

INTRODUCCIÓN

Se consideran desechos orgánicos vegetales de la producción agrícola a los residuos de cosecha que están formados por los órganos aéreos y subterráneos de las plantas. También se denomina rastrojos a los residuos de la parte aérea que permanecen en la superficie del suelo después de la cosecha. La cantidad de residuos de cosecha que se aporta a un suelo depende de la biomasa alcanzada en un ciclo de producción.

Los residuos de cosecha aportan biomasa y nutrientes minerales al ser incorporados al suelo. La mayoría de los rastrojos que son aportados anualmente se hallan en un rango de 6.000 - 8.000 kg ha⁻¹, como materia seca, lo que significa un aporte de 3.000-3.500 kg ha⁻¹ de carbono y un contenido de nitrógeno que oscila alrededor de los 50 kg ha⁻¹, por lo que la quema de los rastrojos no sólo implica pérdida de N, sino también la disminución o detención en la acumulación de carbono orgánico necesario para abastecer de energía bioquímica y para la formación de nuevos materiales celulares de la biomasa del suelo.

Desde el punto de vista nutricional el aporte de fósforo en los rastrojos no es relevante, ya que la mayor concentración del mismo en los órganos vegetales está en las semillas de las especies cultivadas, por lo que es cosechado; no así el potasio, donde un alto contenido se concentra en los rastrojos; esto es especialmente importante en algunos cereales como el maíz cuya extracción puede alcanzar hasta 200 kg ha⁻¹ anualmente, cantidad que a veces supera al potasio de intercambio y dos tercios de esta extracción se encuentra en los residuos de cosecha (Rodríguez, 1992).

La adición de residuos vegetales influye positivamente en la cantidad y actividad de la biomasa microbiana; la mantención de una población microbiana estable y diversa promueve la estabilidad de los agregados del suelo a través de productos de síntesis que unen las partículas, tales como algunos mucílagos, influyendo diariamente en las propiedades físicas primarias del suelo.

La biomasa del suelo cumple dos funciones de importancia:

- por una parte, es la responsable de la transformación de todos los materiales orgánicos que el suelo recibe, y además,
- constituye, en sí, una reserva lábil de N, P y S.

De esta forma, la sustentabilidad de los agroecosistemas guarda una estrecha relación con el mantenimiento de la biomasa del suelo; la cual está determinada por el manejo. Es así como el manejo de los residuos, entre otros factores, regula la biomasa del suelo. La cantidad de los residuos de cosecha está en función de las condiciones del suelo, clima, manejo, potencial productivo de las especies cultivadas y la fracción cosechada.

Así, este trabajo de investigación tiene como propósito evaluar el cultivo de la frambuesa realizado por pequeños agricultores bajo dos modalidades de manejo, con y sin quema de residuos, para determinar si la práctica de picar e incorporar los rastrojos posee ventajas en el mediano plazo.

CAPITULO I

MARCO CONCEPTUAL

1.1 Bases Teóricas

El enfoque agroecológico de la agricultura propone una transformación productiva, considerando características ecológicas de los espacios territoriales lo que mejora la eficiencia y la capacidad de gestión de los actores, teniendo en cuenta la globalización de los mercados.

La agroecología como disciplina estudia, diseña y administra los agroecosistemas desde una perspectiva ecológico-ambiental, considerando aspectos económicos sociales y culturales; enfatiza la interrelación de todos los componentes del agroecosistema y la dinámica de los procesos ecológicos (Yurjevic, 1999).

Sus rasgos más relevantes son:

- Promover una amplia gama de tecnologías que aseguran continuidad de producción incluso en condiciones marginales.
- Rescatar el conocimiento campesino y considerarlo para generar estrategias productivas.
- Promueve los cultivos integrales con diseño agroecológico, que reducen la vulnerabilidad a las plagas, enfermedades y malezas lo que se traduce en una menor dependencia de insumos externos, menor requerimiento de capital y por lo tanto mayor viabilidad económica y ambiental.
- Busca una agricultura más productiva y diversificada, armónica con el medio ambiente y conservadora de los lazos comunitarios de las poblaciones rurales.

El sector en estudio está compuesto por pequeños agricultores del sector reformado ubicados en la zona central del país, donde se halla establecida mayoritariamente la agroindustria, la cual es sabido que emplea la tecnología de producción convencional. Ella ha influido fuertemente en la forma de trabajo del campesinado estableciendo una relación de cultivos contratados, principalmente para remolacha y tomate; además, los programas de transferencia tecnológica subsidiados por el Estado han promovido la aplicación de estas mismas técnicas.

Es más, el modelo económico de libre mercado despojado de un marco regulatorio ha puesto en riesgo el patrimonio de los pequeños agricultores, quienes ante la amenaza de perder la tierra y salir del sector rural, han modificado su sistema de producción, incorporando nuevos cultivos y participando en el mercado de manera asociativa. La asociatividad no ha sido fácil de lograr dada la idiosincrasia del campesino y el éxito que alcanzó el individualismo durante los últimos 30 años en Chile. A pesar de estos impedimentos se han consolidado cuatro asociaciones productivas las que agrupan alrededor de 150 agricultores en el sector. Estas organizaciones productivas han

implementado centros de acopio, procesamiento y congelado de la fruta con créditos financiados por el estado a través del Instituto de Desarrollo Agropecuario, Indap, logrando:

- Agregar valor a la producción.
- Regular los precios del producto.
- Evitar la dependencia de la agroindustria no sólo en lo económico sino también, reduciendo las aplicaciones de pesticidas debido a que el cultivo de la frambuesa posee baja incidencia de plagas y enfermedades en el sector.
- Entregar un servicio en forma transparente a sus asociados, permitiendo el acceso al control de calidad de la fruta.
- Generar trabajo a sus asociados especialmente para los jóvenes y para la mujer .
- Formar empresarios rurales campesinos.

Si bien se ha alcanzado una cierta estabilidad económica, la alta productividad del sistema (5000 - 8000 kg ha⁻¹ de frambuesas) no deja de ser una amenaza, especialmente para el recurso suelo debido a la alta extracción de nutrientes, más aún cuando **el retiro y quema de residuos de cosecha del cultivo** constituyen una práctica que degrada el recurso, colocando el agroecosistema en una situación de fragilidad y creando alta dependencia de insumos externos principalmente en lo que se refiere a aplicaciones de fertilizantes y uso de maquinaria para revertir el deterioro de las condiciones físicas que implica la pérdida de materia orgánica y carbono del suelo.

Para realizar las modificaciones conducentes a un manejo **agroecológico** se concibe entonces una etapa de **transición**, que consiste en un proceso de cambio en las prácticas agrícolas y de readecuación biológica del sistema agropecuario hasta alcanzar la **sustentabilidad**. El concepto de sustentabilidad es amplio y complejo ya que compromete factores socio-culturales, económicos y ecológicos que interactúan, los que tienen significado distinto a determinados niveles (localidad, region, país, etc.).

Como la toma de conciencia frente a los problemas ambientales asociados a la agricultura convencional ha crecido, muchos investigadores y organizaciones están debatiendo para definir lo que es "agricultura sustentable". Casi todas las definiciones enfatizan la mantención de la productividad y de la rentabilidad agrícola, minimizando los impactos ambientales. Sin embargo, ninguna de estas definiciones incorpora aspectos cuantitativos y la productividad de los recursos naturales aún no ha sido incorporada en definiciones de productividad agrícola. La noción de sustentabilidad agrícola ha sido, por lo tanto, de uso limitado para los que diseñan las políticas y los investigadores que intentan determinar los efectos de variadas políticas y tecnologías.

Adoptando una definición amplia, sustentabilidad significa que la actividad económica debería confrontar las necesidades comunes sin interferir en las opciones futuras. En otras palabras, los recursos que se necesitan en el futuro no deben agotarse para satisfacer las necesidades del consumo de hoy. (World Commission on Environment and Development, 1987).¹

¹ Fuente: <http://www.clades.org/r7-art5.htm>

Debido a la complejidad y amplitud de este concepto y a la cantidad de prácticas cuestionadas surge la necesidad de indicadores de sustentabilidad. En este aspecto se discuten distintas proposiciones de indicadores que suelen dar cuenta de sólo algunos aspectos de la sustentabilidad, no existiendo indicadores globales de dicho concepto que sean satisfactorios.

El propósito es alcanzar la sustentabilidad, logrando niveles de producción adecuados tanto en volumen como en calidad; por lo tanto se plantea un desafío tecnológico que permita la obtención de la sustentabilidad basado en:

- a) El uso de los recursos renovables a una tasa que no supere la tasa a la cual estos recursos se están generando.
- b) El aumento de la biodiversidad, mejorar el reciclaje y el uso de energía de tal modo de promover la resiliencia del sistema.
- c) Armonizar rentabilidad con estabilidad ecológica y sustentabilidad.

La situación presentada en este estudio requiere restablecer la armonía entre la rentabilidad económica y la estabilidad ecológica antes que se produzca un deterioro mayor de los recursos y el sistema productivo colapse. Por tanto es momento de comenzar con algunas prácticas que inicien una etapa de transición para lograr la meta de la sustentabilidad.

Como todos los aspectos que se relacionan con la conservación de suelos y su manejo apuntan a la intervención del hombre, este estudio discutirá prácticas agrícolas tendientes a:

- Mantener el nivel de C para los microorganismos.
- Regular agua y aire (evitar condiciones extremas).
- Evitar los cambios bruscos de temperatura (mantener una cubierta vegetal).
- Promover una estabilidad estructural.

Todas estas técnicas están relacionadas con el manejo de la materia orgánica que es la fuente de energía, de alimento y de sustancias bioactivadoras para la vida edáfica, cuyo principal aporte a este sistema lo entregan los residuos de cosecha.

El propósito de este estudio apunta a mejorar el entorno del sector agrícola, limitar las consecuencias nocivas de prácticas de manejo productivo y aumentar la capacidad de resiliencia de los recursos renovables, teniendo en cuenta los posibles efectos acumulativos.

Inserto en el concepto de multifuncionalidad de la agricultura se halla este trabajo cuyos propósitos son coincidentes con esta visión toda vez que :

- Propone potenciar la sustentabilidad del recurso suelo, al entregar antecedentes que contribuyan a modificar las actuales técnicas de manejo del recurso.

- Propone prácticas alternativas de manejo de los residuos, que puedan ser incorporadas en los programas de apoyo de las instituciones que regulan y norman el uso del fuego como técnica aceptada para la eliminación de rastrojos (CONAF, SAG).
- Valorar los residuos en términos económicos, estimulando el reciclaje y reduciendo el costo en insumos y labores de maquinaria especializada que ingresa al predio.

1.2 Revisión Bibliográfica

La mineralización de residuos en los agroecosistemas ha sido estudiada por numerosos investigadores y ha sido tratada ampliamente por Matus (1997) en Chile.

En los suelos se considera como “pool” lábil de la materia orgánica a los hidratos de carbono, los que desde un punto de vista agrícola, se pueden relacionar con la productividad, debido a los múltiples aportes y roles que desempeñan: regulación de la actividad biológica, agregación de los suelos, retención de agua en la zona rizosférica, solubilización y movilización de nutrientes (Borie *et. al.*, 1995)

La evolución de la mineralización en el tiempo ha sido descrita a través de la concepción de dos tasas diferentes de descomposición. Ellas representan dos pools de nitrógeno en el sistema, uno lábil y otro estabilizado. El primero aporta, en corto tiempo una pequeña cantidad de nitrógeno mineral. Matus y Rodríguez (1989) estimaron el suministro de nitrógeno del suelo, detectando que la mineralización provino en un 70% del pool de nitrógeno estabilizado del suelo y sólo un 30% del pool de nitrógeno lábil, el que estuvo determinado por el cultivo anterior. Sierra y Rodríguez demostraron que existe una clara incidencia en la intensidad de reciclaje de residuo sobre el nitrógeno mineral en determinados sistemas edafoclimáticos (citado por Varnero *et al.*, 1996).

Se ha establecido que bajo un régimen térmico y de reciclaje de residuos vegetales definidos, la acumulación de materia orgánica y nitrógeno orgánico están influenciados por las características texturales y las condiciones hídricas del suelo, observándose que existe una relación inversa entre el contenido de materia orgánica y el promedio anual de la temperatura del suelo. (Varnero *et al.*, 1996).

May *et al.* (1996) determinaron la mineralización e inmovilización del nitrógeno durante dos años en el suelo desnudo con y sin rastrojo, concluyendo que la mineralización en el suelo sin rastrojo está controlada por las variaciones de temperatura y humedad del suelo. La inmovilización se asoció con la descomposición de los rastrojos durante el proceso. Se concluyó que el nitrógeno mineral disponible es un importante factor que controla la descomposición de residuos de plantas bajo condiciones de campo.

Las fracciones más conocidas de nitrógeno del suelo son las proteínas (amino-nitrógeno), polímeros de amino- azúcares y amonio fijado en el complejo de intercambio de las arcillas 2:1; solamente un pequeño porcentaje del nitrógeno orgánico total del suelo se mineraliza fácilmente, como se ha mencionado antes. Las fuentes predominantes de mineralización son el amino- nitrógeno y los polímeros de amino-azúcares presentes en la biomasa microbiana del suelo. La biomasa microbiana se caracteriza por una estrecha relación C/N, en consecuencia su metabolización está asociada con una mineralización parcial de compuestos orgánicos. Por lo tanto, la mineralización del nitrógeno consiste en una secuencia de procesos enzimáticos en los que la biomasa microbiana viva provee las enzimas y la biomasa muerta, el substrato (Mengel, 1996).

Prácticas tales como la labranza, rotación de cultivos, manejo de residuos y fertilización, regulan la biomasa microbiana, la que interviene en los procesos de

descomposición de los residuos, ciclos de los nutrientes y transformación de la materia orgánica del suelo. De esta forma, por ejemplo, la adición de residuos vegetales o estiércol animal, influencia positivamente la actividad y cantidad de la biomasa microbiana. (Troncoso *et al.*, 1997).

La biomasa juega un doble papel en el suelo: como agente de transformación de todos los materiales orgánicos que llegan al suelo y también como una reserva lábil de N, P y S. La calidad ambiental y calidad sostenida de los ecosistemas están relacionadas con el mantenimiento de la biomasa microbiana del suelo la cual está fuertemente influenciada por el manejo. (Troncoso *et al.*, 1997).

Los organismos del suelo pueden además, promover una mayor estabilidad de los agregados del suelo por intermedio de varios mecanismos, tales como producción de gomas u mucílagos que unen las partículas y por el efecto de red de los organismos filamentosos. En consecuencia, la pérdida de materia orgánica y, en particular, pérdidas en el componente microbiano del suelo, pueden afectar adversamente las características físicas, biológicas y nutricionales del suelo (Troncoso *et al.*, 1997).

1.2.1 Descomposición de los residuos vegetales

Con tiempo suficiente, todos los compuestos vegetales, excepto los carbonizados, pueden descomponerse en los horizontes superficiales del suelo. Esta descomposición se realiza en dos etapas. Durante la fase rápida se descompone el nuevo substrato y, simultáneamente los microorganismos que componen la biomasa del suelo sintetizan productos secundarios. Esta nueva biomasa y sus productos metabólicos son, a su vez substratos para la segunda fase, que es mucho más lenta. (Wild, 1992)

En general los residuos vegetales con elevado contenido de lignina y otros polifenoles son más resistentes a la descomposición que los materiales pobres en estos compuestos. Las ligninas no son compuestos con estructuras determinadas, poseen una construcción compleja y diversa, sin embargo es de excepcional importancia el hecho que los productos primarios de descomposición de la lignina pueden reaccionar con otros compuestos y, en particular, con los productos de metabolismo de los microorganismos, dado que esto facilita el lento pero continuo proceso degradativo de la parte más resistente de la materia orgánica.

Existen relativamente pocos microorganismos capaces de degradar la lignina y son, además, exclusivamente aeróbicos; se piensa que las lignasas que producen necesitan peróxido de hidrógeno para actuar. No sólo resulta de difícil descomposición la lignina sino que a la vez, la celulosa y hemicelulosa, recubiertas de lignina, que forman parte de las paredes celulares se descomponen muy lentamente. Sin embargo, la lignina se degrada ininterrumpidamente, aunque con lentitud, en condiciones aeróbicas. (Wild, 1992).

A pesar que la lignina es resistente a la descomposición, en el proceso de humificación sufre alteraciones considerables, su participación en la formación de sustancias húmicas ocurre a través de la disgregación y liberación de unidades

estructurales, las cuales pueden condensarse con aminoácidos o proteínas y dar origen a las formas primarias de las sustancias húmicas (Kononova, 1982).

La gran diversidad de materiales vegetales que se incorporan al suelo, proporcionan a la microflora una gran variedad de sustancias heterogéneas tanto física como químicamente. Los constituyentes orgánicos de las plantas se dividen generalmente en seis amplios grupos:

- a) celulosa, el constituyente químico más abundante, cuya cantidad varía del 15 a 60% de peso seco.
- b) hemicelulosas, que forman frecuentemente del 10 al 30% del peso.
- c) lignina, que constituye del 5 a 30% de la planta.
- d) la fracción soluble en agua, que incluye azúcares simples, aminoácidos y ácidos alifáticos, que contribuye del 5 al 30% en peso del tejido.
- e) constituyentes solubles en alcohol y éter, fracción que contiene grasas, aceites, ceras, resinas y un número determinado de pigmentos.
- f) proteínas que tienen en su estructura la mayor parte del nitrógeno o azufre vegetal.

Los constituyentes minerales, generalmente determinados por el análisis de las cenizas varían del 1 al 13% del total del tejido (Alexander, 1996).

Conforme la planta envejece, el contenido de constituyentes solubles en agua, proteínas y minerales desciende y el porcentaje de la abundancia de la celulosa, hemicelulosa y lignina se eleva (Alexander, 1996).

1.2.2 Asimilación del carbono

La descomposición de la materia orgánica tiene dos funciones para la microflora: abastecerla de la energía suficiente para el crecimiento y suministrar el carbono necesario para la formación de nuevos materiales celulares. El dióxido de carbono, metano, ácidos orgánicos y alcohol, son meramente productos de desecho, que se liberan durante el desarrollo microbiano para la adquisición de energía. La característica principal de los habitantes del suelo es la captura de energía y carbono para la síntesis celular. (Alexander, 1996).

Al mismo tiempo que el carbono es asimilado para la generación de nuevo protoplasma hay una entrada concomitante de nitrógeno, fósforo, potasio y azufre.

Cualquier compuesto sintetizado biológicamente está sujeto a la destrucción por los habitantes del suelo; de no ser así, se acumularían en grandes cantidades en la superficie de la tierra (Alexander, 1996).

La mineralización es así un término conveniente usado para designar la conversión de compuestos orgánicos de un elemento al estado inorgánico (Alexander, 1996).

A partir de los datos de campo es posible demostrar que casi del 2 al 5% del carbono presente en el humus puede ser mineralizado por año. Así una porción importante de la materia orgánica es mineralizada cada año, pero la cantidad que se pierde es generalmente compensada por el retorno de materia orgánica proveniente de la vegetación (Alexander, 1996).

La magnitud de la mineralización del carbono está relacionada con el contenido de carbono orgánico en el suelo; es decir, la liberación de CO₂ es proporcional al nivel de materia orgánica (Alexander, 1996).

Se ha encontrado que los substratos frescos algunas veces aceleran y otras disminuyen la velocidad de descomposición del humus (Alexander, 1996).

También la temperatura, la humedad y el pH son variables críticas del medio ambiente. La descomposición del humus se puede llevar a cabo a temperatura por debajo del punto de congelación y se acelera con su aumento.

La mayor tasa de liberación del CO₂ se presenta cerca de la superficie del perfil, donde se encuentra la más alta concentración de restos vegetales (Alexander, 1996).

1.2.3 Degradación de los materiales carbonados agregados

La temperatura es una de las condiciones ambientales más importantes que determina la rapidez con la que los materiales naturales son metabolizados. Un cambio en la temperatura alterará la composición de las especies de la flora activa y al mismo tiempo tendrá una influencia directa sobre cada organismo de la comunidad. El metabolismo microbiano y por ende la mineralización del carbono es menor a temperaturas bajas, más que a altas temperaturas y el calor está asociado con una mayor liberación de CO₂. A 5°C ocurre una apreciable degradación de materia orgánica y posiblemente ocurra también a valores menores de temperatura, pero la degradación del tejido vegetal incrementa conforme se eleva la temperatura; también desaparecen fácilmente las constituyentes individuales de la planta. Las máximas tasas de descomposición se llevan a cabo a temperaturas que van de 30 a 35, 37 y 40°C (Alexander, 1996).

El nitrógeno es una sustancia nutritiva clave para el crecimiento microbiano y por ende para la degradación de materia orgánica (Alexander, 1996).

Cierto número de investigadores ha reportado que la tasa de descomposición de los materiales vegetales depende del contenido de nitrógeno de los tejidos, siendo metabolizados más rápidamente los substratos ricos en proteínas. Esto puede observarse si los residuos vegetales están arreglados en orden descendente de tasas de mineralización: trébol dulce (3,14% de N), alfalfa (3,07%), un grupo que contiene trébol rojo (2,20%), soya (1,73%). Así, un bajo contenido de nitrógeno o una amplia relación C/N se asocia con una lenta degradación (Alexander, 1996).

Como regla general, las células microbianas contienen 5 a 15 partes de carbono por una parte de nitrógeno, pero 10:1 es un promedio razonable para la flora predominantemente aeróbica (Alexander, 1996).

La velocidad de descomposición también está regida por el tamaño de las partículas orgánicas sujetas a ataque. Como regla general los materiales de partículas pequeñas son degradados más fácilmente que los de partículas más grandes (Alexander, 1996).

Los tejidos en los cuales el 20 al 30% de la materia seca es soluble en agua, la descomposición se lleva a cabo rápidamente (Alexander, 1996).

Las ligninas son altamente resistentes y consecuentemente empiezan a ser de manera relativa más abundantes en la materia orgánica residual en descomposición (Alexander, 1996).

Actualmente no se cuenta con un conjunto adecuado de índices para evaluar la sustentabilidad de las prácticas agronómicas en relación al suelo. La labranza indiscriminada del suelo, la aplicación de grandes cantidades de energía, el monocultivo y la quema o remoción de los residuos de cosecha, no son técnicas compatibles con el concepto de agricultura sostenible, particularmente en lo referente a la situación de la biomasa microbiana (Vidal *et al.*, 1997).

El rango normal del C-biomasa (biomasa microbiana expresada en función de su contenido de carbono) en suelos bajo cultivo de cereales es de 100 a 600 mg kg⁻¹ y puede exceder 1.500 mg kg⁻¹ bajo pradera o en condiciones de suelo virgen (Vidal *et al.*, 1997).

Sparling *et al.*, (1992), informan que después de 11 años de maíz continuo, el C-biomasa se redujo en un intervalo de 54 a 60% en los primeros 20 cm de suelo, en comparación con pradera permanente. Se presentó además una estrecha correlación positiva con la estabilidad de los agregados del suelo. Por otro lado, Collins *et al.* (1992), en relación al manejo de residuos, en un ensayo de larga duración, reportaron una reducción del 57% en C-biomasa cuando se procedió a quemar el rastrojo (citados por Vidal *et al.*, 1997).

En la mayoría de los suelos los organismos vivos forman sólo 1-3% de la materia orgánica total. Sin embargo la biomasa del suelo ejerce una importante influencia en el ciclo del C y de los nutrientes en general a través de la oxidación de la materia orgánica y de la reserva de C y nutrientes minerales (Mohammad *et al.*, 1996).

La productividad del suelo depende principalmente de la cantidad de nutrientes disponibles de los cuales una cantidad significativa es derivada a la biomasa del suelo. Una parte de la población microbiana, normalmente muere debido a los cambios en las condiciones ambientales. Estas células muertas pueden ser fácilmente descompuestas y mineralizadas para la sobrevivencia de los microorganismos. Los materiales orgánicos agregados al suelo suministran energía a través de su descomposición y estimulan la actividad microbiana; este proceso está afectado por la calidad y cantidad de la materia

orgánica y por factores ambientales como temperatura y humedad (Mohammad *et al.*, 1996).

Las tasa de respiración del suelo presenta óptimos térmicos. Estos óptimos se ubicarían entre los 20 y 30°C el primero, y próximo a los 60°C el segundo, tendencia que se mantiene entre tensiones de humedad de -0,3 bares y -15 bares (Varnero *et al.*, 1987).

Cuando el suelo se encuentra próximo al punto de marchitez permanente (-15 bares), el efecto de la temperatura sobre la respiración del suelo se ve considerablemente atenuado. La ausencia de significación estadística, sugiere que la respiración es relativamente independiente de la temperatura cuando el suelo se deseca (Varnero *et al.*, 1987).

Sin duda la temperatura es uno de los factores más importantes que regulan la tasa de descomposición de la materia orgánica. De esta forma, se ha comprobado que la acumulación de N llega a un máximo entre las 4-6 semanas en una incubación a 23-30°C de rastrojos de arroz en verde. Por otro lado, la temperatura influye en la biomasa microbial, así, a bajas temperaturas (15°C) la cantidad de biomasa aumenta lentamente hasta el día 42 de la incorporación de rastrojos, y después disminuye. En contraste, a altas temperaturas (25 a 35°C) la cantidad de biomasa aumenta rápidamente dentro de 7 días y después disminuye más rápidamente a 35°C que a 25°C. Puede considerarse que en estos rangos de temperaturas las sustancias orgánicas más solubles son descompuestas rápidamente y los nutrientes liberados son probablemente inmovilizados de inmediato, dentro de los microorganismos (Mohammad *et al.*, 1996).

La relación C mineralizado/ N inmovilizado disminuye a medida que avanza la descomposición; esto sugiere que hay una alta demanda de N durante los primeros estados de descomposición cuando los compuestos solubles y altamente degradables son mineralizados, mientras, la demanda de N es menor cuando más compuestos de C de difícil degradación son usados. La diferencia puede ser explicada porque las bacterias son los principales descomponedores de los compuestos solubles, mientras los hongos los principales responsables de la descomposición de celulosa y lignina y porque la relación C/N de las bacterias es más baja que la de los hongos. La asimilación de C podría reducir los rendimientos cuando una mayor cantidad de substratos de degradación lenta son descompuestos; esta situación se explica porque la producción y secreción de las enzimas requeridas para la degradación de lignina y celulosa, implica un gasto adicional para los organismos descomponedores, por lo que menos C sería usado para la biosíntesis (Recous *et al.*, 1995).

La cantidad de N inmovilizado durante la descomposición de paja de trigo en condiciones de campo es 13 mg de N por gramo de C agregado a bajo contenido de N en la capa de 0-20 cm, y 32 mg de N por gramo de C en la misma capa, pero en suelo rico en N. Por lo tanto, se puede decir que la disponibilidad de N no sólo influye en las tasas de descomposición de los pools de C involucrados, sino que también modifica la relación C/N (Recous *et al.*, 1995).

La incorporación de los rastrojos después de la cosecha aumenta el contenido de N en el suelo; de esta forma con 4-8 mg de N por gramo de rastrojo y 5 ton de rastrojo por hectárea contribuyen con 20-40 kg ha⁻¹ de N. Debido a la alta relación C/N, el N es inmovilizado por los microorganismos, parte de éste es nitrato que de otra forma se habría perdido por lixiviación durante el otoño e invierno. Christensen (1986) encontró una inmovilización neta de 1.0-3.2 mg N por gramo de paja de cereal. Thomsen (1993) observó que 0.7-1.2 mg del N del suelo por gramo de rastrojo fue inmovilizado en la biomasa microbial. Powlson *et al.* (1985), encontró que la incorporación de 3 ton ha⁻¹ de rastrojo conservó alrededor de 40 kg de N, del cual 20 kg o 7 mg N por gramo de rastrojo, fue N inorgánico. Ocio *et al.* (1991), observaron un rápido aumento del N de la biomasa de alrededor de 5 mg N por gramo de rastrojo (citados por Christiensen y Olesen, 1998).

De este modo, la incorporación de 5 ton de rastrojo puede inmovilizar 5-35 kg de N. En total la incorporación de rastrojos puede agregar 25-75 kg N ha⁻¹ al pool de N orgánico al año (Christiensen y Olesen, 1998).

Sucesivas incorporaciones anuales de rastrojos aumentan el contenido de C a una tasa proporcional a la cual es agregada (Christiensen y Olesen, 1998).

1.2.4 Mineralización anaeróbica del carbono

Los principales productos de la mineralización aeróbica del carbono son CO₂, agua, células y componentes del humus. En ausencia de O₂ el carbono orgánico no es metabolizado totalmente, se acumulan sustancias intermediarias y se liberan abundantes cantidades de CH₄ y pequeñas cantidades de H₂. Al mismo tiempo la energía producida durante la fermentación anaeróbica es baja, dando como resultado la formación de menos células microbianas por unidad de carbono orgánico degradada. En consecuencia, la materia orgánica degradada es consistentemente menor bajo anaerobiosis total que en medios que contienen una cantidad adecuada de O₂. La proporción en suelos inundados es intermedia entre los dos extremos (Alexander, 1996).

Cuando un suelo es inundado o anegado hay un cambio de transformaciones de aeróbicas a anaeróbicas. Como resultado de este cambio una variedad de productos se acumula, algunos en cantidades apreciables. Conforme el O₂, se metaboliza y se pierde, aparece CH₄ y H₂ además de CO₂. La cantidad de CH₄ frecuentemente es grande, pero la cantidad de H₂ es invariablemente pequeña (Alexander, 1996).

Los ácidos orgánicos se acumulan debido al carácter fermentativo de la microflora de los suelos húmedos, en campos inundados los ácidos dominantes son frecuentemente ácido acético, fórmico y butírico, aunque también aparecen ácido láctico y succínico. Los alcoholes simples y varios compuestos carbonílicos también se acumulan cuando el suelo carente de O₂ recibe moléculas orgánicas simples. Los ácidos orgánicos, alcoholes, H₂ y posiblemente otras moléculas orgánicas simples sirven como fuente de energía para las bacterias que producen el CH₄ en estos hábitats. Las transformaciones anaeróbicas del carbono están de esta manera caracterizadas por la formación de ácidos orgánicos, alcoholes, CH₄ y CO₂, como productos finales principales (Alexander, 1996).

1.2.5 Flora

Cuando los tejidos suculentos de los vegetales se incorporan al suelo, la abundancia de las bacterias alrededor y dentro de los materiales enterrados se incrementa rápidamente. Un incremento en el número de bacterias ocurre solamente de manera directa sobre la sustancia vegetal, alcanzando aquí la población de 10^{10} por gramo en la primera semana, mientras que las cantidades de bacterias viables en los suelos adyacentes no se alteran marcadamente. Alrededor del séptimo día el número de bacterias es esencialmente el mismo que en suelos no tratados. Hay un aumento concordante seguido por una disminución subsecuente en el número de protozoarios, siendo los cambios paralelos con las fluctuaciones bacterianas. De cualquier manera, el conteo de hongos y actinomicetos en placa, no se afecta con la descomposición de vegetales jóvenes. Los residuos maduros de cultivo, que tienen una composición química diferente de la de los tejidos suculentos, contienen una flora mejor adaptada para utilizar compuestos carbonados resistentes. Esta población es principalmente fúngica, aunque también se puede estimular en cierta medida a las bacterias y actinomicetos (Alexander, 1996).

Los substratos ricos en aminoácidos, tales como la peptona, estimulan a los bacilos formadores de esporas. La flora relacionada con la descomposición del humus difiere de aquella involucrada con la degradación de materiales vegetales recientemente agregados (Alexander, 1996).

Al igual que los hongos, los actinomicetos mejoran la estructura de los suelos al secretar sustancias gomosas repelentes al agua. En general los hongos aceleran el ciclado de los nutrientes. Una de las primeras evidencias de la descomposición de algunos materiales orgánicos es la aparición del micelio del hongo que son masas vegetativas filamentosas que es común ver en muchos alimentos podridos. Los hongos descomponen vigorosamente la materia orgánica y rápidamente atacan la celulosa, ligninas, gomas y otros compuestos, algunos de gran complejidad. Esta actividad la realizan a través de la secreción de una significativa cantidad de ácidos orgánicos débiles, especialmente de algunos con gran capacidad quelante y por la acción de un complejo sistema enzimático formado entre otras por celulasas, proteasas, ligninasas, amilasas, esterases, etc. Los hongos también compiten con las plantas por nutrientes provenientes de la descomposición de residuos en especial por fósforo, azufre y nitrógeno, provocando una inmovilización transitoria o momentánea de ellos (Borie, 1994).

La velocidad de descomposición de los rastrojos es variable dependiendo de la relación C/N que tengan sus constituyentes. EL humus del suelo tiene una relación C/N de 11:1 y la de los hongos 10:1. De este modo, cuando los rastrojos provienen de una leguminosa, como alfalfa, con relación 13:1, la velocidad de descomposición es muy lenta, porque la población microbiana disminuye. Cuando se adiciona nitrógeno a través de fertilizantes, la velocidad de descomposición aumenta porque se incrementan los hongos, existiendo una inmovilización de este elemento, porque parte de él se gasta en la formación de protoplasma fúngico (Borie, 1994).

Si bien se dice que con la quema de los rastrojos o roce la disminución en el número de microorganismos es transitoria y que nuevamente el suelo superficial es colonizado por los microbios de capas más profundas, la actividad desarrollada por éstos se pierde irreversiblemente. Así, las hifas, sustancias gomosas, canalículos, etc. -indispensables en la agregación del suelo-, son destruidos, lo mismo que las enzimas y hormonas secretadas por los microorganismos, las que se han acumulado a través del tiempo (Borie, 1994).

1.2.6 Influencia de la arcilla sobre la descomposición de la materia orgánica

La biomasa y los metabolitos formados durante la primera fase del proceso de descomposición están fuertemente influidos por la textura del suelo, ya que los arcillosos retienen mucho más materia orgánica que los arenosos. En un suelo arcilloso, el material procedente de la celulosa se convirtió en C de los aminoácidos en cantidad superior al doble que en el suelo arenoso. Las arcillas pueden proteger la materia orgánica de diferentes formas (Wild, 1992).

La cantidad y tipo de arcilla en el suelo tienen relación con la mineralización del carbono, debido a que las arcillas absorben muchos substratos orgánicos, enzimas extracelulares que fraccionan carbohidratos, producidas por los microorganismos, y aun células bacterianas. Las arcillas tienen una marcada capacidad de retención de carbono, suprimiéndose la descomposición en su presencia. Más aún, la adición de ciertas arcillas a medios de cultivo, inoculados con enriquecimientos de suelo, retardan la degradación de una variedad de substratos (Alexander, 1996).

Se ha comprobado que las diferencias en la estructura y propiedades físicas entre caolinitas y montmorillonita influyen las actividades microbiológicas y bioquímicas, y por consiguiente la dinámica de la descomposición, así, la descomposición de la materia orgánica es rápida en montmorillonita y al mismo tiempo el principal material humificado lo constituyen los ácidos fúlvicos. En contraste, la descomposición es lenta en la caolinita, dejando mucho carbono residual y además, en este caso, los ácidos húmicos son el principal producto humificado. (D'Acqui, *et al.*, 1998).

Además la incorporación de residuos orgánicos tiene un efecto sobre la organización microestructural de las partículas y sobre el desarrollo de nuevas clases de poros (D'Acqui, *et al.*, 1998).

CAPÍTULO II

2.1 El problema

La forma como se manejan tradicionalmente los residuos vegetales en Chile ha sido:

1. Retirar los rastrojos del suelo a preparar.
2. Quemarlos.
3. Una fracción menor que la producida se incorpora anualmente.

Las situaciones 1 y 2 implican pérdida en fertilidad física, química y biológica, así como en biodiversidad y no son prácticas compatibles con una agricultura sustentable. Esto se ha traducido en un problema que desde el punto de vista del manejo de los residuos de cosecha, también se incrementa, debido a que la utilización del suelo se ha intensificado en el país durante los últimos 30 años a un ritmo que involucra la consecución de más de un cultivo al año en una proporción creciente de la superficie con uso agropecuario y al mismo tiempo con rendimientos asociados a importantes incrementos unitarios.

El manejo de los rastrojos no sólo depende de su naturaleza sino también del volumen total producido en un predio, el cual está en relación con su superficie, dado que por sobre ciertas magnitudes se dificulta especialmente el trabajo sobre los rastrojos. Estos aspectos afectan la decisión de manejo por lo que las soluciones pueden ir desde compostar para superficies pequeñas, hasta comprar maquinaria para trozar el rastrojo, para superficies mayores.

La solución que se aplica en forma mayoritaria es la quema de rastrojos, debiendo organizarse calendarios de quemas controladas hacia el final de la temporada agrícola. Estas quemas son autorizadas y supervisadas por la Corporación Nacional Forestal (CONAF). El período de quemas comprende los meses de noviembre a abril, efectuándose en este último mes la casi totalidad de ellas.

Una causa importante de la reducción de fertilidad en los suelos agrícolas chilenos ha sido esta mala práctica que significa pérdida de materia orgánica, alcanzando su máxima expresión en los suelos de secano donde, junto con la topografía del sector colabora al proceso de erosión. Se estima que en 1988 se quemaron 400.000 ha lo que destruyó 1.200.000 ton de residuos de cosecha, equivalentes al 25% de la superficie sembrada del país, afectando no solamente las áreas agrícolas y forestales comprometidas, sino a la calidad del aire en las ciudades a través del humo que se genera con esta práctica. (Crovetto, 1992).

Parte del problema reside en la aprehensión de los agricultores para que las labores mecánicas se realicen satisfactoriamente de modo que el siguiente cultivo no se vea afectado y a su vez el suelo se encuentre en condiciones mecánicas, así como químicas y biológicas para responder a los requerimientos nutricionales.

Diversas razones justifican la quema entre las que es preciso considerar:

- Falta de tiempo para preparar el suelo del siguiente cultivo.
- Falta de maquinaria para trozar los residuos asociado al capital de trabajo limitado.
- Escasez de mano de obra para manejos alternativos

En la VII región durante la temporada 97/98 se avisaron 1596 quemas agrícolas cubriendo una superficie de 12.466,62 ha (Informe estadístico, Manejo del fuego Temporada 97/98, CONAF). La Figura 1 muestra la evolución de la superficie afectada por quemas agrícolas avisadas en la VII región entre 1992 y 1999, en diferentes provincias.

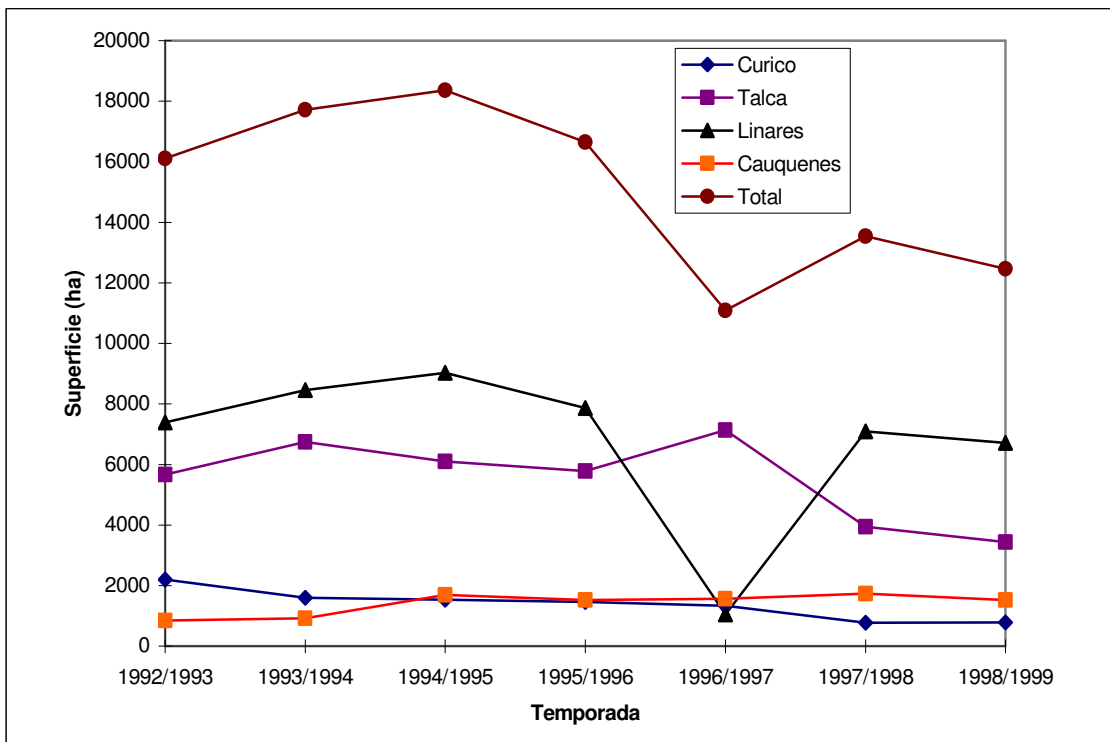


Figura 1. Evolución de la superficie afectada por quemas agrícolas avisadas en la VII región entre 1992 y 1999, en diferentes provincias.

La provincia de Curicó es una zona eminentemente frutícola; con superficies importantes de especies como berries, vides viníferas, manzanos, perales y kiwis, presenta el problema de los rastrojos en este tipo de huertos como también en rastrojos de algunos cultivos anuales menos importantes como trigo, maíz y frejol que forman parte de la rotación de los sistemas productivos de la pequeña y mediana agricultura. En términos de protección ambiental la quema es una práctica no deseada en la agricultura, menos cuando la tendencia general es hacia una actividad más respetuosa del medio ambiente, de modo que las medidas que faciliten la tarea de incorporar rastrojos resultan de gran interés. Entre ellas se encuentran diversos tipos de implementos que incorporan mecánicamente los rastrojos.

Sin embargo, los tiempos de descomposición de residuos suelen no armonizarse con el siguiente cultivo o período de producción, por lo que la posibilidad de intervenir más activamente en el proceso de descomposición biológica es la que ofrece soluciones más próximas a los principios agroecológicos y harían cambiar las prácticas actuales.

El nivel de reciclaje de materiales orgánicos en un sistema, es un indicador de la capacidad de este para absorber residuos, reutilizar nutrientes minerales, hacer más eficiente el uso de la energía y del potencial de la biomasa en el sentido de modificar la actividad bioquímica del suelo y permite evaluar la tendencia a la sustentabilidad desde la perspectiva del impacto que tienen las prácticas utilizadas a nivel predial (Venegas,1999) .

La incorporación de rastrojos constituye además un aporte de materia orgánica indispensable para el mantenimiento de la micro y mesovida del suelo como también de su bioestructura y productividad; cuanto más intensa sea la descomposición de restos vegetales y cuanto más activa la formación de sustancias intermediarias de descomposición mayor será el efecto que tendrá sobre la estructura del suelo (Primavesi,1982).

2.2 Hipótesis de trabajo

La incorporación de residuos de cosecha al suelo, en agroecosistemas productores de frambuesa incrementa la sustentabilidad de ellos.

2.3 Aportes esperados

1. De acuerdo a los antecedentes revisados proponer prácticas de manejo alternativas que aceleren el proceso de descomposición de rastrojos, en condiciones de clima templado.
2. Potenciar la sustentabilidad del recurso suelo. Entregar antecedentes que permitan discutir las actuales técnicas de manejo del recurso suelo.
3. Proponer prácticas alternativas de manejo de residuos que puedan ser estudiadas por las instituciones (CONAF, SAG) que regulan y norman el uso del fuego como técnica aceptada para la eliminación de rastrojos.
4. Valorar los residuos en términos económicos.
 - Reducir los insumos que ingresan al predio.
 - Reducir el número de labores en maquinaria especializada tendiente a mejorar la estructura del suelo.
 - Aumentar los niveles de materia orgánica del suelo.

2.4 Contribuciones

- Organizaciones de productores: valorar económicamente los residuos
- Instituciones estatales (CONAF, SAG): diseñar sistemas de fomento o subsidios para la utilización de los rastrojos.
- Municipio: mejorar calidad del aire para los vecinos
- Universidades y escuelas agrícolas: promover tecnología y formar profesionales en el ámbito de la agricultura sustentable.