*, 4 (5), 277-282 p.
- Agrobit. (2005). Champiñones (*Agaricus bisporus*) (en línea). BIT Soluciones Informáticas, Córdoba, Argentina, 5.
- Albertó E. (2008). Cultivo intensivo de los hongos comestibles: Como cultivar champiñones, gírgolas, shiitake y otras especies. Buenos Aires (Argentina): Hemisferio Sur, 268 p.
- Allen P.G. (1976). Casing variables-plastic tunnels. *Mushroom Journal*, 37: 22-29 p.
- Bels-Koning H. C. (1950). Experiments with casing soils, water supply and climate. *Mushroom Science*. 1, 78-84p.
- Barry J., Doyle O., Grand J., Grogan H. (2012). Supplementation of spent mushroom substrate (SMS) to improve the structure and productivity as a casing material. *Proceedings of the 18th Congress of the International Society for Mushroom Science*. Beijing China, 735-742 p.
- Beelman R.B., Royse J.D., Chikthimmah N. (2003). Bioactive components in button mushroom *Agaricus bisporus* (J. Lange) Imbach (Agaricomycetideae) of nutritional, medicinal, and biological importance (review). *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 5 (4), 321-337 p.
- Cappello G. S., López-Hernández E.S., Sánchez L. V. (2006). Educación ambiental para conocimiento y uso de hongos en una comunidad chontal. *Horizonte Sanitario*, 5 (2), 44-54 p.
- Carrillo L. (2003). Microbiología agrícola: Hongos. Universidad Nacional de Salta, Facultad de Ingeniería, Buenos Aires Argentina, 14. (<https://es.scribd.com/doc/164257947/Carrillo-Leonor-Microbiologia-Agricola-Completo>)
- Choudhary D.K. (2011). First Preliminary Report on Isolation and characterization of Novel *Acinetobacter* spp. Incasing soil used for cultivation of button mushroom, *Agaricus bisporus* (Lange) Imbach. *International Journal of Microbiology*, 1-6 p.
- Deacon J.W. (2006). *Fungal Biology*. Blackwell Publishing Ltd. Malden, Massachusetts. U.S.A, 371.
- Dergham Y., Lelley J. (1991). Waste paper as a substitute for peat in the mushroom (*Agaricus bisporus*) casing soil production. *Science and cultivation of edible fungi* (ed TJ Elliott) Balkema, Rotterdam 263-267 p.
- Dhar B.L., Shrivastava N., Kumar J. (2012). Casing Layer as related to mushroom yield and quality of *Agaricus bisporus* in India. *Proceedings of the 18th Congress of the International Society for Mushroom Science*, Beijing, China. 749-756 p
- Fernández M. F. (2005). Manual práctico de producción comercial de champiñón: Apuntes, recopilación de datos y experiencias adquiridas en el cultivo comercial de champiñones (en línea). Fungitec Asesorías, Guadalajara Jalisco, México, 122 p.
- Galindo E., Peña C., Serrano-Carreón L. (2008). Domesticar microorganismos en un biorreactor: Los retos del bioingeniero. En: López-Munguía A. (Eds.). Una ventana al quehacer científico. México: Universidad Nacional Autónoma de México. (25 aniversario, Instituto de Biotecnología de la UNAM), 131-143 p.
- García M. C. (2000). Algunos aspectos estructurales y funcionales de la pared celular de *Agaricus bisporus* y sus aplicaciones más inmediatas. *Anales de la Real Academia de Farmacia*, 66, 1-19 p.
- Guzmán G., Salmones D., Soto-Velazco C., Guzmán D.L. (2008). El cultivo de los hongos comestibles, con especial atención a especies tropicales y subtropicales en esquilmos y residuos agro-industriales. México: Instituto Politécnico Nacional, 245 p.
- Hayes W. A. (1972). Nutritional factors in relation to mushroom production. *Mushroom Sci.* 8, 663-74.
- Hayes W.A., Yeo S.G., Cresswell P.A., Jakeman K.J. (1978). Paper and Pulp-Mill by product as a casing medium for mushroom culture. *Mushroom Journal* Vol 62, 38-48 p.
- Herrera T., Ulloa M. (1990). El reino de los hongos, micología básica y aplicada. Fondo de Cultura Económica. México. D.F, 552 p.

- Jarial R. S., Shandilya T.R., Jarial K. (2005). Casing in mushroom beds a review. *Agricultural Reviews*, 26, 261-271 p.
- Jagadish L.K., Venkatakrishnan V., Shenbhagaraman R., Kaviyarasan V. (2009). Comparative study on the antioxidant, anticancer and antimicrobial property of *Agaricus bisporus* (J.E. Lange) Imbach before and after boiling. *African Journal of Biotechnology*, 8(4), 654-661 p.
- Jarquín G. R., Cuevas G. R. (2007). Organización y mercado: La clave para el éxito. En: Sánchez V., J.E., Royse, D.J., Leal L. H. (Eds.). *Cultivo, mercadotecnia e inocuidad alimenticia de Agaricus bisporus*. El Colegio de la Frontera Sur. Tapachula Chiapas, México, 151-159 p.
- Jaarsveld L.P., Korsten L. (2008). Chemical and Physical Properties in Commercial Production of Button Mushrooms *Agaricus bisporus* (Lange), Proceedings of the 17th Congress of the International Society for Mushroom Science. Capetown, South Africa, Part1 article 25, 1p.
- Kues U. Navarro-González M. (2015). How do Agaricomycetes shape their fruiting bodies? 1. Morphological aspects of development. *Fungal Biology Reviews* 29, 63-97 p.
- Kues U., Subba S., Yu Y., Sen M., Khonsuntia W., Singhaduang., Lange K., Lakkireddy.(2016). Regulation of fruiting body photomorphogenesis in *Coprinopsis cinerea*. In Baars y Sonnenberg (Eds.). *Science and Cultivation of Edible Fungi. Mushroom Science IX*, 318-322 p.
- Laborde L.F. (2007). Inocuidad alimenticia de champiñón. En: Sánchez V., J.E., Royse D.J., Leal L.H. (Eds.). *Cultivo, mercadotecnia e inocuidad alimenticia de Agaricus bisporus*. El Colegio de la Frontera Sur. Tapachula Chiapas, México, 110-112 p.
- Lahman O. (2007). Evolución de la industria del champiñón en Latinoamérica. En Sánchez V., J.E., Royse D.J., Leal L.H. (Eds.) *Cultivo, mercadotecnia e inocuidad alimenticia de Agaricus bisporus*. El Colegio de la Frontera Sur. Tapachula Chiapas, México, 161-166.
- Lelley J.I. (2007). Aspectos saludables al consumir hongos. En: Sánchez V., J.E., Royse D.J., Leal L. H. (Eds.). *Cultivo, mercadotecnia e inocuidad alimenticia de Agaricus bisporus*. El Colegio de la Frontera Sur. Tapachula Chiapas, México, 113-120.
- Mackenzie G. (2010). Defra calls for peat to be phased out by 2030. In: Barry J., Doyle O., Grant J., Grogan H. (Eds.). *Supplementation of Spent Mushroom Substrate (SMS) to Improve the Structure and Productivity as a Casing Material*. Proceedings of the 18th Congress of the International Society for Mushroom Science. Beijing China, 735-742.
- Martínez-Carrera D., Leben R., Morales P., Sobal M., Larqué-Saavedra A. (1991). Historia del cultivo comercial de los hongos comestibles en México. *Ciencia y Desarrollo*, 96, 33-43.
- Martínez-Carrera D., Sobal M., Morales P., Martínez W., Martínez M., Mayett Y. (2004). Los hongos comestibles: Propiedades nutricionales, medicinales y su contribución a la alimentación mexicana: El shiitake. *Colegio de Postgraduados México* .46 p.
- Martínez-Carrera D., Nava M., Bonilla M., Mayett Y. (2005). Marketing channels for wild and cultivated edible mushrooms in developing countries: the case of México. *Micología Aplicada Internacional*, 17, 9-20 p.
- Martínez-Carrera D., Morales P., Sobal M., Bonilla M., Martínez W. (2007). La cadena de valor de los hongos comestibles en México. En: Zulueta R. R., Trejo A D., Trigos L. A. (Eds.). *El maravilloso mundo de los hongos*. México: Universidad Veracruzana. 71-89 p.
- Martínez-Carrera D., Curvetto N., Sobal M., Morales P., Mora V.M. (2010). Hacia un desarrollo sostenible del sistema de producción, consumo de los hongos comestibles y medicinales en Latinoamérica: Avances y perspectivas en el siglo XXI. *Red Latinoamericana de hongos comestibles y medicinales-COLPOS-UNS-CONACYT-AMC-UAEM-UPAEP-IMINAP*, Puebla, 848 p.
- Moore D., C.Gange A., Boddy L. (2008). Fruit bodies: Their production and development in relation to environment. In Boddy L., Franland C. J. (Eds.). *Ecology of saprotrophic Basidiomycetes*. British Micological Society Symposia Series, 28, 79-103 p.
- Noble R., Dobrovin-Pennigton A. (2001). Peat substitution in mushroom casing. Report M38. Horticultural Development Council, East Malling, Kent, UK. *Journal* 622:24-26 p.
- Noble R., Dobrovin-Pennigton A. (2005). Partial substitution of peat in mushroom casing with fine particle coal tailings. *Scientia Horticulture* 104, 351-367 p.

- Pardo-Giménez A., A. J. de Juan., Pardo J.E. (2004). Assessment of different casing materials for use as peat alternatives in mushroom cultivation. Evaluation of quantitative and qualitative production parameters. Spanish Journal of Agricultural Research, 2 (2), 267-272 p.
- Pardo-Giménez A., Pardo-González J.E. (2008). Evaluation of casing materials made from spent mushroom substrate and coconut fiber pith for use in production of *Agaricus bisporus* (Lang) Imbach. Spanish Journal of Agricultural Research, 6, 683-690 p.
- Pardo-Giménez A., Zied D.C., Pardo-González J.E. (2010). Utilización del compost agotado de champiñón comocapa de cobertura en nuevos ciclos de producción. Pesquisa agropecuaria brasileira, Brasilia 45 (10), 1164-1171 p.
- Pardo-Giménez., Figueredo R.v., Zied C.D., Pardo G.E.J. (2012). Sustratos de cobertura y suplementación del compost en cultivo de champiñón. Pesquisa agropecuaria brasileira, Brasilia 47 (8), 1125-1132 p.
- Pryce S. (1991). The peat alternatives manual. Friends of the Earth, London, 133.
- Rainey P.B., Cole A.L.J., Sanderson F.R. (1987). Air filled pores-an important component of the mushroom casing layer. Developments in Crop Science, 10, 510-514 p.
- Rangel J.I., Leal H., Palacios Mayorga S., Sánchez S., Ramírez R. Méndez-García T. (2006) Coconut Fiber as casing material for mushroom production. Terra Latinoamericana, 24(2) 207-213.
- Rinker D.L. (2002). Handling and using "spent" mushroom substrate around the world. In Sanchez J.E: Huerta G. Montiel E. (Ed). Mushroom biology and mushroom products. Cuernavaca Universidad Autónoma del Estado de Morelos, 43-60.
- Rinker D. L. (2007). Manejo integrado de plagas del champiñón. En: Sánchez V., J.E., Royse D.J., Leal L.H. (Eds.). Cultivo, mercadotecnia e inocuidad alimenticia de *Agaricus bisporus*. El Colegio de la Frontera Sur Tapachula Chiapas México, 81-100.
- Royse J.D. (2007). Consumo y Producción de *Agaricus bisporus* en el mundo. En: Sánchez V., J.E., Royse D.J., Leal L.H. (Eds.). Cultivo, mercadotecnia e inocuidad alimenticia de *Agaricus bisporus*. El Colegio de la Frontera Sur Tapachula Chiapas México, 7- 17.
- Royse D.J., Beelman R.B. (2007). Six steps to mushroom farming. College of Agricultural Sciences, the Pennsylvania State University Park, P.A. Consumo y Producción de *Agaricus bisporus* en el mundo. En: Sánchez V., J.E., Royse D.J., Leal L.H. (Eds.). Cultivo, mercadotecnia e inocuidad alimenticia de *Agaricus bisporus*. El Colegio de la Frontera Sur Tapachula Chiapas México, 7-17.
- Samp R. (2007). Desarrollo de sistemas de procesamiento de composta para el champiñón *Agaricus bisporus*. En: Sánchez V., J.E., Royse D.J., Leal L.H. (Eds.). Cultivo, mercadotecnia e inocuidad alimenticia de *Agaricus bisporus*. El Colegio de la Frontera Sur. México, 49-56.
- Sánchez E.J. (2007). Uso de hongos termófilos para la preparación de sustratos. En: Sánchez V., J.E., Royse, D.J., Leal L. H. (Eds.). Cultivo, mercadotecnia e inocuidad alimenticia de *Agaricus bisporus*. El Colegio de la Frontera Sur. Tapachula Chiapas, México, 65-74.
- Sassine Y.N., Kharrat M., Bohme M., Abdel-Mawgoud A.M.R. (2005). Waste paper as an alternative for casing soil in mushroom (*Agaricus bisporus*) production. Journal of Applied Sciences Research, 1, 277-284.
- Setas de Cuivá. (2007). Productos frescos, valor nutricional. Composición del champiñón (en línea). Setas colombianas S.A. Medellín, Colombia.
- Tellería Ma. T. (2011). Los hongos. Madrid. Los libros de la Catarata, 24-59.
- Vedie R. (1995) Perforated plastic film coverage of the casing soil and its influence on yield and microflora. Science and Cultivation of Edible Fungi (ed.) T J Elliot., Blakema, Rotterdam. 305-312.
- Webster J., Weber R. (2007). Introduction to Fungi. Cambridge, University Press. UK. 841 p.
- Yeo S.G.; Hayes W.A. (1978). A new medium for casing mushroom beds. Proceedings of the tenth International Congress on the Science and cultivation of Edible Fungi, Mushroom Science X (part II) Francia, 217-229 p.
- Zaidman B.Z., Yassin M., Mahajna J., Wasser S.P. (2005). Medicinal mushroom modulator of molecular targets ascancer therapeutics. Applied Microbiology and Biotechnology, 67, 453-68 p.



<http://www.americanmushroom.org/agaricus.pdf>  
<http://fungitec.com/manualchamp2005.pdf> http  
<http://cordis.europa.eu/result/rcn/91796-es.html>European Union, 2015  
<http://www.unsa.edu.ar/matbib/micragri/micragricontenido.pdf>  
<http://foodsafety-cas.psu.edu/mush/foodsafety.htm>. Accessed October 2007  
<http://www.uv.mx/institutos/forest/hongos/setas.html>  
<http://www.cdeea.com/cursobasicochamp.htm>  
<http://www.unex.es/polenLHB/hongosO.htm>  
<http://www.researchgate.net/publication/280102016>  
<http://www.indexfungorum.org/names/NamesRecord.asp?RecordID>  
<http://www.agrizak.c.a.agrizak.setamed.com/6pasos/index.htm>  
<http://www.champi.com.mx/about.html>, Fernández, 2005.  
<http://www.setascolombianas.com/setas.asp>

## **11. ANEXOS.**

Para un proceso comercial de producción de champiñones se requiere preparar grandes volúmenes, en el orden de varios metros cúbicos, de material de cobertura. Por cada metro cuadrado de área de cultivo se requiere en promedio de 50 L de cobertura, es decir 1 m<sup>3</sup> de cobertura alcanza para cubrir aproximadamente 20 m<sup>2</sup> de área de producción. Considerando la aplicación de los resultados encontrados en esta investigación se presentan a continuación las cantidades de materiales que se requerirían para preparar 1,000L (1m<sup>3</sup>) de las distintas mezclas corteza:papel. El balance de masa se elaboró a partir de los datos experimentales indicados en la sección de Materiales y Métodos.

### **PROCEDIMIENTOS PARA PREPARAR 1000 L DE COBERTURA**

#### **A.1. Preparación de 1,000 L de corteza húmeda.**

A671 L de corteza seca se añaden 626 L de aguay se deja en inmersión por 4 días. Al volumen de corteza húmeda y drenada de 993 L, se añaden 58 kg de CaCO<sub>3</sub>, se mezclan para obtener un volumen de corteza húmeda con CaCO<sub>3</sub> de 1,000 L (Figura A1).

#### **A.2. Preparación de 1,000 L de papel húmedo.**

Para preparar 1,000 L de papel húmedo con CaCO<sub>3</sub> (Figura A2) a 139 kg de papel seco se añaden 668 L de H<sub>2</sub>O, se dejan en inmersión por 4 días y después de drenar se añaden 445 kg de CaCO<sub>3</sub>, se mezclan para obtener un volumen de 1,000 L de papel húmedo con CaCO<sub>3</sub>.

#### **A.3. Preparación de 1,000 L de cobertura (1:2)**

Para esta preparación (Figura A.3) a 266 L de corteza seca se añaden 248 L de H<sub>2</sub>O, se dejan en inmersión por 4 días y al volumen de corteza húmeda drenada (393 L),

se adicionan 23 kg de  $\text{CaCO}_3$ , se mezclan para obtener 396 L. El papel se prepara con 110 kg de papel seco, se añaden 529 L de  $\text{H}_2\text{O}$ , se deja en inmersión por 4 días y después de drenar se adiciona 353 kg de  $\text{CaCO}_3$ , se mezclan los materiales y se obtiene 792 L de papel húmedo con carbonato. La cobertura corteza – papel (1:2) se prepara con 396 L de corteza preparada y 792 L de papel preparado, se mezclan y añade 1.27 L de formol, se dejan por 2 días para su desinfección obteniendo 1,000 litros de cobertura (1:2).

#### **A.4. Preparación de 1,000 L de cobertura (1:1)**

Para preparar 1,000 litros de cobertura 1:1 (Figura A.4) a 360 L de corteza seca se añaden 336 L de  $\text{H}_2\text{O}$ , se deja en inmersión por 4 días y al volumen de corteza húmeda drenada, 533L, se adicionan 31 kg de  $\text{CaCO}_3$ , se mezclan para obtener un volumen de 537L. El papel se prepara a partir de 74 kg de papel seco, se añaden 359 L de  $\text{H}_2\text{O}$  y 239 kg de  $\text{CaCO}_3$ , se mezclan y se dejan en inmersión por 4 días para obtener 537 L de papel húmedo con carbonato. La cobertura corteza–papel (1:1) se prepara mezclando 537 litros de corteza preparada con 537 litros de papel preparado y añadiendo 1,07 litros de formol, se deja por 2 días para su desinfección y obtener 1,000 litros de cobertura (1:1).

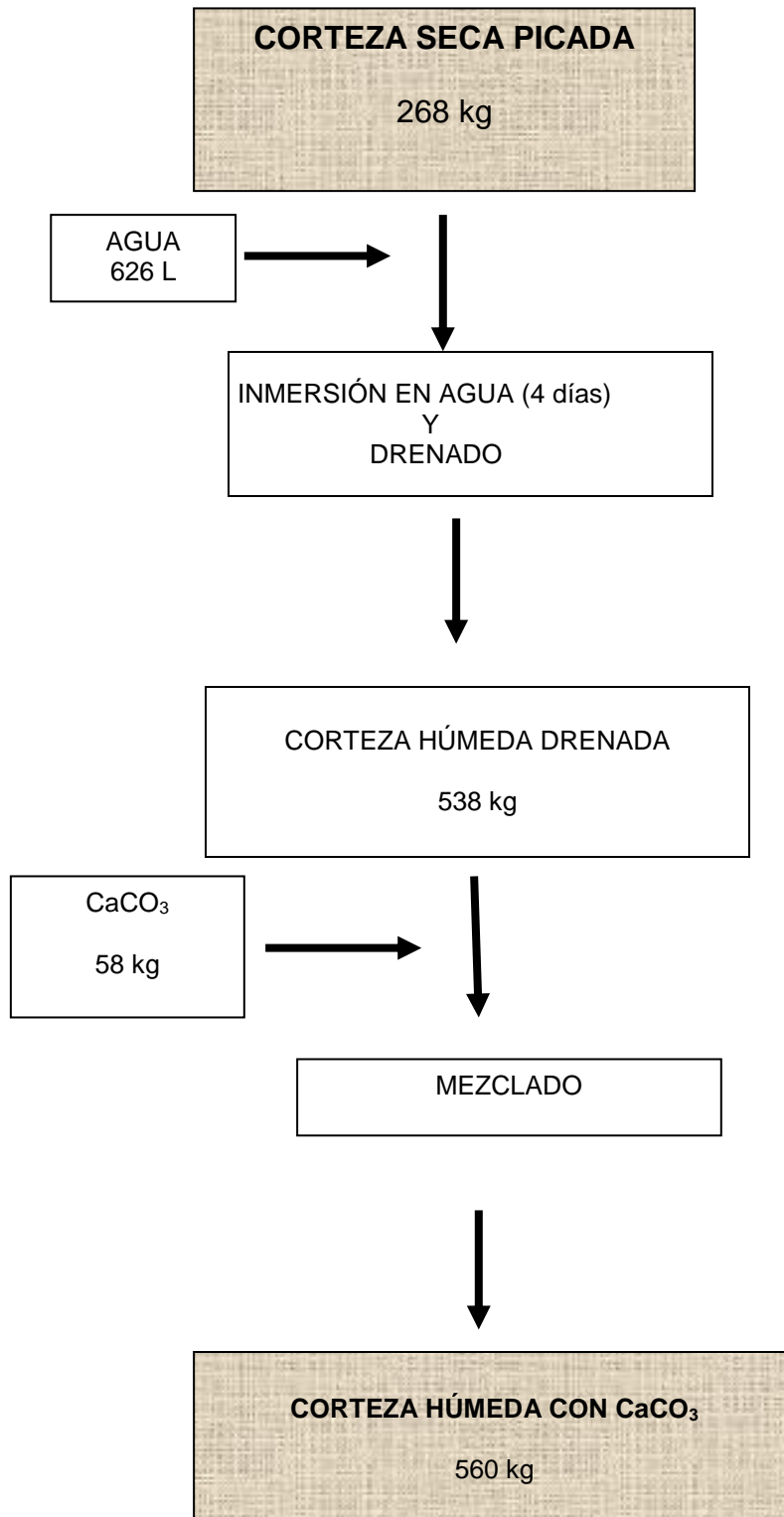
#### **A.5. Preparación de 1,000 L de cobertura (3:1)**

Para preparar la cobertura (3:1) (Figura A.5), a 490 litros de corteza seca se añaden 429 litros de agua, se deja en inmersión por 4 días, para obtener un volumen de 681 L de corteza húmeda drenada, se añaden 40 kg de  $\text{CaCO}_3$ , se mezclan para obtener un volumen de 686 L de corteza húmeda con carbonato. Para la preparación del papel se utilizan 32 kg de papel seco, se añaden 153 litros de agua, se deja en inmersión por 4 días, después de drenar se añaden 102 kg de  $\text{CaCO}_3$ , después de mezclar estas cantidades, se obtiene 229 L de papel húmedo con carbonato. La cobertura corteza–papel (3:1) se prepara con 686 litros de corteza preparada y 229 litros de papel preparado, se añaden 0.91 litros de formol, se mezclan y se dejan reposar por 2 días para su desinfección, obteniendo 1,000 litros de cobertura (3:1).

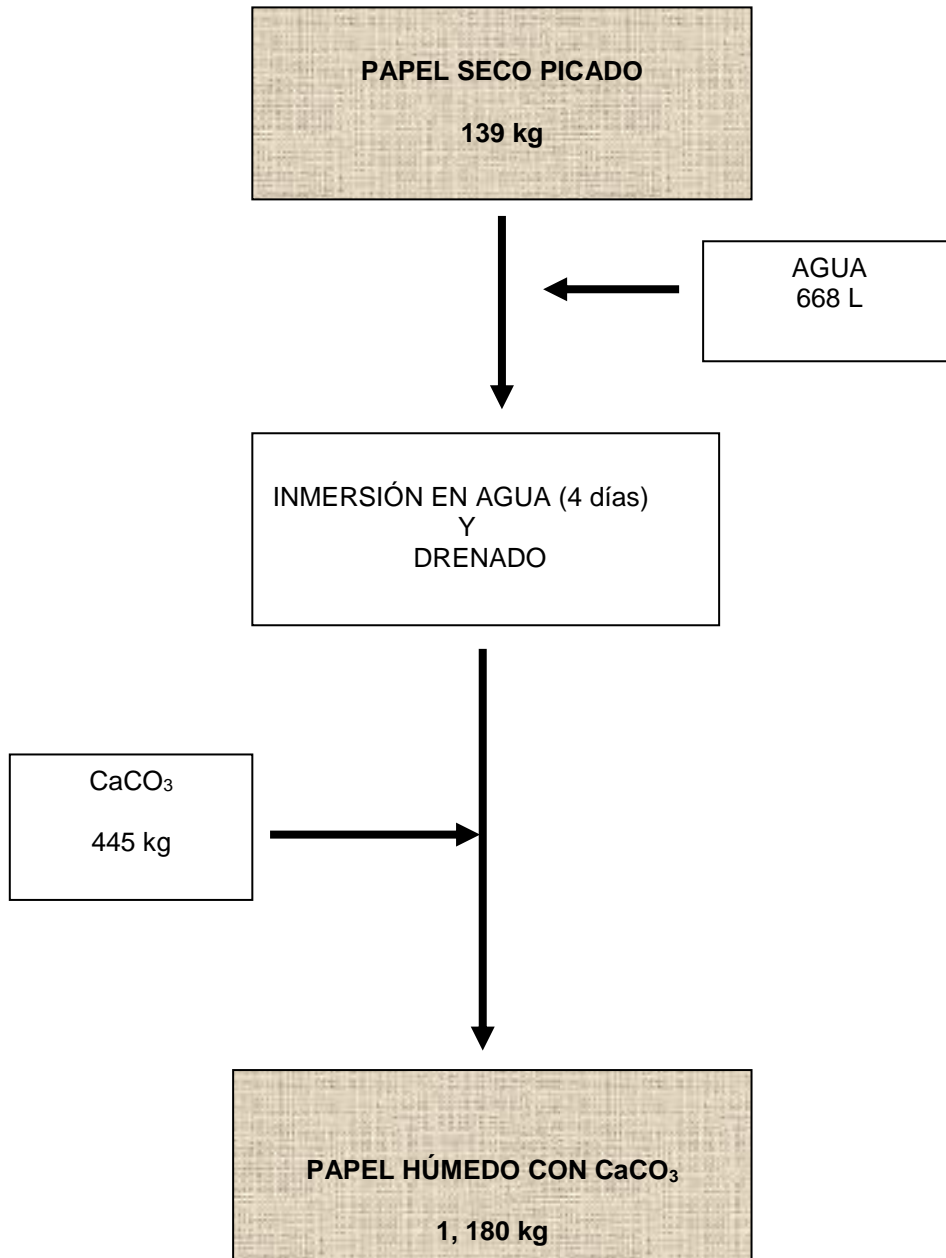
#### **A.6. Preparación de 1,000 L de cobertura (5:1)**

De acuerdo a la (Figura A.6), la cobertura (5:1) se prepara a partir de 747 litros de corteza seca, se añaden 655 litros de agua y se deja en inmersión por 4 días, al volumen de corteza húmeda drenada de 1039 L, se adicionan 61 kg de  $\text{CaCO}_3$ , se mezclan para obtener un volumen de 1.046 L de corteza húmeda con carbonato. El papel se prepara con 29 kg de papel seco, se añaden 140 litros de agua, se deja en inmersión por 4 días, al papel drenado se añaden 93 kg de  $\text{CaCO}_3$ , después de mezclar se obtiene 209 L de papel húmedo con carbonato. Para preparar la cobertura corteza–papel (5:1) se mezclan 1046 L de corteza preparada y 209 litros de papel preparado, se añaden 0.75 litros de formol, se mezclan y se deja reposar por 2 días para su desinfección obteniendo 1,000 litros de cobertura (5:1).

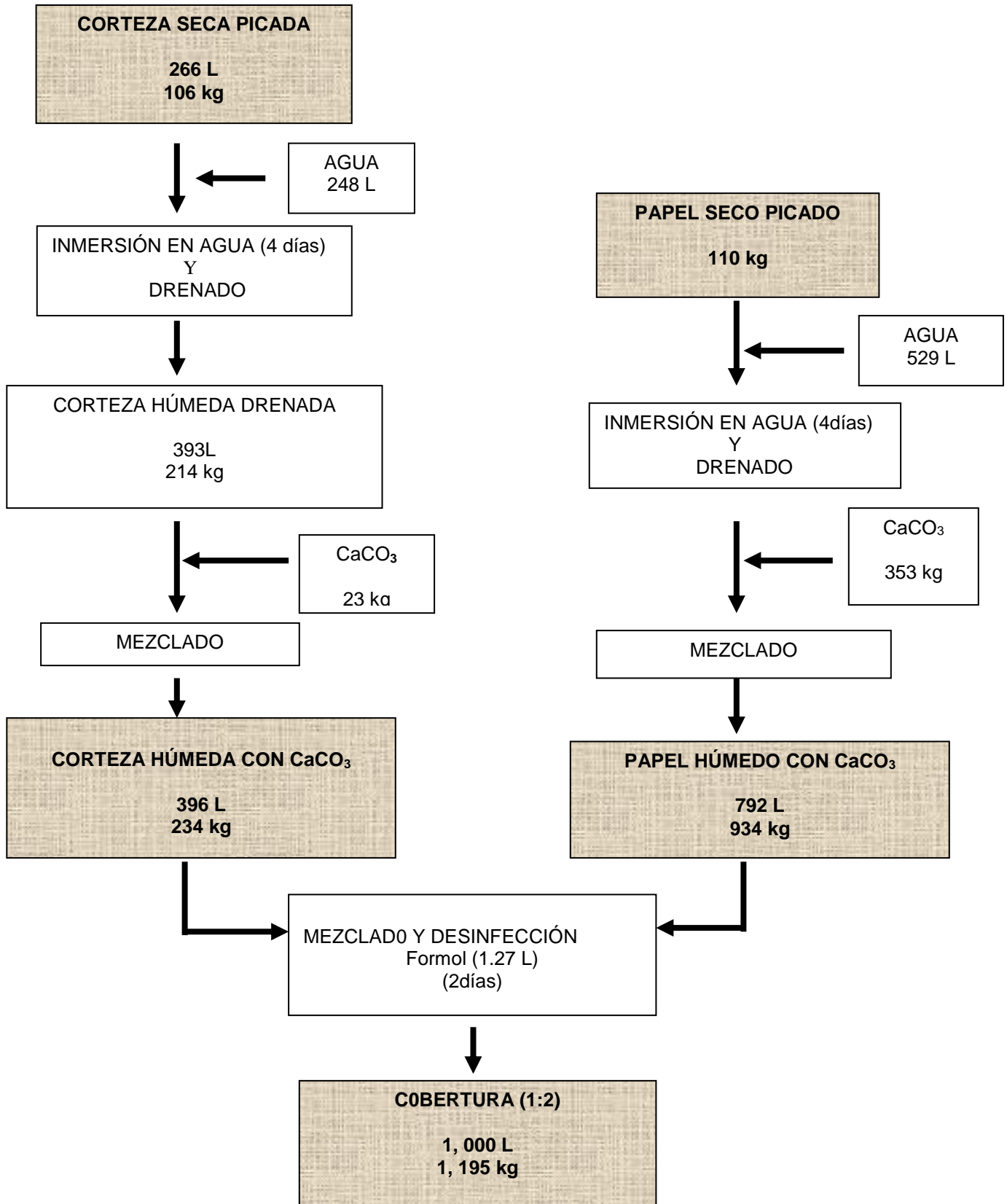
## A.1. Preparación de corteza húmeda



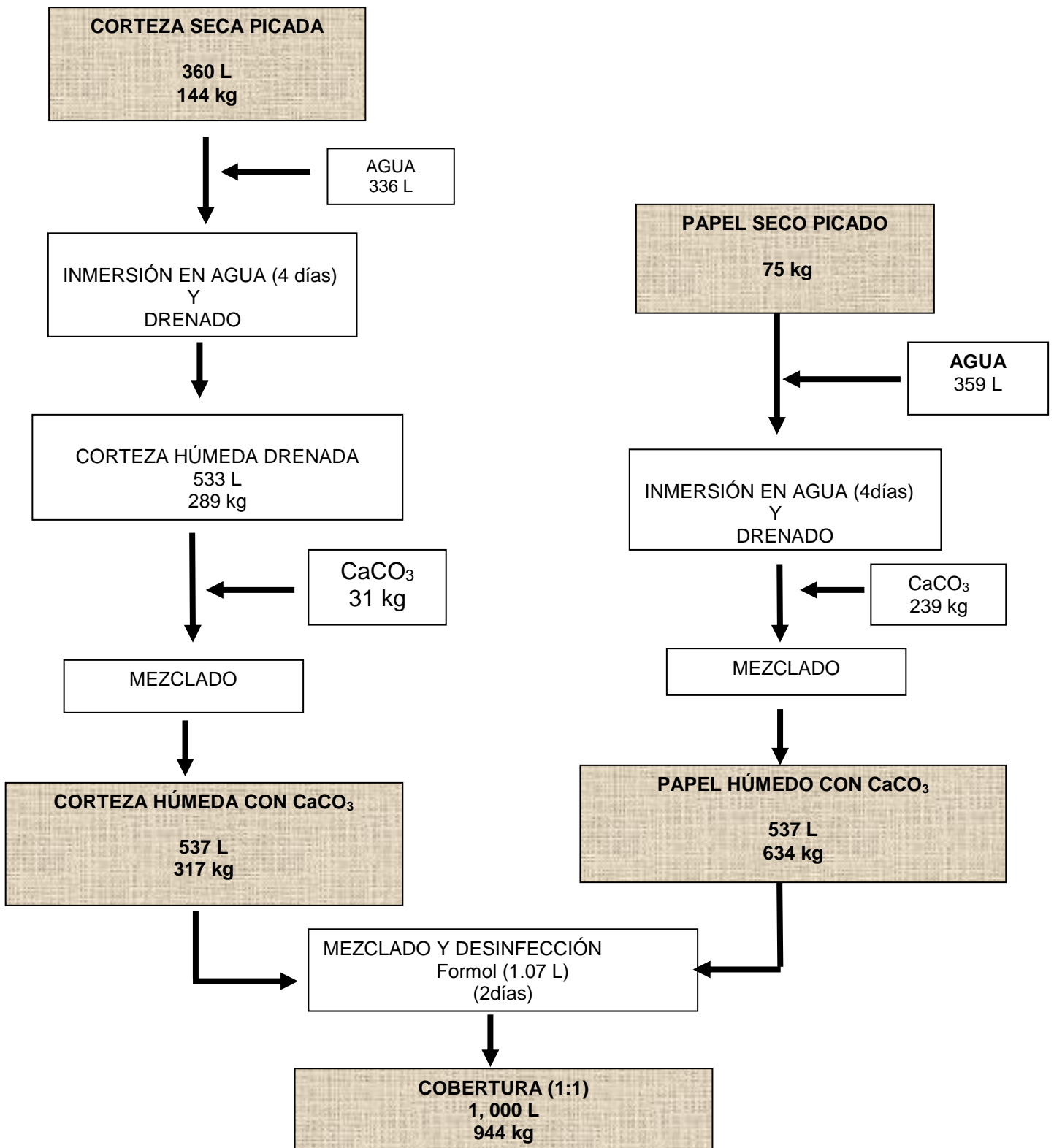
## A.2. Preparación de papel húmedo



### A.3. Preparación de 1000 L de mezcla corteza – papel (1:2)

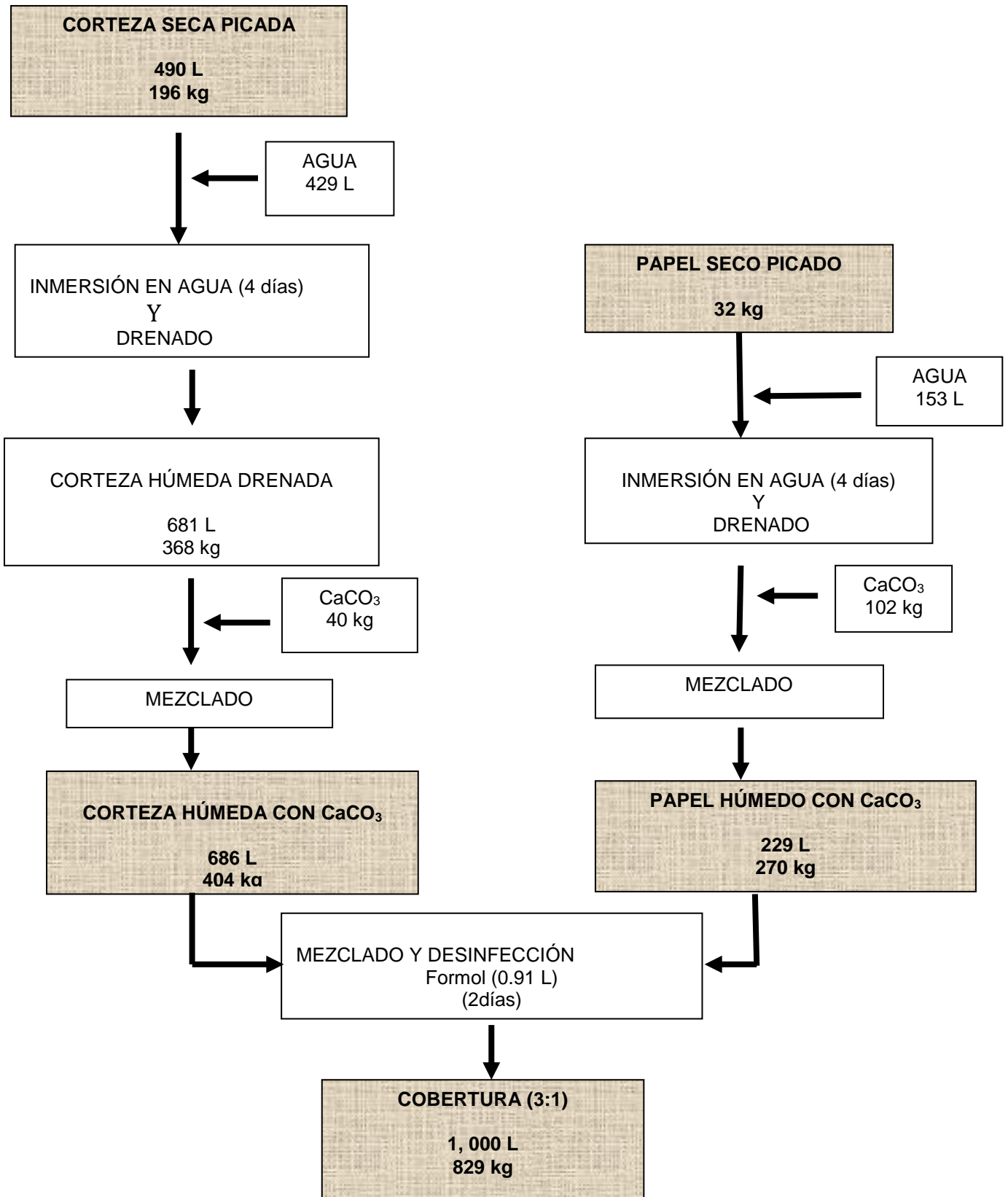


#### A.4. Preparación de 1000 L de mezcla corteza - papel (1:1)

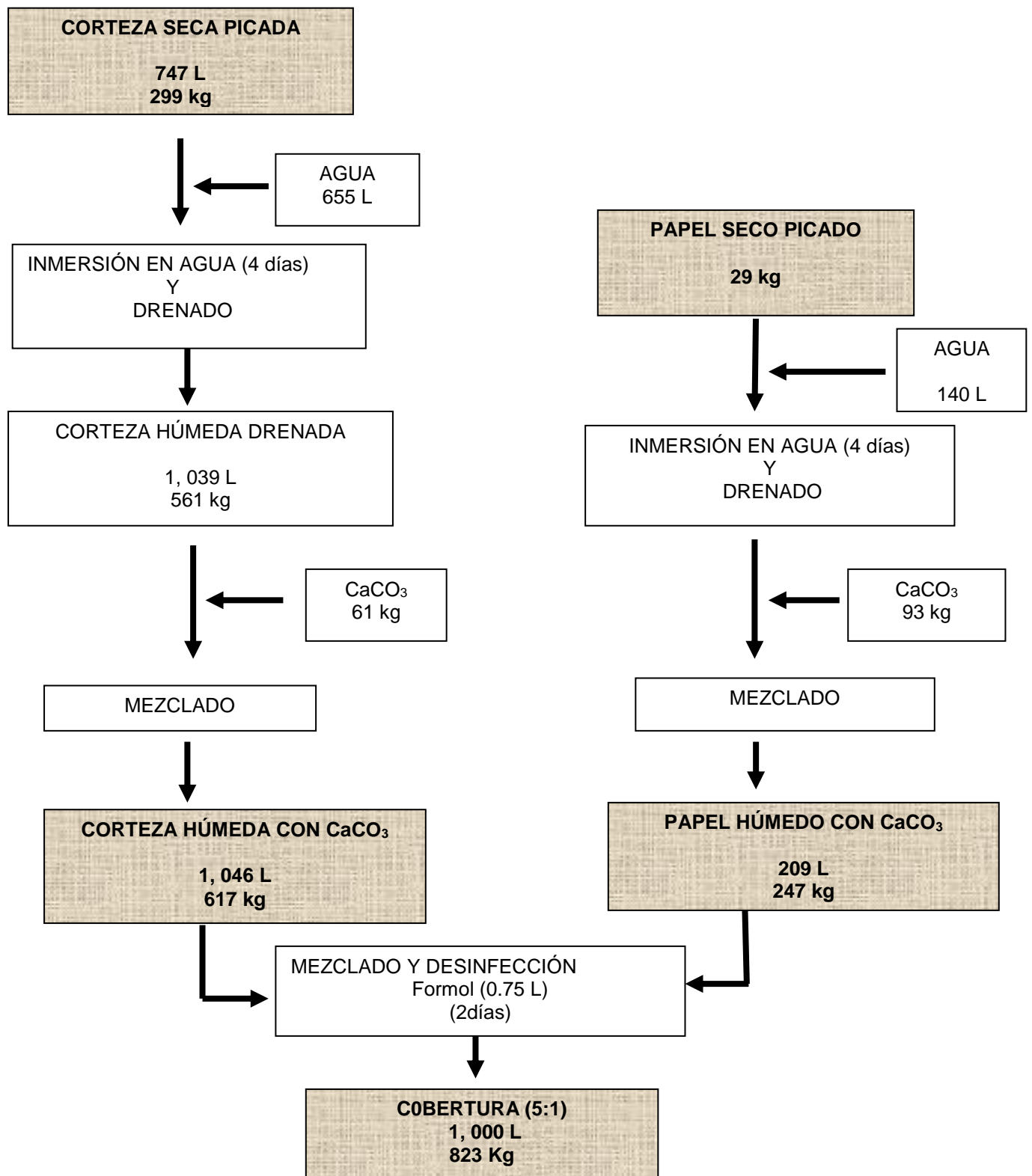




### A.5. Preparación de 1000 L de mezcla corteza – papel (3:1)



### A.6.Preparación de 1000 L de corteza - papel (5:1)



## A. 7RESUMEN DE PREPARACIONES DE MEZCLAS CORTEZA- PAPEL

PREPARACIÓN DE MEZCLAS DE COBERTURA DE CORTEZA : PAPEL													
Mezclas de coberturas (CORTEZA:PAPEL)								Materiales Básicos					
1:2		1:1		3:1		5:1		CORTEZA HÚMEDA		PAPEL HÚMEDO			
PARA PREPARAR		PARA PREPARAR		PARA PREPARAR		PARA PREPARAR		PARA PREPARAR		PARA PREPARAR			
12.6 litros	1000 L	14.9 litros	1000 L	17.5 litros	1000 L	23.9 litros	1000 L	1.5 litros	1000 L	8.5 litros	1000 L		
5:10		8:8		12:4		25:5							
<b>PREPARACIÓN DE CORTEZA HÚMEDA</b>													
Corteza Seca	3,355 ml 1,342 g	266 L 106 kg	5,368 ml 2,147 g	360 L 144 kg	8,571 ml 3,428 g	490 L 196 kg	17,857 ml 7,142 g	747 L 299 kg	1,000 ml 400 g	671 L 268 kg		40	40 ###
Agua	3,130 ml	248 L	5,008 ml	336 L	7,514 ml	429 L	15,654 ml	655 L	933 ml	626 L			
Corteza Húmeda	4,960 ml 2,698 g	393 L 214 L	7,946 ml 4,300 g	533 L 289 kg	11,919 ml 6,436 g	681 L 368 kg	24,832 ml 13,409 g	1039 L 561 kg	1,480 ml 801 g	993 L 538 kg			
Agua retenida	1,785 ml	141 L	2,856 ml	192 L	4,285 ml	245 L	8,926 ml	373 L	532 ml				
CaCO <sub>3</sub>	292 g 310 ml	23 kg 25 L	466 g 496 ml	31 kg 33 L	700 g 744 ml	40 kg 43 L	1,458 g 1,551 ml	61 kg 65 L	87 g 93 ml	58 kg 62 L			
Corteza Húmeda ( con CaCO <sub>3</sub> )	5,000 ml 2,950 g	396 L 234 kg	8,000 ml 4,720 g	537 L 317 kg	12,000 ml 7,080 g	686 L 404 kg	25,000 ml 14,750 g	1046 L 617 kg	1,490 ml 835 g	1000 L 560 kg			
Proporción de corteza húmeda(%)	33.3 %		50.0 %		75.0 %		83.3 %						
<b>PREPARACIÓN DE PAPEL HÚMEDO</b>													
Papel Seco	1,390 g	110 kg	1,112 g	75 kg	556 g	32 kg	695 g	29 kg			1,000 g	139 kg	
Agua añadida	6,678 ml	529 L	5,342 ml	359 L	2,672 ml	153 L	3,340 ml	140 L			4,802 ml	668 L	
Agua retenida	5,959 ml	472 L	4,767 ml	320 L	2,383 ml	136 L	2,979 ml	125 L			4,283 ml	596 L	
CaCO <sub>3</sub>	4,452 g 4,736 ml	353 kg 375 L	3,561 g 3,788 ml	239 kg 254 L	1,781 g 1,895 ml	102 kg 108 L	2,226 g 2,368 ml	93 kg 99 L			3,201 g 3,405 ml	445 kg 474 L	
Papel Húmedo	10,000 ml 11,800 g	792 L 934 kg	8,000 ml 9,440 g	537 L 634 kg	4,000 ml 4,720 g	229 L 270 kg	5,000 ml 5,900 g	209 L 247 kg			7,188 ml 8,484 g	1000 L 1180 kg	
Formol	16 ml	1.27 L	16 ml	1.07 L	16 ml	0.91 L	18 ml	0.75 L					
<b>MEZCLA FINAL</b>	<b>15,092 g</b> <b>12,629 ml</b>	<b>1195 kg</b> <b>1000 L</b>	<b>14,050 g</b> <b>14,899 ml</b>	<b>943 kg</b> <b>1000 L</b>	<b>14,511 g</b> <b>17,504 ml</b>	<b>829 kg</b> <b>1000 L</b>	<b>19,673 g</b> <b>23,904 ml</b>	<b>823 kg</b> <b>1000 L</b>	<b>835 g</b> <b>1,490 ml</b>	<b>560 kg</b> <b>1000 L</b>	<b>8,484 g</b> <b>7,188 ml</b>	<b>1180 kg</b> <b>1000 L</b>	
Densidad (g/ml)													
Mezcla	1.20	1.20	0.94	0.94	0.83	0.83	0.82	0.82	0.56	0.56	1.18	1.18	
Papel Húmedo	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18			1.18	1.18	
Corteza húmeda	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.56	0.56			
Contenido de agua de cobertura preparada <incluye carbonato> (ml/100g cobertura)													
Contenido de agua (ml/100g cobertura)	51.31		54.26		45.95		60.52		63.71		50.48		
Retención de agua (cuanta agua puede retener la cobertura en volumen o la materia orgánica seca)													
(ml agua /100 ml de cobertura)	61.32		51.17		38.09		49.81		35.70		59.59		
(ml agua /100g materia orgánica seca )	283.45		233.91		167.37		151.91		133.00		332.66		
(ml agua /100g materia total seca )	103.58		104.63		64.35		103.34		109.26		95.42		
Materia Seca													
Corteza + Papel	216		219		216		328		400		179		
Corteza + Papel +CaCO <sub>3</sub>	592		489		592		482		487		624		