

ALGUNAS CONSIDERACIONES BIOÉTICAS Y ECOÉTICAS SOBRE EL
CULTIVO DE HONGOS NUTRACÉUTICOS EN EL DEPARTAMENTO DE
CASANARE, COLOMBIA

JAIRO RICARDO HERNÁNDEZ NIÑO

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
PROGRAMA DE BIOÉTICA
BOGOTÁ, D.C.
2008

ALGUNAS CONSIDERACIONES BIOÉTICAS Y ECOÉTICAS SOBRE EL
CULTIVO DE HONGOS NUTRACÉUTICOS EN EL DEPARTAMENTO DE
CASANARE, COLOMBIA

JAIRO RICARDO HERNÁNDEZ NIÑO

Tesis de grado para optar por el título de Magister en Bioética

Tutores

Dra. Chantal Aristizabal Tobler, MD, Mgr.

Dr. Mario Fernando Castro, PhD.

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
PROGRAMA DE BIOÉTICA
BOGOTÁ, D.C.
2008

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, D.C., 28 de febrero de 2008.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado en primer lugar a mi padre, Luís Guillermo Hernández Salguero (q.e.p.d), quien me infundió el amor por el trabajo y me enseñó lo que es la responsabilidad.

En segundo lugar a mi madre, Nelly Niño Forero, cuya atención, dedicación y tesón me han servido de pilar de apoyo en los momentos de flaqueza.

En tercer lugar a mi hija, Catalina Hernández Rosas, quien me motiva para seguir adelante y es quien justifica todos mis esfuerzos.

Y finalmente a mi mujer, Ana María Quintero Montaña, quien con su apoyo y paciencia me ha permitido avanzar en mi desarrollo profesional.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al ICETEX por prestarme el dinero para pagar el costo de la maestría (esto lleva implícito un agradecimiento a todos los colombianos de bien que pagan impuestos, pues es dinero público, así como un agradecimiento a mi mujer, Ana María Quintero Montaña, quien me sirvió de codeudora), a UNITROPICO, donde se me ha permitido desarrollarme como Docente-Investigador y donde he podido ejecutar mi proyecto de investigación en hongos gracias a su cofinanciación, y a COLCIENCIAS, entidad que confió en mi propuesta y la financió.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	1
1. EL RETO PARA ALCANZAR EL DESARROLLO SOSTENIBLE: UNA VISIÓN DE LA PROBLEMÁTICA ACTUAL DEL DEPARTAMENTO DE CASANARE	7
1.1 PROBLEMÁTICA ECOLÓGICA	7
1.2 PROBLEMÁTICA ECONÓMICA	9
1.3 PROBLEMÁTICA SOCIAL	11
2. CONSIDERACIONES BIOÉTICAS Y ECOÉTICAS	19
2.1 DESDE LA FUNDAMENTACIÓN	19
2.2 DESDE LOS PRINCIPIOS	26
2.3 DESDE LA COMPLEJIDAD	29
2.4 DESDE EL DISEÑO	34
3. HISTORIA DEL USO DE LOS HONGOS Y SU SIGNIFICADO PARA LA HUMANIDAD: UN EJEMPLO DE COEVOLUCIÓN	36
4. ESTADO DEL ARTE Y LA CIENCIA DE LA FUNGICULTURA	40
5. ECOLOGÍA DE LOS BASIDIOMICETOS: SU HISTORIA DE VIDA	49
5.1 HABITAT Y NICHO ECOLÓGICO	49
5.2 EL VALOR INTRINSECO DE LAS SETAS	52
5.2.1 Facilitadores de la disponibilidad de nutrientes	53
5.2.2 Asistencia en la producción primaria	53
5.2.3 Hongos en la red alimentaria	54

5.2.4 Efectos fúngicos sobre poblaciones y comunidades	54
5.2.5 Interacciones fúngicas con actividades humanas	54
5.3 LOS DIFERENTES VALORES DE LA BIODIVERSIDAD FÚNGICA	55
6. LOS HONGOS NUTRACEUTICOS: ALIMENTOS FUNCIONALES	56
6.1 PROPIEDADES NUTRICIONALES DE ALGUNOS HONGOS BASIDIOMICETOS Y SETAS COMESTIBLES	56
6.2 PROPIEDADES MEDICINALES DE ALGUNOS HONGOS BASIDIOMICETOS Y SETAS COMESTIBLES	59
7. EL SUSTRATO DEGRADADO DEL HONGO (SDH) Y SUS USOS COMUNES: UNA VISION UTILITARIA SENCILLA	63
7.1 SUPLEMENTO EN ALIMENTACIÓN ANIMAL	63
7.2 SUSTRATO PARA CULTIVAR LOMBRICES	64
7.3 ABONO ORGANICO	64
8. EL MICELIO FUNGICO ACTUANDO COMO LAS NEURONAS DEL CEREBRO DE GAIA: UNA VISION UTILITARIA COMPLEJA	66
8.1 MICETORRESTAURACIÓN	71
8.2 MICETORREMEDIACIÓN	72
8.3 MICETOFILTRACIÓN	75
8.4 MICETOPESTICIDAS	76
8.5 MICETOFORESTERÍA	77
9. CONCLUSIONES	79
BIBLIOGRAFIA	83

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Historia del cultivo de hongos en el mundo	41
Tabla 2. Centros de investigación en Colombia	47
Tabla 3. Costo de las tecnologías de remediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo	73

INTRODUCCIÓN

Este trabajo propone la adopción de la Fungicultura como sistema productivo alternativo para ayudar a solucionar, por lo menos parcialmente, algunos de los problemas que impiden a la sociedad alcanzar el Desarrollo Sostenible en el departamento del Casanare. La ciencia y arte del cultivo de setas u hongos conocido como fungicultura, es un proceso de alta productividad que no compite con otros cultivos por el espacio y puede llevarse a cabo de una manera artesanal con una baja inversión inicial de capital, mediante una tecnología fácilmente apropiable por cualquier persona, sobre una variedad muy amplia de residuos lignocelulósicos de cosechas agroindustriales que se encuentran profusamente distribuidos y disponibles en el departamento durante todo el año, y que como producto principal genera un alimento funcional y un subproducto de mucha utilidad del que se puede obtener un valor agregado, pudiendo convertirse en una alternativa que permite mejorar la calidad de vida de productores y consumidores, así como la calidad del medio ambiente.

El autor reconoce que la propuesta puede ir en contravía de algunas costumbres arraigadas en la cultura del llanero casanareño, pero considera que de cara al futuro, en una sociedad pluralista, multiétnica y multicultural conformada no solo por llaneros sino por colonos de todo el país, que busca alcanzar un desarrollo sostenible frente a una problemática particular, se plantea una opción totalmente válida dadas las condiciones ambientales de la región que permiten este tipo de cultivo, y dadas también las necesidades ecológicas, económicas y sociales del departamento.

El sistema productivo propuesto es una herramienta biotecnológica que permite a productores y consumidores aplicar principios de bioética como los de beneficencia y autonomía (ética de máximos), no maleficencia y justicia (ética de mínimos), y principios de ecoética como responsabilidad y protooperación (ética ambiental), entre otros, en un sistema de producción limpia y productividad total.

La fungicultura, tal como la bioética de Potter, se convierte en un puente que une la ciencia con las humanidades, estableciendo una comunicación entre la academia y la sociedad en un vínculo especial entre una biología aplicada y la educación ética ambiental. Es la búsqueda de esa supervivencia de la especie humana de manera sustentable, de la mano de otros seres vivos, los hongos, manifiesta en la producción limpia de alimentos y el manejo racional de los residuos sólidos. La enseñanza y socialización de la fungicultura es una forma de educación ambiental con carácter bioético que facilita el diálogo global, reconociendo la relación del hombre con su entorno, y que así como lo plantea el Dr. Escobar Triana: “Debe considerarse como herramienta política, educativa y

administrativa para el uso racional de los diferentes recursos naturales, la vida del planeta y la del hombre”¹.

Se parte del hecho de que no hay una teoría única que posea todas las respuestas o soluciones para la problemática planteada, y que por tanto es necesario tomar los mejores aportes de diferentes teorías, partiendo del biocéntrismo de Paul Taylor, enfatizando en las propiedades biológicas de los hongos Basidiomicetos, pasando por el ecocéntrismo de Baird Callicot que pone en evidencia sus propiedades ecosistémicas, para llegar al holismo de Aldo Leopold en el que el micelio de los hongos actuaría como las neuronas de *Gaia*. Se adopta también una actitud conservacionista del corte de Gifford Pinchot, para dar aplicación al Plan de Acción en Biodiversidad de la Cuenca del Orinoco, en la que finalmente es notorio el aporte utilitarista de John Stuart Mill que lo complementa y que rige la política pública actual de los países desarrollados y que es imitado por países en vías de desarrollo como Colombia.

Mediante la implementación del cultivo de setas o fungicultura, se puede dar solución, por lo menos parcial, a algunos de los problemas que atentan contra el Desarrollo Sostenible en el departamento de Casanare, como por ejemplo el manejo inadecuado de los residuos agroindustriales, la malnutrición infantil, las deficiencias en la salud y el desempleo. El concepto de Desarrollo Sostenible es una respuesta de carácter bioético y ecoético frente al paradigma de despilfarro de energía y recursos naturales típico de la ‘Revolución Verde’, cuyo sistema productivo es el causante de la mayoría de los problemas ambientales de la actualidad. A comienzos del siglo XXI, en los albores del Tercer Milenio, en un mundo globalizado y a las puertas de un tratado internacional de libre comercio, el país entero, y particularmente el departamento de Casanare, se ve enfrentado al reto que plantean diferentes problemas que atentan contra los pilares ecológico, económico y social del Desarrollo Sostenible considerado en la agenda del gobierno regional, deteriorando el medio ambiente y la calidad de vida de la población. Y como lo sostiene Hottois²: “La bioética tiene como misión estudiar todos estos problemas y elaborar, si no respuestas, por lo menos procedimientos que permitan aportar respuestas”, idea que complementa mas adelante: “los problemas bioéticos se plantean en sociedades complejas: individualistas, pluralistas, multiculturales, compuestas por grupos con diversos intereses”³.

Tal como lo afirma un ex ministro colombiano del medio ambiente: “Son problemas comunes a todo el planeta y que requieren una solución donde los diferentes dirigentes del mundo se pongan de acuerdo en una forma de comportamiento. La ética es entonces fundamental”, quien también dice: “Hay algunas definiciones

¹ ESCOBAR, J. Presentación del libro Bioética y medio ambiente. Colección Bios & Ethos N°12, Bogotá: Ediciones El Bosque, 2000, p.13.

² HOTTOIS, G. ¿Qué es la bioética? Bogotá: Editorial Kimpres, 2007.p.24

³ Ibid. p. 25

sobre desarrollo sostenible y una de ellas menciona que este concepto busca que nuestra generación pueda garantizar a las generaciones venideras, por lo menos el mismo capital que tenemos nosotros hoy en día, de tal manera que nosotros no consumamos los recursos de nuestros hijos y nuestros nietos”⁴. Una vez más, recordando a Potter, es ese puente hacia el futuro, hacia las generaciones que aun están por venir. Es el legado de un mundo limpio y sano, con calidad de vida para todos, en el presente y en el futuro.

Los hongos son organismos muy comunes en la naturaleza, ubicuos, omnipresentes y cosmopolitas, pues viven prácticamente en todos los medios y se encuentran virtualmente explotando cualquier nicho ecológico. Sin embargo, el conocimiento que existe sobre ellos es muy poco, y además en el caso de las creencias populares está bastante tergiversado, pues son menospreciados e incluso satanizados. Por ejemplo, durante la Edad Media, las personas que sufrían de ergotismo o intoxicación por cereales contaminados con el hongo *Claviceps purpurea*, agente causal del cornezuelo del centeno, en sus alucinaciones creían ver al diablo y por ello muchos fueron condenados a la hoguera. “El nombre específico de este hongo significa *púrpura*, un color que en la antigüedad estaba relacionado con los poderes del inframundo”⁵, y que complementan cuando narran la descripción de un grabado en roca: “Perséfone, la reina de los muertos, haciendo una ofrenda de espigas, se halla entronizada junto a su esposo, Hades, el señor del inframundo. En sus manos sostiene tallos de cereales. Originalmente se trataba de una diosa asociada con el grano, pero fue secuestrada por Hades y llevada al inframundo”⁶. Estos autores cuentan que: “Cuando los españoles conquistaron México, quedaron estupefactos al ver que los nativos adoraban a sus dioses con la ayuda de peyotl, ololiuqui, teonanácatl y otras plantas embriagantes. Para las autoridades eclesiásticas europeas los hongos eran especialmente repulsivos, y por eso hicieron todo lo posible para erradicar su uso en las prácticas religiosas”⁷. Y también mencionan que: “En 1656 apareció una guía para misioneros que atacaba las idolatrías indígenas, incluida la ingestión de hongos, y que recomendaba su extirpación. No solo había escritos que condenaban a teonanácatl, sino que también había ilustraciones que lo denunciaban. En una aparece el diablo incitando a una indígena a comer hongos; en otra un diablo danza sobre los hongos”⁸. Actualmente es necesario abolir esas creencias medievales sobre los hongos, enseñándole al común de la gente conceptos más reales sobre sus bondades y su uso racional.

⁴ MAYR, J. Ética y medio ambiente. En: Bioética y medio ambiente. Colección Bios & Ethos N° 12, Bogotá: Ediciones El Bosque, 2000, p. 24.

⁵ SCHULTES, R. E. y A. HOFFMAN. Las plantas de los dioses. México: Fondo de cultura económica, 2000. p. 102

⁶ Ibid. p.105

⁷ Ibid. p.156

⁸ Ibid. p.156

Se estima que existe un millón y medio de especies de hongos, pero solo se han descrito taxonómicamente unas 69.000, de las cuales 10.000 son carnosas, o sea, potencialmente comestibles, y sólo unas 30 son tóxicas⁹; esto significa que todavía se encuentra todo el trabajo por hacer en materia de conocer, conservar y usar (los tres ejes del Plan de Acción en Biodiversidad de la Cuenca del Orinoco – Colombia- 2005-2015, del Instituto Alexander von Humboldt, entidad rectora del tema en el país, documento considerado como pieza clave de los planes de gobierno nacional, regional y municipales) este valioso y para nosotros desconocido recurso natural renovable, catalogado como subproducto forestal no maderable. Todo lo anterior también significa que un país considerado megadiverso como lo es Colombia, especialmente la zona de piedemonte andino de la cordillera oriental que atraviesa el departamento de Casanare, que es un verdadero *hotspot* de biodiversidad, posee un potencial elevado en bioprospección de hongos basidiomicetos y además es un lugar donde se necesita investigación básica. Un *hotspot* (literalmente, un punto caliente) de biodiversidad es un lugar determinado que posee un máximo de diversidad y endemismos. Colombia posee dos de los diez *hotspots* más importantes del mundo, y según Gentry¹⁰: “Los piedemontes de la cordillera de los Andes, por ejemplo, poseen la mayor diversidad y endemismo de plantas”. Y donde están las plantas, están los hongos.

La bioprospección es entendida como la búsqueda sistemática de usos sostenibles, con fines comerciales, de elementos genéticos y bioquímicos de la biodiversidad, o sea el potencial de un ser vivo, en este caso la clase de hongos Basidiomicetos a los que pertenece la orellana, ubicados en una zona particular del país valorada como una de las mas biodiversas y poco estudiadas, como lo confirman Andrade y colaboradores: “Algunas de las regiones menos conocidas desde el punto de vista científico se encuentran dentro de los límites de Colombia, tales como las serranías de la formación Guayana y los piedemontes de los Andes tropicales”¹¹.

Las setas u hongos carnosos nutracéuticos, también conocidos como ‘carne vegetal’, son llamados así pues poseen componentes nutritivos de elevado valor alimentario tales como proteína de excelente digestibilidad y calidad, grasas insaturadas, vitaminas, minerales y fibra, junto con principios activos que poseen propiedades medicinales antibióticas, antiinflamatorias, antitrombóticas, antitumorales, inmunoestimulantes e hipolipémicas, entre otras, incluso del orden industrial. Además, poseen características organolépticas (sabores, aromas y texturas) capaces de satisfacer al *chef* más perfeccionista o al gastrónomo más

⁹ HAWKSWORTH, D. L. The fungal dimension of biodiversity: magnitude, significance and conservation. En: Mycol. Res., No. 95. 1991.

¹⁰ GENTRY, A. H. Citado por ANDRADE, G.; RUIZ, J.P. y R. GOMEZ. Biodiversidad, conservación y uso de recursos naturales. Bogotá: Cerec, 1992. p.20

¹¹ ANDRADE G.; RUIZ, J.P. y R. GOMEZ, Biodiversidad, conservación y uso de recursos naturales. Bogotá: Cerec, 1992. p.13

exigente y exquisito. Todas estas características los clasifican como alimentos funcionales.

En este punto, el autor de este trabajo reflexiona sobre esta problemática: ¿Qué se puede hacer como personas por la región donde han nacido nuestros hijos? ¿Qué se puede hacer como profesionales para ayudar a resolver esta situación que afecta el lugar donde se tiene un proyecto de vida desde hace más de 15 años? Y la respuesta surge desde las áreas del saber que son las herramientas de trabajo de la labor que desempeña el autor de este trabajo: la microbiología, la tecnología de recursos naturales, la bioética, la ecoética y la docencia universitaria. La solución a la problemática se encuentra enseñándole a la gente las bondades de las setas y cómo estas pueden ser cultivadas fácilmente, de manera limpia, rápida y económica.

Así, el objetivo general de este proyecto es proponer la fungicultura como una herramienta biotecnológica que permite darle aplicación a los diversos principios de la bioética y la ecoética de una manera que permita ayudar a solucionar la problemática que impide alcanzar el desarrollo sostenible en el departamento de Casanare, garantizando el derecho a la seguridad alimentaria, como mecanismo para erradicar la pobreza y el hambre. Entre los objetivos específicos está proponer una nueva alternativa de forma de vida con calidad, capaz de facilitar el acceso oportuno a un alimento funcional mediante el uso racional de los residuos agroindustriales generando un trabajo dignificante, para dar cumplimiento a los logros de desarrollo del milenio. Otro objetivo específico es hacer una aproximación a los hongos carnosos desde la conservación, aprovechándolos utilitariamente para el bien de las personas humanas usando sus propiedades nutricionales y medicinales, así como sus propiedades ecológicas manifiestas como servicios ambientales que pueden aplicarse también para el bien del medio natural, aplicando una política pública de distribución equitativa de recursos.

Se pretende, eso sí, apartarse radicalmente de la visión mecanicista, antropocéntrica, medieval, con influencia de la filosofía griega y de la teología judeocristiana que considera al ser humano como el amo y señor de los demás seres vivos, adoptando una posición más holista o ecocéntrica que biocéntrica, viendo al ser humano sólo como uno más de los seres del planeta, con una función como los demás, en este caso la de administrar racionalmente los recursos naturales, favoreciendo siempre la vida en todas sus manifestaciones, y buscando una mejora en la calidad de vida de todos los seres, incluyendo los humanos.

Mientras que el antropocentrismo considera que los seres humanos y su sociedad son o deben ser el centro de la existencia, el biocentrismo de Taylor considera que todas las formas de vida son valoradas igualmente y que la humanidad no es el

centro de la existencia¹². Es lo que él llama la visión biocéntrica de la naturaleza, y a quien se refiere DesJardins cuando considera que “Aceptar esta visión y reconocer el valor inherente de todas las cosas vivientes es adoptar un respeto por la naturaleza como nuestra ‘última actitud moral’. A la vez, adoptar esta actitud significa que actuaremos de maneras moralmente responsables hacia el medio ambiente natural”¹³. Según esta visión, él genero humano no es superior a otras formas de vida, y el biocentrismo “es un sistema de creencias que proporciona una visión fundamental del mundo natural y nuestra relación con él”¹⁴. Sin embargo, tal como lo considera este autor, el biocentrismo de Taylor es no antropocéntrico, pero es individualista.

Por su parte, el ecocentrismo de Callicot, intérprete y filósofo de “La ética de la tierra” de Leopold, reconoce que la Ecosfera, más que los organismos individuales o las especies, es la fuente y soporte de todas las formas de vida, lo que requiere de una aproximación más holística que reconoce la importancia del medio ambiente, de la red trófica de la vida, donde ningún organismo es más importante que otro¹⁵. La filosofía ecocéntrica se enfoca mas en las comunidades ecológicas formadas por interdependencias y relaciones entre los diferentes seres vivos, que en organismos individuales. Este holismo ético sugiere que la consideración del estatus moral debe concederse por ejemplo a los ecosistemas. En palabras de DesJardins: “Las aproximaciones ecocéntricas a la ética ambiental se desarrollan a partir de la convicción de que la ecología debe jugar un papel primario en nuestro entendimiento y valoración de la naturaleza”¹⁶.

Así, como lo menciona Peter Wenz refiriéndose a Baird Callicot, la ética ambiental está compuesta por aspectos antropocéntricos, no antropocéntricos individualistas y holistas no antropocéntricos que se encuentran en una ‘relación triangular’, razón por la cual es necesario incluir todas estas aproximaciones en el análisis ecoético¹⁷.

¹² TAYLOR, P. Respect for nature. Princeton, Nueva Jersey.: Princeton University Press, 1986.

¹³ DESJARDINS, J. Environmental ethics: an introduction to environmental philosophy. 4 ed, Toronto, Canadá: Wadsworth, 2006. p.136

¹⁴ Ibid.p.138

¹⁵ CALLICOT, B. In defense of the land Ethic. Albany: State University of New York Press, 1989.

¹⁶ DESJARDINS. Op. Cit. p. 172

¹⁷ CALLICOT, B. Citado por Wenz, P. En: Environmental ethics today. New York: Oxford University Press, 2001.

1. EL RETO PARA ALCANZAR EL DESARROLLO SOSTENIBLE: UNA VISIÓN DE LA PROBLEMÁTICA ACTUAL DEL DEPARTAMENTO DE CASANARE.

El desarrollo sostenible es ese equilibrio entre los factores ecológicos, económicos y sociales, en la búsqueda de una mejor calidad de vida para los humanos, los demás seres vivos y el planeta en general, teniendo en cuenta no solo las generaciones presentes, sino también las futuras. Cada pilar del desarrollo sostenible (económico, ecológico y social) tiene sus propios problemas, algunos de los cuales pueden ser solucionados mediante la microbiología aplicada a biotecnología de recursos naturales bajo principios bioéticos y ecoéticos; en otras palabras: la Fungicultura o cultivo de setas.

Como lo menciona DesJardins:

Entonces necesitamos desarrollar un sistema económico que use recursos solo a una rata que pueda ser sostenida a través de largo tiempo y que recicle o reuse tanto los subproductos de los procesos productivos, como los productos por sí mismos. Necesitamos cerrar el aro y el patrón del sistema económico, más en un modelo ecosistémico circular que en el modelo lineal de la economía clásica¹⁸.

1.1 PROBLEMÁTICA ECOLÓGICA

Uno de los problemas en el ámbito ecológico se presenta por una disposición inadecuada de los residuos de cosechas agroindustriales, lo cual ocasiona una gran pérdida o fuga de nutrientes y energía en los ecosistemas mientras se poluciona el ambiente, pues tales residuos se queman contaminando el aire y agravando el problema del calentamiento global, se tiran a los caños o ríos causando eutrofización y contaminando el agua, o se dejan dispuestos a cielo abierto sin hacerles un compostaje mínimo que permita rehusarlos como abono verde, convirtiéndose en foco de enfermedades y plagas, contaminando el suelo. Por ejemplo, Fedearroz reporta en su página *web* que el área total de arroz sembrado en el departamento en el 2003 fue de 78.474 hectáreas; si se tiene en cuenta que de una planta de arroz (*Oryza sativa*) sólo se usa la espiga que corresponde al 5-10% del peso total de la planta, se puede tener una idea de la cantidad de residuo de cosecha que queda, en el que se pierden cantidades astronómicas de nutrientes que podrían recuperarse fácilmente mediante el cultivo de hongos. Según datos de la Secretaría de Desarrollo Económico del Casanare, para el 2003 se cultivaron 1.155 hectáreas de yuca (*Manihot esculenta*), las cuales

¹⁸ DESJARDINS. Op. Cit. p. 88

dejan como residuo no aprovechado ramas y hojas que fácilmente pueden significar 30-40% de la planta, ya que el resto si se aprovecha (la raíz tuberosa como alimento y los tallos como semilla de propagación vegetativa). De igual manera, se sembraron 11.351 hectáreas de palma africana (*Elaeis guineensis*), de cuyo raquis se extrae el aceite de palma, y que una vez extraído este, simplemente es compostado, perdiendo el valor agregado que pueden dar los hongos nutracéuticos que se pueden cultivar en él. En su libro *Avances*, Gunter Pauli dice: “El aceite de palma representa solamente el cuatro por ciento de la biomasa de la palma africana; las fibras de fique solo representan el dos por ciento de la biomasa de la mata de cabuya; la celulosa nunca excede del 35% de la madera. El resto se consideran desechos. Ha llegado la hora de enfrentar este problema”¹⁹. Se mencionan particularmente los casos de arroz, yuca y palma por ser residuos de esas cosechas con los que se realizaron los primeros ensayos de validación de esta tecnología en la Fundación Universitaria Internacional del Trópico Americano, Unitrópico, Yopal, en un proyecto piloto cofinanciado por Colciencias durante el 2006.

Pauli, autor del “Concepto de Producción Limpia y Productividad Total”, establece un mecanismo de respuesta de carácter bioético y ecoético, en el que los residuos no son considerados como tales, sino más bien son considerados como insumos o materia prima para otro sistema productivo. La inadecuada disposición de los residuos agroindustriales ocasiona la pérdida de abundantes nutrientes, que pueden ser recuperados por los hongos carnosos y reincorporados en los diferentes niveles tróficos, mejorando su eficiencia energética. Los residuos agroindustriales ricos en lignocelulosa son el sustrato ideal para el cultivo de setas u hongos carnosos nutracéuticos. Tales residuos (tamo y cascarilla de arroz, ramas y hojas de yuca, pulpa de café, bagazo de caña, hojas de plátano, tusa y capacho de maíz, raquis de palma, entre muchos otros) se encuentran disponibles en cantidad, calidad y continuidad durante todo el año a lo largo del departamento de Casanare, y cuya adecuación para el cultivo de setas implicaría la recuperación de una gran cantidad de nutrientes y energía, con efecto directo sobre la calidad de vida de la población casanareña, constituyéndose en una solución de carácter bioético, al problema de la seguridad alimentaria. Las setas proporcionan proteína de elevada calidad biológica, altamente digerible, así como los minerales y vitaminas que se necesitan para una buena nutrición, de acuerdo con lo requerido por el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF) en su Boletín de Prensa del 25 de octubre del 2006 para Casanare, donde se plantea la necesidad de encontrar soluciones eficaces al problema nutricional. Además de una buena nutrición, las setas también proporcionan sustancias medicinales que ayudan a reducir el colesterol, a fortalecer el corazón así como el sistema circulatorio, y a

¹⁹ PAULI, G. *Avances: lo que los negocios pueden ofrecerle a la sociedad*. Medellín: Universidad EAFIT, 1996. p.118

potenciar el sistema inmunológico²⁰. Los ácidos grasos insaturados que poseen las setas, son grasas buenas que deben estar en la dieta. Las orellanas, además, son ricas en lovastatina, uno de los ingredientes activos que los médicos usan para el tratamiento de las hiperlipidemias. También poseen betaglucanos que estimulan el sistema inmunológico mediante tres mecanismos: 1) producción de interferón, 2) activación de la cascada del complemento y 3) activación de los macrófagos²¹. Pauli, junto con Chang, visitaron la zona cafetera colombiana en el Primer Encuentro Mundial de Juventudes realizado del 11 al 16 de octubre de 1999, y ambos coincidieron en reconocer la oportunidad del país, así como las ventajas competitivas y comparativas que posee la región para el caso de la producción de setas nutraceuticas.

Otro de los problemas ecológicos en la región es la tala del bosque (con todos sus efectos colaterales), agravada por la colonización humana y el desplazamiento forzado, que afecta particularmente el hábitat de estos seres vivos, considerados como subproductos no-maderables del bosque, y que requieren de una biopolítica que permita la conservación y el uso racional del bosque y sus subproductos.

1.2 PROBLEMÁTICA ECONÓMICA

Uno de los problemas en el ámbito económico se encuentra dado por una tasa elevada de desempleo causada por la falta de oportunidades laborales pues no hay presencia de industrias aparte de la petrolera, en la región, a lo que se le suma un alto índice de desplazamiento forzado causado por la violencia del conflicto armado interno, junto con unos sistemas productivos caracterizados por el uso intensivo de agroquímicos de elevado costo y alto impacto en el medio ambiente que se encuentran prohibidos en países con quienes se pretende hacer libre comercio, y que además hacen que el sistema no sea sostenible, pues deterioran la calidad de los recursos naturales.

Según datos suministrados por la Cámara de Comercio de Casanare (CCC), para el 2004 se tenía un Índice de Desempleo en el departamento del 21.6%, con 79% de población urbana y 21% de población rural, presentándose el mayor índice entre los 18-24 años, siendo la población femenina la mas afectada. Desde otro punto, la gobernación departamental en su página *web* muestra como entre 1997 y el 2003, se han registrado 6.582 desplazados por la violencia. Por otra parte, en la página *web* del Banco de la República se encuentran datos estadísticos del 2003 que muestran como en el Casanare se han realizado programas de inversión social para beneficiar a unos 42.000 pequeños productores rurales que tienen cultivos de pancoger, y quienes necesitan solucionar el problema de seguridad

²⁰ HOBBS, C. Medicinal mushrooms: an exploration of tradition, healing & culture. Summertown: Tenn., Botánica Press, 1986.

²¹ Ibid.

alimentaria de sus familias. El cultivo de setas es una respuesta desde la bioética y la ecoética que plantea una alternativa para la producción de alimentos sin agroquímicos, que puede autogenerar empleo favoreciendo así a la población afectada, particularmente a las madres cabeza de familia, a los desplazados, o a los discapacitados. La FAO (Organización Mundial para la Alimentación y la Agricultura o *Food and Agriculture Organization*) tiene un manual de fungicultura especialmente concebido para este último grupo poblacional²², puesto que es un sistema productivo que no necesita que el productor tenga disponibilidad de la tierra.

Desde el punto de vista económico, el cultivo de setas es una alternativa de producción artesanal de baja inversión, principalmente pensada para autoconsumo con posibilidades de industrialización de acuerdo con la expansión de un potencial mercado local aun por consolidar, pero que es de gran magnitud a escala internacional puesto que estos hongos son alimentos de tipo *gourmet*, altamente apreciados por sus características organolépticas en muchas cocinas de hogares y restaurantes del mundo, y que por esta misma razón, alcanzan excelentes precios en los mercados. Un somero análisis económico se menciona mas adelante en el capítulo del estado del arte y la ciencia de la fungicultura.

El cultivo de setas es un sistema productivo que puede ser ejecutado con éxito por cualquier persona, eso sí, que tenga sensibilidad hacia todos los seres vivos y que aprenda a conocer, valorar y respetar a los hongos. De acuerdo con las necesidades de la población planteadas por el ICBF, el cultivo de setas es ideal para ser implementado por grupos de madres cabeza de hogar o madres comunitarias, adultos mayores, jóvenes, desplazados, reinsertados, comunidades afrodescendientes e indígenas, campesinos y en general todo grupo poblacional vulnerable con limitaciones económicas, que necesite autogenerar una fuente de empleo digna y capaz de satisfacer sus necesidades de seguridad alimentaria, lo cual se traduce finalmente en un problema de salud pública que viéndolo desde la bioética podría ser solucionado mediante el cultivo y consumo de setas u hongos nutraceuticos que por sus características nutricionales y de producción pueden ser involucrados en la dieta cotidiana de los menores y sus madres.

Este sistema de autoproducción y autoconsumo es eminentemente autopoyético y sostenible, como se ha demostrado en China desde hace mucho tiempo, y como se está demostrando en Colombia con ejemplos como los de la Fundación Nutrir en Manizales, donde se han alimentado más de 15.000 niños durante los últimos diez años con base en una dieta de orellanas²³, o el caso del municipio de La Estrella, al sur de Medellín, donde se le suministra una libra de orellanas gratis a toda persona que muestre su carnet del SISBEN (Sistema de Información de

²² Food and Agriculture Organization. FAO, 2001.

²³ ORREGO, C. E. y C. JARAMILLO. Cultivation of the edible mushroom *Pleurotus* spp. in the urban area of the city of Manizales. Final report. Manizales: Universidad Nacional, Agropolis Award, 2005.

Beneficiarios a los Servicios en Salud), o de AMUSEF (Asociación de Mujeres Semillas de Futuro), también del programa “Bogotá sin hambre” en Usme al sur de Bogotá, o el caso de ASOFUNGICOL (Asociación de Fungicultores Colombianos), una empresa asociativa de cultivadores de setas del departamento del Huila que están obteniendo productos con valor agregado (orellanas deshidratadas) que están exportando.

1.3 PROBLEMÁTICA SOCIAL

En el campo social, el problema se presenta por un elevado índice de malnutrición infantil, que ocasiona bajo rendimiento escolar, aunado a una predisposición a enfermedades favorecidas por la pobreza y la falta de adecuadas condiciones de saneamiento lo cual deteriora por completo la calidad de vida, especialmente de los sectores más vulnerables de la población. Por ejemplo, el boletín del ICBF muestra como el 7.4% de los menores de cinco años presentan retraso en su crecimiento, así como el 10.2% del grupo poblacional entre 5-9 años, y un 14.7% del grupo de 10-17 años. Además muestra que el 32.9% (la tercera parte) de los niños menores de cinco años de la Orinoquía y la Amazonía presentan anemia y el 43.4% tienen ferropenia, así como el 42.2% del grupo de 5-12 años (superior a la tasa media del país que es de 37.6%).

La anemia también afecta al 35.4% del total de la población femenina. Las deficiencias de hierro en los niños y niñas limitan su desarrollo físico, cognitivo y social. Así mismo, la anemia afecta la salud de la mujer pues aumenta el riesgo de mortalidad materna y del recién nacido en casos de gestación, parto y puerperio, constituyendo estos hechos un problema prioritario para la salud pública. El retraso en el crecimiento se atribuye en gran medida a una deficiente alimentación, pues según el informe, en Casanare el 16.7% de los menores entre 6-23 meses no consume diariamente leche, y el 13.6% no consume huevos o carne. Además, en la Amazonía y en la Orinoquía el 58.7% de los menores no consumen frutas o verduras, presentando así un déficit de vitamina A.

Resumiendo, en términos generales el 36.4% de la población casanareña menor de 34 años presenta déficit en la ingesta de proteínas, el 27% déficit de vitamina C, el 95% déficit de calcio y el 60.5% déficit de zinc. Por otra parte, según el mismo informe, más de la mitad (50.9%) de la población adulta del Casanare presenta exceso de peso, pues más de la tercera parte (36.1%) de la población entre 18-64 años presenta sobrepeso, y el 14.8% es obeso, lo cual implica un elevado riesgo para la salud de las personas por la presencia de enfermedades crónicas que afectan al corazón y el sistema circulatorio, y dada su magnitud, con un impacto creciente en el Sistema Nacional de Salud. Desde una perspectiva enmarcada por la bioética y la ecoética, el cultivo de setas permite obtener un alimento funcional sano de excelente calidad, capaz de satisfacer los requerimientos nutricionales particulares de la región, aportando además

sustancias medicinales que pueden mejorar la salud de quienes los involucran cotidianamente en su dieta.

Por otra parte, el Casanare siempre ha sido una zona de colonización. Durante los últimos 15 años, la economía del departamento y del país ha girado alrededor del petróleo, lo cual ha generado una migración laboral por parte de los trabajadores con alguna capacitación técnica en el tema petrolero y que buscan un empleo bien remunerado, pero que se caracteriza por ser temporal y poco estable. Por alguna razón de origen social difícil de esclarecer, una buena cantidad de trabajadores rasos de las compañías petroleras, lejos de sus hogares y bien pagos, suelen exhibir un comportamiento típicamente promiscuo que estimula la prostitución, y por ende la proliferación de enfermedades de transmisión sexual (ETS) entre las que se destaca la infección por el Virus de la Inmunodeficiencia Humana (VIH) y el Síndrome de Inmuno Deficiencia Adquirida (SIDA). Las personas que sufren de esta enfermedad viven y mueren con una deficiente calidad de vida. Tal como lo expone la Dra. Chantal Aristizabal, existe una vulnerabilidad social al VIH, predispuesta por la migración y el desplazamiento. Ella plantea: “La migración rompe lazos familiares y favorece las relaciones sexuales con varias personas. El desplazamiento y la marginalización favorecen el trabajo sexual como medida de subsistencia. La dependencia económica muchas veces lleva consigo la dependencia sexual”²⁴. La Dra. Aristizabal enumera algunos factores que inciden sobre la propagación de la epidemia y todos aplican para el caso del departamento de Casanare: alta prevalencia de ETS, subordinación de la mujer, alta tasa de migración dentro del país y hacia el exterior, pobreza, conflictos armados internos y débil infraestructura de salud pública, entre otras. Desde la bioética, el cultivo de hongos nutraceuticos es una actividad que permite mejorar la calidad de vida de las personas afectadas por esta enfermedad, pues les proporciona una manera de mantenerse activos sin verse discriminados y de permanecer productivos para sí mismos, pues ellos mismos generan su propio alimento funcional, todo lo cual mejora su autoestima y por ende su calidad de vida. Es importante considerar que el VIH genera sufrimiento, y que remediar este hecho se convierte en un imperativo moral. De esta manera, el cultivo de setas es una forma de aplicar tanto el principio de autonomía, como el principio de beneficencia.

Desde el punto de vista social, el cultivo de hongos o setas mejora la calidad de vida en lo referente a la seguridad alimentaria de los productores y consumidores, puesto que se genera un alimento de excelente calidad nutricional ya que estos hongos poseen una buena concentración de proteína de alta digestibilidad (sin ocasionar los problemas secundarios del consumo de proteína animal, como son

²⁴ ARISTIZABAL, Ch. Panorama actual de la infección por VIH y del SIDA. En: Seis miradas sobre la bioética clínica. Colección Bios & Ethos N°14. Bogotá: Ediciones El Bosque, 2001. p.26

el incremento del ácido úrico, los triglicéridos y el colesterol) y con aporte importante de minerales, vitaminas y fibra, lo que los hace ideales para dietas²⁵.

En lo que respecta a la cultura, considerada aquí como un factor social, día tras día se están perdiendo saberes milenarios que conocen y poseen tanto el campesino como el indígena, quienes ancestralmente han usado recursos naturales no tradicionales para la cultura occidental, como los hongos. Esta pérdida de conocimiento es el resultado final que se tiene como consecuencia del deterioro del hábitat de todas esas especies de seres vivos que la ciencia aun no conoce ni ha catalogado, situación que se ve empeorada por el desplazamiento forzado de las comunidades que poseen esos saberes a causa del conflicto armado que sufre el país, y además por la discriminación cultural a la que se ven sometidas en los lugares a donde llegan. La socialización del tema de la fungicultura desde una aproximación bioética y ecoética, permite la recuperación de ese conocimiento que se está perdiendo y permite también el intercambio de saberes entre la academia y la sociedad, en la que el campesino es considerado como guardián de la base productiva.

Otro problema que engloba todos los ámbitos anteriores, particularmente el cultural, es el desconocimiento y la ignorancia existentes en el común de la sociedad, e incluso a un nivel académico, sobre este grupo de seres maravillosos, los hongos, que son los responsables de muchos de los procesos biológicos que mantienen la vida en el planeta Tierra. Esto se hace muy evidente cuando se analiza el Protocolo de Río de 1992 para la protección de la biodiversidad, en el que sólo se mencionan la fauna y la flora como objetos de tal documento, desconociendo por completo más del 50% de esa biodiversidad, representados por hongos, bacterias y protistas. Por esta razón, es una necesidad de tipo bioético, divulgar el conocimiento tecnico-científico, real, sobre los hongos; es necesario enseñarle la micetología y la fungicultura a los universitarios para que sean multiplicadores, a los estudiantes de la educación media, a las amas de casa, a las madres comunitarias, a los campesinos, a los adultos mayores, a los desplazados y a todo aquel que tenga una necesidad alimentaria y que tenga la conciencia de la importancia de producir alimentos sanos de manera limpia, rápida y económica.

Desde otro punto de vista, todo el departamento de Casanare se encuentra atravesado por una franja de piedemonte andino de la cordillera oriental, considerada una zona excelente para proyectos de bioprospección, en la cual deben iniciarse urgentemente trabajos de investigación sobre la biología y ecología de estos hongos carnosos como recurso natural renovable desconocido y por ende desaprovechado, puesto que se está perdiendo por causas antrópicas el hábitat donde se encuentran muchas de las especies con potencial en bioprospección y donde posiblemente ya se ha causado su extinción. Es necesaria

²⁵ HOBBS, C. Op. Cit.

entonces, la implementación de una visión ecoética en las políticas públicas y privadas, que permita iniciar programas de conservación de los ecosistemas de bosque nativo donde se encuentran estos hongos, lo cual implica una toma de decisiones de corte biopolítico, que debe empezar por fortalecer la investigación en entidades regionales especializadas como la Fundación Universitaria Internacional del Trópico Americano, Unitrópico, la universidad regional que estudia la Orinoquía colombiana, ubicada en Yopal, Casanare. Como lo afirma Hottois: “La biopolítica ha tomado cada vez más conciencia de sí misma, pues cada vez es más claro que plantear, elaborar y resolver las cuestiones bioéticas no son asuntos puramente científico-técnicos ni puramente éticos: estas gestiones involucran también, de un extremo al otro, presupuestos y objetivos políticos, opciones de sociedad”²⁶.

Entonces, la biopolítica implica todas aquellas decisiones de gobierno que involucren de alguna manera a cualquier ser vivo, y en este caso particular, se refiere por ejemplo a la capacidad del Estado para fomentar la investigación básica en hongos y la generación de una política de conservación del bosque como hábitat natural de ellos.

Como se justifica y expone durante el desarrollo de este trabajo, el cultivo de hongos o setas, visto tanto como Arte y como Ciencia, tal como el puente de Potter entre las humanidades y las ciencias, es un mecanismo para romper viejos paradigmas que han perdido vigencia en el nuevo milenio; alternativamente, los hongos pueden ofrecer una solución a todos y cada uno de los problemas mencionados, con grandes implicaciones bioéticas y ecoéticas para la calidad de vida humana y la salud de todo el planeta. Teniendo en cuenta las necesidades creadas por la problemática, la solución está en la implementación de esta biotecnología, puesto que se tienen las materias primas permanentemente a disposición, junto con las condiciones ambientales apropiadas, lo cual se convierte en una alternativa de Producción Limpia y Productividad Total que aprovecha racionalmente los residuos y no genera emisiones contaminantes, en un sistema productivo enmarcado dentro del concepto ZERI (Zero Emmissions Research Initiative o Iniciativa de Investigación en Cero Emisiones) enunciado por Gunter Pauli en 1994 en la Universidad de las Naciones Unidas en Tokio, Japón, el cual considera que cualquier forma de desecho se convierte en un insumo con valor agregado y una materia prima para otro ciclo de producción, lo cual es el reflejo del funcionamiento normal de la naturaleza, donde nada se pierde, y donde el desecho de uno es alimento para otro²⁷, y que aplicado en la práctica, permite darle solución por lo menos de manera parcial, a los problemas previamente mencionados que atentan contra del Desarrollo Sostenible del departamento de Casanare. Como una manera de desarrollo humano, se aplica el viejo proverbio anónimo chino, que dice “Al hambriento, en vez de darle un pez, hay que

²⁶ HOTTOIS, G. Op. Cit. p.22

²⁷ PAULI. Op.Cit.

enseñarle a pescar”. Todos estos conceptos del Desarrollo Sostenible, son derivados del informe de la Comisión Brundtland de 1987 (*Our Common Future/Nuestro Futuro Común*), en el cual se presenta la interrelación entre la salud humana, el desarrollo y el medio ambiente, y se encuentran elaborados bajo principios bioéticos que dignifican a la persona humana y bajo principios ecoéticos que protegen la vida del planeta en todas sus manifestaciones.

Lo anterior está de acuerdo con lo que plantean el Dr. Mario Fernando Castro y la Dra. Yahayra Bernal²⁸, como algunos de los objetivos específicos de la Política Nacional de Producción Más Limpia, entre los que se encuentran la optimización del uso de los recursos naturales y las materias primas, la prevención y minimización de la generación de descargas contaminantes, y la minimización y aprovechamiento de residuos, eventos todos que ocurren en el cultivo de setas, puesto que la materia prima son residuos de cosechas que son inoculados (sembrados) con una semilla del hongo, en un proceso productivo de proteína que no genera residuos contaminantes. Además, el Dr. Castro en otro texto también plantea: “Así como la bioética pretende establecer un puente entre la ciencia y la sociedad, el desarrollo sostenible busca el crecimiento económico y la elevación de la calidad de vida y el bienestar social, sin agotar los recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades”²⁹. En este caso, el enlace bioético se establece entre el conocimiento académico sobre el Arte y la Ciencia de cultivar hongos (fungicultura), y su apropiación por parte de la sociedad, que mediante su implementación fortalece los pilares del desarrollo sostenible.

Además, por otra parte, como valor agregado, una vez el hongo ha delignificado el sustrato al crecer profusamente en él y se cosecha para ser consumido o procesado, el sustrato degradado por el hongo (SDH) queda enriquecido con la proteína unicelular de este, lo cual lo hace apto para ser usado como suplemento en la alimentación de ganado bovino y porcino; también puede usarse como abono orgánico una vez compostado, o bien como sustrato para el cultivo de lombrices. El SDH y/o el micelio o cuerpo del hongo multiplicado masivamente en gran cantidad también puede usarse en procesos de micetorestauración que involucran hongos para filtrar agua (micetofiltración), apoyo a políticas de reforestación en ecoforestería (micetoforestería), degradación de residuos tóxicos (micetoremidiación), control de plagas (micetopesticidas) y co-cultivo con alimentos y ornamentales (micetojardinería).

²⁸ CASTRO, M.F. y Y. BERNAL. 2003. Bioética, tecnología y medio ambiente. En: Bioética, ciencia, tecnología y sociedad CTS. Colección Bios & Ethos N°20, Bogotá: Ediciones El Bosque, 2003

²⁹ CASTRO, M.F. Bioética, ecología y calidad de vida; En: Bioética y calidad de vida. Colección Bios & Ethos N°18, Bogotá: Ediciones El Bosque, 2000.p. 130.

Los hongos capaces de crecer sobre residuos agroindustriales son un recurso natural desconocido y subestimado, pues aun no tenemos el conocimiento suficiente sobre la biodiversidad fúngica de la zona tórrida ecuatorial intertropical donde se encuentra ubicada Colombia, ni de la zona de piedemonte andino del departamento de Casanare donde estos hongos son ubicuos. Es aquí donde se hace necesario fortalecer la investigación en instituciones como la Fundación Universitaria Internacional del Trópico Americano, Unitrópico, cuyo énfasis está en la biodiversidad de la Orinoquía y donde se están efectuando los primeros estudios sobre hongos nativos de esta zona del país.

El cultivo de setas es una manera rápida, limpia y económica de producir proteína a partir de residuos lignocelulósicos, que contradice al paradigma regional del llanero que considera para la alimentación únicamente las fuentes de proteína animal (carne de res, cerdo, pollo o pescado), cuyos ciclos productivos son lentos, contaminantes y costosos.

Además, el consumo de estos hongos ayuda a mantener y mejorar la salud pues poseen valiosas sustancias o principios activos con propiedades antibióticas, estimulantes del sistema inmunológico, y con efectos benéficos sobre el sistema cardiovascular, entre otras. Dado el hecho de que *Pleurotus*, *Ganoderma*, *Lentinula* y otros hongos medicinales pueden ser fácilmente cultivados sobre sustratos naturales disponibles, y que se sabe son muy efectivos fortaleciendo el sistema inmunológico del cuerpo, el hecho de incluirlos como suplemento en la dieta de individuos VIH-positivos y con SIDA, es una consideración razonable de alto contenido moral. Si la decisión de cultivarlos no es para el autoconsumo sino para negocio, el reto financiero involucrado en el cultivo y preparación de los productos es manejable, puesto que el mercado mundial es muy lucrativo.

Es importante iniciar estudios de conservación a largo plazo del hábitat de estos hongos, puesto que la intervención antrópica ha deteriorado notablemente sus condiciones naturales, causando posiblemente la extinción de cepas nativas cuyo potencial nunca se podría conocer. Por otra parte, la etnomicetología necesita rescatar el saber ancestral del campesino y el indígena, quienes conocen estos seres vivos y los han integrado en sus culturas, bien sea como alimento, o como mecanismo de conexión espiritual con las fuerzas supremas en sus rituales religiosos, en el caso de las especies inductoras de estados alterados de conciencia.

Entre las limitaciones que se tienen para la implementación de la fungicultura, está el desconocimiento absoluto de este recurso por parte del común de la gente, lo cual hace necesario socializar el tema ampliamente; además, por otra parte, en el ámbito académico regional e incluso nacional, hace falta la formación de una masa crítica de investigadores especializados en Micetología, la ciencia que estudia los hongos, llamada equívocamente Micología. Por esta razón, en este trabajo se omite el prefijo *Mico* y se usa en cambio el prefijo *Miceto*. Esto es muy

importante tenerlo en cuenta a la hora de buscar información en la red, pues realmente el vocablo 'miceto' aun no es muy utilizado, pero es otro paradigma que se debe empezar a cambiar, ya que paulatinamente se hará más común con la socialización del tema.

También existen limitaciones en el aspecto económico, donde se necesita trabajar fuerte en el área de mercadeo, pues aunque la concepción inicial de la fungicultura, por lo menos en este proyecto, es para autoconsumo, se necesita crear asociaciones de pequeños cultivadores de hongos que puedan formar una cadena productiva con un mercado local y regional, conformando un sistema de economía solidaria en el que se le pueda dar un valor agregado al producto, por ejemplo deshidratándolo al sol, que le permita acceder a los mercados nacionales e internacionales que están abiertos y ávidos de este tipo de alimentos funcionales.

Antes de considerar la ecología de estos hongos debe hacerse claridad sobre la clasificación que se va a usar. En términos generales y sencillos, se puede decir que los hongos se pueden clasificar en dos grandes grupos: micromicetos u hongos microscópicos que sólo se pueden observar a través del microscopio óptico, y macromicetos u hongos que se pueden ver a simple vista.

Al grupo de los micromicetos pertenecen los hongos que realizan la fermentación ácido-láctico y alcohólica de los alimentos. Estos hongos también han jugado un importante papel en la evolución humana pues gracias a ellos se tienen alimentos como el pan o los quesos, derivados lácteos como el kumis, el kéfir o el yogurt, y bebidas como el vino, la cerveza, el sake o la chicha. Los hongos o setas de interés para este trabajo son macromicetos.

Según Miles & Chang: "Una seta es un macrohongo con un cuerpo fructífero distintivo que puede ser hipogeo o epigeo, de tamaño suficiente para ser observado a simple vista y recolectado a mano"³⁰. Las setas hipogeas, que se encuentran bajo la superficie del suelo, corresponden al grupo de los Ascomicetos y no se trataron en este trabajo. Las setas u hongos epigeos están sobre el suelo, y en este grupo se encuentran los Basidiomicetos, que son los hongos motivo de este trabajo.

En términos amplios y generales, las setas u hongos (mushrooms, en Ingles), pueden clasificarse en cuatro grandes categorías:

1. Hongos comestibles: son carnosos y muy palatables; por ejemplo el Champiñón común (*Agaricus bisporus*), la Orellana (*Pleurotus ostreatus*) o el shiitake (*Lentinula edodes*).

³⁰MILES, P. y S.T. CHANG. Biología de las setas: fundamentos básicos y acontecimientos actuales. Bogotá: ZERI (Zero Emmissions Research Initiative)-World Scientific, 1999. p.1

2. Hongos medicinales: poseen sustancias activas con propiedades medicinales, por ejemplo el Reishi (*Ganoderma lucidum*) o el Yun-Zhi (*Trametes versicolor*).
3. Hongos tóxicos y/o venenosos: contienen sustancias alucinógenas como *Psilocybe* spp, o venenosas como *Amanita phalloides*.
4. Otros hongos: es una categoría miscelánea en la que se encuentra un gran número de hongos cuyas propiedades aun no se han definido, pero que se sabe cumplen funciones ambientales como la degradación de la materia orgánica en descomposición, el control biológico y la biorremediación natural.

En este trabajo se plantea la implementación del cultivo y uso de hongos que pertenecen a las dos primeras categorías, haciendo énfasis en unos que perfectamente pueden estar ubicados en ambas simultáneamente. Los hongos de la tercera categoría encajan dentro del estudio de la etnomicetología. Los del cuarto grupo representan un potencial en bioprospección que es necesario empezar a estudiar.

2. CONSIDERACIONES BIOÉTICAS Y ECOÉTICAS

La idea central que enlaza las siguientes consideraciones sobre los aspectos bioéticos y ecoéticos de una defensa fuerte del llamado Quinto Reino como eje facilitador de la armonía, la salud, el ambiente sano y la vida, puede ser como el micelio de los hongos, invisible para quienes no tienen la percepción de lo que sus limitados sentidos les permiten conocer, y por tanto necesita ser tenida en cuenta con mente abierta. Ubicándose desde la percepción del cultivo de hongos, se detecta como en este se ponen en práctica los principios básicos de la bioética: beneficencia, no-maleficencia, justicia y autonomía. Y ubicándose desde la percepción de la vida planetaria, en el cultivo de hongos se manifiestan principios ecoéticos como precaución, responsabilidad, protooperación y mutualismo, entre otros. Todo, en un mecanismo complejo, autopoyético, que sirve de motor a *Gaia*.

2.1 DESDE LA FUNDAMENTACIÓN

El primer abordaje del tema debe hacerse a partir de los fundamentos de la bioética. Es muy importante entonces entender que más que escribir o simplemente pensar la bioética, se debe actuar bioéticamente, tal como lo plantean Carvajal y Meneses: “Hasta que eso que llamamos “*bioética*” no se traslape palmo a palmo con nuestro propio sentido de vida, con el descubrimiento de aquello para lo cual somos buenos, útiles y necesarios, solo estaremos hablando sobre algo, abordando un tema, un asunto tratado por otros que yo intento apropiarme, aprehender”³¹. Y el implementar la fungicultura, implica actuar, llevar a la práctica ese respeto por el medio ambiente y por la vida en general.

Más que disertar y argumentar sobre bioética, es importante actuar y hacer bioéticamente, sintiéndolo. De acuerdo con Rodríguez: “La bioética, desde un estudio juicioso y constante puede ofrecer medios de acción hacia una nueva dinámica en el hacer, que permita encontrar mecanismos posibilitadores de una nueva autoorganización, que propicie el mantenimiento de la vida y no su

³¹ CARVAJAL, I y D. MENESES. El inicio de una investigación en bioética. En: Fundamentación de la bioética: una tarea común. Colección Bios & Oikos N°1, Bogotá: Ediciones El Bosque, 2002. p.12

extinción”³². El acto de practicar la fungicultura y socializar sus beneficios, genera ese proceso autoorganizativo, autopoyético, en el que la vida microscópica da sustento a la vida macroscópica y en el que se mejora la calidad de vida los organismos involucrados.

Indudablemente entender cómo un ser vivo microscópico como lo es un hongo, puede incidir sobre el funcionamiento de los ecosistemas, implica una mente abierta y pensamiento complejo, pues el hecho en sí, es de una complejidad absoluta ya que a esa escala diminuta, la cantidad de factores que inciden sobre él, es prácticamente infinita. Además, son notables y evidentes las propiedades de los hongos como seres emergentes, capaces de colonizar hábitats destrozados por cataclismos o incendios forestales, bien sean naturales o de origen antrópico. Tal como lo plantea la Dra. Yolanda Sarmiento:

Ahora los investigadores de la Bioética, deben pensar más en términos de ecosistemas complejos, etología, evolución, ecología y es preciso que lo hagan más allá de sus fronteras disciplinarias. Será un nuevo aprender sobre la vida, que consulte los agentes autónomos, la emergencia, las simulaciones, la información, y algunos de los fenómenos y propiedades colectivas que exhiben los sistemas biológicos y sociales³³.

Todas estas ideas se aplican en el concepto de Micetorrestauración, donde vemos como el hongo en un proceso de co-evolución con el hombre, mejora la calidad de vida en los ecosistemas, facilitando el desarrollo y mantenimiento de la vida en todas sus manifestaciones, cumpliendo con principios ecoéticos.

Así mismo dice: “Es posible que cuando estos modelos alternativos trasciendan la comunidad científica y se difundan a los colectivos, y en especial a los niños que habitan hoy en el mundo, se estará ofreciendo un nuevo y maravilloso acercamiento a los sistemas vivos y a todos sus fenómenos emergentes”³⁴. Este es el punto que se quiere abordar con la socialización del tema de la micetología, partiendo desde la misma academia, donde erróneamente se enseña como micología, desconociendo por completo la gramática del idioma Griego, pasando por la desmitificación social de los hongos, generalmente estigmatizados por prejuicios e ignorancia, considerados como seres del inframundo causantes de enfermedades en plantas y animales, incluido obviamente el género humano, y terminando con la apropiación científica del conocimiento, al reconocer nuestra ignorancia y al aprender como la micetorremediación, la micetoforestería, la micetofiltración y demás aplicaciones biotecnológicas de los hongos como la

³² RODRÍGUEZ, M.V. Horizontes de la bioética. En: Fundamentación de la bioética: una tarea común. Colección Bios & Oikos N° 1, Bogotá: Ediciones El Bosque, 2002. p. 65.

³³ SARMIENTO, Y. Una fundamentación de la bioética desde la interdisciplinariedad y el diálogo entre paradigmas. En: Fundamentación de la bioética: una tarea común. Colección Bios & Oikos N° 1. Bogotá: Ediciones El Bosque, 2002. p.25

³⁴ Ibid. p.26

producción de alimentos (quesos, kumis) o de enzimas industriales, pueden ayudar a solucionar los problemas ambientales generados antrópicamente y problemas humanos inherentes como la falta de salud, el hambre y la desnutrición.

Aunque efectivamente los hongos son la principal y más costosa causa de pérdidas en los cultivos de interés económico para la humanidad, debe tenerse en cuenta que si esto ocurre, es solo porque se está haciendo un mal manejo de las prácticas agrícolas (monocultivos, labranza profunda, quemadas, acumulación de residuos sólidos agroindustriales), lo cual favorece la aparición de las enfermedades en las plantas, que pueden ser antagonizadas de manera natural mediante otros hongos especializados en control biológico³⁵.

El caso de los niños es bien interesante, pues ellos siempre han asociado los hongos con las fantasías propiciadas por los cuentos infantiles o programas de televisión, y por lo general, se les ha prohibido su contacto con ellos por ser venenosos; pero sin embargo, les encantan. Es importante enseñar en los colegios desde temprana edad, no solo sobre los seres vivos que pueden ser observados a simple vista como las plantas y los animales, sino sobre la gran cantidad de seres microscópicos que son los que realmente mantienen funcionando el planeta, pues en reuniones internacionales como la Cumbre de Río, solo se menciona a animales y plantas como objeto de conservación, desconociendo de plano una proporción mayor al 50% de la biodiversidad representada por los microbios. La educación ambiental debe incluir la importancia de los hongos para el funcionamiento adecuado de los ecosistemas. Así, entonces debe hacerse énfasis en la enseñanza de la micetología desde la niñez, para que se conozcan las propiedades nutricionales, medicinales, controladoras biológicas y restauradoras de ecosistemas que poseen los hongos, para que las generaciones venideras tengan la posibilidad de mejorar su calidad de vida implementando su cultivo.

En este punto, la posición frente a los hongos es totalmente biocéntrica y ecocéntrica, nunca antropocéntrica, pese a la apropiación del conocimiento de la historia de vida del hongo que le permite al género humano usarlo para su propio beneficio. Ese aprendizaje sobre la historia de vida del hongo surge de la bioética, pues permite conocerlo, entenderlo, respetarlo y apreciarlo; y cuando se aprende a cultivarlo y aprovecharlo se adopta una visión ecoética, pues entran a manejarse los conceptos de Producción Limpia, Productividad Total y Desarrollo Sostenible.

Tal como lo plantea Carmona: "Es gracias a la fundamentación de la bioética que se supera este enfoque puramente clínico, y se amplía el conocimiento en bioética. Ya no se trabaja solamente desde un antropocentrismo, sino, además,

³⁵ MONEY, N. The triumph of the fungi. A rotten history. Nueva York: Oxford University Press, 2007.

desde un biocéntrismo y un ecocéntrismo, en los que el objetivo es la vida en todas sus expresiones y todo aquello que la posibilite cada vez más”³⁶.

De la misma manera, los hongos son los que tejen la red que entrelaza la parte abiótica con la parte biótica de los ecosistemas, estableciendo un enlace entre la no-vida y la vida, y manteniendo canales de comunicación estrecha mediante el micelio con el agua, los minerales, protozoarios, algas, bacterias, plantas y animales, entre los que se encuentra el género *Homo*.

Carmona lo menciona cuando dice:

La contribución de las ciencias de la complejidad consiste en que, análogamente, a como lo enseña la ecología, a como un organismo o una especie no sostienen ni hacen posible la vida, así mismo, una sola cultura o sociedad tampoco sostienen ni hacen posible la vida. Tan solo la interdependencia e interacciones múltiples sostienen efectivamente a la vida y la hacen posible³⁷.

Obviamente, un hongo no puede sostener la vida, pero miles de especies de hongos actuando sinérgicamente, favorecen el entramado de la red trófica, al establecer canales de comunicación entre los demás seres vivos, mejorando las condiciones para que la vida prolifere. Ese actuar sinérgico, la creación de canales de comunicación, la solidaridad, el cooperativismo y esa capacidad de autoorganización típicos de los sistemas complejos adaptativos, son características que se expresan fuertemente en la biología y la ecología de los hongos. La Dra. Constanza Ovalle lo expresa particularmente así: “La solidaridad entonces, puede ser considerada como un factor más en la red dinámica de la vida, una condición que es posible gracias a la interdependencia, de los sistemas complejos adaptativos...”³⁸.

Por otra parte, en el epílogo del primer libro de la colección Bios & Oikos, Fundamentación de la Bioética, el Profesor Carlos Eduardo Maldonado plantea que: “En contraste, quienes han venido trabajando seriamente en problemas de bioética, han podido reconocer que una tarea inmensa es, para decirlo de dos maneras diferentes: la socialización de los temas, problemas, métodos y conceptos propios de la bioética, o bien la sensibilización de la sociedad y del Estado hacia los problemas, sensibles, de la bioética”³⁹. Es evidente por un lado,

³⁶ CARMONA, J.E. Bioética y conservación de la biodiversidad. En: Fundamentación de la bioética: una tarea común. Colección Bios & Oikos N°1, Bogotá: Ediciones El Bosque, 2002. p.34.

³⁷ Ibid. p.37

³⁸ OVALLE, C. Fundamentar la bioética: una argumentación sostenible desde las ciencias de la complejidad. En: Fundamentación de la bioética: una tarea común. Colección Bios & Oikos N° 1. Bogotá: Ediciones El Bosque, 2002. p.48

³⁹ MALDONADO, C.E. En: Epilogo de la Fundamentación de la bioética: una tarea común. Colección Bios & Oikos N° 1, Bogotá: Ediciones El Bosque, 2002. p.76

que la socialización de los temas de la bioética plantean un reto grande que se puede abordar mediante un ejemplo práctico, como puede ser el cultivo de hongos que permite solucionar el problema del hambre y la malnutrición, generar empleo, hacer un uso racional de los residuos sólidos agroindustriales, y obtener productos de valor agregado sin dañar el medio ambiente, sino mas bien al contrario, mejorando sus condiciones. Por el otro lado, es absolutamente necesario sensibilizar a la sociedad y al Estado sobre la solución que podría dar el cultivo de hongos a los problemas mencionados; a la sociedad porque muchas veces es prejuiciosa y aferrada a paradigmas como el del llanero que considera a la carne animal como la única fuente de proteína aprovechable, y al Estado porque no apoya las iniciativas privadas, ni estimula a los productores, lo cual no permite la creación de una cadena productiva de productos promisorios, como lo son algunos de los subproductos no maderables del bosque entre los que se encuentran los hongos.

No se puede entender ni estimar la impotencia que se siente cuando entidades estatales como el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar plantean una problemática de nutrición materno-infantil, pero se niegan a considerar una alternativa que cumple y satisface los requerimientos bioéticos y ecoéticos para solucionar ese problema, simplemente por ignorancia, falta de mente abierta, falta de padrino político o simplemente por exceso de burocracia. Y tampoco se entiende como por otra parte, otra entidad estatal como Colciencias puede cofinanciar proyectos pilotos demostrativos, que pese a mostrar buenos resultados, no tienen acogida por las administraciones municipales o departamentales, en una exhibición rampante de descoordinación entre las entidades oficiales que crean y aplican una biopolítica que no favorece en nada al campesino ni a las poblaciones vulnerables.

Sin embargo, debe fortalecerse la socialización del tema de la fungicultura en el común de la gente mediante charlas que permitan exponer las propiedades nutraceuticas de los hongos, para que las comunidades apliquen los principios bioéticos y ecoéticos manifiestos de forma autónoma, autoorganizativa, cooperativa, para generar beneficencia en una demostración de economía solidaria al producir su propio alimento sano, manejando racionalmente los residuos de cosechas, con precaución y responsabilidad ambiental, de forma que se garantice la continuidad de la vida, con calidad, en todas sus manifestaciones.

El Dr. Jaime Escobar Triana lo manifiesta claramente cuando dice: “La tecnociencia exige altas decisiones estatales o privadas, utilización de expertos, masiva mano de obra y gran escala de inversiones. Como consecuencia, se llega a la comercialización y a la búsqueda de mayores beneficios económicos, y no solo el deseo de avanzar científicamente para luchar contra las enfermedades y

combatir el hambre⁴⁰. Este quizá, ha sido el factor limitante para el desarrollo del renglón productivo de los hongos en los países en vía de desarrollo latinoamericanos, y particularmente el caso colombiano que parece negligente, pues según los expertos se tienen las condiciones ambientales, los sustratos e incluso las variedades nativas de hongos que permitirían dar solución, por lo menos parcial, al problema de la desnutrición, el hambre y algunas enfermedades, pero no se estimula su producción que puede hacerse a muy bajo costo y por cualquier persona.

Los proyectos de micetorrestauración se ajustan perfectamente a lo enunciado por los Dres. Mario Fernando Castro y Yahayra Bernal quienes dicen:

En la recuperación de suelos también puede jugar esta nueva área del conocimiento un papel decisivo, lo que resultaría en un mejor aprovechamiento de superficies hoy abandonadas con la posibilidad de su aprovechamiento en agricultura, por ejemplo, aunque siempre teniendo en cuenta la idea de seguridad alimentaria, y en general la bioseguridad, que se ha abierto camino al mismo tiempo que se desarrollan las opciones biotecnológicas de semillas mejoradas y especies más fuertes y resistentes⁴¹.

Los hongos micorrizógenos como pioneros colonizadores, son ideales para iniciar la recuperación de suelos abandonados que puedan ser usados por la agricultura; también permiten un mayor rendimiento en las cosechas, puesto que favorecen la nutrición de las plantas, mejorando el aporte hídrico y protegiéndolas contra el ataque de patógenos⁴².

Los Doctores Castro y Bernal también dicen: “Pese a todo esto, puede que el problema más evidente de la industria biotecnológica no se encuentre en las posibilidades mismas de la tecnología sino, volviendo a la ética, en el uso que hacemos de ella”⁴³. Evidentemente, el género humano ha utilizado la biotecnología fúngica desde tiempos inmemoriales a lo largo y ancho del planeta para producir el pan, el vino, la cerveza, el kumis, el kefir y todo tipo de alimentos fermentados; sin embargo, los hongos también se pueden usar para mal, como es el caso de algunas armas biológicas. A partir de los atentados del 11/9 en Nueva York, los Estados Unidos han venido considerando seriamente la posibilidad de un ataque terrorista a los cultivos que sostienen la alimentación y la economía de ese país, en lo que se conoce como “Agrobioterrorismo”, por lo que el asunto de los hongos,

⁴⁰ ESCOBAR, J. Presentación del libro Bioética y biotecnología en la perspectiva CTS. Colección Bios & Ethos N° 22, Bogotá: Ediciones El Bosque, 2004. p.11.

⁴¹ CASTRO, M.F. y Y. BERNAL. Bioética, tecnología y medio ambiente. En: Bioética, ciencia, tecnología y sociedad CTS. Colección Bios & Ethos N°20, Bogotá: Ediciones El Bosque, 2003. p.21

⁴² GUERRERO, E. Micorrizas: recurso biológico del suelo. Bogotá: Financiera Eléctrica Nacional, 1996.

⁴³ CASTRO, M.F. y Y. BERNAL. Biotecnología y medio ambiente: entre temores y esperanzas. En: Bioética y Biotecnología en la perspectiva CTS, Colección Bios & Ethos N°22, Bogotá: Ediciones El Bosque, 2004. p.23

prácticamente se ha vuelto tema de seguridad nacional. De hecho, se está restringiendo la entrada a los EU a personas capacitadas en bacteriología, parasitología, virología, micetología y microbiología en general, por considerarlas como potenciales terroristas capaces de elaborar armas biológicas. Otro ejemplo del mal uso, antiético, de los hongos es el que se pretende dar al *Fusarium oxysporum* como micoherbicida para controlar en Colombia los cultivos ilícitos del arbusto de coca y cuya liberación a campo abierto en los ecosistemas de la Amazonia causaría un desastre peor que el del glifosato. Así lo anota el Dr. Jaime Escobar en su texto sobre las fumigaciones, donde hace referencia a una resolución de febrero del 2001 del Parlamento Europeo, en la que se advierte sobre los riesgos del uso de armas biológicas y químicas sobre la salud humana y del medio ambiente⁴⁴.

Sin embargo, en la fundamentación, la primera referencia que debe consultarse debe ser la del Ingeniero Forestal Aldo Leopold, quien 20 años antes de Potter ya hablaba de la *Ética de la tierra*. En realidad, Potter es quien acuña el neologismo *bioética*, pero los conceptos ya se conocían y manejaban desde antes, por ejemplo, por las comunidades indígenas de todo el mundo, que generalmente permanecen en comunión y armonía con su entorno. Leopold establece que la ética evoluciona alrededor de la premisa de que el individuo es miembro de una comunidad de partes, y cuyos instintos lo hacen competir por su lugar en la comunidad, pero su ética lo impulsa a cooperar: “La ética de la tierra simplemente agranda las fronteras de la comunidad para incluir suelos, aguas, plantas y animales, o colectivamente: la tierra”⁴⁵.

Como Ingeniero Forestal, Leopold conocía perfectamente la relación de los hongos con el bosque, así como su importancia para mantenerlo sano y por tanto sentía respeto por ellos, como lo manifiesta al decir: “La ética de la tierra cambió el rol del *Homo sapiens* como conquistador de la comunidad de la tierra, a un simple miembro y ciudadano de ésta, lo cual implica respeto por sus compañeros, y también respeto por la comunidad como tal”⁴⁶. Y para entender ese concepto holístico de Leopold, es necesario tener la mente abierta, y entender como puede por ejemplo, “pensar una montaña”, como lo hace DesJardins quien dice que se debe “tratar los ecosistemas como si tuvieran estatus moral, “pensando como una montaña” en palabras de Leopold, sería un correctivo significativo para esos errores”⁴⁷. Es entender como la fungicultura puede ayudar a solucionar esos errores o algunos problemas que afectan poblaciones humanas vulnerables y el medio ambiente, al constituirse en un sistema productivo autopoyético, compatible con una biopolítica orientada hacia el desarrollo sostenible.

⁴⁴ ESCOBAR, J. Consideraciones bioéticas acerca de la fumigación de cultivos ilícitos en Colombia. En: Bioética, Ciencia, tecnología y sociedad CTS. Colección Bios & Ethos N° 20, Bogotá: Ediciones El Bosque, 2003.

⁴⁵ LEOPOLD, A. A Sand County almanac. Oxford: Oxford Universty Press, 1949. p.239

⁴⁶ Ibid.p.240

⁴⁷ DESJARDINS. Op. Cit. p.184

Y antes que Leopold, las comunidades indígenas ya tenían una cosmovisión que manifiesta una gran responsabilidad hacia el ecosistema, expresada en un manejo racional de los recursos naturales. Esa cosmovisión, en muchos casos fue creada por la inducción de estados alterados de conciencia debido al consumo de hongos psicoactivos, de gran importancia en muchas culturas ancestrales. Leonor Zalabata de la comunidad indígena arhuaca manifiesta: “Para nosotros, por ejemplo, la mujer representa la madre tierra; el hombre representa los árboles. De allí que de la fertilidad de la tierra dependa la resistencia y la fortaleza, de los árboles, de la frondosidad y de la frescura de los árboles se fortalece la tierra”⁴⁸. Es una certeza científica que la fortaleza de un árbol está dada por su relación simbiótica con una ectomicorriza, y que realmente es ella quien fortalece la tierra. El hongo permite ese enlace entre la tierra, la madre, lo femenino y los árboles, lo masculino.

2.2 DESDE LOS PRINCIPIOS

Un segundo abordaje puede hacerse a partir de los principios fundamentales de la bioética, que no son únicamente los cuatro básicos o *prima facie* de la bioética clínica: beneficencia, no-maleficencia, justicia y autonomía⁴⁹, sino también los principios de solidaridad, cooperación, armonía, entre otros, y además en el caso de la ecoética, los principios precaución y responsabilidad⁵⁰. Es importante notar que tanto cuando se practica la fungicultura, como cuando se enseña, se aplican de entrada los principios de ética de máximos o ética privada, beneficencia y autonomía, seguidos finalmente de la ética de mínimos o ética civil, no maleficencia y justicia. Todos son principios *prima facie*, o de obligatorio cumplimiento moral.

El principio de beneficencia aplicado al cultivo de hongos implica apartarse de una visión antropocéntrica, para ver las cosas de una manera más holista, o más ecocéntrica. Al cultivar hongos se hace bien a la comunidad que encuentra una fuente rápida, limpia y económica de alimentos funcionales; también se hace bien al medio ambiente, con un sistema de productividad total que usa como materia prima residuos contaminantes y a su vez, no genera emisiones sólidas, líquidas o gaseosas. Cuando se enseña a las personas la fungicultura, se les está enseñando una nueva forma de vida, con dignidad y calidad.

El principio de autonomía esta íntimamente ligado con el libre albedrío y con la libertad individual; implica una toma de decisiones racionales en la búsqueda del bienestar. En el caso del cultivo de setas se establece la relación humano-entorno

⁴⁸ ZALABATA, L. Pensamiento Arhuaco. En: Bioética, sentido de la vida y la fe religiosa. Colección Bios & Ethos N°18. Bogotá: Editorial El Bosque. p.54

⁴⁹ BEAUCHAMP, T. y J. CHILDRESS. Principios de ética biomédica. Barcelona: Editorial Masson, 1998.

⁵⁰ CASTRO y BERNAL. 2004. Op.Cit.

y puede aplicarse como derecho de segunda generación en el tema de 'Protección y Control' en la producción de alimentos, pues las comunidades productoras aseguran una fuente de proteína limpia, rápida y económica, y como derecho de tercera generación, el gozar de un ambiente sano, pues el sistema productivo de las setas no contamina⁵¹.

El principio de no-maleficencia también tiene que ver en el cultivo de hongos, que es el resultado de un sistema de Producción Limpia, amigable con el ambiente, que por sus características no causa mal ni daño a la salud humana y es compatible con el Desarrollo Sostenible pues tiene en cuenta el equilibrio entre los aspectos económicos, ecológicos y sociales, lo cual garantiza una mejor calidad de vida de los productores y consumidores de setas.

El principio de justicia hace referencia a la igualdad, a una distribución más equitativa de los recursos y las ganancias que estos generen. Pues bien, el cultivo de hongos está disponible para cualquier persona, con una mínima capacitación e inversión, permitiéndole al interesado acceder a una fuente de proteína de óptima calidad capaz de satisfacer sus necesidades de seguridad alimentaria y la de su familia, y permitiéndole también obtener un subproducto no maderable del bosque, al que se le puede dar un valor agregado en el mercado. Aquí se aplica el principio de justicia ambiental que entrelaza la justicia social con la sustentabilidad ecológica, dos conceptos que están inmersos dentro del concepto de desarrollo sostenible que guía la completa evolución económica-ecológica de la sociedad humana, tanto en las políticas públicas como en los comportamientos individuales, a partir de la Cumbre de Río en 1992. De esta manera, la justicia ambiental no tiene que ver sólo con la distribución justa de bienes y males ambientales entre la población humana, sino también entre ésta y el resto de los seres vivos con los que se comparte la biosfera.

Los principios de solidaridad y cooperación pueden fácilmente confundirse; el primero implica adherirse incondicionalmente a la causa de otro, en una comunidad de intereses y responsabilidades; el segundo implica un esfuerzo mutuo, compartido y encaminado hacia un fin común. En términos prácticos de ecología microbiana, esto puede representarse como una relación de protocooperación o una relación de mutualismo; ambas son relaciones sinérgicas entre dos poblaciones, en las que ambas se benefician, pero la diferencia está en que la protocooperación a cambio del mutualismo es una relación no obligada. Sin embargo, las relaciones simbióticas son débiles, pues a menudo alguna de las poblaciones que la integran es reemplazada fácilmente por otras. En el medio ambiente, las poblaciones de hongos establecen relaciones de sintrofia con otras poblaciones de plantas y animales⁵². Por ejemplo, la micorriza es una asociación

⁵¹ CASTRO y BERNAL. 2003. Op. Cit.

⁵² ATLAS, R. y R. BARTHA. Ecología Microbiana y Microbiología Ambiental. Barcelona: Editorial Addison-Wesley, 2001

simbiótica mutualista entre la raíz de la mayoría de las plantas y algunos hongos benéficos del suelo, en la que las primeras brindan hábitat y nutrientes, mientras que los segundos se encargan de solubilizar el fósforo y estimular la aparición de bacterias fijadoras de nitrógeno en la rizosfera, lo cual se traduce en una mejor nutrición para las plantas⁵³.

El principio de armonía se hace evidente cuando el micelio de los hongos se manifiesta en un bosque sano, impoluto y biodiverso, donde el agua es pura y el caudal se mantiene en el tiempo, donde los suelos son fértiles y no hay erosión, todo facilitando el desarrollo y manifestaciones de la vida expresada como toda clase de bacterias, protistas, hongos, plantas y animales, incluyendo al género humano.

El principio de responsabilidad se manifiesta en la frase de Hans Jonas: “Las posibilidades apocalípticas que hay en la tecnología moderna nos han enseñado que el exclusivismo antropocéntrico podría ser un prejuicio y que, al menos, precisaría una revisión”⁵⁴. El cultivo de setas permite tener una visión más biocéntrica, particularmente si se tiene en cuenta que esta biotecnología, el cultivo de setas, no es exclusividad del género humano, pues existen géneros de hormigas y termitas cultivadoras de hongos desde hace millones de años.

Jonas dice “El sacrificio de la propia vida por la salvación de otros, por la patria o por un asunto que afecte a la humanidad, es una opción por el ser, no por el no-ser”⁵⁵. Por ejemplo, esto es lo que hace la micorriza en caso de sequía: sacrificarse, entregando su agua a la planta en un acto altruista considerado típicamente humano, muriendo por ella, sabiendo que si sobrevive, tendrá donde vivir y como volver a multiplicarse. Además, este autor justifica el cultivo de setas cuando dice: “Desde esta perspectiva cabe comprender la función de los cálculos de población para los próximos decenios y el próximo siglo. El aumento de las tasas de población que resulta imparable (si no es mediante el exterminio), exige tomar a tiempo las medidas oportunas ante las necesidades alimenticias y de otro tipo, evitando también la destrucción del medio ambiente”. La producción logarítmica de biomasa fúngica proteica en un cultivo de hongos permite satisfacer las necesidades de esa población con crecimiento imparable a la que teme Jonas, de manera bioética y ecoética, o sea en una actitud a favor de la vida y el medio ambiente.

El principio de precaución se encuentra en las declaraciones internacionales que buscan mejorar el medio ambiente, desde Estocolmo en 1972, hasta Johannesburgo en el 2002; este principio que es parte de la ‘Política Nacional de Biodiversidad’, refleja el viejo adagio anónimo que dice “más vale prevenir, que

⁵³ GUERRERO. Op. Cit.

⁵⁴ JONAS, H. El principio de responsabilidad. 2 ed., Barcelona: Editorial Herder, 2004. p.91

⁵⁵ Ibid. p.93

curar”. Ante la carencia de evidencia científica sobre el efecto de una tecnología, no debe haber dilación en la toma de decisiones eficaces para impedir el impacto sobre el ambiente. El cultivo de setas ha demostrado y está demostrando a lo largo y ancho del planeta, y particularmente en los países en vías de desarrollo, que es una alternativa totalmente válida para la obtención de proteína de manera rápida, limpia y económica, en un sistema de producción enmarcado por el desarrollo sostenible, mejorador de la calidad de vida, no solo del género humano, sino del planeta en general. El principio de precaución obliga a que se adopte una producción limpia, orgánica, alternativa, no transgénica, lo cual se cumple con la fungicultura. También permite crear una conciencia social sobre las consecuencias de la tecnociencia, particularmente de las biotecnologías, para el medio ambiente y para los individuos en concreto.

2.3 DESDE LA COMPLEJIDAD

La visión ecocéntrica considera al planeta entero como un organismo vivo, tal como lo confirma Joseph DesJardins: “En años recientes, algunos observadores, liderados por el científico británico James Lovelock y la bióloga americana Lynn Margulis, han sugerido que la tierra en si misma puede ser entendida como un organismo viviente”⁵⁶.

James Lovelock gestor del concepto de *Gaia* junto con Lynn Margulis, dice:

A veces, cuando hago frente al exceso de entusiasmo acerca de la vida en la Tierra, sigo la guía de Lynn y adopto el papel de administrador de almacén, de representante sindical de los microorganismos y de las formas de vida menores subrepresentadas. Han trabajado para mantener este planeta adecuado para la vida durante 3.500 millones de años. Los rumiantes, las flores salvajes y la gente deben ser reverenciados, pero todos ellos no serian nada sino fuese por la vasta infraestructura de los microbios⁵⁷.

Estos conceptos están muy alejados de una visión antropocéntrica e incluso biocéntrica, y tienen más bien, un corte definitivamente ecocéntrico, en el que se reconoce la relevancia de los microbios, entre los que se encuentran los hongos, para el desarrollo de la vida en el planeta Tierra.

Lovelock menciona como el concepto de la Tierra considerada como un organismo vivo, ya era manejado con anterioridad, a finales del siglo XVIII, por el científico escocés, padre de la Geología, James Hutton, y un siglo más tarde por el filósofo y escritor ucraniano, Maksimovich Korolenko, primo del científico soviético Vladimir Vernadsky. Tal como se menciona en un capítulo posterior, el micelio de los

⁵⁶ DESJARDINS. Op. Cit. p.168

⁵⁷ LOVELOCK, J. Las edades de Gaia: una biografía de nuestro planeta vivo. Barcelona: Tusquets Editores, 1993. p.12

hongos se comporta como la red neuronal o la Internet de ese superorganismo, conduciendo mensajes químicos entre los microbios del suelo, entre el suelo y las plantas, entre las plantas, retornando a los ecosistemas los nutrientes perdidos en las cadenas tróficas, solubilizando minerales, creando suelo y modificando el paisaje. Los hongos favorecen la colonización de nuevos hábitats mediante un proceso de autoorganización, capaz de adaptar su forma espontáneamente en respuesta a los retos que le plantea el ambiente siempre cambiante, cumpliendo las condiciones de las llamadas “estructuras disipativas” enunciadas por el premio Nobel Ilya Prigogine.

El comportamiento adaptativo del micelio del hongo es el que le permite colonizar ecosistemas destruidos por ejemplo, por desastres naturales como los incendios forestales o las erupciones volcánicas, y que también favorece la presencia de otros microorganismos como bacterias, protozoos, algas, que a su vez atraen a nematodos, insectos, arácnidos, los cuales son carnada para aves y roedores, que transportan semillas que germinan y regeneran el bosque, es un comportamiento típicamente autopoyético, que por involucrar tal biodiversidad más bien debe considerarse como ecopoyético, tal como lo concibe Lovelock.

De la misma manera, el proceso se aplica para uno de los proyectos más ambiciosos de la humanidad: la colonización del espacio exterior, como el caso de los viajes interplanetarios y lo que sería la llamada “Terraformación” que consiste en transformar un ambiente inhabitable de otro planeta, en un sitio adecuado para que la vida pueda evolucionar naturalmente, por ejemplo en el caso de Marte⁵⁸. La creación de suelo es una labor ecosistémica autoasignada a los hongos, que conforman con su red micelial un microhabitat donde empieza a pulular la vida (bacterias, protozoos), haciéndose notorio el incremento del índice de Actividad Microbiana (IAM) del suelo, que es un indicador de la fertilidad de este. Cualquier intento por generar suelo, debe obligatoriamente involucrar a los hongos como soporte o apoyo para las plantas y demás formas de vida

Todo lo anterior coincide con lo que dice Lewis Thomas: “La biosfera es una entidad con una unidad propia, un inmenso sistema vivo e integrado, un organismo”⁵⁹. Lewis también comenta:

Además, a pesar de nuestra elegancia y arrogancia como especie, a pesar de nuestros prominentes lóbulos frontales, a pesar de toda nuestra música no hemos progresado mucho con relación a los microorganismos antepasados nuestros. Estos microorganismos continúan con nosotros, forman parte de nosotros. O, dicho de otra manera, nosotros formamos parte de ellos⁶⁰

⁵⁸ Ibid.

⁵⁹ THOMAS, L. En: MARGULIS, L. y D. SAGAN. Microcosmos: cuatro mil millones de años de evolución desde nuestros ancestros microbianos. Barcelona: Tusquets, 1995. p.11

⁶⁰ Ibid.p.13

Los microbios, y particularmente los hongos, son hebras vitales del entramado de la red de la vida. Podrían ser considerados como la red neuronal de *Gaia*.

En *Microcosmos* los autores reconocen la importancia de los microorganismos para la evolución de la vida y dicen: “Dejamos escrito que Gaia, el sistema fisiológico de la vida en la Tierra, podría sobrevivir a la desaparición de nuestra especie, mientras que los humanos no podríamos persistir separados de los microorganismos”⁶¹. Hoy se sabe a nivel general que los microorganismos de ayer fueron el origen de la vida en la Tierra, y que así como son el motor de la vida en el planeta y mañana pueden ser la causa de su destrucción si son manejados y manipulados inapropiadamente. Por su parte, Niles Eldredge, conservador del departamento de invertebrados del Museo Americano de Historia Natural, dice: “La biodiversidad incluye los hongos (setas y afines) responsables de la descomposición de la materia orgánica y el reciclado de los nutrientes y moléculas químicas indispensables para el mantenimiento de la vida”⁶², lo cual recuerda lo que se olvidó en la Cumbre de Río.

Para muchas de las personas formadas en el campo de la microbiología, como es el caso del autor de este trabajo, las teorías de Lovelock y Margulis, son tan claras y a su vez tan profundas, que parecen obvias y elementales, y por esa misma razón acogen fácilmente a los hongos dentro de sus conceptos.

Los libros mencionados poseen una visión ecológica particular que encaja en el movimiento de Ecología Profunda (Deep Ecology), opuesto a la corriente darwinista antropocéntrica que considera al ser humano como el amo y señor de la creación. Para la Ecología Profunda el ser humano es uno más de la creación, igual a los demás seres vivos, en una visión holística que muestra que la cooperación y la simbiosis son parte esencial de la naturaleza. Los hongos son especialistas en simbiosis; las tienen con las raíces de las plantas, formando micorrizas, y las tienen con las algas o algunas cianobacterias, formando los líquenes. Insectos como algunas hormigas, termitas y ambrosías, cultivan hongos en simbiosis. Como se mencionó anteriormente, los hongos son actores clave del ciclo del carbono. Esto es un hecho muy importante que ocurre en todo el planeta, y es muy notorio en las sabanas de los llanos orientales del departamento de Casanare donde se encuentran termiteros diseminados por todas partes.

Eldredge dice al respecto: “En las secas sabanas tropicales, los únicos organismos que pueden llevar a cabo la tarea vital de la descomposición de la materia orgánica son los hongos y bacterias que viven dentro de los termites o en

⁶¹ MARGULIS, L. y D. SAGAN. *Microcosmos: cuatro mil millones de años de evolución desde nuestros ancestros microbianos*. Barcelona: Tusquets, 1995.p.19

⁶² ELDREDGE, N. *La vida en la cuerda floja: la humanidad y la crisis de la biodiversidad*. Barcelona: Tusquets, 2001.p.8

sus termiteros”⁶³. Los termites macrotermitinos son únicos por cultivar hongos del género *Termitomyces* dentro del termitero; cada especie de termita se especializa en una especie del hongo. Tanto el hongo como la termita son alimentos altamente apreciados por los nativos de muchas zonas africanas. Las hormigas se consumen así mismo en gran parte de Suramérica, pero no así los hongos que cultivan. “Sin el reciclado del carbono y otros muchos elementos, que llevan a cabo los hongos, la vida en la Tierra (incluida la humana) se acabaría pronto”⁶⁴. Y haciendo referencia a la dinámica de los ecosistemas este autor dice: “En último lugar están los humildes, pero no por ello menos fundamentales, agentes descomponedores: hongos, bacterias y protozoos, esenciales para la tarea de reciclar los residuos orgánicos y restituir los nutrientes imprescindibles para que el juego de la vida pueda continuar indefinidamente, generación tras generación”⁶⁵.

Los microorganismos, principalmente hongos y bacterias, son quienes mantienen el control cibernético de la superficie de la Tierra; estos organismos aparentemente carentes de inteligencia, son capaces de realizar tareas que gobiernos o entidades públicas humanas no son capaces de hacer, como descontaminar el agua o retornarle la fertilidad al suelo. Por esta razón, se argumenta que tanto el cultivo de hongos, tomado como actividad humana, como los hongos en sí mismos, son capaces de cumplir principios bioéticos y ecoéticos.

Dentro del proceso evolutivo, los hongos representan una tercera vía de organización de las células eucariotas. La evidencia fósil sugiere que los hongos coevolucionaron junto con las plantas en la colonización del ambiente terrestre, hace algo más de 300 millones de años. En *Microcosmos*, sus autores dicen al respecto: “Asociados de manera simbiótica con las raíces de las plantas, los hongos transfieren fósforo y nitrógeno por todo el planeta. Sin los hongos, los vegetales morirían de inanición al carecer de estos nutrientes minerales. Por eso se ha sugerido que los bosques primitivos no habrían sido posibles sin ellos”⁶⁶. Por otra parte, los hongos y las sustancias que producen, tienden a interferir en muchos procesos metabólicos de animales y bacterias, lo que sugiere un antiguo mecanismo evolutivo de defensa. “Los cambios psicofarmacológicos inducidos por alucinógenos como los de las setas *Amanita* y *Psilocybes* representan modelos de supervivencia coevolutivos de animales que nos precedieron”⁶⁷.

La evolución conjunta de la vida y el planeta se considera como una *homeorresis*, o sea una sucesión de equilibrios que permiten la evolución de nuevas formas de vida y cambios en la superficie de la Tierra. El término plantea que los seres vivos han modificado profundamente las características de la Tierra, mientras que ellos mismos van sufriendo cambios, en un proceso de coevolución.

⁶³ Ibid. p.9

⁶⁴ Ibid. p.12

⁶⁵ Ibid. p.27

⁶⁶ MARGULIS y SAGAN. Op. Cit. p. 209

⁶⁷ Ibid. p.209

El libro de Eldredge muestra como la visión antropocéntrica dominante hasta finales del siglo XX ha sido la causante de la llamada crisis de la biodiversidad, mientras que la visión holística es la que presenta la mejor alternativa de solución. Esa solución depende de la comunicación entre todos los organismos del planeta actuando en sincronía o en cascada, creando un efecto dominó que permita frenar la desaparición de las especies amenazadas. “En último término, toda la superficie del globo está conectada por una transferencia de energía, a través de los organismos y de fenómenos físicos tales como el viento, la lluvia y las oscilaciones térmicas. Esto es la biosfera, el ecosistema global”⁶⁸. Es Gaia. Y los hongos son, como ya se dijo, su sistema neuronal de intercomunicación con los demás organismos. “Esta es la cuestión: el flujo de energía entre especies de microbios, hongos, plantas y animales en cualquier entorno local esta conectado lateralmente con las regiones adyacentes. Los sistemas locales están conectados en sistemas regionales”⁶⁹.

Por su parte, Kauffman menciona:

Piense, entonces, sobre como los hongos comunes deben estar en nuestra revolución tecnológica desde el Paleolítico inferior. Las herramientas que hacemos nos ayudan a hacer herramientas que a su turno nos permiten abordar nuevas maneras de hacer las herramientas con las que empezamos. El sistema es autocatalítico. Los organismos y sus metabolismos colectivamente autocatalíticos que son sostenidos por un juego de suministro exógeno de alimento y energía, son tipos de hongos, tal como es nuestra sociedad tecnológica. Las redes de hongos en los ecosistemas y los sistemas económicos son internamente coherentes, y son un todo. Las entidades y roles funcionales que cada uno juega se encuentran y compaginan los unos con los otros sistemáticamente⁷⁰.

Como se menciona en otra parte de este trabajo, en la historia, el uso de los hongos por parte del género humano ha sido permanente en un proceso coevolutivo que involucra la alimentación, la salud, el arte y las creencias religiosas o espirituales desde el Paleolítico. Para no ir mas lejos, la medicina herbolaria china tiene registro del uso de hongos como tónico y medicina desde hace más de 2.000 años⁷¹. Los hongos han proporcionado al género humano alimento y medicina desde siempre, y también han restaurado paisajes deteriorados por causas naturales durante eones. Considerándolos desde una posición bioética y ecoética, son sistemas complejos, autoorganizativos, mejoradores de las condiciones que favorecen la vida sobre el planeta.

⁶⁸ ELDREGDE. Op. Cit. p.81

⁶⁹ Ibid. p.196

⁷⁰ KAUFFMAN, S. At home in the Universe: the search for the laws of self-organization and complexity. New York: Oxford University Press, 1995. P.288

⁷¹ CHANG, S.T. y P. MILES. Edible mushrooms and their cultivation. Boca Raton: FLA, CRC Press, 1989

Morris & Robertson enlazan las funciones de los hongos entre las diversas escalas de resolución. A escala ecológica los enlaces se inician a nivel de moléculas e individuos, que a su vez se enlazan en comunidades, estas en ecosistemas y estos finalmente se enlazan a escala global. A escala física todo se inicia enlazando una microescala con el punto de muestreo, este a su vez con una escala de paisaje y este con una escala global⁷².

2.4 DESDE EL DISEÑO

Como dice un refrán de la sabiduría popular: “*De eso tan bueno no dan tanto*”. El cultivo de setas tiene algunos inconvenientes naturales y también tiene opositores. Entre los inconvenientes se encuentra el riesgo de alergenicidad a las esporas, que se presenta particularmente en los trabajadores de las plantas de producción, y que se manifiesta por fatiga, malestar general, cefalea moderada, sinusitis, tos, dificultad para respirar y dolores articulares principalmente. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que sólo el 1-2% de las personas son alérgicas, lo cual sucede de la misma manera con una gran variedad de alimentos vegetales como las fresas, el maní o la soya.

Otro riesgo que se corre es la intolerancia digestiva que depende más de las condiciones propias de la persona que come los hongos, que de las características del mismo hongo. En muchos casos, cuando se consume por primera vez, la indigestión es pasajera, y solo ocurre mientras el organismo se habitúa a este nuevo alimento. Si la indigestión persiste, debe suspenderse el consumo.

También suelen ocurrir intoxicaciones por confusión de hongos tóxicos o venenosos con hongos comestibles; esto se evita con una buena lupa, una buena guía de campo, una buena clave taxonómica, mucho estudio y paciencia para ir conociendo una a una las especies, sus características y su entorno.

Dada la propiedad de los hongos para atrapar metales pesados, se presenta el caso de sustratos contaminados con tales sustancias y que pueden ser usados como sustrato para cultivar el hongo, el cual crece absorbiendo los iones metálicos que podrían pasar por la cadena alimentaria hasta los humanos. Este tipo de sustratos debe evitarse para producción de alimento, pero es el sustrato que debe usarse para hacer micetorremediación.

Entre los opositores se encuentran incluso voces académicas representadas por algunos Ingenieros Forestales, que consideran a los hongos de la pudrición

⁷² MORRIS, S. & P. ROBERTSON. Linking function between scales of resolution. En: DIGHTON, J.; J. WHITE & P. OUDEMANS. The fungal community: its organization and role in the ecosystem. Boca Raton: 3rd ed., Chemical Rubber Company Press, 2005.

blanca, los que se cultivan como alimento nutracéutico, única y esencialmente como fitopatógenos, e incluso los consideran nocivos para el medio ambiente, pues argumentan que son especies foráneas introducidas, no nativas, que afectan la biodiversidad local. Esta idea debe refutarse contundentemente, pues estos hongos de la pudrición blanca son ante todo descomponedores primarios y como saben muy bien los fitopatólogos, su acción como parásitos oportunistas sólo se presenta cuando hay susceptibilidad del huésped y determinadas condiciones ambientales. Esa susceptibilidad puede estar dada por estrés biótico o abiótico. Por otra parte, estos hongos son ubicuos, cosmopolitas y se encuentran en todo el mundo, y naturalmente en los bosques del piedemonte de la cordillera oriental en una franja que cruza al departamento de Casanare, esperando su reconocimiento por la ciencia, que es parte de lo que finalmente busca este trabajo.

3. HISTORIA DEL USO DE LOS HONGOS Y SU SIGNIFICADO PARA LA HUMANIDAD: UN EJEMPLO DE COEVOLUCIÓN

“Que tu alimento sea tu medicina, y que tu medicina sea tu alimento”
HIPOCRATES

El uso de hongos por parte del género humano se extiende desde el periodo Paleolítico hasta nuestros días. Los hongos han jugado roles fundamentales en el curso de la evolución humana y siempre han producido profundas respuestas emocionales contradictorias como profundo temor o inmensa adulación. Bien sea en aspectos de alimentación, salud, usos industriales o creencias mágico-religiosas, los hongos han coevolucionado con el *Homo*, permitiéndole a este un puente de comunicación entre el mundo macroscópico y el mundo microscópico.

La prueba más antigua del posible uso de hongos es una imagen Tassili datada en 5.000 años a.C., hallada en una caverna del desierto del Sahara al norte de Argelia, que quizás muestra un autorretrato del primer Micetólogo del Paleolítico. La imagen deja ver un *shaman* danzante con una máscara en forma de abeja, de cuyo cuerpo salen hongos con un aura electrificada⁷³. En otro hecho, en 1991 unos escaladores alemanes encontraron en los Alpes italoaustriacos los restos muy bien preservados de un hombre que murió hace unos 5.300 años (esto es unos 1.700 años después del artista Tassili de la caverna). Los medios de comunicación lo bautizaron ‘Oetzi’, ‘Ice Man’, ‘el hombre del hielo’. Oetzi llevaba consigo un pantalón de piel de cabra, una bolsa, un hacha de cobre, unas flechas y un cinturón del cual colgaba un manojito de hongos poliporáceos deshidratados entre los que se identificaron *Piptoporus betulinus* y *Fomes fomentarius*, entre otros con posible carácter medicinal y mágico-religioso-espiritual⁷⁴. Los hongos poliporáceos son conocidos ancestralmente por sus propiedades medicinales para detener hemorragias, curar y sanar heridas; la infusión de estos hongos posee propiedades antibacterianas e inmunoestimulantes y también se han usado a través del tiempo en varias culturas como yesqueros para encender fuego.

Por ejemplo, los hongos fueron claves en la antigua Grecia, Roma, Egipto, India y en América central. Los egipcios consideraron las fermentaciones como un regalo

⁷³ LOTHE, H. Oasis of art in the Sahara. En:Revista *National Geographic* (Aug. 1987). p. 180-188.

⁷⁴ PEINTNER, U.; R. PODER & T. PUMPEL. The Iceman’s fungi. En: Mycol. Res. No. 102 (1998); p. 1153-1162.

del gran dios Osiris a la humanidad. Por otra parte, los griegos y romanos celebraban las fiestas dionisias y las bacanales, en honor de Dionisio y Baco, donde el vino era profusamente servido. Para poder contextualizar el tema hay que hacer claridad sobre algunos conceptos técnicos que se han manejado erróneamente desde siempre. Se debe empezar en primer lugar por aclarar, rompiendo un viejo paradigma, de acuerdo con Alexopoulos y colaboradores, que la ciencia que estudia los hongos, tradicionalmente se ha conocido como Micología (etimológicamente, del Griego *mykes* = sombrero + *lógos* = palabra, o *logía* = discurso, tratado), pero que el nombre correcto debe ser Micetología.

Según los principios de la gramática Griega, la forma correcta de combinación de *mykes* es el prefijo *myceto*⁷⁵. Esto también coincide con la definición de micetología y micología del Nuevo Diccionario Ilustrado de Micología⁷⁶. La palabra *mykes* tiene su origen en la mitología griega que cuenta que hace 3.500 años, el héroe Perseo, cumpliendo una profecía del Oráculo, mató accidentalmente a su abuelo Acrisio, a quien sucedería en el trono de Argos. De acuerdo con Pausanías, cuando Perseo regresó a Argos, abrumado por el peso del homicidio, persuadió a Megafentes, hijo de Proetus, para intercambiar reinos con él. Así, cuando iba a recibir el reino de Proetus, mientras viajaba a caballo el viento le despojó del sombrero (*mykes*), y entonces en ese sitio decidió fundar una ciudad a la que llamó Micena, pues consideró el hecho como una buena señal o augurio⁷⁷.

La historia universal narra primero como el Emperador Romano Claudio II y posteriormente el Papa Clemente VII fueron envenenados por sus enemigos al consumir especies tóxicas del género *Amanita*. En otro caso, de acuerdo con la leyenda, el mismo Buddha murió por consumir un hongo que crecía enterrado en el suelo, el cual le había sido obsequiado por un caminante argumentando que era una delicadeza culinaria (las trufas crecen bajo el suelo y son deliciosos, pero no se conocen actualmente especies venenosas).

Entre los antiguos griegos se destacan algunos importantes escritores en materia médica y filosófica que mencionan el uso de los hongos, tales como Hipócrates (460-377 a.C.), considerado el padre de la Medicina, quien menciona el uso de hongos para un tratamiento de moxibustión, en el que se estimulan puntos específicos en afecciones crónicas serias asociadas al riñón como la gota y la ciática, en forma similar al tratamiento de puntos meridianos de la medicina tradicional china; además notamos que es el primero en considerar los 'alimentos funcionales', como lo muestra su celebre frase introductoria. El filósofo griego Aristóteles (384-322 a.C.) menciona que algunos hongos bioluminiscentes eran usados para trazar caminos en la noche, así como algunos soldados los

⁷⁵ ALEXOPOULUS, C. J., MIMS, C.W., y M. BLACKWELL. Introductory Mycology, 4ed. New York: John Wiley & Sons, 1996.

⁷⁶ ULLOA, M. y R. HANLIN. Nuevo diccionario ilustrado de Micología. St. Paul: Minn., American Phytopathological Society APS Press, 2006.

⁷⁷ ALEXOPOULUS. Op. Cit.

colocaban en sus cascos para poder verse entre sí durante los combates y guardas nocturnas⁷⁸. Teofrasto (372-287 a.C.) consideraba las setas como buen alimento. El historiador Plinio (23-78 d.C.) menciona muchas veces los hongos en sus escritos y aunque los describe diferentes, los menciona en general como *Agaricum*. La palabra *agaric* deriva de Agaria, una región al sudoeste de Rusia.

Por otro lado, Dioscorides (55 d.C.), médico de la armada de Nerón, autor del libro *De Materia Médica*, el compendio herbal más ampliamente conocido, realmente no los apreciaba, pues decía que los hongos son frecuentemente venenosos y difíciles de digerir; sin embargo, consideraba al igual que Plinio, al “Agarico” o *Agaricon* (un hongo o varios hongos sin clasificar) como una medicina sanadora. También son mencionados por Galeno (130-200 d.C.), médico y escritor quien considera que los hongos son “fríos y húmedos” en la naturaleza.

Stamets⁷⁹, cuenta cómo los filósofos Aristóteles, Platon, Homero y Sofocles, pilares de la cultura occidental, solían participar de ceremonias rituales en Eleusis, en el templo dedicado a la diosa de la fertilidad y la tierra, Demeter, identificada con la diosa romana Ceres. Durante dos milenios, miles de peregrinos pagaban el equivalente a un mes de salario para viajar los 20 kilómetros entre Atenas y Eleusis y tener el privilegio de asistir a la ceremonia anual. Al llegar al templo, se reunían en el vestíbulo de iniciación, el telestrión. Una vez adentro, se sentaban en filas que descendían en gradas hacia una cámara central escondida, donde se servía una decocción de hongos. Los eventos que allí ocurrían son conocidos por los historiadores como Los Misterios Eleusianos o Misterios de Eleusis. Los secretos de las ceremonias no podían ser revelados, bajo pena de muerte; estas ceremonias continuaron hasta la era cristiana, cuando fueron suprimidas⁸⁰.

El banquero inversionista Gordon Wasson, junto con el micetólogo francés Dr. Roger Heim estudiaron en forma intensiva los hongos en diversas culturas como la mesoamericana, la rusa, la inglesa y la hindú. Estudiaron el uso de los hongos *Psilocybe* en Mesoamérica, y de los hongos *Amanita* en Siberia-Eurasia. En su libro *Soma: el Divino Hongo de la Inmortalidad*, Wasson postula que el misterioso Soma de la literatura Védica, ese fruto rojo que induce una lucidez espontánea en quienes lo consumen, es en realidad el hongo *Amanita muscaria*, cuya variedad europea es alucinógena; la variedad americana es más tóxica que alucinógena⁸¹.

Existen reportes de consumo de hongos como alimento, como medicina y de uso en rituales mágico-religiosos entre indígenas nativos norte y mesoamericanos. Las tribus norteamericanas Iroquois, Tewa y Ahnishinaubeg los usaban para tratar el reumatismo, dolores articulares y la ciática, entre otras dolencias; curiosamente,

⁷⁸ GLAWE, D. A. y W. U. SOLBERG, Early accounts of fungal bioluminescence. *Mycología* No. 81 (1989). p. 296-299

⁷⁹ STAMETS, P. Growing gourmet and medicinal mushrooms. 3 ed. Berkeley: Ten Speed Press, 2000

⁸⁰ Ibid.

⁸¹ WASSON, R. G. Soma: el divino hongo de la inmortalidad. Nueva York: Harcourt Brace Javanovich, 1968.

los usaban en forma similar a la antigua práctica china de la moxa y tal como lo hacia Hipócrates. En Centroamérica, el saber tradicional sobre hongos o setas de los campesinos e indígenas guatemaltecos y mexicanos se ha transmitido durante varias generaciones, favorecido por la presencia de una gran variedad de hongos que crecen sobre una amplia gama de sustratos en todos los climas, en condiciones tropicales muy similares a las que se tienen en la zona tórrida intertropical donde se encuentra Colombia, y particularmente parecidas a las de la zona de piedemonte andino del departamento de Casanare. Allí, las setas se conocen como *Nanacatl*, vocablo que significa “carne”. También en las culturas azteca y maya es bastante común el uso de hongos para rituales mágico-espirituales y de sanación, que son llamados *Teonanacatl*⁸².

En Oriente, los hongos han jugado papeles muy importantes en la cultura; por ejemplo, en China se usan desde hace más de 7.000 años encontrándose reportes del uso de mas de 10 especies de hongos en los libros clásicos de medicina herbal china *Shen nung Pen ts'ao* o *Pen ts'ao king* y en el *Ming i pie lu* o simplemente *Pie lu*.

Incluso se han clasificado las culturas o países como micófbos en el caso de los anglosajones: Inglaterra e Irlanda, micófilos como los asiáticos: China, Japón, Corea, Tailandia, y los centroeuropeos: Rumania, Polonia, Rusia e Italia, o micófagos como los mesoamericanos: México y Guatemala, o los asiáticos: China, Malasia, Taiwan e India⁸³.

⁸² GAITÀN HERNÁNDEZ, R. et al. Manual práctico del cultivo de setas: aislamiento, siembra y producción. Xalapa: Instituto de Ecología, 2002.

⁸³ WASSON, R. G. y V. P. WASSON. Mushrooms, Russia and history. New York: Pantheon Books, 1957.

4. ESTADO DEL ARTE Y LA CIENCIA DE LA FUNGICULTURA

Una vez desarrollado el microscopio por Antony van Leeuwenhoek en el siglo XVII, se dio inicio al estudio sistemático de los hongos. En 1729, el botánico italiano Pier' Antonio Micheli publicó las primeras investigaciones científicas sobre hongos en su libro *Nova Plantarum Genera*, y por esta razón se le considera como el fundador de esta ciencia⁸⁴. El estudio científico y sistemático de los hongos corresponde a la Micetología, erróneamente llamada Micología, ciencia que apenas alcanza los 250 años de edad, en la que se estudia la biología de los seres ubicados dentro del Reino Fungi, también conocido como el quinto reino en la clasificación de Whittaker de finales de siglo XX.

A través de la historia, hasta el final de la Edad Media, las setas fueron consumidas por el género humano siempre mediante la recolección en campo y no mediante el cultivo o domesticación de especies, que sustituyó a tal práctica, aunque no con éxito en todos los casos; obviamente, en un concepto más amplio, esto ocurrió en forma paralela al cambio entre la vida nómada y la vida sedentaria del género humano. Sin embargo durante el último siglo se incrementó globalmente su producción tanto en cantidad como en variedad de especies, gracias al desarrollo de técnicas de cultivo inicialmente artesanal que se han ido volviendo industriales. Después de la década de los 70s del siglo XX, se vio la necesidad de desarrollar fuentes alternativas de alimentos, optimizando a la vez los recursos disponibles, dentro de una cultura ecológica ávida de tecnologías consideradas como ambientalmente seguras, paralelas al avance de la agricultura orgánica. Desde la ecoética, el cultivo de setas es un sistema productivo que encaja en los lineamientos de la Política Nacional de Producción Limpia.

Así, tal como Potter concibió la bioética como el puente entre las humanidades y las ciencias, la fungicultura es un puente que une el arte y la ciencia del cultivo de hongos. Como lo dice Kauffman: "Ciencia y arte: la receta del éxito; *wissen* frente a *können* en alemán; el <saber qué> junto al <saber como> se entremezclan en nuestra vida diaria. Y, sin embargo, *können*, el <saber como>, no tiene un lugar en la ciencia. ¿Por qué?"⁸⁵. La respuesta puede encontrarse llevando a la práctica el cultivo artesanal de hongos, puesto que de esta manera se produce un alimento funcional de excelente calidad, de una manera rápida, económica y limpia, haciendo un manejo racional de los residuos agroindustriales polucionantes, en un

⁸⁴ ALEXOPOULUS. Op. Cit.

⁸⁵ KAUFFMAN, S. Investigaciones. Barcelona, Tusquets, 2003. p.12

proceso productivo que se rige por parámetros de desarrollo sostenible, en el que puede trabajarse con mano de obra familiar, y que puede llevarse a cabo fácilmente por cualquier persona, incluyendo discapacitados, adultos mayores, madres comunitarias, desplazados, desempleados, reclusos, jóvenes y cualquier tipo de población vulnerable o marginada, y que por sus características se convierte en una alternativa de carácter bioético y ecoético frente a la problemática del hambre, la malnutrición, el desempleo, la pobreza y la contaminación generada por el manejo inadecuado de los residuos.

La tabla 1 muestra el desarrollo del cultivo comercial de setas a lo largo de la historia reciente de la humanidad:

Tabla 1. Historia del cultivo de hongos en el mundo.

AÑO Y PAÍS	NOMBRE CIENTIFICO
600 d.C.- China	<i>Auricularia aurícula</i>
800 d.C.- China	<i>Flammulina velutipes</i>
1000 d.C.- China	<i>Lentinula edodes</i>
1600 d.C. - Francia.	<i>Agaricus bisporus</i>
1621 d.C. China	<i>Ganoderma spp.</i>
1700 d.C.- China	<i>Volvariella volvacea</i>
1900 d.C.- EUA	<i>Pleurotus ostreatus</i>
1958 d.C. India	<i>Pleurotus florida, Pholiota nameko</i>
1962 d.C. India	<i>Pleurotus flabellatus</i>
1981 d.C. India	<i>Pleurotus citrinopileatus</i>
1991 d.C. EUA	<i>Tricholoma monolicum, T. gambosum</i>

FUENTE: CHANG, S.T.; J. A. BUSWELL y S.W. CHIU (eds.). Mushroom biology and mushrooms products. Hong Kong: The Chinese University Press, 1993.

Teniendo en cuenta el nivel mundial actual de producción, se viene hablando de “las Seis Grandes Setas”, en su orden: *Agaricus* (Champiñón común), *Pleurotus* (Orellanas o Setas), *Lentinula* (Shiitake), *Auricularia* (Oreja de Judas), *Volvariella* (Hongo de la Paja de Arroz) y *Flammulina* (Enokitake). El champiñón común es el más cultivado en todas partes, alcanzando el 37% de la producción mundial de todas las setas, pero lamentablemente no posee propiedades medicinales, como sí sucede con el shiitake, las orellanas y el reishi, que están siendo cultivados masivamente a partir de 1994. El país que más cultiva setas de todo género es China, con una producción de 2.24 millones de toneladas, seguida de Estados Unidos, Japón, Francia, Holanda, Reino Unido e Italia⁸⁶.

⁸⁶ MILES, P. y S.T. CHANG. Op. Cit.

La proyección ascendente del mercado de hongos, y particularmente el de orellanas, shiitake y reishi, ha sido evidente pues mientras en 1965 la producción mundial de hongos apenas alcanzaba las 350.000 toneladas/año, en 1986 llegaba a los 2.2 millones de toneladas/año, y en 1991 los 4.3 millones de toneladas/año. Ya en 1984 se producían 32.000 toneladas de orellanas. En el año 1994, China produjo 654.000 toneladas de orellanas (82% de la producción mundial), con un valor en el mercado de U\$81 millones. Solo en 1997 China produjo 1 millón de toneladas de shiitake con un valor en el mercado de U\$375 millones. En Asia, los demás productores en orden decreciente son Corea del Sur, Japón, Tailandia, Taiwan e Indonesia⁸⁷.

De los países hispanohablantes, España es el mayor productor de orellanas, ubicándose segundo en Europa con el 22% de la producción del continente, después de Italia y seguido por Francia, Hungría y Alemania. En Latinoamérica la producción ha tenido un marcado aumento a partir de 1990, con México en el primer lugar, seguido por Brasil, Chile y Colombia, en cuarto lugar; también se cultivan con éxito pero en menor cantidad en Cuba, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Argentina, Chile, Perú, Ecuador y Venezuela; Estados Unidos y Canadá se encuentran en un lugar intermedio entre México y Brasil. En 1993, en Estados Unidos el mercado de setas alcanzó un valor de U\$16.4 millones, que prácticamente se duplicó en un año, pues en 1994 se mercadearon U\$28.7 millones, según datos reportados por el Departamento de Agricultura de ese país –USDA-⁸⁸.

En Colombia, el cultivo de hongos lo inició el alemán Alfredo Beck, en 1956 en la sabana de Bogotá con champiñón común (*Agaricus bisporus*). Hacia 1975, se hicieron famosos en Manizales, Caldas, los “Champiñones de Carmenza”, cuya propietaria, la Ingeniera Química Carmenza Jaramillo, trabajaría más adelante con Cenicafé y recibiría capacitación del Dr. Shu-Ting Chang, Profesor Emérito de la Universidad de Hong Kong, autoridad mundial en la materia y autor de varios de los textos citados en este trabajo, quien en su visita a Colombia, participo en el Primer Encuentro Mundial de Juventudes del Quinto Congreso Mundial Cero Emisiones, organizado por la Fundación ZERI de Gunter Pauli en Octubre de 1999 en Chinchiná, Caldas, y quien dejó muy claro el potencial de Colombia para producir este tipo de alimentos, considerando los hongos carnosos como un recurso natural renovable, subproducto no maderable del bosque. El concepto ZERI o Iniciativa de Investigación en Cero Emisiones tiene una visión ecoética del problema de la gestión y manejo de los residuos sólidos agroindustriales, en el que la productividad total y la producción limpia son ejemplos de la aplicación práctica de principio bioéticos y ecoéticos.

⁸⁷ SANCHEZ, J.E y D. ROYCE. La Biología y el Cultivo de *Pleurotus* spp. Chiapas, Noriega Editores, 2001

⁸⁸ MILES, P. y S.T. CHANG. Op. Cit.

A mediados de los 80s, surgen empresas como Potin, Setas de Cuivá y Setas de Colombia, que actualmente monopolizan el mercado. Para el 2005, el cultivo nacional de champiñón común alcanza las 3.500 toneladas/año, de las cuales 1.000 se producen en Bogotá, mientras que solo se producen unas 50 toneladas de orellanas, 18 de ellas en Manizales, 12 en la empresa Potin de Bogotá y el resto entre Huila, Antioquía, Boyacá y Meta.

Para contextualizar el cultivo de setas considerado no como fuente de alimento para autoconsumo, sino como negocio, debe tenerse en cuenta que, puesto que junto con su valor nutricional y medicinal, también se reconocen sus propiedades organolépticas que los hacen apetecidos en la 'alta cocina', alcanzando elevados precios; por ejemplo, una bandeja con 125 gr. de Orellanas frescas (*Pleurotus*) de primera categoría se consigue por \$3.500-4.500 Pesos colombianos en un supermercado de Bogotá, mientras que una bolsa de 50 gr. con orellanas deshidratadas de segunda categoría, que son las que se utilizan para secar, vale \$6.500 Pesos (esto se debe a que el producto fresco es muy perecedero, mientras que seco puede almacenarse hasta por un año), en una clara muestra de valor agregado; una onza de Reishi (*Ganoderma*) deshidratado puede costar entre U\$12-15 (\$25.000-30.000 Pesos Colombianos) en el mercado internacional.

Durante la última década del siglo pasado, los nutracéuticos y los nutricéuticos constituyeron una de las industrias de mayor expansión, especialmente en los EU donde el mercado alcanzó la cifra de U\$12 billones para el año 2000, y teniendo en cuenta que el mercado norteamericano apenas alcanza a ser el 1% del mercado mundial que maneja Asia. Después del 2000, el mercado se ha venido incrementando en un 20-40% dependiendo de la especie.

Desde un contexto bioético y ecoético, el análisis de los hechos muestra la importancia del cultivo de setas en la zona tórrida intertropical, donde se ubica Colombia y por ende, el departamento de Casanare, lo cual obedece a varios factores que son:

- **Los hongos son una fuente limpia, rápida y económica de proteína y otros nutrientes alimenticios.** Se puede producir hongos sin generar emisiones contaminantes ni sólidas, ni líquidas, ni gaseosas, en sólo tres meses y con un bajo costo de inversión. Hace algunos años, las setas eran consideradas un alimento de lujo, especialmente entre las clases pudientes, básicamente por su sabor y aromas únicos, y su gusto exótico. Hoy, la popularidad de los hongos está dada no solo por su valor culinario sino por su potencial como fuente de proteína capaz de mejorar la dieta humana, especialmente en los países en desarrollo donde la carne puede ser costosa o rara. El contenido proteico de las setas puede ser igual al del maíz, la leche o las legumbres y superior al del repollo o la papa. Además, los hongos poseen elevadas concentraciones de vitaminas B, C y D; los niveles de niacina, son similares a los encontrados en la res o el cerdo. También son buena fuente de

los minerales hierro, potasio y fósforo; son bajos en sodio, por lo que son muy útiles en dietas de hipertensos y personas con problemas de riñón⁸⁹. Como sistema de producción alternativa, el cultivo de setas permite al productor adoptar una actitud ecoética, que trabaja un sistema productivo limpio, no contaminante, rápido y económico, frente al sistema tradicional del llanero para producir proteína de origen animal de una manera lenta, costosa y contaminante, pues las reses con su digestión producen metano, uno de los gases del efecto invernadero, y además pisotean el suelo, compactándolo, mientras los animales necesitan alimento durante mínimo un año. Desde la bioética, el cultivo de setas cumple el principio de autonomía pues permite al productor generar un alimento funcional sano capaz de satisfacer los requerimientos mínimos que garanticen una seguridad alimentaria. También cumple el principio de beneficencia pues este sistema productivo protege los recursos naturales y por ende la biodiversidad.

- **Los hongos poseen propiedades medicinales.** Por siglos, los hongos se han prescrito para tratar variadas dolencias. Aparte del uso tradicional folclórico-cultural, la literatura científica viene reportando a partir de 1950 trabajos sistemáticos realizados en Japón, China, Corea y Estados Unidos, donde se estudian las propiedades inmunoestimulantes, inmunomoduladoras, hipolipemiantes, antioxidantes, entre otras, de una amplia variedad de hongos Basidiomicetos. El aislamiento de las sustancias activas con propiedades medicinales, confiere al cultivo de setas un valor agregado con elevado potencial en la industria farmacéutica. Por otra parte, la inclusión en la dieta de estos alimentos funcionales tiene un efecto benéfico sobre la calidad de vida del consumidor, que desde la bioética se manifiestan como los principios de beneficencia y autonomía.
- **El uso de residuos agrícolas como sustrato para el cultivo de setas.** Los hongos pueden crecer sobre una gran variedad de sustratos lignocelulósicos, crudos o compostados, que están disponibles durante todo el año en la zona tórrida intertropical, como es el caso del piedemonte del departamento de Casanare, en fincas, plantaciones y procesadoras. Estos residuos de cosecha tradicionalmente son desaprovechados, convirtiéndose en contaminantes, pero mediante el cultivo de setas pueden utilizarse para recuperar nutrientes perdidos, permitiendo así aprovechar los desechos agropecuarios. El uso de residuos como materia prima para obtener proteína es una respuesta de carácter ecoético frente al uso irracional de los recursos naturales y el despilfarro de energía. Lo que antes se consideraba un residuo, ahora es la materia prima para un nuevo ciclo productivo. Aquí se aplican los principios de responsabilidad y precaución. Los sistemas de producción limpia y productividad total son una manera de buscar el desarrollo sostenible.

⁸⁹ QUIMIO, T. H, et al. Technical guidelines for mushroom growing in the tropics. Rome: Food and Agriculture Organization, Plant Production and Protection, 1990. p. 155.

- **La naturaleza del cultivo implica una labor intensiva lo cual significa una potencial fuente de empleo.** La baja inversión de capital requerida para la implementación de un cultivo artesanal y los métodos aplicados de bajo costo, hacen que este cultivo sea óptimo para proyectos rurales y urbanos, en los que se provee de una fuente de trabajo personal y para los miembros de la familia. Viéndolo desde la bioética, el empleo estable garantiza una mejora en la calidad de vida de los productores en una manifestación del principio de justicia y equidad, que también pondera el trabajo cooperativo.
- **El cultivo de setas no compete con ningún otro tipo de cultivo.** La mayoría de los cultivos tradicionales dependen de la disponibilidad de la tierra como factor limitante. El cultivo de setas requiere de muy poco espacio, por lo que su implementación puede llevarse a cabo en la misma casa del productor, sin competir con otros cultivos por el espacio de siembra. Por el contrario, complementa los demás cultivos que dejan residuos de cosecha, los cuales son aprovechados para generar alimentos funcionales, mientras se disminuye la polución que generan, cumpliendo con el principio de beneficencia.

Por otra parte, una de las dificultades para la implementación del cultivo de setas, puede ser la falta de información confiable, puesto que por no ser un cultivo tradicional, las bibliotecas carecen de documentación que pueda servir de soporte por ejemplo, para el manejo de plagas y enfermedades. Aunque la literatura sobre el tema es profusa, la información sobre el cultivo de setas en la zona tórrida ecuatorial se encuentra en relativamente pocos libros, varios de origen mexicano y español; sin embargo las publicaciones periódicas a nivel mundial muestran una buena cantidad de artículos. Aparte de los *Journals* tradicionales (*Nature*, *Science*, *Applied Microbiology* y otros), existen algunas revistas especializadas en setas y hongos donde es posible encontrar información actualizada, tales como:

- *Fungal Diversity. An International Journal of Mycology*
Centre for Research in Fungal Diversity
Department of Ecology and Biodiversity
The University of Hong Kong
Hong Kong, China
- *Fungiflora A/S*
Norway
- *International Journal of Medicinal Mushrooms*
New York, NY, USA
- *Journal of Amateur Mycology and The Mycophile*

*North American Mycological Association
Charleston, WV, USA*

- *Mushroom Farming and Life Magazine
Seoul, Korea*
- *Mushroom Information. La Revista del Fungicoltore Moderno
Bologna, Italy*
- *Mushroom, The Journal
Moscow, Russia*
- *Mushroom Journal for the Tropics*
The International Mushroom Society for the Tropics
Department of Botany
Shatin, Hong Kong, China*
- *Mushroom News
American Mushroom Institute
USA*
- *Mushroom Research
International Journal of Research and Development
National Centre for Mushroom Research and Training
Chambaghat, Solan, India*
- *Mycologia
Official Publication of the Mycological Society of America
The New York Botanical Garden
Bronx, NY, USA*
- *Mycological Research
Cambridge University
New York, NY, USA*
- *Mycotaxon
Ithaca, NY, USA*

*Esta revista fue editada con 6 volúmenes a partir de 1980 por S.T. Chang con el nombre de *Mushroom Newsletter for the Tropics*, pero a partir de 1987 cambió su nombre a *Mushroom Journal for the Tropics*. Dejó de publicarse en 1992, pero es una excelente fuente de información.

Así, el cultivo de setas tiene tanto de ciencia, como de arte, en un ejemplo claro de ese puente del que habla Van Rensselaer Potter, que une las ciencias naturales con las ciencias humanas. Es una propuesta que muestra preocupación por darle al conocimiento científico un contenido valorativo frente a la sociedad. Es ese puente que se construye desde el hambre, la desnutrición, las enfermedades, la pobreza, el desempleo, hacia la seguridad alimentaria, la salud, la generación de autoempleo y el mejoramiento de la calidad de vida, siempre con vista hacia el futuro pensando en las generaciones venideras.

A continuación, en la tabla 2, se relacionan los centros de investigación en el tema de hongos nutraceuticos en Colombia con el tipo de sustrato que están utilizando; fuera de la tabla se mencionan otros centros que se sabe trabajan en el tema, pero de los cuales no fue posible conseguir más información:

Tabla 2. Centros de investigación de hongos nutraceuticos en Colombia.

CENTRO DE INVESTIGACION	GENERO DE SETAS CULTIVADAS	SUSTRATOS DE CULTIVO
Cenicafe/ZERI/SENA (Chinchiná, Caldas)	<i>Lentinula, Pleurotus</i>	Residuos de café
Cenicaña (Palmira, Valle)	<i>Volvariella</i>	Bagazo de caña
Universidad Tecnológica del Choco (Quibdo, Choco)	<i>Pleurotus, Ganoderma, Auricularia, Trametes, Lentinula</i>	Hojas de plátano, aserrines y troncos de maderas, tusas y capachos de maíz
Universidad de Antioquía (Medellín, Antioquía)	<i>Pleurotus</i>	Residuos de café
Universidad de Córdoba (Montería, Córdoba)	<i>Pleurotus, Ganoderma</i>	Residuos de algodón, tusa y capachos de maíz, hoja de plátano, cascarilla de arroz
Universidad Nacional (Bogotá, Cundinamarca)	<i>Pleurotus</i>	Pastos, Leucaena, bagazo de caña
Universidad Autónoma de Occidente (Cali, Valle)	<i>Pleurotus, Volvariella, Lentinula</i>	Tamo de arroz, hoja de guadua, Leucaena, buchòn de agua
Fundación Universitaria Internacional del Trópico Americano –UniTrópico- (Yopal, Casanare)	<i>Pleurotus</i>	Raquis de palma, cascarilla y tamo de arroz, ramas y hojas de yuca
Universidad de Caldas (Manizales, Caldas)	<i>Pleurotus, Lentinula</i>	Residuos de café

FUENTE: recopilación personal del autor de la presente investigación.

También hay equipos de investigación en la Universidad del Tolima, Universidad Santiago de Cali, Universidad del Valle, Universidad del Pacífico y en el Jardín Botánico de Cali. Además en los últimos 10 años ha crecido mucho el interés de los particulares por el cultivo, bien sea para autoconsumo, o para mercadeo a nivel de familia y/o barrio.

5. ECOLOGÍA DE LOS BASIDIOMICETOS: SU HISTORIA DE VIDA

Se argumenta que el conocimiento sobre los hongos es mínimo y por esta misma razón se considera que para poder entablar cualquier discusión sobre las bondades bioéticas y ecoéticas de los hongos, es necesario conocer la mayor cantidad de datos biológicos sobre ellos. Sin embargo, por cuestión de espacio, mas que de tiempo, la biología de los hongos carnosos basidiomicetos debe omitirse en este trabajo, lo cual en opinión del autor, lo empobrece, pues elimina conceptos clave que en un momento dado permitirían a aquellos que desconocen el tema, tener mejores herramientas para juzgar esas bondades del Quinto Reino. Sin embargo, las consideraciones ecológicas no pueden omitirse bajo ningún pretexto.

5.1 HABITAT Y NICHO ECOLÓGICO

El conocimiento de la ecología de estos hongos proporciona una visión sobre la historia de vida de cada uno de estos seres y muestra su valor intrínseco, independiente del valor utilitario que les pueda ser concedido por el ser humano, lo cual se acerca mas a una visión biocéntrica o ecocéntrica, alejándose de la tradicional visión antropocéntrica.

Los hongos son ubicuos, pues se encuentran en todas partes. Pueden vivir en el suelo o en el agua dulce o salada, y sus esporas se encuentran abundantemente en el aire. Para alimentarse secretan enzimas sobre el sustrato en que se encuentran, degradándolo en sustancias simples que absorben como nutrimentos para su desarrollo. Todos los hongos son heterótrofos puesto que no son capaces de sintetizar compuestos complejos de carbono a partir de dióxido de carbono, como las plantas. Los hongos cumplen un papel muy importante en la naturaleza, pues junto con las bacterias conforman el grupo de organismos descomponedores que cierran los ciclos biogeoquímicos de los elementos como nitrógeno, fósforo, carbono y azufre, entre otros.

De acuerdo con su tipo de nutrición, o sea la manera como adquieren nutrientes y energía, los hongos se pueden clasificar como parásitos, simbiontes o saprófitos. Los hongos parásitos son aquellos que obtienen sus nutrientes a partir de materia orgánica proveniente de otros seres vivos; por lo general causan enfermedades en otros organismos e incluso su muerte. En este grupo encontramos los

fitopatógenos que causan enfermedades en las plantas, y los dermatopatógenos que causan las llamadas micosis cutáneas en humanos y otros animales. Entre los fitopatógenos es posible encontrar al ser vivo más grande y viejo del mundo, que no es como podría suponerse, animal ni vegetal, pues no es ni un elefante (*Loxodonta africana*) o una ballena azul (*Balaenoptera musculus*), ni una secuoya (*Sequoia sequoia*), sino que es un hongo parásito del género *Armillaria*. Trabajos científicos de la Universidad Estatal de Washington han reportado que una sola colonia de la especie *A. ostoyae* de este hongo cubre 890 hectáreas (2.200 Acres) y tiene una edad aproximada de 2.400 años.

Los hongos simbioses son los que establecen relaciones mutualistas con otros seres vivos; en este grupo se encuentran los llamados micobiontes que se asocian con cianobacterias o algas para formar los líquenes, o los que se asocian con la raíz de las plantas para formar micorrizas. La comunidad científica reconoce actualmente que la salud del bosque y la selva está directamente relacionada con la presencia, abundancia, distribución y variedad de las asociaciones micorrízicas. En su libro *El Cuerpo de Gaia*, Tyler Volk dice: “La geometría de las hifas es extremadamente compleja; por ejemplo, una cantidad significativamente funcional de hifas existen simbióticamente dentro de las raíces de las plantas. Globalmente los hongos del suelo transportan una cantidad de carbono orgánico igual a la del plancton marino”⁹⁰. Esto deja ver tanto la magnitud de la asociación simbiótica de los hongos con las plantas, como su relevancia para el ciclo biogeoquímico del carbono, y por consiguiente enfatiza su importancia para el mantenimiento de la vida en el planeta, reflejando su importancia ecoética.

Las setas u hongos carnosos de la clase de los basidiomicetos se comportan ecológicamente como saprófitos, ya que obtienen sus nutrientes y energía degradando materia orgánica proveniente de organismos muertos. Es un grupo importante en los ciclos de los macroelementos y sustancias indispensables para la vida. A los saprófitos pertenecen todos los hongos capaces de degradar el complejo insoluble lignina-celulosa que forma parte de la pared celular de los vegetales. Hay tres tipos de saprófitos: los degradadores primarios, que son los hongos colonizadores que inician el proceso de degradación, los degradadores secundarios que solo pueden acceder a las sustancias orgánicas más simples que han sido previamente degradadas por los degradadores primarios, y los degradadores terciarios. También en *El cuerpo de Gaia* se puede encontrar lo siguiente:

De regreso al suelo, en este crecen organismos que se multiplican en geometrías tipo cuerda. Apareciendo brevemente como prominencias parecidas a sombreros en la superficie, los hongos pasan la mayoría de su vida como hifas microscópicas descoloridas. Los hongos son descomponedores cuyos hilos forman redes tipo espagueti a través de la

⁹⁰ VOLK, T. *Gaia's body: toward a physiology of Earth*. New York: Springer-Verlag, 1998. p.121

matriz de suelo. Su superficie secreta enzimas que digieren los remanentes de la vida, incluso lignina y quitina, que son muy compactas para que otros organismos las desmantelen químicamente. Los nutrientes disueltos y digeridos son entonces absorbidos por las hifas⁹¹.

Es posible percibir, interpretando este texto, como los hongos son ese eslabón entre lo inerte y lo vivo, entre la no-vida y la vida.

Los degradadores primarios sólo necesitan como sustrato desechos agroforestales o agroindustriales frescos tales como residuos de cosecha, pajas de cereales, aserrines o virutas. Estos hongos son los primeros en capturar una hoja de pasto, un brote, una astilla de madera, un tronco o un tocón. Típicamente son de crecimiento rápido y envían hebras de micelio que se pegan rápidamente en el tejido vegetal y lo descomponen. La mayoría de los descomponedores primarios degrada la madera. Cuando la materia orgánica cae del dosel de los árboles como hojas muertas, los descomponedores residentes del suelo procesan esa nueva fuente de alimento. Los hongos secretan enzimas y ácidos que degradan las moléculas grandes en moléculas más pequeñas. De las plantas muertas los hongos reciclan carbono, nitrógeno, fósforo y minerales que convierten en nutrientes para otras plantas, insectos y demás organismos que comparten el hábitat. La mayoría de estos saprófitos son especies de zonas boscosas o selváticas, tal como los hongos ostra (*Pleurotus* spp.) o el shiitake (*Lentinula edodes*). Cada especie ha desarrollado unas baterías enzimáticas específicas para romper la cadena de lignina-celulosa, que es componente estructural de la pared celular de los vegetales. Una vez las enzimas de una especie de seta han logrado degradar el complejo lignocelulósico, otros saprófitos invaden el sustrato utilizando su propio potencial enzimático para degradar aun más los compuestos.

Los degradadores secundarios usan como sustrato el mismo tipo de desechos, pero previamente compostado por otros hongos, levaduras, bacterias y actinomicetos. Estos hongos dependen de la actividad enzimática previa de los otros microorganismos que han degradado con anterioridad el sustrato para que puedan crecer. Mientras el sustrato es degradado la estructura, la masa y la composición del compost es reducida, incrementándose la cantidad de nitrógeno disponible. El proceso de compostaje también produce calor, amoníaco, dióxido de carbono y otros gases. Una vez los microorganismos descomponedores primarios, especialmente los actinomicetos, han terminado su ciclo de vida, el compost queda susceptible de ser invadido por un selecto grupo de descomponedores secundarios, tal como el hongo de botón o champiñón (*Agaricus brunnescens*). Los degradadores secundarios pueden ser cultivados en ambientes controlados que proporcionen el sustrato, luminosidad, ventilación, temperatura y humedad adecuados.

⁹¹ Ibid.p.120-121

Los descomponedores terciarios conforman un grupo amorfo, en el que los hongos son típicos habitantes del suelo, capaces de crecer en sustratos reducidos, que son inhóspitos para otros microbios. Un ejemplo son los hongos de la piel de naranja (*Aleuria aurantia*) y el hongo alucinógeno *Panaeolus subbalteatus*. Estos hongos son capaces de crecer sobre sustratos agotados, particularmente del cultivo de champiñón⁹².

Muchos hongos saprófitos pueden tener el comportamiento de parásitos débiles, especialmente si el árbol huésped está muriendo por otras causas; en otras palabras, son hongos saprófitos activados por condiciones favorables para comportarse como parásitos; son llamados parásitos facultativos y el hongo ostra (*Pleurotus* spp.) es un ejemplo típico.

Todos los hongos saprófitos que se cultivan se caracterizan por producir uno o más tipos diferentes de degradación del sustrato natural o artificial en el que crecen, gracias a una combinación de enzimas; si las enzimas degradan la lignina de la madera o de los desechos agrícolas mediante enzimas del tipo ligninasas, lacasas o manganeso-peroxidadas serán hongos lignívoros, y si degradan la celulosa con enzimas del tipo celulasas, entonces serán hongos celulolíticos.

La mayoría de los hongos nutracéuticos, son saprófitos descomponedores de madera. Son los recicladores primarios del planeta. La red micelial filamentosa está diseñada para tejerse entre y a través de la pared celular de las plantas. Las enzimas y ácidos que secreta degradan complejos moleculares grandes en complejos más simples. Todos los ecosistemas dependen de la habilidad del hongo para descomponer la materia orgánica vegetal tan pronto ésta se encuentre disponible. El resultado de esta actividad es el retorno al ecosistema del carbono, hidrogeno, nitrógeno y minerales, en formas usables por las plantas, los insectos y otros organismos.

5.2 EL VALOR INTRINSECO DE LAS SETAS

Desde la bioética y la ecoética, el valor intrínseco de los hongos, y en este caso particular, de los Basidiomicetos, no está dado por el valor económico que el género humano pueda atribuirle a estos seres en su afán utilitarista con visión antropocéntrica. Desde el punto de vista bioético, el valor intrínseco de las setas está dado por su propia historia de vida como organismos saprófitos, descomponedores primarios encargados de manejar el ciclo del carbono en los ecosistemas para su propio beneficio nutricional, o desde el punto de vista ecoético, donde estos hongos pueden ser considerados como ‘Ingenieros y/o Arquitectos de Ecosistemas’, representantes de una importante proporción de microorganismos cuyas actividades locales tienen un efecto a escala macro sobre

⁹² STAMETS, P. Growing gourmet and medicinal mushrooms. 3 Ed., Berkeley: Ten Speed Press, 2000.

los demás organismos del ecosistema, sobre este mismo y sobre el paisaje. En términos generales, lo que estos hongos realizan son servicios ecosistémicos específicos que favorecen el desarrollo de la vida, incluyendo la humana, en el planeta Tierra. Estos servicios se enumeran enseguida.

5.2.1 Facilitadores de la disponibilidad de nutrientes. Los hongos obtienen su energía y nutrientes mediante la secreción extracelular de enzimas hacia el ambiente. Los productos de la degradación enzimática, que contienen carbohidratos y/o nutrientes minerales, son entonces absorbidos por las hifas del hongo y distribuidos por todo su cuerpo por translocación. Este proceso denominado saprotrofia tiene importantes consecuencias que van más allá de la nutrición del hongo. El proceso de degradación extracelular de recursos es menos eficiente que la ingestión de alimentos animal, dando como resultado la liberación en el ecosistema de una serie de recursos útiles alrededor del hongo. Esta ineficiencia resulta en una de las funciones clave de los hongos saprófitos del suelo, que es la mineralización de nutrientes en el suelo. Esto es parte esencial de los ciclos biogeoquímicos de los elementos, con las implicaciones que esto tiene para la vida de los vegetales y los demás seres vivos que dependen de ellos para subsistir. Además del uso del componente orgánico del suelo, residuos vegetales, y desechos animales, hay un variado número de maneras en las que los hongos interactúan con el componente mineral del suelo. Por ejemplo, la secreción de ácidos oxálicos sirve para ayudar en la degradación de la roca madre calcárea. En el caso de los líquenes, una asociación simbiótica entre un hongo y una cianobacteria o un alga, se produce ácido liquénico que facilita la solubilización de la roca y la formación de protosuelos. Una vez que se ha formado el suelo, los hongos son importantes contribuyentes de la formación y estabilidad de los agregados del suelo. Esa combinación de partículas minerales de suelo es un refugio para la microbiota del suelo, particularmente bacterias, protozoos, rotíferos y nematodos, cuya actividad a microescala da como resultado la mineralización de nutrientes inorgánicos útiles para la fertilidad del suelo y por ende para el crecimiento vegetal. La combinación de polisacáridos secretados por las bacterias y las propiedades de adhesión de las hifas de los hongos se encargan de mantener la estructura de los agregados de suelo. Debates recientes sobre la eficiencia de las prácticas agrícolas altamente intensivas y mecanizadas han demostrado que las prácticas de labranza cero o mínima, reducen el impacto sobre la red hifal del suelo, y junto con otros factores mejoran la estabilidad de los agregados del suelo y la fertilidad de este⁹³. Actualmente, se reconoce al suelo como una entidad viva, y la presencia de los hongos crea un microhabitat con las condiciones ideales para que se empiecen a formar los primeros entramados de las redes tróficas, los canales por donde fluyen la materia y la energía que dan origen y mantienen la vida sobre el planeta Tierra.

⁹³ DIGHTON, J. Fungi in ecosystem processes. New York: Marcel Dekker, Inc, 2003.

5.2.2 Asistencia en la producción primaria. Además de las asociaciones con algas o cianobacterias para formar **líquenes**, los hongos forman una asociación simbiótica mutualista con el 90% de las plantas superiores para formar **micorrizas**, donde la planta huésped se beneficia al incrementarse la eficiencia en la captación de nutrientes, y el hongo se beneficia con el suministro permanente de carbohidratos que le proporciona la planta. Los hechos muestran que estos hongos protegen la planta de los patógenos de la raíz y hacen más eficiente su metabolismo⁹⁴. Evidentemente, esto tiene implicaciones bioéticas y ecoéticas para el desarrollo y sostenimiento de la vida del suelo, que es la matriz de crecimiento de los vegetales, los productores primarios.

5.2.3 Hongos en la red alimentaria. Como componentes del ecosistema, los hongos están disponibles para ser consumidos como recurso alimenticio por muchos animales, dado que son una fuente nutritiva de proteína, vitaminas y minerales. Por ejemplo, las setas y los líquenes son fundamentales en la dieta de herbívoros como el reno y el caribú en los ecosistemas boreales, así como las hifas y las esporas de hongos edáficos son el alimento de ácaros fumívoros, colémbolos y nematodos en la zona tórrida. Los cuerpos fructíferos de hongos hipógeos como las trufas, son alimento de venados, osos y roedores como ardillas, ratas y ratones, quienes actúan como dispersores de esporas⁹⁵. Se nota entonces, cómo los hongos son eslabones clave para la red trófica, capaces de actuar como intermediarios entre el suelo y las plantas, así como entre las plantas y los animales.

5.2.4 Efectos fúngicos sobre poblaciones y comunidades. Los hongos pueden ser selectivos sobre la fuente de alimento que eligen, pero pueden ser restringidos en términos de la explotación del recurso mediante competencia con otras especies fúngicas. Los carbohidratos que necesitan para energía y nutrición pueden obtenerse de una planta viva o muerta, tejidos animales, o a partir de sustancias químicas en la atmósfera. Esto conduce a la patogenicidad tanto para plantas como para animales. Un ejemplo clásico que muestra la magnitud del efecto de los hongos sobre los ecosistemas, es la hambruna causada por el tizón de la papa (*Phytophthora infestans*) en Irlanda, entre 1843 y 1846, causante de la muerte de miles de personas por inanición, y causante también de la emigración de irlandeses hacia otros países, principalmente hacia Estados Unidos. La pérdida económica de cosechas ha dado como resultado el desarrollo de una gran industria agroquímica que proporciona fungicidas efectivos para combatir las enfermedades fúngicas de las plantas, pero de gran impacto en los ecosistemas⁹⁶.

5.2.5 Interacciones fúngicas con actividades humanas. Todos los roles mencionados de los hongos en los ecosistemas están siendo altamente

⁹⁴ Ibid.

⁹⁵ Ibid.

⁹⁶ Ibid.

influenciados por la actividad humana. Los hongos pueden ser usados para mitigar algunos de los efectos de los disturbios antrópicos y la contaminación. Los hongos se ven negativamente afectados por los contaminantes acidificantes como el dióxido de azufre, que altera su capacidad fisiológica. La deposición de nitrógeno atmosférico que resulta de los procesos industriales y de la combustión automotriz, actúa como un contaminante acidificante y como un fertilizante que causa cambios en los ciclos de nutrientes afectados por procesos fúngicos. Los hongos pueden verse afectados por metales pesados, los cuales absorben del medio que los rodea, inmovilizándolos, y también son capaces de efectuar transformaciones químicas que pueden hacerlos más o menos tóxicos para otros organismos componentes de la red alimentaria. Además, los hongos están involucrados en la bioacumulación de radioisótopos, ya que se ha observado que crecen buscando las fuentes de radiación⁹⁷.

5.3 LOS DIFERENTES VALORES DE LA BIODIVERSIDAD FUNGICA

El valor de la biodiversidad no solo es económico, sino también ético, estético y religioso. En una amplia definición, los economistas reconocen cuatro categorías de valores para los recursos naturales: 1) Los de valor de uso directo, primario, utilitario, de mercado; son aquellos recursos que son usados por los humanos, representando generalmente dinero efectivo. El ejemplo del caso son los hongos comestibles, como las trufas (*Morchella* spp.) que pueden alcanzar un precio de 1500 Euros/kg en Francia. 2) Los de valor de uso indirecto, de soporte, funcionales; se atribuye a organismos que cumplen un rol de soporte para preservar la estructura y la integridad de los ecosistemas. Un ejemplo es el control biológico natural que hace el micelio de los hongos como el *Pleurotus*, sobre las poblaciones de nematodos en pasturas o como los hongos entomopatógenos sobre poblaciones de insectos plaga. 3) Los de valor de uso opcional, futuro, potencial, para las siguientes generaciones. El ejemplo está en la diversidad de sustancias activas que produce cualquier hongo. Y 4) los de valor de existencia, de no uso, pasivos; son valores inspirados en una variedad de motivos que pueden ser culturales, sociales, intelectuales, estéticos, religiosos o éticos. Un ejemplo son los hongos sagrados o mágicos (*Psilocybe* spp.). Todos los valores, monetarios o no, son influenciados por las diversas ideologías económicas y culturales de las sociedades en que se vive; las diferentes sociedades tienen diferentes juegos de valores y variaciones en prioridades.

El valor funcional de los hongos se manifiesta como bienes y servicios ecosistémicos. Entre los bienes ecosistémicos que proporcionan los hongos se encuentran alimentos, fármacos y sustancias químicas. Entre los servicios ecosistémicos está el reciclaje de nutrientes, la regulación del flujo del agua y su almacenamiento, la regulación del suelo y el movimiento de sedimentos, y la regulación de poblaciones biológicas incluyendo plagas y enfermedades. También

⁹⁷ Ibid.

está la purificación del agua, la decodificación de sustancias químicas y biológicas riesgosas, así como la regulación de la composición atmosférica y el clima. Todos aspectos relevantes para la bioética y la ecoética.

6. LOS HONGOS NUTRACÉUTICOS: ALIMENTOS FUNCIONALES

Las setas comestibles son un recurso natural totalmente desconocido y desaprovechado en Colombia, país que por sus condiciones biogeográficas y ambientales bien podría ser el epicentro mundial en producción de este tipo de alimentos funcionales que tan alto valor poseen tanto intrínseca como económicamente. El término **nutracéutico** fue propuesto en 1979 por De Felice y acotado por Brower en 1988, definiendo alimentos que proporcionan beneficios médicos o de salud, incluyendo la prevención y/o el tratamiento de una enfermedad. No se debe confundir con el término **nutricéutico**, que en el caso de las setas es un extracto refinado del micelio o del cuerpo fructífero del hongo, el cual es consumido en forma de cápsulas o tabletas como suplemento dietético (no se consume como alimento) y que tiene aplicaciones terapéuticas potenciales.

6.1 PROPIEDADES NUTRICIONALES DE ALGUNOS HONGOS BASIDIOMICETOS Y SETAS COMESTIBLES

Desde tiempos inmemoriales el género humano ha consumido setas como alimento, pues sus condiciones organolépticas de sabor, aroma y textura son atractivas a los sentidos. Actualmente, se tiene en cuenta además su alto valor nutritivo ya que son una excelente fuente de proteína de muy buena calidad, fibra, grasas insaturadas, vitaminas y minerales, y cuyo cultivo constituye una alternativa de producción limpia, rápida y económica.

El potencial valor nutricional de las setas es bastante elevado de acuerdo con varias pruebas internacionalmente aceptadas, puesto que su valor alcanza un rango cercano al de la carne o la leche, superior a casi todos los vegetales. El valor se deriva del análisis químico de las setas, sin considerar factores individuales del consumidor como la digestibilidad y la disponibilidad para la nutrición humana.

En cuanto a la proteína, por lo general su valor se encuentra por encima de los vegetales, excepto las espinacas y la soya. La digestibilidad de la proteína de las setas está dada por el tipo de seta, su madurez y la capacidad individual de asimilación del consumidor, pero de todas maneras se encuentra en un rango del 34-97%, tomando un estándar del 100% para la caseína de la leche o la albúmina del huevo, debido a la elevada concentración tanto de aminoácidos esenciales

libres que alcanza el 40%, como de aminoácidos no esenciales. Generalmente, la concentración de proteína se encuentra entre 1-6% en peso fresco, o del 10-40% en peso seco. Debe tenerse en cuenta que la proteína debe determinarse tomando el valor total del nitrógeno y multiplicándolo por un factor de 4.38 y no de 6.25 como tradicionalmente se hace, basándose en una proteína que contiene 16% de nitrógeno. Esto se debe a que la pared del hongo es rica en quitina (chitin, en Ingles), un polímero de la N-acetilglucosamina, que es rico en nitrógeno y es indigerible. Aunque el contenido de proteína de las setas es inferior al de la carne, es en cambio, superior al del repollo, el trigo, el arroz o la papa, comunes en la dieta colombiana. Las orellanas contienen 18 de los aminoácidos esenciales, incluyendo lisina y leucina que no se encuentran en ninguno de los cereales básicos de la dieta humana, así como metionina, un aminoácido azufrado que solo se encuentra en las fuentes animales⁹⁸.

Los carbohidratos están entre 3-28% del peso fresco y la fibra del 3-32%, usualmente representados por pentosas como xilosa y ribosa, hexosas como la glucosa, galactosa y manosa, así como alcohol-azucares tipo manitol e inositol, entre otros; también se encuentran carbohidratos de gran tamaño como la quitina, que es el principal componente de la fibra insoluble de las setas, o el glicógeno que es el compuesto para almacenar energía, tal como los animales⁹⁹.

Los lípidos están compuestos por ácidos grasos libres, mono-, di- y triglicéridos, esteroides, esterol-esteres y fosfolípidos: Las grasas van del 0.2-0.8% del peso fresco, o sea 2-8% del peso seco. El lípido más abundante es el ácido linoleico, que es un ácido graso esencial, insaturado, seguido por el ácido oleico, también insaturado¹⁰⁰.

Las setas son una excelente fuente de vitaminas del complejo B como la tiamina, niacina, riboflavina, biotina y de vitamina C. Algunas especies poseen betacaroteno; también son ricas en minerales como hierro, calcio, fósforo, magnesio, manganeso, selenio y potasio. El agua puede alcanzar 60-90% del peso fresco¹⁰¹.

Algunos nutrientes lábiles al calor como la vitamina C y algunas del complejo B, se pierden en un 50-70% luego de la cocción; los minerales, en cambio, no se ven afectados, e incluso su disponibilidad es mayor después de la cocción. El aporte calórico está entre 345-367 Kcal/100 gr. en peso seco¹⁰². Lo anterior muestra como los análisis químicos dan para considerar a las setas como un alimento saludable y funcional.

⁹⁸ MILES, P. y S.T. CHANG. Op. Cit.

⁹⁹ HOBBS, C. Medicinal mushrooms: an exploration of tradition, healing & culture. Summertown Tenn., Botánica Press, 1986

¹⁰⁰ Ibid.

¹⁰¹ Ibid.

¹⁰² MILES, P. y S.T. CHANG. Op. Cit.

Sin embargo, las setas son capaces de absorber metales pesados y radioactivos, así como derivados de hidrocarburos, por lo que los sustratos deben ser rigurosamente seleccionados antes de dar inicio al cultivo, teniendo muy en cuenta su origen y el tratamiento previo.

La FAO estima que existen unas 10,000 especies hongos comestibles que se consumen en todo el mundo, de las cuales se ha hecho intento de cultivar unas 100, pero solo se ha logrado la escala comercial con 8 de ellas. A continuación se presenta un listado en orden alfabético, de los principales 18 géneros de hongos basidiomicetos que se han podido cultivar¹⁰³.

- *Agaricus*
- *Auricularia*
- *Coprinus*
- *Dictyophora*
- *Flammulina*
- *Ganoderma*
- *Grifola*
- *Hericiium*
- *Hypholoma*
- *Kuehneromyces*
- *Lentinula*
- *Pholiota*
- *Pleurotus*
- *Stropharia*
- *Trametes*
- *Tremella*
- *Tricholoma*
- *Volvariella*

Actualmente, docentes-investigadores y estudiantes de las carreras de Biología, Ingeniería Agroforestal, Ingeniería de Alimentos y Economía de la Fundación Universitaria Internacional del Trópico Americano –Unitrópico- de Yopal, Casanare, se han vinculado al semillero de investigadores en Fungicultura que está haciendo los primeros trabajos de campo para inventariar e iniciar la ubicación georeferenciada de especies de hongos nativos, entre los que se encuentran especies pertenecientes a los géneros de la lista previa que poseen un alto potencial en bioprospección, y que ya están empezando a ser considerados en las ruedas de negocios locales, como promisorios. Pese a que los reportes científicos sobre los hongos basidiomicetos en la zona del piedemonte casanareño son prácticamente inexistentes, se han elegido dos géneros muy representativos

¹⁰³ Ibid.

que han sido vistos en salidas de campo, lo cual significa que existe un alto potencial para aislar cepas nativas, y que son reconocidos como alimentos funcionales: *Pleurotus*, que es un agarical, y *Ganoderma* que es un poliporáceo.

El criterio para la selección de los géneros planteados obedece a que:

- Son hongos cuya técnica de cultivo comercial ya se conoce, con la particularidad de ser artesanal, de baja inversión, se adaptan fácilmente a la disponibilidad de sustratos disponibles en la región y su semilla se puede conseguir en el mercado, o se puede aislar a partir de cepas nativas.
- Son los hongos más fáciles y más baratos de producir, incluso a escala industrial.
- Son hongos que se pueden encontrar nativos, que aun no han sido inventariados en los registros de biodiversidad local, pero que presentan un elevado potencial en bioprospección, bien como cultivos promisorios, o como fuente de sustancias activas.
- Son hongos que tienen una gran variedad de especies disponibles para cultivo bajo diferentes condiciones climáticas.
- Son hongos que por sus características propias ofrecen solución a la problemática que se presenta en el departamento de Casanare.

6.2 PROPIEDADES MEDICINALES DE ALGUNOS HONGOS BASIDIOMICETOS Y SETAS COMESTIBLES

Las propiedades medicinales de los hongos dejaron de ser un secreto cuando Sir Alexander Fleming, quien en 1928 como médico de combate durante la Primera Guerra Mundial descubrió por casualidad la Penicilina, antibiótico producido por especies del género *Penicillium*, que ha salvado millones de vidas desde entonces. Posteriormente del *Streptomyces* se obtuvieron la Estreptomycina y la Anfotericina B; la lista podría extenderse bastante, pero estos hongos son micromicetos, los cuales no son tratados en este trabajo.

Ya en el tema de los macromicetos, se observa que los antiguos herbolarios se interesaron primero en las propiedades medicinales de los hongos, antes de preocuparse por su valor nutricional como fuente de alimento. En tiempos mas recientes, la humanidad, y particularmente la sociedad occidental, se ha preocupado por alimentos (plantas, hierbas) que mejoren las funciones biológicas y hagan que las personas sean más saludables. Más de la mitad de la población mundial, unos 3.500 millones de personas, se basan en remedios vegetales y suplementos dietéticos del mismo origen para el cuidado de su salud.

A partir de 1990 se empezaron a investigar los hongos nutraceuticos con mayor rigurosidad científica, tanto en modelos de sistemas *in vitro*, como *in vivo*. Recientemente se han aislado de muchas setas (660 especies) varias sustancias bioactivas con efectos inmunomoduladores y antitumorales (polisacáridos de alto peso molecular, polisacáridos ligados a proteínas de bajo peso molecular, glicoproteínas, triterpenoides y proteínas). La fuente de estos compuestos bioactivos puede ser el cuerpo fructífero o sombrero (77%), el cultivo de biomasa micelial sumergida (20%) y el caldo de cultivo líquido (3%). Los primeros tres compuestos bioactivos desarrollados a partir de hongos medicinales fueron polisacáridos del tipo β -glucanos, y fueron: **Krestin (PSK)** obtenido del *Coriolus versicolor* o *Trametes versicolor*, **Schizophyllan** obtenido del *Schizophyllum commune*, y el **Lentinan** del *Lentinula edodes*.

Estas sustancias pueden presentar efectos de diferentes tipos que pueden ser:

- A) **Hematológicos:** algunas setas contienen proteínas o glicoproteínas del tipo **lectinas**, las cuales tienen una afinidad específica por los materiales glicosilados, lo que las ha vuelto útiles reactivos en el estudio de las estructuras de la superficie celular; algunas de ellas han mostrado actividad antitumoral e inmunomodulatoria. El término lectina es sinónimo de aglutinina, hemaglutinina o fitoaglutinina. La interacción entre la lectina fúngica y las glicoproteínas de superficie de los glóbulos rojos es un ejemplo de la actividad hematológica de los hongos comestibles. Se han aislado lectinas de *Volvariella volvacea*, *Flammulina velutipes*, *Agaricus campestris* y *Pleurotus ostreatus*¹⁰⁴.
- B) **Antivirales:** el extracto acuoso del hongo shiitake (*Lentinula edodes*), así como las esporas, poseen actividad antiviral contra la influenza A/SW 15, en ratones; esta actividad antiinfluenza está mediada por la inducción a la producción de interferón en el huésped, causada a su vez por el ARN de doble cadena (ds-RNA) obtenido del extracto de esporas. El extracto micelial de *Fomitopsis officinalis* protege las células humanas de la infección con el virus *orthopox* (de la familia de la viruela). Por otra parte, el extracto del medio de cultivo de micelio de shiitake posee actividad anti-VIH presentando un efecto inhibitorio de la replicación del VIH *in vitro*. El polisacárido lentinan no posee la habilidad para bloquear la infección por este virus, pero sin embargo, el lentinan sulfatado previene completamente el efecto citopático inducido por el VIH¹⁰⁵, reportan que el extracto sulfatado de *Grifola frondosa*, conocida popularmente como 'gallina de bosque', fue capaz de prevenir la destrucción *in vitro* del 97% de los linfocitos T-ayudadores (T-helper); esto es importante ya

¹⁰⁴ CHANG, S.T y P. MILES. Mushrooms: cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact. 2ed., Boca Raton: Fla, CRC Press, 2004.

¹⁰⁵ Ibid.

que el conteo de este tipo de células es una forma de trazar la progresión del VIH hacia el SIDA.

- C) **Antitumorales:** desde 1970, el mayor interés sobre esta actividad de los hongos se dirigió hacia el shiitake. Chihara *et al* reportaron entonces que la fracción hidrosoluble del policárido del cuerpo fructífero de *L. edodes* podía inhibir el crecimiento de sarcoma 180 en ratones, con una regresión completa en ratones albinos suizos. Las dosis del bioensayo estaban entre 1-10 mg/Kg de peso corporal, vía intraperitoneal¹⁰⁶. Otros investigadores como Fujii *et al* y Sugano *et al* realizaron experimentos similares con el polisacárido KS-2 también contra el sarcoma 180 y el carcinoma de Ehrlich. Muchos de los polisacáridos de las setas se encuentran en ellas principalmente como glucanos con diferentes tipos de enlaces glicosídicos tales como (1-3), (1-6)- β -glucanos, y (1-3)- α -glucanos, y algunos otros heteroglicanos¹⁰⁷. Las principales fuentes de polisacáridos antitumorales son las paredes celulares, ricas en quitina y celulosa. En conclusión, los componentes antitumorales de las setas varían en su naturaleza química, pues incluyen proteínas, polisacáridos, glicoproteínas y triterpenoides.
- D) **Antioxidantes:** la habilidad de los preparados derivados de hongos (MDPs, en Inglés) para prevenir el daño oxidativo en el ADN celular ha sido evaluado usando el ensayo de electroforesis en gel unicelular 'COMET'. El mayor rango de prevención lo alcanzó el extracto en agua fría de *Agaricus bisporus* (Ab-cold), seguido del extracto caliente (100°C) de *Ganoderma lucidum* (Gl-hot). Jones & Janardhanan¹⁰⁸, reportan que los extractos acuoso y alcohólico de *G. lucidum* muestra una actividad contra los radicales libres. Esto facilita el desarrollo de tratamientos para reparar el daño indiscriminado al ADN celular que ocurre durante ciertas formas de radio y quimioterapia.
- E) **Efectos cardiovasculares:** Suzuki & Oshima (1976), reportaron que la ingestión crónica de shiitake (100 gr/día) reduce los niveles de colesterol en sujetos humanos; hay que recordar que altos niveles de colesterol se asocian con hipertensión arterial. También se ha reportado que el polvo deshidratado de *Tremella fuciformis* y *Auricularia aerícola* dado como alimento a ratas, redujo su nivel sérico de colesterol total y LDL (Low Density Lipoprotein), conocido como 'colesterol malo'. Como el hongo no afecta la concentración de HDL (High Density Lipoprotein), llamado 'colesterol bueno', la reducción del colesterol total sérico mediada por la dieta de hongos, es atribuible a la caída del colesterol malo¹⁰⁹.

¹⁰⁶ CHIHARA, G. et.al., Inhibition of mouse sarcoma 180 by polysaccharides from *Lentinus edodes*. Nature 222: 1237-1238, 1969.

¹⁰⁷ CHANG Y MILES. Op. Cit.

¹⁰⁸ Citados por CHANG y MILES. Op. Cit.

¹⁰⁹ CHANG Y MILES. Op. Cit.

F) **Efectos renales:** Según Tam *et al*, el extracto acuoso de *Pleurotus sajor-caju* ha sido asociado con un efecto hipotensivo capaz de reducir la tasa de filtración glomerular (GFR) en ratas, mediado por la interferencia con el sistema renina-angiotensina. La implicación clínica del efecto reductor de la GFR es la reducción de la tasa de deterioro del nefron, lo cual expande el lapso de vida de los pacientes con falla renal crónica. El extracto acuoso de *V. volvacea* se ha reportado como hipotensor en ratas normotensas¹¹⁰.

Según estos autores, en el caso de su uso como paliativo en tratamientos de quimio y radioterapia, el consumo de setas tiene como efectos:

- 1) Incremento del número de leucocitos en sangre y activación de las funciones inmunológicas.
- 2) Mejora del apetito.
- 3) Reducción del dolor.
- 4) Propiedades anti-eméticas
- 5) Reducción de la pérdida de pelo.
- 6) Inducción de la regresión de los tumores.
- 7) Potencial antioxidante y propiedades genoprotectoras.

Por otra parte, teniendo en cuenta la creciente amenaza mundial del bioterrorismo, especialmente por bacterias como el antrax o virus como el de la viruela, el conocimiento y uso de estos hongos no se puede dejar perder, pues fácilmente pueden ser la respuesta frente a un ataque de este tipo, por lo que la preservación de la biodiversidad de hongos y sus hábitats deben ser una prioridad, incluso de seguridad nacional, como lo es en países desarrollados.

¹¹⁰ CHANG Y MILES. Op. Cit.

7. EL SUSTRATO DEGRADADO DEL HONGO (SDH) Y SUS USOS COMUNES: UNA VISION UTILITARIA SENCILLA

El sustrato degradado del hongo (SDH) es el residuo sólido que queda después de la cosecha de las setas, el cual puede ser perfectamente aprovechado para obtener unos beneficios ecológicos y darle un valor agregado al cultivo, ahora desde una visión antropocéntrica. Se plantean varias alternativas para manejar el SDH, como son el uso como suplemento en la alimentación animal, como sustrato para cultivar lombrices, como abono orgánico y como base para multiplicar el micelio, en programas de micetorrestauración. La micetorrestauración es una manera de devolverle a los ecosistemas sus condiciones naturales previas a la intervención antrópica, en una visión holística basada en el concepto de *Gaia*, que considera la Tierra como un superorganismo vivo, cuya red neuronal está conformada por las hifas y el micelio de los hongos, según lo propuesto en este trabajo.

Es importante entonces tomar lo mejor de cada posición, en este caso la antropocéntrica utilitarista, y sacar provecho tanto de los beneficios sociales como de los beneficios ambientales que pueden prestar los hongos. Tal como lo menciona DesJardins: “De muchas maneras, el utilitarismo es la teoría ética no oficial de la política pública en gran parte de Norte América y Europa Occidental, incrementándose también como política global”¹¹¹, y que complementa al decir: “...el pensamiento utilitario está profundamente embebido en varios aspectos ambientales, especialmente en asuntos de política social”¹¹².

7.1 SUPLEMENTO EN ALIMENTACIÓN ANIMAL

El uso de residuos lignocelulosicos para alimentación animal está limitado por su baja digestibilidad ruminal en el caso de los poligástricos, pues la lignina envuelve la celulosa, protegiéndola de la acción enzimática de la microbiota del rumen. La

¹¹¹ DESJARDINS. Op.Cit. p.32

¹¹² Ibid. p.33

delignificación puede hacerse mediante tratamientos físicos, químicos o biológicos, los cuales son igual de efectivos pero con un factor limitante que es el costo, que fácilmente puede ser mayor que el precio del material tratado¹¹³. El tratamiento más económico es el de tipo biológico efectuado por hongos basidiomicetos¹¹⁴.

Al inicio del cultivo de setas, el sustrato es rico en lignina y celulosa que son carbohidratos insolubles, y que por tanto no pueden ser aprovechados como alimento para los rumiantes. Al comienzo el hongo utiliza la lignocelulosa durante sus primeras semanas de crecimiento y después degrada selectivamente la lignina. Una vez agotada la cosecha de setas, estos sustratos quedan delignificados por la acción enzimática de los hongos, lo cual ya los hace digeribles, pero además, quedan enriquecidos con la proteína del hongo (8-19% MS), que por ser de carácter unicelular, es sobrepasante, o sea que no se degrada en su paso por los estómagos de la vaca, y se absorbe a nivel del intestino delgado, siendo aprovechada en un gran porcentaje; por otra parte, el SDH adquiere el sabor y el aroma del hongo, haciéndose más palatable, lo cual facilita que el ganado le tome el gusto. En este caso, el valor nutritivo del SDH es comparable al del heno de cereales; el inconveniente puede estar en que la humedad del SDH (60-70%) es mayor que la del heno, lo cual involucra costos de transporte mayores; el SDH puede ser ensilado para conservarlo de acuerdo con las necesidades para la dieta de los animales. Debe vigilarse la posibilidad de contaminación con mohos tóxicos¹¹⁵. Desde una aproximación bioética, este es el tipo de alimentos limpios y sanos que debe darse al ganado por su propio bien, y por el bien mismo del humano consumidor final de la carne.

7.2 SUSTRATO PARA CULTIVAR LOMBRICES

El SDH se usa como nutriente especial para lombrices de suelo, particularmente la lombriz roja californiana *Eisenia foetida*. El sustrato transformado en vermicompost es un aditivo de elevada calidad para el cultivo de todo tipo de plantas, pero especialmente ornamentales.

Por ejemplo, en una finca que produzca 1000 @ de café pergamino seco al año, se generan 25 toneladas de pulpa fresca que puede usarse para cultivar setas con un rendimiento de 2 toneladas de hongos frescos; si el SDH tiene como base los residuos de la cosecha de café (pulpa, borra, película plateada, aserrín) se pueden

¹¹³ ZADRAZIL, F. Conversion of different plant waste into feed by Basidiomycetes. En: European Journal of Applied Microbiology. No 9 (1980).

¹¹⁴ MILES, P. y S.T. CHANG. Biología de las setas: fundamentos básicos y acontecimientos actuales. Bogotá: ZERI-World Scientific, 1999.

¹¹⁵ SANCHEZ, J.E y D. ROYCE. La Biología y el Cultivo de Pleurotus spp. Chiapas, Noriega Editores, 2001.

obtener 250 kilos de lombrices y 3.4 toneladas de lombricomposto¹¹⁶. Las lombrices y su humus, rico en microbios y particularmente en hongos, son formadoras de suelo, lo cual es de vital importancia para la regeneración de este valioso recurso natural que se pierde fácilmente por erosión cuando se carece de cobertura vegetal.

7.3 ABONO ORGANICO

El SDH puede usarse como mejorador orgánico para macetas y como sustituto de la turba. Esto tiene aplicaciones en horticultura, agricultura y jardinería. Bien sea para cultivar hortalizas y legumbres, o para cultivos de pancoger como el maíz, la caña, el plátano o el frijol, o para las plantas ornamentales, el sustrato degradado del hongo constituye un excelente acondicionador y mejorador de la calidad del suelo, sin necesidad de utilizar ningún químico contaminante, pues se convierte en un compost rico en nutrientes con polímeros que fortalecen la estructura del suelo¹¹⁷.

El SDH facilita el proceso de humificación del suelo, permitiendo su oxigenación y regeneración, facilitando las condiciones para que microorganismos benéficos participen activamente en los ciclos biogeoquímicos de los elementos, lo cual tiene como efecto directo un incremento en el Índice de Actividad Microbiana (IAM), haciendo que el suelo sea mas fértil.

¹¹⁶ RODRÍGUEZ, N y F. GÓMEZ. Cultive hongos comestibles en pulpa de café. Avances técnicos Cenicafe N°285. Chinchiná: 2001

¹¹⁷ STAMETS. Op. Cit.

8. EL MICELIO FUNGICO ACTUANDO COMO LAS NEURONAS DEL CEREBRO DE GAIA: UNA VISION UTILITARIA COMPLEJA

“Solo sé, que nada sé”
Socrates

“Él más grande logro de la ciencia a la fecha: el reconocimiento de nuestra ignorancia”
Paul Stamets

De acuerdo con Hawksworth¹¹⁸, el reino Fungi puede tener 1.5 millones de especies, de las cuales solo se conocen unas 69.000, y de ellas el 10% son setas; además, solo se ha clasificado el 10% de estas; para la fecha actual el número de especies clasificadas ronda las 75.000. Según las estimaciones, el número de hongos supera al de las plantas en una proporción de 6:1. Con estos datos, se puede inferir que el conocimiento taxonómico de las setas es excedido por la ignorancia sobre el tema, por lo menos en un orden de magnitud.

El micelio de los hongos se encuentra invadiendo prácticamente todos los hábitats, recuperando y reciclando los nutrientes almacenados o perdidos en plantas, animales y otros microorganismos que constituyen una red alimentaria, mientras construye suelo y mientras sana ecosistemas en su camino evolutivo. Los hongos pueden considerarse como el eslabón entre el suelo y las plantas, capaz de permitirles y facilitarles a estas su adaptación a los diferentes ecosistemas. Las redes miceliales mantienen unidos los suelos y los airean; mientras las enzimas fúngicas, ácidos y antibióticos afectan dramáticamente las condiciones y la estructura de los suelos. Todos los hábitats dependen directamente de esos aliados fúngicos, sin los cuales el sistema de soporte de vida del planeta Tierra, pronto colapsaría. Esto es una razón de carácter bioético y ecoético para fomentar el cultivo de micelio fúngico, pues al hacerlo, se está favoreciendo a la biodiversidad en todas sus manifestaciones, genética, orgánica, ecosistémica e incluso cultural, así como su sustentabilidad hacia el futuro.

El micelio de los hongos está permanentemente en movimiento, y es capaz de atravesar paisajes a una velocidad de varios centímetros por día, formando una red viviente sobre la superficie del planeta, la cual permite que el hongo este en constante comunicación molecular con el ambiente, diseñando diversos caminos químicos y enzimáticos, en respuesta a los retos diversos que este le plantea. Es una estructura compleja, llena de recursos para intercambiar información,

¹¹⁸ HAWKSWORTH, D. L. Op Cit.

adaptarse y evolucionar en medio de las fuerzas siempre cambiantes de la naturaleza. Una prueba de esto puede ser el llamado “Humongous Fungus”, una especie de *Armillaria* reconocida como el ser vivo más grande del planeta¹¹⁹.

Comprender la magnitud de un hongo “microscópico”, entre comillas, como este, tanto por su tamaño como por su edad, simplemente hace entender cuan ínfima es la especie humana, haciendo que se deje de lado la visión antropocéntrica, optando por una visión biocéntrica si se mira desde el punto de vista del hongo, o por una visión definitivamente egocéntrica, o mejor holística, si se mira con los ojos de *Gaia*.

Desde el punto de vista evolutivo, los hongos y los animales, incluido el género humano, compartimos un ancestro común hace 465 millones de años; posteriormente, muchos hongos establecieron una alianza con las plantas hace 400 millones de años, que les permitió a estas colonizar la tierra. Hace 250 millones de años, en el límite entre los periodos Permiano y Triásico, una catástrofe ocasionada por el golpe de un meteorito causó una extinción que acabó con el 90% de las especies sobre el planeta, dejándolo devastado y a merced de los hongos, quienes de inmediato iniciaron el reciclaje de desechos. 185 millones de años atrás, empezó entonces la era de los dinosaurios que terminó hace 65 millones de años con el impacto de otro meteorito, permitiendo una vez más que los hongos resurgieran para reciclar la basura. El hongo más antiguo del que se tiene registro es del Cretácico, tiene entre 92-94 millones de años, y se encuentra atrapado en ámbar en una colección de Nueva Jersey, EU¹²⁰. Así, los hongos han sido vitales para la recuperación de la biodiversidad luego de las catástrofes globales causantes de las grandes extinciones, y de ahí su importancia bioética y ecoética.

El entramado de una red micelial parece actuar como las neuronas que generan la inteligencia expresada de *Gaia*, de acuerdo con la hipótesis propuesta por James Lovelock y reforzada por Lynn Margulis, quienes plantean que la biosfera del planeta inteligentemente maneja su curso para crear nueva vida y mantenerla. Por ejemplo, lo que ocurre en un bosque después de la lluvia, es que las sensibles membranas del hongo se activan y actúan como una conciencia fúngica colectiva.

A medida que ocurre el metabolismo del hongo, este se interconecta con el ecosistema, formando una matriz que funciona como una superautopista molecular, donde el micelio permanece en diálogo constante con el ambiente, mientras maneja y dirige el ciclo de nutrientes dentro de la red alimentaria. A lo largo del año, los hongos degradan y reciclan los residuos vegetales, atrapando microbios y restaurando el suelo capaz de sostener vida. Mientras el micelio nutre las plantas por medio de la raíz, también sirve de alimento a bacterias, protozoos,

¹¹⁹ GOULD. S. J. A Humongous fungus among us. En: Natural. History., No.101 (1992); p. 10-19.

¹²⁰ STAMETS, P. Op. Cit.

otros hongos, lombrices, caracoles, insectos, aves y mamíferos, cumpliendo el principio bioético de beneficencia, aplicado a la biodiversidad. Y es aquí donde debe aplicarse el concepto holista de Leopold de: “pensar como una montaña”.

La red micelial opera a un nivel de complejidad que excede el poder de análisis de los supercomputadores mas avanzados, con una similitud impresionante con el entramado de la red neuronal del cerebro humano, que crea diferentes caminos para distribuir la información, pudiendo compararse también con una Internet natural del planeta Tierra, donde se sobreponen sistemas de intercambio de información.

Tal similitud, y el manejo correcto de los hongos pueden conducir al nacimiento de una nueva ciencia de bioingeniería dedicada a la programación de redes micetoneuronales que puedan responder a las amenazas del medio ambiente, pudiendo ser usadas como plataformas de información útiles para la creación de ecosistemas moldeados mediante micetoingeniería. Un modelo computarizado de la materia negra del universo o del universo temprano, muestra que el 96% de su masa, está compuesta por hilos moleculares. Así, las galaxias se encuentran dispersas en una matriz tipo micelio; los primeros rastros de materia en el espacio se parecen al arquetipo del micelio, y esta similitud no es ninguna coincidencia pues todos los sistemas biológicos se ven influenciados por las leyes de la física universal. Los astrofísicos teorizan acerca de las formas que más conservan la energía en el universo, y consideran que son aquellas organizadas en hilos de materia y energía, tal como el micelio fúngico. Internet también tiene un diseño similar, en una estructura tipo red que maximiza el poder computacional y minimiza los puntos críticos de los que depende el sistema, en un modelo evolutivo similar al del cerebro humano. Todos diseños autoorganizativos. Tanto el cosmos como la naturaleza del planeta Tierra están construidos sobre patrones exitosos que se ven por todo el universo; por ejemplo, el patrón en espiral puede verse en galaxias, huracanes, y particularmente en el crecimiento micelial *in vivo*, como es el caso del ser vivo más grande del mundo (*Armillaria* spp.) en los bosques de Oregon o Montana¹²¹, y también *in vitro* como es el caso de los hongos sagrados o mágicos (*Psilocybe* spp.).

Nakagaki (2000) demostró con un sencillo experimento, como el hongo ameboide *Physarum polycephalum* posee una forma de inteligencia que le permite elegir en un laberinto, el camino más corto para encontrar una fuente de alimento, sin equivocarse, lo que demuestra que redes neurales de microbios y/o micelios pueden ser profundamente inteligentes. Unos pocos estudios recientes dan soporte a esta nueva perspectiva, en los que se considera que el hecho de que sean inteligentes, los hace aliados potenciales de los humanos, que pueden ser programados para coleccionar datos ambientales, o para comunicarse con chips de silicón en una interfase de computador.

¹²¹ GOULD, J. Op. Cit

La microbiotecnología siempre ha acompañado a la humanidad; desde el inicio de los tiempos, los microbios han fermentado el pan y los lácteos, así como han producido el vino, la cerveza, la chicha y demás bebidas alcohólicas. Entre lo más reciente en biotecnología se encuentra el trabajo de Gorman¹²² y sus colegas, que manipularon micelio de *Aspergillus niger* para que organizara partículas de oro dentro de su ADN, creando así conductores miceliales de potenciales eléctricos. Los consorcios entre una red fúngica y bacterias ambientalmente responsables, pueden proporcionar datos como el pH, detectar nutrientes y residuos tóxicos, e incluso realizar mediciones de poblaciones biológicas. La NASA también ha reportado que microbiólogos de la Universidad de Tennessee dirigidos por el Dr. Sayler han desarrollado un 'biochip' de computador, en el cual están conectados una bacteria que brilla cuando entra en contacto con ciertos polucionantes como los PCBs (bifenilos policlorados) o los metales pesados, y un chip de computadora que registra el hecho¹²³.

Según varios astrobiólogos, los ácidos prenucléicos precursores del ADN, se forman a través del cosmos como una consecuencia inevitable de la materia que está organizándose. Por esto, la NASA ha establecido el Instituto de Astrobiología y la prensa de la Universidad de Cambridge ha creado el *International Journal for Astrobiology*, los cuales dan soporte a la teoría que dice que la vida es una propiedad inherente de la materia en organización. Según la teoría de la **Panspermia**, formulada a comienzos de los 70s por Sir Fred Doyle y Chandra Wickramasinghe, es posible que el protogermoplasma pueda viajar o migrar interestelarmente, y por tanto la vida no necesariamente surgió en la Tierra, sino que pudo haber sido colonizada desde el espacio por ese protoplasma. Actualmente la NASA está buscando vida microscópica en Marte, y además considera que los microbios, particularmente los hongos, son vitales para sus proyectos de colonización interplanetaria, como componentes esenciales de los sistemas de soporte de vida; los hongos también serían claves en la Terraformación de Marte, con todas las implicaciones bioéticas, con los efectos positivos y negativos, que este hecho implicaría.

Vivir en armonía con el ambiente natural es la clave para la salud del género humano y las demás especies. Como disruptores ecológicos, los humanos plantean un reto para el sistema inmunológico del ambiente, más allá de sus límites. La regla en la naturaleza es que cuando una especie excede la capacidad de carga de su medio ambiente, la cadena alimentaria colapsa y emergen las enfermedades que devastan las poblaciones de los organismos causantes del desbalance. Los hongos pueden entonces regular el flujo de nutrientes, actuando

¹²² GORMAN, J. Microbial materials: scientists co-opt Viruses, Bacteria and Fungi to build new structures. En: Science News vol. 164, No 1 (2003); p. 7-9.

¹²³ MILLER, K. Bacterial integrated circuits: by interfacing bacteria to silicon chips, NASA-supported researchers have created a device that can sense almost anything. En: <http://science.nasa.gov/headlines/y2004/10jun-bbics.htm>. June 10, 2004.

como sanadores de los ecosistemas alterados por acción antrópica. Desde el punto de vista ecoético, los hongos pueden considerarse como guardianes forestales naturales. Las investigaciones han demostrado que el bosque o la selva están totalmente entrelazados en una red fúngica de micorrizas, endófitos, parásitos y saprófitos. Un ecosistema forestal no puede definirse sin sus hongos característicos, puesto que son ellos quienes gobiernan la transición entre la vida y la muerte, son quienes construyen los suelos y son quienes dan combustible para varios ciclos de vida.

Osorno dice: “Los vegetales y los animales que, con frecuencia, se nos presentan como geniales arquitectos e ingenieros de la naturaleza, nos proporcionan miles de modelos para la resolución de los problemas técnicos. Con suavidad y de forma natural pueden conseguir efectos muy notables que pueden superar en mucho a los resultados de la tecnología pensada por el hombre”¹²⁴.

La investigadora olvida mencionar a los hongos, que son verdaderos Ingenieros Ambientales capaces de modificar el paisaje, degradar residuos tóxicos y peligrosos y hacer saneamiento básico, constituyéndose en una alternativa ecoética totalmente viable para los países en desarrollo y particularmente aplicable en la zona del departamento de Casanare.

La misma autora también menciona que la bioconstrucción y la geobiología son disciplinas afines que se complementan, las cuales consideran que para construir un edificio hay que tener en cuenta la eficiencia energética con el uso de energías renovables, el impacto medioambiental directo e indirecto, la conservación y el reciclaje de recursos, la calidad ambiental interior y el uso de aguas lluvias. Entre los objetivos de la valoración del impacto ambiental está la minimización de los efectos contaminantes en la capa freática y la conservación de la humedad de suelo, acciones para las cuales el uso de micelios fúngicos en procesos de micetofiltración y micorrización (en este caso si vale el prefijo *mico*), se convierte en una herramienta subvalorada y subutilizada, de gran importancia.

Cuando Osorno habla de la tierra como el material de construcción ecológico por excelencia, desconoce u olvida mencionar a los hongos y otros microbios edáficos que son los que le dan a ese suelo unas características técnicas valorables en bioconstrucción, como son capacidad de respiración, calor biológico, buena conductividad eléctrica, ausencia de radioactividad, además de sus características higroscópicas, incombustibles y acústicas. La bioconstrucción es una visión bioética de la arquitectura, en la que el constructor aplica el principio de responsabilidad frente al manejo de los recursos naturales y la energía, con unas consecuencias que satisfacen el principio de beneficencia.

¹²⁴ OSORNO, C.Y. 2001. Hacia la bioconstrucción. En: Bioética como puente entre ciencia y sociedad. Colección Bios & Ethos N° 13. Bogotá: Ediciones El Bosque, 200. p.22

Los diversos hábitats, tal como las personas, poseen un sistema inmunológico que se debilita con el estrés, se enferman y decaen. El uso de los hongos para sanar o reparar los sistemas inmunológicos debilitados de los ambientes se conoce como micetorestauración.

8.1 MICETORRESTAURACIÓN

La micetorestauración es el uso de los hongos para reparar o restaurar las propiedades de defensa de los ecosistemas afectados por intervención antrópica o por causas naturales. Los hábitats, así como los humanos, poseen sistemas inmunológicos que pueden debilitarse por ejemplo, por el estrés o la enfermedad. A medida que diversas generaciones de hongos cumplen su ciclo a través del hábitat, se incrementan la humedad y la profundidad del suelo, incrementando así la capacidad de carga del ambiente y la diversidad de sus miembros. En términos económicos, el suelo es como dinero efectivo de tipo ecológico: si se gasta demasiado, se puede caer en bancarrota.

El uso de micelio de setas como herramienta para restauración ecológica es un concepto tomado de viejos métodos de la naturaleza. Después de un fuego forestal, cuando el hábitat quemado empieza a recuperarse, las primeras especies que empiezan a aparecer a las pocas semanas entre las cenizas, son los hongos. A medida que las setas maduran, se hacen suculentas, liberan esporas y fragancias que atraen insectos, los cuales a su vez atraen aves, y mamíferos pequeños que atraen a otros más grandes, formando un oasis a medida que variadas especies se congregan alrededor del hongo, pues esos animales defecan semillas que sirven para repoblar lo quemado. Estos hongos son pioneros de la biodiversidad, y por esta razón, es un deber de carácter bioético y ecoético conocer y divulgar su importancia para garantizar la sostenibilidad y la sustentabilidad de la vida sobre el planeta Tierra.

Cuando un micetólogo previene o reconstruye después de una catástrofe, se convierte en un artista ambiental, diseñando paisajes para beneficio humano y de la naturaleza. Esta actitud del micetólogo ambiental, es una aplicación de la bioética pues se busca el beneficio humano y el del mismo hongo, al proporcionarle a este las condiciones para que se multiplique, y también de la ecoética, pues las propiedades del hongo favorecen la proliferación de las demás formas de vida y mejoran las características de sus hábitats. La futura difusión de la práctica de diseñar 'micopaisajes' (aquí también es válido el prefijo *mico*), puede afectar microclimas mediante el incremento de la humedad y la precipitación. El Arte de esta ciencia está en la selección de las especies a utilizar. Cada especie de seta posee un micelio que degrada la materia orgánica mediante una mezcla única de enzimas extracelulares y ácidos. Como cada especie tiene su paquete de

enzimas propio, el uso de una variedad de especies tiene un efecto sinérgico sobre la degradación de toxinas, más de lo que podría tener una sola especie¹²⁵.

La recomendación para hacer micetorre restauración natural es con las especies nativas, propias de la zona afectada. Si el hábitat es micetológicamente neutro, o sea que no hay evidencia de crecimiento micelial, se procede a inocular con 'spawn' comercial, haciendo una revisión sobre la compatibilidad de los sustratos y cepas disponibles. Por estas razones, la micetorre restauración se convierte en una importante herramienta de carácter bioético y ecoético para solucionar el problema de la recuperación de hábitats degradados antrópicamente.

8.2 MICETORRE MEDIACIÓN

Micetorre mediación es el uso de hongos para degradar o remover toxinas del ambiente. El género humano es adepto a inventar toxinas, pero igualmente inepto para eliminarlas del ambiente. Con las tendencias actuales, la exposición a químicos peligrosos se incrementa con el tiempo mientras el ambiente se hace más polucionado. La amenaza de la polución, alguna vez caracterizada como la preocupación de ambientalistas alarmistas, es ahora sustentada por los toxicólogos médicos como Bill Moyers¹²⁶, quien reportó en el programa *Trade secrets* del Public Broadcasting Service (Servicio Público de Radiodifusión) que su sangre analizada en el laboratorio del Hospital Médico del Monte Sinaí mostraba 84 de 150 toxinas industriales, muchas de ellas carcinogénicas (31 PCBs, 13 dioxinas, varios pesticidas y metales pesados); todo un legado de la revolución química, pues en 1930, 70 años antes, la muestra solo presentaba plomo. La polución es una enfermedad ambiental que mata, y por tanto es un atentado contra todas las formas de vida, incluyendo la humana; por lo cual el uso de micelios fúngicos como remediadores de esa polución se convierte en una alternativa de carácter bioético y ecoético para solucionar ese problema.

Los hongos son desensambladores capaces de romper toxinas de cadena larga, recalcitrantes, convirtiéndolas en químicos menos tóxicos. La micetorre mediación también remueve metales pesados. Es una práctica en la que se mezcla el micelio del hongo con suelo contaminado. Las poderosas enzimas de ciertos hongos digieren la lignina y la celulosa, los componentes estructurales primarios de la madera. Esas enzimas también rompen sustancias con enlaces químicos similares a los de la madera. Los hongos que producen estas enzimas pueden ser causantes de pudrición blanca o pudrición parda. Solo 7% de los hongos causan pudrición parda, de los cuales el 70% son poliporos¹²⁷.

¹²⁵ WATLING, R. 1998. Larger fungi and some of Earth's major catastrophes. *En*: Fungi and ecological disturbance: proceedings of the Royal Society of Edinburgh, L. Boddy, R. Walting & A.J. Hyon, (eds.). Edinburgh: Series B (1998); p. 49-60.

¹²⁶ MOYERS, B. Trade secrets: a Moyers report. Public affairs television. Nueva York: Thirteen/WNET, 2001.

¹²⁷ GILBERTSON, R. y L. RYVARDEN. North American Polypores. Oslo: Fungiflora, 1986-87. 2 v.

Los hongos de la pudrición blanca son más numerosos que los de la pudrición parda, y producen enzimas que rompen la fibra parda recalcitrante de la madera, dejando la celulosa intacta, dándole a la madera una apariencia blanca. Entre los más activos de estos hongos están *Pleurotus* spp., *Grifola frondosa*, *Trametes versicolor*, *Ganoderma* spp., *Phanerochaete chrysosporium* y otros. Estos hongos son micetorremediadores de toxinas que se mantienen juntas por enlaces hidrono-carbono; las enzimas de este grupo incluyen lignina-peroxidasa, manganeso-peroxidasa, ligninasa, celulasa y lacasa. La enzima manganeso-peroxidasa es una enzima que mineraliza la madera, particularmente eficiente rompiendo enlaces hidrogeno-carbono y produciendo entonces agua y dióxido de carbono.

La fortaleza y salud de cualquier ecosistema es una medida directa de sus diversas poblaciones fúngicas, y de su interrelación con plantas, insectos, bacterias y otros organismos, incluyendo otros hongos. La introducción de un solo tipo de hongo, por ejemplo orellanas, en el paisaje cercano a un sitio contaminado, dispara una cascada de actividad por parte de otros organismos, encontrándose una sinergia entre animales, plantas, bacterias, hongos y protozoos. El orden de la secuencia natural de aparición de organismos en un ecosistema dañado, fluctúa de acuerdo con las condiciones de cada hábitat: 1º hongos, 2º insectos y animales invertebrados), 3º animales vertebrados, 4º bacterias, 5º plantas, 6º vertebrados e invertebrados y 7º hongos.

El micelio que ha estado en contacto con el ambiente y con otros microbios, posee mejores propiedades micetorremediadoras que el micelio puro, de laboratorio, que no ha tenido contacto con otros organismos. Por ejemplo, el *Pleurotus ostreatus* puede degradar PAHs (hidrocarburos polinucleares aromáticos) en un 97% en una semana, si ha estado en contacto con microbios nativos.

Las orellanas (*Pleurotus* spp.) están reportadas como degradadoras de PAHs (Hidrocarburos aromáticos polinucleares, en Ingles), que fue el principal componente del derrame del *Exxon Valdez*, en 1989 en Alaska. También se reporto que los TPHs (hidrocarburos totales de petróleo), pueden reducirse de 20.000 ppm a menos de 200 ppm en solo ocho semanas¹²⁸.

La micetorremediación sirve entonces para tratar suelos contaminados con petróleo y sus derivados (gasolina, aceite, carbón, brea), los cuales son degradados a sustancias más manejables¹²⁹, así como por metales pesados, que

¹²⁸ THOMAS, S.A., Op.Cit.

¹²⁹ Ibid.

son absorbidos por los hongos, los cuales obviamente no se deben consumir, pues los hongos bioacumulan arsénico, cadmio, cesio, plomo y mercurio¹³⁰.

Estos hongos también pueden servir para atrapar dioxinas y degradar pesticidas como DDT, aldrin, heptaclor o lindane. También se reportan activos frente a colorantes, explosivos como TNT (trinitrotolueno), blanqueadores, PCBs (bifenilos policlorados), agentes de la guerra química como el gas VX usado por Saddam Hussein contra los kurdos en 1988, o el gas Sarin, usado por la secta *Aum Shinrikyo* en el metro de Tokio en 1995, y agentes biológicos como las bacterias *Escherichia coli* y *Bacillus anthracis*¹³¹. Entre 1994 y el 2004 se publicaron más de 100 artículos sobre hongos de la pudrición de la madera productores de enzimas usadas para degradar toxinas sintéticas.

Por otra parte, los costos de la micetorremediación son mucho menores que los de cualquier otra tecnología de remediación de suelo contaminado con hidrocarburos derivados del petróleo. La Tabla 3 muestra la diferencia de costos entre las diferentes tecnologías.

Tabla 3. Costo de las tecnologías de remediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo.

TECNOLOGIA DE REMEDIACION	COSTO (U\$/Ton.)
Incineración	1,500
Extracción con solventes	500
Solidificación	350
Termal indirecta	300
Ventilación del suelo	250
Lavado del suelo	200
Biorremediación (Bacterias)	180
Fitorremediación	100
Micetorremediación	< 50

FUENTE: STAMETS, P. Growing gourmet and medicinal mushrooms. 3º ed., Berkeley: Ten Speed Press, 2000.

De esta manera, la micetorremediación permite aplicar el principio bioético de beneficencia, así como el principio ecoético de precaución, ofreciendo una alternativa para el manejo de sustancias recalcitrantes de origen antrópico que afectan la vida en todas sus manifestaciones.

¹³⁰ ARICA, M. et al. Comparative biosorption of mercury ions from aquatic systems by immobilized live and heat inactivated *Trametes versicolor* and *Pleurotus sajor-caju*. *Bioresource Technology*, 89(2): 145-154, 2003.

¹³¹ GADD, G.M., (ed). *Fungi in bioremediation*. Cambridge: Cambridge University Press. 2001.

8.3 MICETOFILTRACIÓN

La micetofiltración es el uso de micelio fúngico como biomembrana para filtrar microorganismos (bacterias, virus y protozoos), y/o sustancias polucionantes como toxinas químicas y detritos. Los hábitats colonizados por el micelio reducen el flujo de partículas aguas abajo modulando el flujo de agua a través del suelo y mitigan la erosión. En un gramo de suelo es posible tener más de un kilómetro de micelio, conformado como una fina red celular capaz de atrapar toda clase de partículas, y en algunos casos, de digerirlas. A medida que los residuos son digeridos, se forman microcavidades que se llenan con agua y aire, proporcionando una infraestructura aeróbica con gran superficie de intercambio. El agua rica en materia orgánica percola por la malla celular, siendo filtrada y limpiada.

La instalación de micetomembranas de filtración implica el uso de residuos forestales (astillas, aserrín, cortes), pulpa de papel (celulosa, fibra, cartón, residuos de papel), residuos agrícolas orgánicos urbanos y rurales, así como de destilerías e industrias similares, los cuales son inoculados con las especies de hongos específicas para degradar una determinada toxina. Su instalación es ideal en fábricas, granjas, pozos sépticos, carreteras, y hábitats mal nutridos.

Stamets¹³², cuenta como en los 70s, mientras estudiaba en el colegio estatal de Evergreen (Washington, EU), observó un micelio a través de un microscopio electrónico y se lo imaginó como un filtro biológico. Diseñó un sencillo experimento en el que comparaba la capacidad de filtración de micelio raspado de cajas de Petri, frente a la del algodón, encontrando que la absorción de humo de tabaco, agua y tinta por parte del micelio era sorprendente.

La micetofiltración se puede aplicar para atrapar microbios patógenos. Por ejemplo, una cepa particular de 'Zhu-ling' (*Polyporus umbellatus*) se mostró 100% efectiva *in vitro* contra el hemoparásito de la malaria *Plasmodium falciparum* (Lovy *et al* 1999). Este tipo de biotecnología podría así ser aplicada en los pantanos y zonas donde pululan los mosquitos que transmiten la malaria. Por otra parte, un gran número de setas contiene propiedades antibióticas y pueden ser usadas para crear colchones de filtración contra patógenos, por ejemplo los que se originan en las granjas pecuarias que producen grandes cantidades de estiércol rico en bacterias como *Escherichia coli*, *Streptococcus* spp., *Listeria* spp., *Vibrio* spp., entre otras, protozoos como *Giardia* spp., *Trichomonas* spp., *Balantidium* spp., *Entamoeba* spp., y otros, así como virus.

Los sistemas miceliales de micetofiltración son compatibles con las prácticas pioneras de permacultura de Bill Mollison (1990), que fortalecen la sostenibilidad de los ecosistemas usando sistemas naturales. Todos esos sistemas usan el

¹³² STAMETS, P. Op. Cit.

sinergismo de las comunidades biológicas, para ganar fuerza a partir de la biodiversidad. También comparten el concepto de *'living machine'* o 'maquina viva' de John Todd, que propone el uso de ecosistemas estuarinos para degradar basuras tóxicas. La micetofiltración se constituye en una alternativa biotecnológica de corte bioético y ecoético para el tratamiento de aguas y suelos contaminados con microbios patógenos o sustancias recalcitrantes de origen antrópico.

8.4 MICETOPESTICIDAS

En 1834, el monje italiano Agostino Bassi fue contratado para determinar que patología causaba la muerte de los gusanos de seda (*Bombix mori*), afectando gravemente el creciente y lucrativo negocio internacional de la seda. Se descubrió así la enfermedad de la muscardina, causada por el hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana*, usado actualmente como efectivo controlador biológico.

Los micetopesticidas son hongos que parasitan insectos. Actúan como un mecanismo natural de control biológico. Estimaciones conservadoras plantean una diversidad de insectos entre 4-6 millones de especies, de las cuales el 5% son plagas. Como resultado de la 'Revolución Verde', el control químico disparó la producción pero a un costo ambiental muy elevado. Por ejemplo, entre los pesticidas, los organofosforados dañan a organismos que no son el blanco, polucionan el agua y amenazan la salud humana y del ambiente. Actualmente, se hace necesario implementar un manejo integral de las plagas, en el que el control biológico, es el pilar fundamental para garantizar la sostenibilidad del ambiente. Otros hongos conocidos como biocontroladores son *Metarhizium anisopliae*, *Paecilomyces* spp., *Cordyceps* spp., *Nomuraea* spp., e *Hirsutella* spp. Los hongos entomopatógenos son muy efectivos contra termitas, hormigas, cucarrones y moscas¹³³.

Cuando los insectos entran en contacto con las esporas de los hongos entomopatógenos, las esporas se adhieren por cargas electrostáticas al insecto y germinan, extendiendo sus hifas a través del exoesqueleto del insecto usando enzimas que disuelven la quitina. Otras puertas de entrada son los orificios naturales. Una vez adentro, las hifas invaden los órganos, interviniendo con el metabolismo del insecto, causándole la muerte en pocos días. Entonces, los insectos parecen estar momificados y recubiertos por un micelio difuso, convirtiéndose en plataformas de lanzamiento de las esporas del hongo. La aplicación de los hongos entomopatógenos debe hacerse muy temprano en la mañana o en las últimas horas de la tarde, para evitar el golpe de sol a los microorganismos.

¹³³ VEGA, F. y M. BLACKWELL. Insect-fungal associations: ecology and evolution. Nueva York: Oxford University Press, 2005.

El uso de hongos para control biológico es un mecanismo alternativo de manejo de plagas en el que los principios ecoéticos de precaución y responsabilidad establecen un mecanismo racional para contrarrestar enfermedades y plagas que afectan la salud de los cultivos agrícolas, las producciones pecuarias y la salud humana¹³⁴. En este último caso, permite sustituir las aplicaciones de insecticidas químicos a base de Malathion, que afectan tanto a insectos benéficos como plaga indiscriminadamente, por un producto biológico, natural, que no altera los ciclos naturales en los ecosistemas, constituyéndose en una alternativa bioética viable para alcanzar un desarrollo sostenible.

8.5 MICETOFORESTERÍA

Cuando se hace la cosecha selectiva de bosques secundarios y terciarios en desarrollo, con la intención de preservar otros subproductos del bosque como las setas, se asegura una buena práctica para obtener beneficio; esto es básicamente una nueva estrategia de manejo denominada **ecoforestería**. La micetoforestería es una ciencia emergente, en la que en las prácticas de ecoforestería se enfatiza el rol de hongos saprofitos benéficos.

Micetoforestería es el uso de hongos para sostener las comunidades forestales, pudiendo usarse para preservar las selvas nativas, recuperar y reciclar residuos de madera, fortalecer árboles recién plantados en programas de reforestación, fortalecer la sostenibilidad de los ecosistemas y conservar la biodiversidad. Los hongos micorrizicos, por ejemplo, forman una asociación con la raíz de las plantas, donde se crea un microhabitat ideal para bacterias, protozoos y demás organismos del suelo, en el que todos se benefician de los subproductos de otros.

El hongo maneja el ciclo del fósforo en la rizosfera, solubilizándolo para dejarlo disponible para las plantas, y crea un microhabitat que favorece la presencia de bacterias de la rizosfera que fijan nitrógeno, el cual es aprovechado como nutriente por las plantas. Elementos como el zinc y el potasio también son atrapados por micelio fúngico, dejándolos a disposición de las plantas que los usan como micronutrientes.

Los programas de reforestación siempre deben estar respaldados por un proyecto de micetoforestería; los hongos deben inocularse en las raíces de los árboles jóvenes o en la tierra al momento de sembrar. Un economista ecológico puede evaluar fácilmente como se incrementa la productividad del bosque cuando este se encuentra micorrizado. Si se tiene en cuenta el alto precio de hongos del bosque como el matsutake (*Grifola* spp.), los beneficios de preservar el bosque superan las ganancias a corto plazo de la tala de este¹³⁵.

¹³⁴ Ibid.

¹³⁵ ALEXANDER, S.J et al. Mushrooms, trees, and money: value estimates of commercial mushrooms and timber in the Pacific Northwest. En: Environmental Management vol. 30, No.1. 2002.

Entre los beneficios adicionales que da el hongo se encuentran el mejoramiento de la calidad del suelo, la reducción de la erosión, el mejoramiento de la calidad del aire, el mejoramiento de la salud de los cauces y la regulación del microclima generando una ligera refrigeración regional; también se mejoran los paisajes. La colecta de hongos silvestres, de acuerdo con el reporte de las Naciones Unidas de Eric Boa¹³⁶, tiene un elevado significado socioeconómico a lo largo y ancho del mundo, pues es un mecanismo alternativo para garantizar una seguridad alimentaria.

La micetoforestería usa preferiblemente especies nativas en los hábitats que necesitan restauración, amplificando la variedad de hongos saprófitos basándose en la disponibilidad de sustratos de madera. También usa especies que se conoce ayudan a las comunidades vegetales y establecen relaciones con bacterias benéficas, y especies que atraen insectos cuyas larvas son alimento para aves y peces. La micetoforestería prefiere especies como *Ganoderma*, *Trametes* y *Pleurotus* que compiten con hongos fitopatógenos tipo *Armillaria* spp., *Heterobasidion annosum*, y/o especies de conocido valor culinario o medicinal, cuyo valor económico ayude al balance en favor de la conservación¹³⁷.

En un bosque micorrizado, la práctica de dejar astillas de madera en el piso del bosque demora la liberación de nutrientes mientras los hongos las colonizan y transportan humedad hacia ellas por sus micelios. Esta retención de humedad formada por la aparición de micetomembranas ayuda a proteger al suelo contra los incendios forestales y proporciona microcavidades que sirven de hábitat para poblaciones de bacterias, otros hongos, algas, plantas y animales, favoreciendo a la biodiversidad.

¹³⁶ BOA, E. Wild edible fungi: a global overview of their use and importance to people. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO technical paper: non-wood forest products 17, 2004.

¹³⁷ STAMETS, P. Op.Cit.

9. CONCLUSIONES

- Para poder cumplir el Plan de Acción en Biodiversidad de la Cuenca del Orinoco –Colombia- 2005-2015, propuesto por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, que busca posicionar la biodiversidad en el desarrollo regional, y cuyos objetivos son conocer, conservar y usar racionalmente los recursos naturales de forma tal que los bienes y servicios que esta suministra, proporcionen una distribución justa y equitativa de los beneficios sobre la calidad de vida de los habitantes de la región, es de vital importancia incluir el estudio de los microorganismos nativos, particularmente sobre los hongos, apoyándose en instituciones regionales dedicadas a la investigación como Unitrópico que está cultivando una masa crítica de estudiantes que conforman un semillero de investigación en micetología y tiene además un equipo de investigación interdisciplinar en el tema, debidamente registrado en Colciencias .
- El cultivo de orellanas y otros hongos en residuos lignocelulosicos de cosechas agroindustriales es una alternativa práctica y sencilla, fácil de implementar por los campesinos en las fincas, o por sectores vulnerables de la población urbana como madres comunitarias, discapacitados, desplazados y adultos mayores entre otros, que sirve para obtener proteína y nutrientes de una manera rápida, limpia y económica, mientras se hace una disposición racional de esos residuos polucionantes. La implementación de estos cultivos es una alternativa de carácter bioético y ecoético para mejorar las condiciones de vida de poblaciones vulnerables, y para mejorar las condiciones del medio ambiente al hacer un uso racional de los residuos para recuperar energía y nutrientes perdidos en los procesos productivos y en los ecosistemas.
- El cultivo de orellanas es una manera fácil mediante la cual el campesino, el desplazado, la madre comunitaria, el adulto mayor, el discapacitado y demás grupos de población vulnerable o no vulnerable, pueden generar autoempleo involucrando en primer término a la familia y siguiendo por los vecinos, en un mecanismo de producción de alimento que genera bienestar y mejora la calidad de vida de los fungicultores que se autoorganizan en un modelo de economía solidaria para cooperar en la comercialización de los excedentes que pueda dejar el autoconsumo. Mediante la fungicultura se hace manifiesto el principio de autonomía de poblaciones vulnerables que ven afectado su derecho a una alimentación sana por abandono del Estado, y que por iniciativa propia se hacen capaces de autoabastecerse.
- Una necesidad para crear la cultura del cultivo de setas es la educación básica sobre el tema. Mediante la estrategia de socialización de la FungiCultura se ha logrado dar charlas de capacitación durante un año en producción limpia de

setas a cerca de 250 personas entre las que se encuentran estudiantes del SENA del programa de reinsertados, estudiantes técnicos en Producción Agropecuaria del convenio ITFIP-Unitrópico, docentes del Colegio Braulio González de Yopal, estudiantes de 10° y 11° grado del Colegio Manuel Elkin Patarroyo de Aguaclara, estudiantes de los programas de Biología, Economía, Medicina Veterinaria, Ingeniería de Alimentos e Ingeniería Agroforestal de Unitrópico, entre otros, esperando un efecto multiplicador que permita difundir ampliamente este sistema productivo que puede ayudar a dar solución a varios de los problemas del departamento de Casanare, mejorando la calidad de vida de sus habitantes, en lo que se refiere a nutrición y prevención de enfermedades, especialmente en las poblaciones vulnerables, marginadas y desprotegidas. El proyecto de FungiCultura que se realiza en Unitrópico con la cofinanciación de Colciencias, ha permitido durante el primer año y medio la vinculación al semillero de investigadores de tres estudiantes de primer semestre y tres de noveno semestre de Biología, cuatro de octavo semestre de Economía, dos de primer semestre de Ingeniería de Alimentos y dos de primer semestre de Ingeniería Agroforestal, para un total de 14 estudiantes destacándose la participación femenina (60%), buscando fortalecer la masa crítica de profesionales expertos en la micetología. También se han incorporado como docentes investigadores un Biólogo, una Bióloga, un Ingeniero agrónomo, una Ingeniera de Alimentos, un Médico Veterinario y una Economista, con una participación de género del 50%.

- En un compromiso de carácter bioético y ecoético, el cultivo de setas puede servir para combatir simultáneamente y con gran éxito, problemas como el hambre y la malnutrición, el reciclaje de basuras, la construcción de suelo, la protección de cultivos, la generación de empleo y la lucha contra el deterioro de la calidad de vida en pacientes con VIH/SIDA, pues les permite autoabastecerse de un alimento sano, mediante un sistema productivo artesanal de alta eficiencia. Además, la evidencia científica sugiere que la inclusión en la dieta de setas como la orellana, el reishi, el shiitake y el enokitake, proporciona defensas contra ciertas enfermedades y protege contra algunos tumores, pues se ha demostrado que los productos basados en hongos estimulan el sistema inmunológico, promueven los sistemas de defensa naturales y son buenos para pacientes que hayan recibido tratamientos de quimio y radioterapia, ya que ayudan a reducir los efectos colaterales de tales terapias, cumpliendo con los principios de beneficencia y no-maleficencia. Los esfuerzos dirigidos a la prevención de la enfermedad, en este caso mediante el consumo de alimentos funcionales como las setas, tienen un impacto social y económico positivo, que desde una consideración individual, puede mantener e incluso mejorar la calidad de vida y aumentar la autoestima y la dignidad humana.

- Independientemente de la tecnología moderna, la civilización humana continúa encarando a través del tiempo los mismos tres problemas básicos: 1) falta de alimentos, 2) polución ambiental y 3) reducción de la calidad de la salud y por ende de la calidad de vida, debido al incremento continuo de la población; teniendo esto en cuenta, el cultivo de setas ofrece una solución de carácter bioético y ecoético, por lo menos parcial, a estos tres problemas.
- La micetorrestauración es una ciencia en pañales para los humanos, pero también un método altamente refinado de biotecnología, puesto en práctica por la naturaleza desde hace millones de años, que permite la recuperación de ecosistemas altamente intervenidos, dando aplicación a los principios fundamentales de la bioética y la ecoética.
- Las orellanas, son hongos ubicuos y cosmopolitas pues es posible encontrarlos en cualquier bosque nativo, muy poderosos, que están a la vanguardia en la restauración de hábitats como descomponedores primarios, actuando como Ingenieros o Arquitectos de paisajes, lo cual constituye su valor intrínseco y les proporciona cualidades ecoéticas como eslabones esenciales para la trama de la vida.
- Es importante reforzar el estudio sobre los hongos a todos los niveles de enseñanza, rompiendo paradigmas obsoletos como su mala reputación, apoyada en un desconocimiento total sobre el tema. Para empezar, debe aclararse que el estudio de los hongos no debe llamarse Micología, sino Micetología, de acuerdo con la etimología y gramática del idioma Griego.
- La recolecta de hongos silvestres y su comercialización es una actividad de importancia socioeconómica en todo el planeta, particularmente en los países en vías de desarrollo, pero que debe realizarse racionalmente, buscando la conservación de los hábitats donde crecen en forma natural. Por esta razón, es necesario profundizar en el conocimiento sobre estos maravillosos seres vivos, para poder hacer un uso racional sostenible de ellos y para poder conservarlos de manera acorde con los parámetros de la bioética y la ecoética.
- La posibilidad de industrializar el cultivo de hongos nutraceuticos utilizando los materiales lignocelulosicos abundantemente disponibles en las áreas rurales y urbanas puede tener un impacto regional y global positivo a largo plazo en la nutrición y salud humana, así como en la regeneración y conservación ambiental, promoviendo simultáneamente cambios económicos y sociales con todas las implicaciones bioéticas y ecoéticas que esto trae.
- El departamento de Casanare posee una inmensa cantidad de biomasa lignocelulósica, que como la energía solar de la que depende, son recursos naturales renovables y sostenibles, que siempre se han considerado

insignificantes, sin ningún valor comercial y sin valor como alimento, por lo menos en su forma original, y que son la materia prima y la energía necesarias para el cultivo de setas que encuentran en la zona del piedemonte llanero las condiciones ambientales óptimas para su desarrollo. El aprovechamiento de esta oportunidad puede ser una alternativa de producción limpia y productividad total para recuperar nutrientes perdidos y alcanzar un desarrollo sostenible.

- En el siglo XXI, a medida que la población mundial crezca, la cantidad de alimento disponible y la calidad de la atención en salud disponible para cada individuo tenderán a decrecer, mientras aumenta la polución ambiental, especialmente en los países en vías de desarrollo como Colombia; por tanto el cultivo de setas es una alternativa de carácter bioético para solucionar el problema del hambre y la malnutrición de poblaciones vulnerables.
- La fungicultura se convierte en un mecanismo o herramienta biotecnológica para que las personas involucradas, bien sean productores o consumidores, adquieran hábitos ideales de comportamiento (*mos/moris*) como la constancia, la perseverancia, la puntualidad, la higiene y la cooperación entre otros, que les permitirán mejorar su calidad de vida.

BIBLIOGRAFIA

ALEXANDER, S.J *et al.* Mushrooms, trees, and money: value estimates of commercial mushrooms and timber in the Pacific Northwest. En: *Environmental Management* vol. 30, No.1. 2002.

ALEXOPOULUS, C. J., MIMS, C.W., y M. BLACKWELL. Introductory mycology, 4 ed. New York: John Wiley & Sons, 1996. 869 p.

ANDRADE, G., RUIZ, J.P. y R. GOMEZ. Biodiversidad, conservación y uso de recursos naturales. Bogotá: Cerec, 1992. 126 p.

ARISTIZABAL, Ch. Panorama actual de la infección por VIH y del SIDA. En: Seis miradas sobre la bioética clínica. Colección Bios & Ethos N°14. Bogotá: Ediciones El Bosque, 2001. 215 p.

ATLAS, R. y R. BARTHA. Ecología Microbiana y Microbiología Ambiental. Barcelona: Editorial Addison-Wesley, 2001. 677 p.

BEAUCHAMP, T. y J. CHILDRESS. Principios de ética biomédica. Barcelona: Editorial Masson, 1998. 548 p.

BOA, E. Wild edible fungi: a global overview of their use and importance to people. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO technical paper: non-wood forest products 17, 2004. 278 p.

CAMARA DE COMERCIO DE CASANARE. Caracterización del empleo en Casanare: resumen ejecutivo de resultados. Yopal: Casa Editorial El Correo, 2005. 19 p.

CARMONA, J.E. Bioética y conservación de la biodiversidad. En: Fundamentación de la bioética: una tarea común. Colección Bios & Oikos N°1, Bogotá: Ediciones El Bosque, 2002. 78 p.

CARVAJAL, I y D. MENESES. El inicio de una investigación en bioética. En: Fundamentación de la bioética: una tarea común. Colección Bios & Oikos N°1, Bogotá: Ediciones El Bosque, 2002. 78 p.

CASTRO, M.F. Bioética, ecología y calidad de vida; En: Bioética y calidad de vida. Colección Bios & Ethos N°18, Bogotá: Ediciones El Bosque, 2000. 224 p.

CASTRO, M.F. y Y. BERNAL. 2003. Bioética, tecnología y medio ambiente. En: Bioética, ciencia, tecnología y sociedad CTS. Colección Bios & Ethos N°20, Bogotá: Ediciones El Bosque, 2003. 201 p.

_____. y _____. Biotecnología y medio ambiente: entre temores y esperanzas. En: Bioética y Biotecnología en la perspectiva CTS, Colección Bios & Ethos N°22, Bogotá: Ediciones El Bosque, 2004. 232 p.

CHANG, S.T. Global impact of edible and medicinal mushrooms on human welfare in the 21st century: non-green revolution. En: *Int. J. Med. Mushrooms*, vol 1 (1999); p.1-7.

CHANG, S.T. y P. MILES. Edible mushrooms and their cultivation. Boca Raton: Fla, CRC Press, 1989. 625 p.

_____ y _____. Mushrooms: cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact. 2 ed., Boca Raton: Fla, CRC Press, 2004. 451 p.

CHANG, S.T., BUSWELL, J. A. y S.W. CHIU (eds.). Mushroom biology and mushrooms products. Hong Kong: The Chinese University Press, 1993.370 p.

DESJARDINS, J. Environmental ethics: an introduction to environmental philosophy. 4th ed, Toronto, Canada: Wadsworth, 2006. 286 p.

DIGHTON, J. Fungi in ecosystem processes. New York: Marcel Dekker, Inc, 2003. 432 p.

ELDREDGE, N. La vida en la cuerda floja: la humanidad y la crisis de la biodiversidad. Barcelona: Tusquets, 2001. 277 p.

ESCOBAR, J. Consideraciones bioéticas acerca de la fumigación de cultivos ilícitos en Colombia. En: Bioética, ciencia, tecnología y sociedad CTS. Colección Bios & Ethos N°20, Bogotá: Ediciones El Bosque, 2003. 201 p.

_____. Presentación del libro Bioética y medio ambiente. Colección Bios & Ethos N° 12, Bogotá: Ediciones El Bosque, 2000. 276 p.

_____. Presentación del libro Bioética y biotecnología en la perspectiva CTS. Colección Bios & Ethos N° 22, Bogotá: Ediciones El Bosque, 2004. 232 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Mushroom cultivation for people with disabilities. A training manual. Bangkok: Regional Office for Asia and the Pacific, 2001. 120 p.

GADD, G.M., (ed). Fungi in bioremediation. Cambridge: Cambridge University Press. 2001. 481 p.

GADD, G.M. Mycotransformation of organic and inorganic substrates. En: *Mycologist* vol. 18, No. 2 (2004); p. 60-70.

GAITÀN-HERNÁNDEZ, R. *et al.* Manual práctico del cultivo de setas: aislamiento, siembra y producción. Xalapa: Instituto de Ecología, 2002. 56 p.

GARCÍA R., M. Cultivo de setas y Trufas. 2º edición, Madrid: España, Ediciones Mundi-Prensa, 1991. 174 p.

GLAWE, D. A. y W. U. Solberg, Early accounts of fungal bioluminescence. *Mycología* No. 81(1989); 296-299.

GILBERTSON, R. y L. RYVARDEN. North American Polypores. Oslo: Fungiflora, 1986-87. 2 v.

GORMAN, J. Microbial materials: scientists co-opt Viruses, Bacteria and Fungi to build new structures. En: *Science News* vol. 164, No 1 (2003); p. 7-9.

GOULD. S. J. A Humongous fungus among us. En: *Nat. Hist.*, No.101 (1992); p. 10-19.

GUERRERO, E. (ed). Micorrizas: recurso biológico del suelo. Bogotá: FEN, 1996. 208 p.

GUZMÁN, G. *et al.* El cultivo de los hongos comestibles. Xalapa: Instituto Politécnico Nacional - Instituto de Ecología, 1993. 245 p.

HAWKSWORTH, D. L. The fungal dimension of biodiversity: magnitude, significance and conservation. En: *Mycol. Res.*, No. 95 (1991); p. 641-655.

HOBBS, C. Medicinal mushrooms: an exploration of tradition, healing & culture. Summertown: Tenn., Botánica Press, 1986. 251 p.

HOTTOIS, G. ¿Qué es la bioética? Bogotá: Editorial Kimpres, 2007. 63 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE BIENESTAR FAMILIAR. Boletín de prensa de octubre para Casanare. Yopal: 2006. 3 p.

JONAS, H. El principio de responsabilidad. 2 ed., Barcelona: Editorial Herder, 2004. 398 p.

KAUFFMAN, S. At home in the Universe: the search for the laws of self-organization and complexity. New York: Oxford University Press, 1995. 321 p.

_____. Investigaciones. Barcelona: Tusquets, 2003. 372 p.

LEOPOLD, A. A Sand County almanac. Oxford: Oxford University Press, 1949. 296 p.

LOTHE, H. Oasis of art in the Sahara. En: *National Geographic*. (Aug. 1987). p. 180-188.

LOVELOCK, J. Las edades de *Gaia*: una biografía de nuestro planeta vivo. Barcelona: Tusquets Editores, 1993. 266 p.

LOVY, A. *et al.* Activity of edible mushrooms against the growth of human T4 leukemia cancer cells, and *Plasmodium falciparum*. En: *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants* vol. 6, No. 4 (1999.); p. 49-57.

MALDONADO, C.E. En: Epílogo de la Fundamentación de la bioética: una tarea común. Colección Bios & Oikos N° 1, Bogotá: Ediciones El Bosque, 2002. 78 p.

MARGULIS, L. y D. SAGAN. Microcosmos: cuatro mil millones de años de evolución desde nuestros ancestros microbianos. Barcelona: Tusquets, 1995. 317 p.

MAYR, J. Ética y medio ambiente. En: Bioética y medio ambiente. Colección Bios & Ethos N° 12, Bogotá: Ediciones El Bosque, 2000. 276 p.

MILES, P. y CHANG, S.T. Biología de las setas: fundamentos básicos y acontecimientos actuales. Bogotá: ZERI-World Scientific, 1999. 206 p.

MILLER, K. Bacterial integrated circuits: by interfacing bacteria to silicon chips, NASA-supported researchers have created a device that can sense almost anything. En: <http://science.nasa.gov/headlines/y2004/10jun-bbies.htm>. June 10, 2004.

MOLLISON, B. Permaculture: a practical guide for a sustainable future. Washington: Island Press, 1990. 579 p.

MONEY, N. The triumph of the fungi. A rotten history. Nueva York: Oxford University Press, 2007. 197 p.

MORI, K. *et al.* Antitumour activities of edible mushrooms by oral administration. En: Wuest, P.J. *et al.* (eds.). Cultivating edible fungi. Amsterdam: Elsevier, 1987; p. 1-6.

MORRIS, S., y P. ROBERTSON. Linking function between scales of resolution. En: DIGHTON, J.; J. WHITE & P.OUDEMANS. The fungal community: its organization and role in the ecosystem. Boca Raton: 3ed., CRC Press, 2005. 936 p.

MOYERS, B. Trade secrets: a Moyers report. Public affairs television. Nueva York: Thirteen/WNET, 2001. 128 p.

NAKAGAKI, T., YAMADA, H. y A. TOTH. Maze-solving by an ameboid organism. En: *Nature* No. 407 (2000); p.470.

ORREGO, C. E. y C. JARAMILLO. Cultivation the edible mushroom *Pleurotus* spp. in the urban area of the city of Manizales. Final report. Manizales: Universidad Nacional, Agropolis Award, 2005. 45 p.

OSORNO, C.Y. 2001. Hacia la bioconstrucción. En: Bioética como puente entre ciencia y sociedad. Colección Bios & Ethos N° 13. Bogotá: Ediciones El Bosque, 2001. 171 p.

OVALLE, C. Fundamentar la bioética: una argumentación sostenible desde las ciencias de la complejidad. En: Fundamentación de la bioética: una tarea común. Colección Bios & Oikos N° 1. Bogotá: Ediciones El Bosque, 2002. 78 p.

PAULI, G. Avances: lo que los negocios pueden ofrecerle a la sociedad. Medellín: Universidad EAFIT, 1996. 267 p.

PEINTNER, U., PODER, R. y T. PUMPEL. The Iceman's fungi. En: *Mycol. Res.* No. 102 (1998); p. 1153-1162.

QUIMIO, T.H., CHANG, S.T., y D.J. ROYCE. Technical guidelines for mushroom growing in the Tropics. Rome: Food and Agriculture Organization, Plant Production and Protection, 1990. 155 p.

RODRIGUEZ, M.V. Horizontes de la bioética. En: Fundamentación de la bioética: una tarea común. Colección Bios & Oikos N°1, Bogotá: Ediciones El Bosque, 2002. 78 p.

RODRÍGUEZ, N y F. GÓMEZ. Cultive hongos comestibles en pulpa de café. Avances técnicos Cenicafe N°285. Chinchiná: 2001. 8 p.

RODRÍGUEZ, N. y C. JARAMILLO. Cultivo de hongos medicinales en residuos de la zona cafetera. Boletín Técnico N° 28. Chinchiná: Fondo Nacional del Café-Cenicafé, 2005. 72 p.

SANCHEZ, J.E y D. J. ROYCE, La Biología y el Cultivo de *Pleurotus* spp. Chiapas: Noriega Editores, 2001. 290 p.

SARMIENTO, Y. Una fundamentación de la bioética desde la interdisciplinariedad y el diálogo entre paradigmas. En: Fundamentación de la bioética: una tarea común. Colección Bios & Oikos N° 1. Bogotá: Ediciones El Bosque, 2002. 78 p.

SCHULTES, R. E. y A. HOFFMAN, Las plantas de los dioses. México: Fondo de cultura económica, 2000. 208 p.

SMITH, M., BRUHN, J.N. y B. ANDERSON, J. 1992. The fungus *Armillaria bulbosa* is among the largest and oldest living organisms. En: *Nature*, No. 356 (1992); p. 428-431.

STAMETS, P. Growing gourmet and medicinal mushrooms. 3 ed., Berkeley: Ten Speed Press, 2000. 574 p.

TAM, S.C., YIP, K.P.,, FUND, K.P. y S.T. CHANG. Hypotensive and renal effects of an extract of the edible mushroom *Pleurotus sajor-caju*, En: *Life Sci.*, No. 38 (1986); p. 1155-1161.

THOMAS, S.A., PINZA, M. P., BECKER, A., DRUM y J. WORD. Bioremediation: mycofiltration study for the cleanup of oil-contaminated soil. Internal document. Sequim, Washington, Batelle Marine Science Laboratory, 1999. 65 p.

ULLOA, M. y R. HANLIN. Nuevo diccionario ilustrado de Micología. St. Paul, Minn., American Phytopathological Society Press, 2006. 672 p.

VEGA, F. y M. BLACKWELL. Insect-fungal associations: ecology and evolution. Nueva York: Oxford University Press, 2005. 333 p.

VOLK, T. Gaia's body: toward a physiology of Earth. New York: Springer-Verlag, 1998. 269 p.

WANG, H.X. y T.B. NG. 2000. Isolation of a novel ubiquitin-like protein from *Pleurotus ostreatus* mushroom with anti-human immunodeficiency virus, translation-inhibitory, and ribonuclease activities. En: *Biochemical and Biophysical Research Communications* vol. 276, No.2 (2000); p. 587-593.

WASSON, R.G. Soma: el divino hongo de la inmortalidad. Nueva York: Harcourt Brace Javanovich, 1968. 381 p.

WASSON, R. G., y V. P. WASSON, Mushrooms, Russia and history. New York: Pantheon Books, 1957. 2 vol.

WATLING, R. 1998. Larger fungi and some of Earth's major catastrophes. En: *Fungi and ecological disturbance: proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, L. Boddy, R. Walting & A.J. Hyon, (eds.). Edinburgh, Series B (1998); p. 49-60.

WENZ, P. Environmental ethics today. New York: Oxford University Press, 2001. 351 p.

WOESE, C., KANDLER, R.O. y M.L. WELIS. Towards a natural system of organisms: proposal for the Domains Archaea, Bacteria, and Eukarya. En: *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*. Vol 87 (1990); p. 4576-4579.

ZADRAZIL, F. Conversion of different plant waste into feed by Basidiomycetes. En: *European Journal of Applied Microbiology*. No 9 (1980); p. 243-248.

ZALABATA, L. Pensamiento Arhuaco. En: *Bioética, sentido de la vida y la fe religiosa*. Colección Bios & Ethos N°18. Bogotá, Editorial El Bosque, 2001. 98 p.