

UNIVERSIDAD LAVAL

Facultad de Ciencias Forestales y Geomática
Departamento de la Madera y Ciencias Forestales

TEXTO PRESENTADO COMO CONFERENCIA POR INVITACION DE
LA AGENCIA CANADIENSE DE DESARROLLO INTERNACIONAL

En la reunión del
CLUB SAHEL

5 DE OCTUBRE DE 1995

«**LOS ORIGENES ECONOMICOS Y SCIENTIFICOS DE LA REVOLUCION VERDE EN SAHEL**»

por el

Professor Gilles Lemieux

Departamento de Ciencias et de la Madera del Bosque
Facultad de Ciencias Forestales y Geomática

PUBLICATION N° 55c

versión española Dr Gonzalez

Octubre 1995

Publicado por el

Grupo de Coordinación sobre Madera Rameal

Departamento de la Madera y Ciencias Forestales
Universidad Laval
Québec Canada

LOS ORIGENES ECONOMICOS Y CIENTIFICOS DE LA REVOLUCION VERDE EN SAHEL

por
PROFESOR GILLES LEMIEUX
Departamento Ciencias de la Madera y del Bosque
Universidad Laval
QUÉBEC
Canada

Resumen

La rápida evolución de los conocimientos a lo largo de este último cuarto de siglo ha conducido a ciertas constataciones que asustan a más de uno, pero que son portadoras de una gran esperanza. La agricultura, en un principio actividad cosechera y después de producción, se ha adentrado por senderos marcados por la química, la física y la físico-química durante el siglo pasado. Los resultados obtenidos pueden considerarse como los más importantes desde que nuestra civilización existe. En el transcurso de las últimas décadas, los hechos nos incitan a pensar que hemos alcanzado un nivel, a partir del cual la rentabilidad de las técnicas es puesta en tela de juicio, con repercusiones sobre la industria, el valor de la moneda y la productividad real. Las dificultades económicas y sociales de las que somos testigos hoy son la prueba. Hemos optado por desarrollo sostenible en lo que respecta los recursos renovables, pero nos perdemos en conjeturas al tomar las tendencias actuales como un modelo a largo plazo.

Todo el mundo creyó que este hundimiento era exclusivo de los países del sur y que nuestros conocimientos preservarían a los del norte de las catastrofes anunciadas, aunque éstas se materializan bajo los más diversos aspectos. Así pues, desde el final de los años 70, ¿no hemos explorado sectores en los que la pobreza parece complacerse y desarrollarse, pero en presencia de todo género de riquezas? Mucha gente ve la riqueza solamente bajo la forma de metales, preciosos o abundantes, con importancia industrial y lo mismo para el bosque y la producción agrícola. La gestión de esta riqueza nos ha hecho olvidar colectivamente la mayor de todas: la vida, con todos sus componentes. Mientras pensábamos que los científicos se ocupaban del mar para mantener su fertilidad y productividad, nosotros hemos vuelto los ojos a lo que creíamos lo más humilde y mejor conocido: el suelo. Nuestra sorpresa fue total al constatar que todos los aspectos biológicos, es decir, la vida misma, con toda su complejidad y significación había sido considerada muy someramente, excepto en lo concerniente a la mineralización de los elementos nutritivos. Esto nos ha conducido a examinar con más detalle los procesos de humificación, cuyo modelo universal es el bosque.

Fue así como llegamos, en el correr de los años, a reconocer la relación existente entre la cima de los árboles y el suelo que los soporta. Los descubrimientos realizados en estos últimos diez años han puesto de relieve la importancia de la lignina y, más específicamente, aquella que está poco polimerizada, en la génesis y la fertilidad de los suelos forestales. Además de una alta concentración en elementos nutritivos, las ramas contienen una considerable energía bajo la forma de azúcares, celulosas, hemicelulosas y ligninas a lo que hay que añadir todos los aminoácidos y un gran número de proteínas, vitaminas, hormonas y enzimas. Hemos pensado, pues, en fragmentar esas ramas que, en todas las latitudes y en todos los tiempos, fueron consideradas como el símbolo mismo de la pobreza y de la decadencia, e incorporarlas al suelo o a los residuos vegetales superficiales, según se trate de la agricultura o de las ciencias forestales. Rápidamente los resultados se han traducido en importantes aumentos del rendimiento tanto en cultivos agrícolas extensivos como hortícolas así como en notables efectos sobre la germinación en el bosque.

Habiendo aceptado la hipótesis de que los procesos que observamos debían tener ámbito universal, emprendimos una serie de experiencias en África y Las Antillas. Los resultados fueron superiores a los obtenidos en climas templados, abriendo, con ello, la puerta a una revolución verde que no habíamos previsto en un principio. Es, precisamente, al integrar al suelo el conjunto de los elementos nutritivos y los mecanismos implicados en la creación y el mantenimiento de las cadenas tróficas como los suelos agrícolas

pasan a un régimen "forestal". Todo esto activa la "maquina biológica de producción" asegurando, a la vez, la gestión de los suelos, del agua y la disponibilidad de los nutrientes, cuando éstos son necesarios, evitando así el consumo inútil y la contaminación que esto trae consigo.

La solución más económica, en lo que respecta al África saheliana, nos parece que va ligada a la producción de madera rameal fragmentada (MRF), a partir de plantaciones mejor que destinar estas ramas a la combustión o al abandono. Los argumentos que aportaremos son importantes y merecen ser tomados en consideración desde el punto de vista social y económico, por razones biológicas, científicas e históricas.

Agradezco la invitación que me han hecho para dirigirles la palabra sobre un tema particularmente difícil, para el que pensamos poder aportar varios elementos nuevos y susceptibles de modificar las actuales tendencias, tanto en las regiones sahelianas como en otras partes del mundo.

Me permito, pues, establecer el contexto en el que se inscriben los diversos descubrimientos que han conducido a los temas que me propongo abordar. Dichos temas están ligados a las dificultades económicas y sociales perceptibles ya en los hechos, al comienzo de los años 70. Se han manifestado por la crisis del medio ambiente, fruto de un avance fulgurante de la técnica y de la productividad industrial.

Dos polos se hallan en el origen de nuestros descubrimientos, a saber, la pobreza en el medio forestal y la contaminación causada por los productos químicos utilizados en el blanqueo del papel, entre los cuales el mercurio fue identificado como el residuo más peligroso y pernicioso.

Utilizando la madera rameal fragmentada y tras mezclarla a los primeros centímetros del suelo, obtuvimos rendimientos agrícolas que oscilaban entre el 30 y 300%, según los cultivos y, todo esto, sin la utilización de abonos ni enmienda alguna. Por sorprende que parezca, la bibliografía científica nunca mencionó este material ni sus efectos. Al comienzo de los años 80, otros ensayos, en un medio forestal esta vez, revelaron sus efectos sobre la regeneración, la morfología del suelo, las reacciones físico-químicas, la flora, etc, sin que nadie sepa a qué atribuir tales modificaciones.

La percepción tradicional que poseemos sobre las ramas y el suelo nos colocaba de lleno en la óptica de los desechos que se desarrollaba rápidamente en esta época, y que ha llegado a ser la preocupación principal de nuestra sociedad industrial y urbana. Así pues, estas observaciones fueron relegadas a la categoría de hechos inexplicables, sin más. Sin embargo, al estudiar los distintos componentes de las ramas hubo que rendirse a la evidencia de que eran muy ricas en elementos nutritivos. Poseen una sustancia particular que es la lignina poco polimerizada bajo forma de monómeros fácilmente atacables biológicamente.

Al principio de nuestros trabajos, la famosa enfermedad de Minamata causada por el envenenamiento con el mercurio, forzó a los científicos, financiados por la gran

industria y los Estados, a encontrar nuevas técnicas para blanquear el papel, puesto que la lignina da una tonalidad inapropiada al papel. Así fue como debutaron en el mundo los importantes trabajos sobre la degradación de la lignina por vía enzimática, en particular, la de las coníferas. Por primera vez, se consagró un considerable esfuerzo a esta molécula extremadamente compleja y muy energética, que para la industria papelera no tenía la menor utilidad, por lo que era evacuada al medio ambiente, acompañada de productos secundarios, como los compuestos organomercurícos.

Fue diez años más tarde cuando encontramos en la bibliografía un artículo de dos eminentes investigadores europeos, los doctores Leisola, del *Finnish Sugar Institute*, y García, del Instituto Pasteur, que describían el papel desempeñado por varios enzimas en la producción del ácido húmico a partir de la lignina, el elemento principal de la pedogénesis, es decir, la formación del suelo y de su fertilidad.

Por vez primera, fuimos capaces de comprender mejor la forma en la que la madera rameal fragmentada (MRF) ejercía un impacto tan potente sobre los rendimientos, haciendo caso omiso de la presencia adicional de elementos nutritivos de naturaleza química, bajo la forma de fertilizantes de síntesis. También, por vez primera, tuvimos que abandonar el enfoque tradicional, es decir, el de la mineralización y su cortejo químico. Hemos aquí, lanzados sobre una pista biológica, pero esta vez, en una óptica forestal en la que, rápidamente, hubo que hacer frente a los partidarios del compost y del estiércol, en la lógica de los productos desechables, que tan cara le era a esta economía de fin de milenio.

Conviene subrayar aquí que todos los trabajos referentes a la lignina son realizados bajo una óptica de degradación, de transformación y de eliminación. No hemos encontrado ningún trabajo reciente sobre la agradación, es decir, sobre la estructuración energética del suelo a partir de los núcleos bencénicos incorporados al nuevo medio. Estamos aún en el período del desecho, en el que solamente se considera la degradación, sin la menor mención al fenómeno más importante: **la agradación energética, biológica y estructural del suelo, ese mundo viviente.**

Son las características de esta lignina las que han permitido al hombre desarrollarse por el mundo. Toda el Africa estuvo bajo el influjo del bosque de hoja caduca, en una época o en otra. El bosque tropical es de hoja caduca y, en esas condiciones, genera los mejores rendimientos tanto agrícolas como forestales. La Historia nos enseña que todo el Sahel estuvo un día bajo este tipo de bosque, que se va retirando con los golpes de la presión demográfica y de la evolución del clima que de ello se deriva.

Pese a que la hipótesis de que la lignina fuese la base del humus natural, haya sido enunciada en varias ocasiones, desde 1926, pocas personas le han prestado atención. Los trabajos más importantes y más recientes no aluden para nada a

esta evolución de la lignina. Todos tratan de comprender la degradación de esta molécula y no su evolución positiva. La transformación del humus en el suelo tiene como principal característica evolucionar, conservando intactos, o poco modificados, los núcleos bencénicos, que es la base de otros compuestos complejos, que aumentan la energía almacenada. Por el contrario, la mineralización consume y disminuye las reservas energéticas. Este fenómeno se inscribe en el campo de la entropía, al aumentar la energía y su dispersión en la materia, al contrario de la entalpía, caso de la mineralización, donde la energía es concentrada y expulsada de la materia. La agricultura actual no tiene en consideración más que el segundo fenómeno, es decir, la mineralización, con todas sus consecuencias inherentes: la degradación y la polución son dos de sus facetas bien conocidas. Lo mismo sucede en la agricultura tradicional, en la que se quemaban los residuos para liberar así los elementos nutritivos, con el consiguiente detrimento de la formación de cadenas tróficas.

LO QUE LA GEOGRAFIA Y LA HISTORIA NOS ENSEÑAN

Tras algunas observaciones, reflexiones y deducciones, llegamos, forzosamente, a la conclusión de que fue bajo las masas arbóreas de especies caducifolias donde se desarrollaron las grandes civilizaciones de nuestro planeta. Fue al utilizar los suelos de estos bosques cuando se encontraron los mejores rendimientos en todas las condiciones, en función del tiempo. La acumulación de riquezas se hizo realidad con el crecimiento de la población y de las distintas civilizaciones. **Todas las tentativas realizadas para utilizar los suelos derivados de los bosques de coníferas condujeron al fracaso, en todas las latitudes y en todos los climas.** Se han propuesto varias explicaciones para explicar estos fracasos pero, la verdad es que, nunca se ha logrado.

No puede decirse lo mismo de los suelos agrícolas derivados de formaciones de monocotiledóneas, generalmente fértiles, pero donde se manifiestan tendencias xéricas que hacen interesante el cultivo de gramíneas. Estas grandes formaciones herbáceas se encuentran tanto en las Américas como en Asia y, ocasionalmente, en Europa. En ellas se encuentran poblaciones de una densidad media. **La utilización de los suelos de manera intensiva conduce las más de las veces a la desertización total, parcial o temporal,** en estas condiciones climáticas precarias.

El bosque de hoja caduca, por doquier en el planeta, sería el responsable de la vida del Hombre y de un gran número de especies animales, como los Primates, nuestros parientes próximos. En estas condiciones es cuando la diversidad biológica es máxima. La desaparición de este bosque detiene el ciclo del agua y conduce, inexorablemente, a la desertización bajo los trópicos. Es cierto que grandes ciclos favorecen el paso de un estado al otro, asegurando así la adaptación y la creación de nuevas especies de las que, precisamente, nosotros somos un perfecto ejemplo.

De la misma forma que la Tierra posee una memoria debida a sus diferentes componentes, nos parece evidente que el suelo sea la memoria del bosque y que se transformará muy lentamente, conservando una reserva génica sin igual, que le permite reconstituir las condiciones necesarias para la elaboración de nuevos equilibrios biológicos. Sólo el bosque caducifolio posee verdaderas climax, tanto en medio templado como tropical, pudiendo aspirar a la "autoperpetuación" como sociedad, en tanto en cuanto los parámetros fundamentales permanezcan estables.

LA EXPERIMENTACION CANADIENSE, AFRICANA Y ANTILLANA

Después de haberse interrogado acerca de los resultados obtenidos al incorporar 150 m³/ha de madera rameal a los primeros centímetros del suelo, nos fue necesario proponer hipótesis de trabajo capaces de explicar los mecanismos causantes de dichos resultados. La primera hipótesis nos obligó a formular reglas amplias, capaces de conducir a la formulación de los principios fundamentales universales. Para conseguirlo era necesario verificar esta hipótesis bajo condiciones diferentes. Las nuestras, en clima templado, muestran un gran número de factores limitantes, muy diferentes de aquellos de los climas tropicales.

Al establecer como hipótesis de base que estábamos en presencia de un fenómeno universal, pues eso es la pedogénesis, establecimos los principios de experimentación. Fue así como estimamos que en control del ecosistema hipogeo estaba asegurado por factores biológicos más o menos claros cuyo tipo de lignina era la base y el centro. Se fijó el punto de partida y nos arriesgamos a la experimentación en Africa, en la región subsaheliana de Senegal así como en las Antillas, utilizando una sola y única especie, *Casuarina equisetifolia*. Al cabo de algunos meses nos llegaron los resultados: **nos confirmaban totalmente los que habíamos obtenido y, con frecuencia, multiplicados por un factor que variaba entre 4 y 6 para los cultivos hortícolas**. En Africa, los resultados son aún mejores, utilizando especies locales a medida que nos aproximamos al bosque ecuatorial. Tanto en Canadá como en Africa y las Antillas, **el aumento del rendimiento no se debe al abonado, es decir, a la adición de elementos nutritivos de naturaleza química**. Todos los parámetros biológicos, químicos, físico-químicos y físicos tienden hacia un equilibrio, cosa que discutiremos más tarde.

EL RETORNO A LOS EQUILIBRIOS BIOLÓGICOS FORESTALES EN MEDIOS AGRICOLAS

La Historia nos enseña que para hacerse un hueco en la vida, el Hombre ha tenido que luchar duramente contra el bosque y sus habitantes. De esta corta frase puede deducirse que el bosque precedió al Hombre sobre la faz de la tierra en

varios millones de años y, como consecuencia, un equilibrio suelo-bosque-animales imperturbable hasta hace poco tiempo. Dicho equilibrio, más o menos mantenido durante milenios en ausencia de la tecnología, ha sobrevivido con éxito a todas las guerras y epidemias imaginables.

La aparición de la fuerza motriz y los conocimientos aportados por la química han alterado todos estos equilibrios, mediante una carrera desenfrenada hacia la productividad expresada en volumen. La “**memoria**” del suelo, por ser inmensa, le hizo acusar el golpe, pero sólo en las condiciones más favorables. En otros sitios, sucedió la catástrofe. Si tal cosa no sucede aún, ya se está perfilando en el horizonte; no es que no seamos capaces de soslayar esta situación gracias a la técnica, es que será la economía quien pague las consecuencias. Todo está listo para un retorno a las guerras tribales, al hambre y a las epidemias gigantescas.

Ha sido de esta manera como hemos querido apostar para hacer la demostración de que los equilibrios microbiológicos del suelo eran el resultado de la historia de la evolución ecológica en medio forestal. La agricultura utilizará, de esta forma, las características físicas y biológicas propias de cada región en un incesante proceso de degradación, para una productividad cada vez mayor, pero cuyo mantenimiento artificial por la técnica alcanza costos que la economía soporta cada con más dificultad.

Es devolviendo al suelo la parte más productiva de los árboles del bosque como lograremos equilibrar todas las cadenas tróficas, en las que los elementos nutritivos permanecen cautivos, completamente al abrigo de los ciclos químicos y físico-químicos que, con tanto ardor, medimos desde hace más de un siglo. Es así como entramos en una serie de sistemas de regulación de elementos nutritivos estrictamente de orden biológico. Todas las reglas de la química del suelo quedan trastocadas, los ciclos y los controles se llevan a cabo ya sea por grupos de seres vivos o, simplemente, por cadenas constituidas por varios niveles de vida y, finalmente, por series de enzimas derivados de esta actividad.

Para que estos equilibrios se establezcan tras la “degradación agrícola” hay que proceder a la instalación de todos los mecanismos de **pedogénesis**, es decir, todos aquellos que contribuyen a la constitución del suelo y sus equilibrios de todo tipo. En clima templado, los bajos rendimientos han contribuido a mantener un cierto equilibrio, sobre todo en presencia del complejo arcillahumus, bien estructurado. En clima tropical, lo más frecuente en un medio forestal, la agricultura de rotación corta cultivo bosque es la que mejor ha protegido estos equilibrios. La tala de los árboles y el cultivo industrial constituyen una catástrofe sin nombre, de la que empezamos solamente a medir los efectos.

Ahora reconocemos que los suelos tropicales son relativamente pobres en elementos nutritivos, por razones que nos parecen hoy evidentes. La gran diversidad biológica en microorganismos y la energía disponible impedirían el

crecimiento de la vegetación superior, si los nutrientes no estuvieran almacenados en las ramas, más que en el mismo suelo. Recientes estudios realizados en la selva amazónica demuestran que todos los tipos de microorganismos viven igualmente en la cubierta de copas, pero en equilibrio con el soporte que es ahora estrictamente vegetal: las ramas de los grandes árboles y sus hojas.

A la luz de estos enunciados, se comprende más fácilmente por qué, cuando se reincorporan las ramas al suelo se obtienen rendimientos que nos asombran a veces. Nosotros cerramos un ciclo que la naturaleza se abstiene de hacerlo. Hay que preparar estas ramas para un ataque masivo por parte de los microorganismos y, particularmente, aquellos de una familia de hongos llamados **Basidiomicetos. Los elementos nutritivos contenidos en la MRF (madera rameal fragmentada), pasarán directamente a la masa de los hongos, de las bacterias, de los protozoos, de las algas y así sucesivamente, más bien que a la solución del suelo.** Quiero hacer hincapié aquí en que estos hongos son los más importantes, no las bacterias como es el caso en los compost.

El primer mecanismo implicado será, pues, la constitución de cadenas tróficas mientras que el segundo será la despolimerización de la lignina en dos componentes mayores: los ácidos húmicos y fúlvicos. No se trata de mecanismos de degradación, como muchos autores han pretendido hasta ahora bajo la óptica de la **mineralización**. Así pues, el ácido húmico derivado de la lignina es el primer constituyente de los agregados del suelo que, en presencia de la arcilla, forma este complejo arcillahumus responsable de la estabilidad y la fertilidad de los suelos. En clima tropical, los agregados formados son, a su vez, rápidamente metabolizados permitiendo la concentración de los elementos nutritivos en las partes verdes de las plantas.

Son los hongos Basidiomicetos y la despolimerización de la lignina, no su degradación, quienes hacen la MRF sea capaz de inducir los mecanismos básicos que rigen la **pedogénesis**, es decir, la creación y el mantenimiento de un suelo y de aumentar su contenido en energía y en elementos nutritivos asimilables por las plantas. Se trata de un **proceso entrópico** de origen forestal que nada tiene en común con las **técnicas entálpicas** actuales propias a la agricultura.

Fundamentalmente, **la transformación de la lignina es el punto en torno al cual gira toda la pedogénesis.** Su estructura química permitirá a otros mecanismos auxiliares producir mayores efectos, como la quelación del hierro y la producción de polifenoles así como sobre los mecanismos de podzolización o laterización, en ciertos casos.

La utilización de la MRF permitirá, pues, provocar y mantener suelos forestales en medios agrícolas y controlar su fertilidad y la estructura durante largos períodos: es como **la agricultura forestal sin árboles o el verdadero sector agroforestal**, la propia base del **desarrollo duradero**, tan buscado y con razón.

LA INTERPRETACION DEL EFECTO DE LA MRF SOBRE EL SUELO EXIGE CAMBIOS FUNDAMENTALES.

Si bien la regulación de los nutrientes es bien conocida en clima templado, no parece ocurrir lo mismo en clima tropical, lo que explicaría los sucesivos fracasos y la pobreza endémica de la mayoría de los habitantes de este planeta.

En clima templado, y solamente en presencia de depósitos finos de arcilla o limo, la regulación de los nutrientes queda asegurada, sobre todo, gracias al complejo arcilla-humus. Incluso bajo las mejores condiciones climáticas, la ausencia de este complejo conlleva repercusiones mayores sobre la población y la economía locales. Aunque las especies forestales precedentes hayan sido muy productivas, la productividad agrícola disminuye. Hay una falta de lógica fundamental que nosotros atribuimos tanto a la ignorancia como a las deficiencias técnicas.

Es necesario admitir, pues, que los aumentos de rendimiento, las modificaciones en la estructura del suelo, la utilización del agua y una reducción de parásitos y enfermedades, durante varios años y diversas condiciones climáticas, deben tener una profunda significación. En clima tropical se admite que los suelos bajo cubierta forestal son de mala calidad para las necesidades agrícolas. Sacamos, entonces, la conclusión de que si la productividad forestal es buena es porque las nutrientes se encuentran alojados en las mismas plantas y, en particular, en la cima de los árboles, el lugar inmediato de la fotosíntesis.

Esta hipótesis ha sido corroborada por la experimentación de Notto en Senegal, desde 1993, con un espectacular aumento de la producción de frutos de tomate amargo, *Solanum aethiopicum*, con la desaparición total de la fauna de nemátodos a nivel radicular. El segundo año, la cosecha dobló aún con la puesta en circulación de los nutrientes de la MRF de *Casuarina equisetifolia*. La experiencia fue repetida en Costa de Marfil con MRF procedente de distintas especies de hoja caduca: los resultados, en términos de materia seca, son del mismo orden, es decir, superiores a los del maíz.

La reticencia que hemos encontrado, y que aún sentimos, proviene, sin duda, de un error de interpretación de los mecanismos en juego y en los que la lignina de las caducifolias y la biomasa microbiana constituyen el motor. La agricultura actual se basa exclusivamente en la mineralización. Es la interpretación que se hace de la acción del compost y del estiércol. Con la MRF aportamos otra realidad muy distinta, mucho más importante y omnipresente, la de la pedogénesis, que pone en su sitio a todos los mecanismos biológicos y nutritivos. Esto nos permite “cebar la bomba” hacia una rectificación autoregulada, un instrumento para el hombre, según sus necesidades y sin igual hasta hoy.

Nos es necesario admitir que es la humificación de las cadenas tróficas inducidas la base de la fertilidad a corto, medio y largo plazo. Es el complejo **biomasa microbiana-humus** estable quien rige la disponibilidad de los nutrientes, así como

su dosificación apropiada para el crecimiento de la vegetación. En clima tropical, sería el complejo **biomasa microbiana-vegetación leñosa arborescente**.

Actualmente estamos en condiciones de mantener que la lignina de las caducifolias es más apta para estructurar los suelos y añadirles la energía necesaria para **constitución de cadenas tróficas capaces de regular cuali y cuantitativamente el flujo de nutrientes**. De la biomasa microbiana, creemos que son los Basidiomicetos los más importantes en la depolimerización de la lignina, que dará lugar a la formación de los ácidos húmicos y fúlvicos que son la base de la estructuración física y química del humus, primera fuente energética del suelo.

Por tanto, pensamos que el futuro reposa sobre una agricultura practicada sobre suelos forestales, sin la presencia de árboles; estos últimos pueden cultivarse únicamente para la producción de MRF. He aquí una afirmación que el comienzo de nuestros trabajos no nos permitía, en absoluto, formular.

Enunciamos aquí los fundamentos de una ley universal que vale tanto para el bosque como para la agricultura: **la dinámica de los nutrientes se lleva a cabo por medio de la biomasa microbiana controlada por la lignina y sus derivados**.

Como corolario a esta ley, proponemos que **los suelos agrícolas están regidos por los mecanismos forestales fundamentales los cuales giran en torno a la lignina y sus derivados**.

PROPOSICIONES CONCRETAS

Bajo la óptica deseada y deseable del desarrollo duradero, que nosotros hemos calificado, más bien, de **ecoviabilidad**, nos parece que ha llegado el momento de dar paso a las técnicas más adaptadas, a través de la **biodiversidad** que todos buscamos.

Los mecanismos que acabo de exponer son la base misma de la ecoviabilidad y la biodiversidad, siendo así que habíamos puesto el énfasis sobre la productividad, por alto que fuere su precio, la uniformidad y el volumen. No debería existir incompatibilidad entre la ecoviabilidad y la productividad, con tal de que comprendamos todas sus implicaciones.

De la misma forma que el bosque, al alcanzar la fase final en una sucesión vegetativa (clímax), parece eterno, con altos rendimientos, estas características podrían, a bajo coste, ser atribuidas a la agricultura, cuya base fuese la **humificación controlada**, al contrario, precisamente, de lo que sucede actualmente en el mundo, es decir, **mineralización incontrolada**.

Esto nos permite proponer que la agricultura y la dasonomía modernas, tanto en medios tropicales como templados, se rijan por los mecanismos de humificación basados sobre la constitución y el mantenimiento de las cadenas tróficas, en las que la lignina y sus derivados son responsables.

En una etapa inicial, la prioridad debería concederse a la producción de madera rameal, más que a la caulinar tradicional. En clima tropical, sobre todo subsaheliano, la producción debería ser más rápida y producir grandes volúmenes en pocos años, incluso meses. La simplicidad de las técnicas de fragmentación y de molienda, rápidamente asociada a aumentos de rendimientos espectaculares, se propagaría entre la población como fuego en rastrojera. Habría que tomar las medidas para que gran parte de la MRF producida se encamine hacia el sector forestal para aumentar lo más rápidamente posible la instalación de un bosque estable y productivo. Esa será la misión de los países que ayu dan dando y después prestando los fondos y la experiencia necesarios.

Con una serie de **técnicas ganadoras** como las que proponemos, deberían producirse grandes cambios en un plazo de 20 años. Más al sur, donde las precipitaciones son más abundantes, la utilización de especies locales, como fuente de MRF, debería contribuir ampliamente a estabilizar la población, pues de otra forma no sería factible.

Hay que reconocer, cueste lo que cueste, el valor de las plantaciones forestales para la producción de MRF. **Es de absoluta necesidad hacerlo para romper el ciclo infernal de la desertización, de la pobreza y de la inestabilidad física y social de la población.** Para llevarlo a cabo, hay que proceder lo más racionalmente posible y modificar un gran número de criterios de evaluación para la elección de proyectos y la atribución de fondos.

Una de las prioridades es modificar la elección de las especies actualmente favorecidas; dichas especies son utilizadas porque son independientes del suelo degradado, y pueden, no obstante, producir madera. La insistencia en querer hacer plantaciones partiendo de especies de origen australiano, como *Eucalyptus spp.*, *Casaurina equisetifolia*, *Acacia mangium*.. debe modificarse ya que estas especies rinden bien en sitios pobres y no poseen ninguna capacidad para mejorar el suelo, ni a medio ni a largo plazo. Hay que proceder a una selección más juiciosa como nos lo indican las experiencias de **Aman y Despatie**, en Bouaké (Costa de Marfil). Es necesario dar rápidamente, por vía experimental, el valor propio de la MRF de las distintas especies según los criterios deseados. **Una codificación de la flora dendrológica indígena y alóctona es un prioridad absoluta**

PLANIFICAR PAUSADAMENTE EL RETORNO DEL BOSQUE Y DE UNA AGRICULTURA SUBSIDIARIA

Me permito insistir aquí sobre la absoluta necesidad de apuntar hacia el retorno del bosque constituido de especies autóctonas, cuya **experiencia** es el fruto de millones de años. De la misma manera que nosotros, dichas especies son, a la vez, muy frágiles e increíblemente robustas, toda la paradoja de la vida sobre la tierra. La reconstitución de un suelo fértil debería permitir un retorno rápido y estable.

El retorno a la **biodiversidad** en los países sahelianos sería un justo retorno de las cosas, ya que parece que el fenómeno actual es parte integrante de la Historia de Africa. Tales esfuerzos estarían de acuerdo con el sentido de la Historia biológica de esta parte del globo. Nosotros pensamos que el uso de técnicas ligadas a la MRF representa la única solución científica y económica aceptable a medio y largo plazo. Puede ser iniciada y proseguida por los propios Africanos con la ayuda de los medios proporcionados o no por los países ricos de este planeta.

La normalización de esta región del mundo no puede hacerse sino reintroduciendo el bosque que desapareció y no mediante plantaciones monoespecíficas. La Historia nos enseña, dolorosamente, que las técnicas agrícolas desarrolladas en climas templados no son viables en climas tropicales, particularmente sahelianos. Hay que pasar por las horcas caudinas del saber y de la técnica para conocer las razones de nuestra ignorancia. Proponemos, pues, esta técnica simple cuyas resonancias científicas son extremadamente complejas y de un gran realidad!

Hay que invertir las tendencias **entálpicas** de esta parcela del planeta introduciendo en ella por vía técnica y voluntaria las tendencias **entrópicas**, estas leyes de la física que han permitido el desarrollo de nuestro mundo industrial. Hay que reorientar las inversiones de nuestros países desarrollados hacia cosas inéditas, pero de una lógica imperturbable. Es necesario contribuir al aumento de los conocimientos fundamentales específicos de este mundo particular que es el Sahel, sabiendo que contribuimos a las nuestras, ya que la pedogénesis es uno de los fenómenos más importantes de este planeta.

Es preciso conocer la necesidad de crear un organismo embrionario de obediencia internacional, cuyo único fin sería, en una primera fase, unificar a la vez la experiencia científica y la tradicional de las técnicas del suelo relacionadas con los mecanismos químicos y microbiológicos, pero asimismo antropogénicos, en lo tocante a la influencia sobre los climas, las enfermedades del Hombre y de los animales.

El conjunto de estas proposiciones fundamentales no son más que la clave para un cambio. Sería fácil perderla en las arenas de un desierto que ha llamado a la puerta de millones de individuos y que se prepara a hacer cosas aún peores. Cuando pienso en el porvenir de mis hijos en el mundo que nos hemos fabricado,

me dan más ganas de llorar que de reír, pero el retorno a la vida de este tesoro universal que es el suelo, me dice que no está todo perdido. Tras la noche llega la luz!

GLOSARIO

agradación: neologismo que indica la evolución de un proceso por enriquecimiento, lo inverso de la degradación.

agregados: conjunto de partículas ligadas unas a otras por un cemento de origen biológico, la base de la estructura del suelo. Es la base de la dinámica que sirve también de alimento a la vida microbiana.

agrodasonomía: técnicas de producción agrícolas bajo cubierta forestal pero, asimismo, sobre suelos agrícolas modificados por MRF.

alóctono: que procede de otra parte. Se dice de los árboles de origen extranjero que reemplazan a los árboles indígenas.

arcilloso-húmico: complejo que engloba una mezcla de humus y de arcilla, la base de los agregados, ellos mismos responsables de la fertilidad del suelo.

Basidiomicetos: familia de hongos con sombrerete de la que un gran número son comestibles y crecen en el bosque. Son los principales agentes para la utilización de la lignina, despolimerizándola pero sin romper los núcleos bencénicos.

bencénicos (núcleos): se denominan también *ciclos*. Molécula altamente energética relacionada con el benceno. Se los conoce asimismo como núcleos aromáticos.

biodiversidad: caracterización de un estado en el que las formas de vida son diversas reinando la armonía entre ellas. Por ejemplo: el bosque de caducifolias es el más diversificado tanto en su fauna como en su flora.

biomasa microbiana: conjunto de seres microscópicos que viven en el suelo.

caducifolio (bosque): conjunto de árboles Fanerógamos Dicotiledóneos, de hoja caduca o perenne formando un bosque

climácico: adjetivo que permite caracterizar todos los fenómenos relacionados con la clímax.

clímax: se dice de las comunidades vegetales en equilibrio con todos los factores del medio y que, como tal, se perpetúan.

compost: procede de materias orgánicas diversas sometidas al ataque microbiano que destruye su estructura emitiendo calor, y haciendo disponibles los nutrientes para las plantas.

coníferas (bosque): Bosque compuesto principalmente de coníferas o resinosas. Por ejemplo: el abetal, el pinar, el cedrero, etc.

degradación: conjunto de fenómenos que caracterizan la pérdida de la integridad de una sustancia o de un estado con una reducción de los valores energéticos.

dendrológica (flora): conjunto de especies leñosas de un bosque, de un país, etc.

desechable: adjetivo que designa todo lo relacionado con los desechos

desertización: conjunto de acciones del hombre y de la naturaleza que conducen a la formación de conjunto biológicos inmovilizados por ciertos factores límites, entre los que el agua es el más importante.

despolimerización: fenómeno propio de la química orgánica mediante el cual las moléculas se escinden en sus componentes básicos.

duradero: término propuesto por las agencias internacionales indicando una tendencia a la perennidad de la producción en armonía con la utilización. Ejemplo: desarrollo duradero, agricultura duradera. Suele emplearse también, como sinónimo, el término sostenible.

ecosistema: sistema biológico que permite a los seres vivos de distintos niveles vivir en armonía según ciclos más o menos próximos.

ecoviabilidad: neologismo que ilustra la necesidad de la armonía y de los ciclos cerrados con o sin referencia a la productividad en todos los sectores de la vida.

entalpía: término propio a la termodinámica que designa la suma de la energía interna sin referencia a su dispersión.

entropía: término propio a la termodinámica que califica el estado de desorden de un sistema en evolución hacia otro.

enzimas: moléculas de estructura compleja, de origen proteico, que ayudan, aumentan o permiten reacciones que serían muy difíciles, o imposibles, sin ellas.

estiércol: designación de la aplicación o de un fertilizante específico. Ejemplo: un estiércol nitrogenado u orgánico, etc.

fertilizantes: productos de origen químico u orgánico cuya utilización en agricultura tiene como fin aumentar la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos

flora: conjunto de plantas autótrofas que caracterizan una secuencia topográfica, una región o un país. Ejemplo: la flora de Quebec, la flora ribereña del San Lorenzo, la flora de las Praderas canadienses. El término se aplica, asimismo, a individuos heterótrofos que poseen un sistema digestivo, como, por ejemplo, la flora de la panza de los bóvidos

fragmentación: acción por la cual las ramas se reducen a fragmentos o virutas en carpintería

fúlvico (ácido): Uno de los dos ácidos, de bajo peso molecular, producido por la despolimerización de la lignina bajo la acción de la lignoperoxidasa dependiendo del manganeso o de la laccasa producidos por los basidiomicetos. Es uno de los elementos fundamentales en la pedogénesis.

génico (depósito): medio biológicamente muy diversificado donde los intercambios y la mutación de genes son posibles, a nivel de microorganismos.

gramíneas: plantas de hoja estrecha, pertenecientes a la monocotiledóneas, de las que forman parte la mayoría de las plantas alimentarias. Ejemplo: trigo, maíz, arroz.

hipogeo: se refiere a algo que está debajo lo contrario de epigeo, es decir, que está encima.

húmico (ácido): compuesto químico, de alto peso molecular originado de la despolimerización de la lignina, principal agente de la pedogénesis.

humificación: proceso natural por el que residuos naturales se transforman en humus.

humus: sustancia negra o pardocastaña, rico en derivados de la lignina, polifenoles, taninos y nutrientes, que constituye la base en la formación de los suelos, turbas, etc.

lateritas: suelo tropical originado por la subida del manto freático a causa de la evaporación que provoca la disociación del hierro, el aluminio y la sílice mediante un proceso llamado ferralización en el que los agentes biológicos juegan un papel muy importante.

materia orgánica: término genérico, de una gran ambigüedad que se refiere a los residuos orgánicos en el suelo sin referencia precisa al humus o a la humificación.

Minamata (enfermedad de): ciudad del archipiélago nipón que ha dado su nombre a una enfermedad del sistema nervioso causada por la ingestión de productos ricos en derivados orgánicos del mercurio.

mineralización: proceso de degradación que permite concentrar los elementos nutritivos químicos bajo la acción de los microorganismos del suelo.

monocotiledóneas: grupo de plantas vasculares caracterizadas por la presencia de un solo cotiledón en la germinación de la semilla, y que forman el grupo de las plantas cultivadas más importantes, bajo el punto de vista alimentario. Ejemplo: el trigo, el maíz, el arroz, la avena, la cebada, el centeno, el sorgo, la caña de azúcar, etc.

monómeros: molécula orgánica simple que puede dar lugar a complejos por polimerización, es decir, por nuevos enlaces que contribuyen a formar un conjunto en el que esta molécula

morfología (suelo): forma que adquiere el suelo a causa de su textura y de su estructura las cuales le confieren propiedades físicas y biológicas particulares.

MRF: Madera Rameal Fragmentada. Madera de las ramas, rica en elementos nutrientes, de un diámetro inferior a 7 cm y caracterizada por una lignina joven, poco polimerizada, asociada directamente a sistemas bioquímicos de una gran complejidad, una transición hacia la madera caulinar (tronco).

nemátodos: pequeños animales, las más de las veces microscópicos, del orden de los Nematelmintos, que viven parasitando plantas y animales.

nutrientes: conjunto de minerales y productos orgánicos que sirven para el crecimiento de las plantas.

organo-mercúrico: compuestos donde el mercurio se asocia a moléculas orgánicas que, con frecuencia, se comportan como poderosos tóxicos para el hombre, actuando sobre el sistema nervioso central.

pedogénesis: conjunto de procesos de origen natural que permiten la constitución de un suelo manteniendo las características dentro de una cierta dinámica. Esto permite la regulación de los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas y para el mantenimiento de los equilibrios biológicos hipogeos y epigeos.

podzoles: término de origen ruso para caracterizar los suelos que poseen un horizonte color ceniza eluvial, asociada a una hojarasca fibrosa, propia de los bosques de resinosas. Son numerosos los fenómenos químicos, bioquímicos y biológicos que entran en juego.

polifenoles: conjunto de compuestos derivados del fenol y formados por núcleos bencénicos.

quelación: fenómenos químicos naturales o artificiales que inactivan las moléculas aprisionándolas en un sistema complejo donde no pueden reaccionar.

química-física: ciencia que trata, a la vez, la química y la física en las propiedades que les corresponden. Ejemplo: la noción de pH, que mide la disociación de los iones hidrógeno.

radicular (o radical): todo lo relativo a las raíces o a su caracterización.

regeneración: proceso natural a través del cual la masa arbórea se regenera tanto por vía vegetativa como por plantitas de semilla, en asociación con la vegetación y con la fauna característica.

trituration: técnicas que permiten, mediante máquinas especializadas, reducir la madera a partículas; se denomina, también, fragmentación.

tróficas (cadenas): término por el que se designa el conjunto de plantas y animales que participan en la transformación de los tejidos vegetales y en la transferencia de nutrientes y de la energía del suelo hacia las plantas.

xérico: se dice de los medios que muestran una deficiencia en agua disponible para una vida óptima. Estas condiciones son creadas ya sea por el clima, la exposición o la textura y la morfología del suelo.

Octubre 1995

Editario por

Grupo de Coordinación sobre Madera Rameal

Departamento de la madera y Ciencias Forestales

Facultad de Ciencias Forestales y Geomática

Universidad Laval

Québec G1K 7P4

e mail.

gilles.Lemieux@sbf.ulaval.ca

<http://forestgomat.ffg.ulaval.ca/brf/>

FAX 418-656-5262

tel. 418-656-2131 poste 2837

ISBN: 2-921728-18-8