



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
Facultad de Ciencias Agrarias

ESPECIALIZACION EN MANEJO DE RECURSOS FORESTALES

TRABAJO FINAL INTEGRADOR

QUEMA DE RESÍDUOS DE TALA RASA EN EL MANEJO DE BOSQUES IMPLANTADOS

Alumno

Ing. Agr. Carlos Leandro Stefan

Tutor

Profesor Dr. Juan José Neiff, M. Sc

Octubre 2018

RESUMEN

Las quemas para reducción de residuos forestales, posterior a la cosecha es una práctica habitual en Corrientes. Sus efectos ecológicos sobre el sitio, tienen importancia en el manejo de corto y mediano término, por eso es importante conocer las implicancias de este procedimiento y la afectación a nivel de algunos indicadores bióticos. La información disponible es incipiente, y no hay antecedentes para la Provincia de Corrientes, por lo que este estudio intenta una puesta al día del tema, basada en la revisión bibliográfica e investigaciones en curso. Analizar las características de los combustibles forestales, su potencial calórico y los efectos de las quemas en la descomposición de materia orgánica y en la fauna del suelo. Se realizó un ensayo de campo en el establecimiento Toro Cuaré, situado en el área de Lomadas Arenosas de Corrientes, con el objeto de: 1) evaluar el efecto directo de la quema de residuos de cosecha, midiendo las temperaturas en y sobre el suelo; 2) valorar el efecto de esta operación de quema, sobre la fauna de macroinvertebrados del suelo; 3) estimar el efecto de esta quema sobre la tasa de descomposición de la materia orgánica, con posterioridad a la misma. Los resultados indican que el aumento de las temperaturas durante la quema, sobre el suelo son significativamente inferiores a los alcanzados en el cono de la llama a 60-80cm del suelo. y que este incremento ocurre durante pocos minutos. En el interior del suelo el aumento térmico en este ensayo, no fue suficiente para producir la muerte de los organismos que viven en los primeros cinco centímetros y no producen efectos adversos a mayor profundidad. Al parecer, la velocidad de descomposición de la hojarasca y la recuperación de la población de invertebrados resulta afectada por un corto período y no retarda el ciclo de producción que es de 18-22 años. En esta contribución no se estudió el aporte de gases de efecto invernadero a la atmósfera requiere estudios a tal fin, considerando también que la eliminación de los residuos forestales, facilita el inicio de un nuevo ciclo de plantación que permite la captura de carbono de la atmósfera que deberá analizarse en la relación costo/beneficio de las quemas de residuos forestales.

Palabras claves: Fuego, residuos forestales, sustentabilidad, descomposición de la hojarasca, fauna del suelo, pinos.

ABSTRACT

Post-harvest burning to reduce forest residues is a common practice in Corrientes. Its ecological effects on the site, have importance in the management of short and medium term, so it is important to know the implications of this procedure and affect some biotic indicators. The information available is incipient, and there is no background for the Province of Corrientes, so this study tries to update the subject, based on the bibliographic review and ongoing research. Analyze the characteristics of forest fuels, their caloric potential and the effects of burning on organic matter decomposition and soil fauna. A field trial was carried out at the Toro Cuaré establishment, located in the area of Lomadas Arenosas de Corrientes, with the aim of: 1) to evaluate the direct effect of burning harvest residues, measuring temperatures in and on the soil; 2) to evaluate the effect of this burning operation on macroinvertebrate

fauna of the soil: 3) to estimate the effect of this burning on the rate of decomposition of organic matter after it. The results indicate that the increase in temperatures during burning, on the ground are significantly lower than those reached in the cone of flame at 60-80cm from the ground. and that this increase occurs for a few minutes. Inside the soil, the thermal increase in this test was not enough to produce the death of the organisms that live in the first five centimeters and do not produce adverse effects at greater depth. Apparently, the rate of decomposition of litterfall and recovery of the invertebrate population is affected by a short period of time and does not delay the production cycle which is 18-22 years. This contribution did not study the contribution of greenhouse gases to the atmosphere, which requires studies for this purpose, considering also that the elimination of forest residues facilitates the initiation of a new planting cycle that allows carbon sequestration of the atmosphere to be analyzed in the cost-benefit relation of forest residue burning.

Key Words: *Fire, forest residues, sustainability, litter decomposition, soil fauna, pines.*

DEDICATORIA

A Silvana, por estar siempre apoyando mis iniciativas y a mis hijos Gonzalo, Germán y
Selena por su amor incondicional.

AGRADECIMIENTOS

- A la UNNE y, en especial, a la Dirección de la Especialización, por la oportunidad de mejorar mi formación profesional en un ámbito interactivo.
- A mis compañeros del curso, por sus aportes, experiencias y momentos vividos durante este periodo.
- Al Gerente Forestal de Empresas Verdes argentina S.A. el Ing. Ftal. Arturo Sandoval por brindarme el apoyo para la realización de este curso y permitirme usar información de los ensayos.
- Al Prof. Juan José Neiff, por compartir su información, por sus consejos y sugerencias en la elaboración este documento.
- A la Dra. Poi, por los resultados obtenidos en laboratorio de fauna edáfica.
- A los Ingenieros Forestales Raúl Pezzutti, Roberto Fernández, por compartir trabajos y experiencias.

ÍNDICE GENERAL

	Página
INTRODUCCIÓN	7
1- OBJETIVO GENERAL	9
2- SITUACIÓN DEL PROBLEMA Y ANTECEDENTES	9
2.1- Efectos del fuego sobre la materia orgánica del suelo	10
2.2- Efectos del fuego sobre la biota del suelo	14
2.3- Efectos del suelo sobre los invertebrados	16
2.4- El Fuego	18
2.4.1- Tipos de combustibles	19
2.4.2- Características de los combustibles	20
2.4.3- Combustibles y Temperaturas	21
2.4.3.1- Combustibilidad	23
2.4.3.2- Temperatura sobre el suelo	25
2.4.3.3- Temperatura en la superficie del suelo	25
2.4.3.4- Temperatura bajo del suelo	25
2.4.3.5- Persistencia calórica	26
3- TRABAJOS DE CAMPO	27
3.1- Justificación y alcance de los trabajos.	27
3.2- Características del área de estudio	27
3.3- Métodos y materiales	29
3.3.1- Caracterización de los tratamientos	30
3.3.1.1- Tipo de cosecha utilizado, configuración de máquinas	31
3.3.1.2- Clasificación de los residuos post tala rasa	32
3.3.1.3- Tratamientos campo nuevo (quema reciente) y plantación Joven	32
3.3.1.4- Desbrozado con fuego en el tratamiento campo nuevo (quema reciente) y plantación joven	33
3.3.1.5. Bosque nativo, cocal o “palmar de poñi “(<i>Butia paraguayensis</i>)	34
3-3 1.6. Bosque nativo higrófilo	35
4- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
5- CONCLUSIONES	42
6- BIBLIOGRAFÍA	45

INTRODUCCION

La superficie total de plantaciones forestales de la Provincia de Corrientes es de 425.987,40 has, dentro de la misma el género *Pinus* representa el 73,32% (312.369,05 ha) y el Eucaliptus representa el 25,22% (107.457,80 ha). En cuanto a la productividad de estas especies para *Pinus* el volumen c/corteza promedio ponderado para la clase de edad en plantaciones > 16 años es de 304,66 m³/ha y en Eucaliptus para clases de edad > 10 años es de 346,58 m³/ha (Inventario de Plantaciones Forestales de la Provincia de Corrientes, Informe final, Setiembre 2015. Consejo Federal de Inversiones).

Los suelos en que se producen estas forestaciones en la provincia de Corrientes, van desde el orden de suelos rojos Lateríticos o “tierra colorada” Alfisoles (Kandiudalfes), Ultisoles (Kandihumultes), suelos arenosos rojizos (Udipsamentes, Hapludalfes, Paleudalfes, Rodudalfes), suelos del orden de los Entisoles arenosos (Psamacuentes, Udipsamentes) y Alfisoles (Escobar et al 1996). En este contexto la materia orgánica (MO) tiene una relevante importancia, influenciando en la dinámica de los nutrientes (Tiessen et al., 1994). Técnicas que manipulan la cantidad y calidad de la MO pueden intervenir en considerables alteraciones en la dinámica y stock de los nutrientes del suelo (Kumar; Goh, 2000). El manejo de los residuos forestales entre las rotaciones del cultivo es de fundamental importancia para mantener la fertilidad de los suelos (Tiessen et al., op cit.) y para la sostenibilidad de la producción (Tiarks et al., 1998).

La producción de madera en rotaciones sucesivas aumenta la presión sobre el ambiente y puede afectar la sostenibilidad del sistema en el mediano o largo plazo, en particular cuando se usan prácticas que reducen la materia orgánica y los nutrientes en suelos de baja fertilidad natural. La producción sostenible es fundamental en el éxito de la silvicultura, cuando se realiza con cuidado del ambiente. Se logra a través de buenas técnicas con una estrategia de mediano y largo plazo. Para repetir la plantación en esta etapa, se requiere la liberación del suelo mediante el procesamiento de los residuos. A tal fin, actualmente se realiza el estivado y quema de los mismos, operación que tiene un fuerte cuestionamiento desde distintos sectores como los organismos certificadores internacionales como el Forest Stewardship Council, FSC® a través de sus Criterios e Indicadores (6.5.8), que prohíben su uso por las consecuencias sobre la fertilidad de suelo y la estabilidad del sistema productivo en razón de los efectos de las altas temperaturas sobre el microbiota y la fauna del suelo. Se postula que además de la laterización del suelo, disminuye la tasa de descomposición y la mineralización de la materia orgánica.

El uso sostenible de las forestaciones incluye sucesivas operaciones de plantación y cosecha. Luego de podas y raleos, la cosecha final se realiza a tala rasa. Los mayores impactos transcurren entre la cosecha y las nuevas implantaciones (Nambiar, 1999).

Los antecedentes consultados indican que no hay consenso sobre ésta práctica y que resulta difícil generalizar los resultados obtenidos en razón de la multiplicidad de condiciones de suelos, como sistema de soporte, de la complejidad de los flujos biogeoquímicos en cada ecosistema y de la manera en que se realizan las quemas (cantidad y calidad de necromasa, contenido calórico, distribución de las estivas), condiciones climáticas (especialmente humedad y viento) resiliencia de los organismos procesadores de la materia orgánica (nivel de reseteo del sistema, tiempo de retorno, composición de la fauna de invertebrados del suelo y de la microbiota (celulolíticos, por ej.) Indudablemente las altas temperaturas y su duración durante las quemas, influyen sobre la humedad y fertilidad de los suelos y sobre la fauna edáfica.

La práctica de manejo de residuos y su impacto a los 48 meses de edad (2° rotación en forestaciones de pinos) indicaron que las propiedades químicas nutricionales tuvieron mayores cambios en zonas donde se extrajeron los residuos respecto a los tratamientos donde se conservaron los mismos y no se observaron efectos residuales en la quema en aquellas parcelas donde se realizó esta práctica. En suelos donde puede haber una limitación nutricional, se ha recomendado mantener la mayor cantidad de materia orgánica posible luego de la tala rasa. La aplicación de prácticas de preparación de terreno, que involucran la conservación de los residuos de la cosecha, puede ejercer efectos pronunciados sobre el contenido de nutrientes del suelo y consecuentemente sobre la fertilidad en corto y largo plazo. En este sentido los residuos leñosos han demostrado ser eficientes en la reducción por lixiviación de N y P en suelos arenosos con *Pinus radiata* (Carlyle et al., 1998). Se ha señalado que la fertilidad biológica del suelo se relaciona con la respuesta biótica, en referencia al rápido aumento de la actividad microbiana que se produce inmediatamente después de la quema, como resultado del aumento del pH y el suministro de cationes y de fósforo, lo que produciría un aumento en la disponibilidad de nutrientes.

Dado que no existe consenso sobre la eliminación de los residuos de cosecha luego de tala rasa mediante el uso del fuego y que, en la provincia de Corrientes en especial, es un tema central del manejo silvícola, y que no se cuenta con información, se propuso una revisión de los antecedentes y la realización de un ensayo que contemple: 1) las características pos-cosecha de algunos sitios forestales de Corrientes (cantidad de biomasa acumulada, tipo de residuos, distribución); 2) análisis de las condiciones de quema (temperatura, duración del fuego); 3) efectos posteriores a la quema, sobre la fauna del suelo; 4) sobre la descomposición de la hojarasca.

Los resultados del ensayo estarán disponibles para uso del sector forestal y de los organismos de Certificación, para apoyar la toma de decisiones respecto del uso de esta práctica silvícola.

El uso del fuego como herramienta para la reducción de los residuos forestales posterior a la tala rasa es una práctica adoptada regularmente por los forestadores de Corrientes como demuestran las estadísticas de solicitudes y aprobaciones de la Dirección de Recursos Forestales para esta actividad desde el año 2008 al 2017 con 53 aprobaciones que involucran una superficie total de 22.204 has según la Dirección de Recursos Forestales de Corrientes, Departamento de Protección, Gobernador Virasoro (mayo 2017).

Los residuos de cosecha se componen de, tocones, despuntes, ramas y hojas. Estos materiales pueden ser causa de accidentes (tropezos, torceduras, caídas, etc.) como así también inconvenientes operacionales que afecten al rendimiento, y la calidad de las prácticas de establecimiento que justifican su procesamiento. La elección de la técnica de manejo de residuos de cosecha depende del sistema de cosecha y de la cantidad de residuos. Una de ellas es la reducción del combustible por medio de las quemas controladas que se realiza con cumplimiento de la legislación vigente (Guía de Buenas Prácticas Forestales para la Provincia de Corrientes. 1ra ed. – Bella Vista, Corrientes: Ediciones INTA, 2014; p 101, 6: 27).

1. OBJETIVO GENERAL

Revisión de antecedentes disponibles y presentación de los resultados preliminares de un ensayo en curso, con énfasis en los efectos sobre la velocidad de descomposición de la materia orgánica y en la posible afectación de la fauna de invertebrados, como indicadores biológicos. en el manejo sostenible de sistemas forestales

2. SITUACIÓN DEL PROBLEMA y ANTECEDENTES

En la interfase entre la cosecha final y las actividades de habilitación y preparación de suelos es donde se generan los mayores impactos sobre el suelo. Dentro del proceso de habilitación de sitios para la siguiente implantación se realizan habitualmente actividades de eliminación de los residuos forestales con el uso de la quema para tal fin en Corrientes y otras provincias.

Dependiendo del tipo de residuo (cantidad, especie, distribución, composición, humedad, tamaño), características y estado del suelo (textura, capacidad de intercambio, contenido de materia orgánica, humedad), de las condiciones climáticas al momento de ejecutar esta práctica (humedad relativa del aire, temperatura velocidad del viento) y de las técnicas de ignición, generará impactos

deseados y no deseados sobre las propiedades físico químicas del suelo, especialmente sobre la materia orgánica, sobre los nutrientes y sobre la biota del suelo.

Es necesario conocer estos efectos e interpretar los resultados en una escala de tiempo en función de la naturaleza de estos cambios (Fernández y Lupi, 2006) debido a que, en el ámbito de la ciencia del suelo forestal a nivel regional, generalmente no se cuenta con experimentos y/o registros que contemplen resultados a mediano y largo plazo. Existen trabajos desarrollados que evalúan los efectos de distintas técnicas de manejo de residuos a corto plazo (5-9-12 años) en segunda rotación, aunque se advierte la falta de estudios de largo plazo, especialmente de aquellos que evalúen los efectos de las quemadas en indicadores ecológicos de resiliencia del sistema., como pretende aportar esta tesis, con énfasis en la velocidad de descomposición de materia orgánica y en la posible afectación de la fauna de invertebrados como indicadores ecológicos.

2.1. Efectos del fuego sobre la Materia Orgánica (O) y los cambios físicos y químicos del Suelo

El carbono orgánico (CO) que se encuentra en el suelo como materia orgánica (MO), es una entidad multifuncional que varía cualitativamente y cuantitativamente de acuerdo al tipo de ecosistema, a las intervenciones que se realicen y al manejo posterior.

Las funciones de las distintas formas de la MO del suelo son múltiples y sus beneficios se traducen al ecosistema, principalmente por la retención de humedad y de nutrientes, pero también por favorecer la actividad radicular. La MO depositada sobre el suelo ejerce efecto protector del impacto de la radiación y de las gotas de lluvia, mejora las condiciones de aireación y el flujo del aire en el suelo, y colabora en la estructura del mismo, aumentando la capacidad de intercambio catiónico (Harris y Bezdicsek, 1994).

La cantidad y calidad de MO es fundamental en la protección de los suelos, y es, a su vez, indicador de calidad del mismo, al ser muy sensibles a los cambios que pueda producir el manejo, (Carter, 2002). El contenido de MO en el suelo, disminuye el riesgo de formación de costras (Lado et al., 2004) y, a su vez, tiene gran implicancia en la estructura del suelo, ya que interviene como agente cementante en la formación de agregados estables (Bronick y Lal, 2005; Craswell y Lefroy, 2005).

En los suelos forestales el carbono orgánico (CO) se encuentra tanto en la matriz del suelo como en la superficie de este, como horizonte orgánico denominado mantillo. En los suelos forestales la MO es importante para el ciclo de los nutrientes, el ciclo hidrológico, la productividad forestal y la captura de carbono por actividad de las raíces, resultando el mantillo la parte más activa de la MO en el suelo Yanai et al., 2003.

La estabilización del C en los suelos, no se debe solo a modificaciones de los materiales orgánicos por la actividad microbiana, sino, que además intervienen factores físicos y químicos, incluidos el fuego espontáneo o inducido (Hatcher y Spiker, 1988; Neiff, 2001).

Como consecuencia de las altas temperaturas producidas en los incendios, producen nuevas formas de C y modifican las ya existentes, conduciendo a una disminución de sus propiedades coloidales y a cambios en su resistencia a la alteración química y biológica (González, Pérez et al., 2004). Sin embargo, según Cerdá, (2004) y Jordán et al., (2010) los efectos del fuego sobre estas propiedades coloidales son reversibles. Pasado cierto tiempo, los suelos afectados recuperan sus propiedades coloidales, su erodabilidad se reduce y su funcionalidad se recupera de forma natural.

Muchas formas de preparación de sitio en el manejo forestal intensivo, destruyen temporalmente este horizonte orgánico del suelo forestal. La cosecha, las labranzas y otras técnicas de preparación de suelos incrementan inicialmente las pérdidas de carbono en el suelo (Nouvellon et al., 2008), favorece la infiltración y permite controlar la lixiviación, erosión y modifica la disponibilidad de agua para las plantas. (Six et al., 2002; Franzluebber, 2002a).

En ensayos realizados sobre técnicas del manejo de residuos en segunda rotación con *Pino taeda L.* en suelos rojos profundos en la provincia de Misiones establecidos en el año 1996 posterior a la tala rasa de un cultivo de *Pinus elliottii* Englem de 22 años y evaluados 9 años después de la implantación, se concluyó que no se encontraron cambios importantes en la capa subsuperficial (de 0 a 5 cm). Las concentraciones de COT (carbono Orgánico Total) en los tratamientos con eliminación de residuos y quema, fue 3% más baja que en los tratamientos donde se conservaron los residuos (Fernández et al., 2000). La cantidad de residuos post tala rasa fue de 40 tn/ha (Fernández et al., 1998).

Comparando estos resultados con los informados en trabajos previos, fue posible conocer, que las respuestas obtenidas en el corto plazo, difieren de la de largo plazo. Así, Fernández et al., (2000) informó diferencias significativas en el CO, tomando muestras a los 2 años de plantado el ensayo (1998), donde, los tratamientos con eliminación de residuos y quema, presentaron concentraciones más bajas con relación a los tratamientos donde se conservaron los residuos, para diferentes niveles de profundidad del suelo (0-10 cm; 10-30 cm y 30-60 cm). Por su parte, Lupi (2000) registró disminución importante en las concentraciones del CO en los niveles de 0-5 cm y 5-15 cm en tratamientos sin residuos y quema contra los tratamientos con residuos.

A los 9 años de haber aplicado los tratamientos, las prácticas de manejo del residuo con eliminación de los mismo, afectaron negativamente el nivel de CO en la capa de 0-5 cm del suelo en el tratamiento de eliminación total de los residuos., es decir, sin quema de los mismos.

Si bien los tratamientos con eliminación y quema de residuos resultaron menores en concentraciones de CO que los tratamientos con residuos, implantados nuevamente con pinos, las diferencias no fueron significativas en algunos casos.

La aplicación de la técnica tradicional para manejar los residuos forestales (quema y rastra), no presentó cambios significativos en comparación a los sistemas donde se dejaron los residuos en superficie en segunda rotación. Lupi y Fernández, (2006).

En otro ensayo realizado en el año 2005 en el Departamento de Esquina, Provincia de Corrientes según resultados presentados por Jorge Aparicio en la reunión N° 188 del Consorcio Forestal Corrientes Norte, INTA Bella Vista (Aparicio, 2010), en suelos arenosos, donde se evaluaron distintas técnicas de manejo de residuos forestales posterior a una tala rasa de *Pinus elliottii* (Pe) de 24 años de edad comparándolo con un campo natural adyacente, en el crecimiento de Pino híbrido hasta el quinto año de edad en la segunda rotación, llegaron a la conclusión que la quema de residuos aumentó el contenido de nutrientes en el suelo superficial, con efecto positivo en el crecimiento inicial de Pino híbrido.

En otra experiencia realizada por técnicos del INTA de Montecarlo en 2005, en el departamento de Pto. Iguazú, Misiones, donde se realizó una implantación de Pino híbrido en un suelo rojo profundo (Complejo 9), posterior a una tala rasa de *Pino hondurensis* de 22 años de edad y con biomasa residual de 45,17 tn/ha para la cual se definieron distintas técnicas de manejo de residuos de la cosecha y su efecto sobre la MO del suelo, se observó en los resultados, que la concentración del carbono orgánico total para los espesores de suelo evaluado (0-10 cm, 10-30 cm, 30-60 cm) en tratamientos con quema / subsolado y comparado contra quema / rastra, no se hallaron diferencias en los distintos tratamientos (Martarena et al.,2007) .

Puede decirse, entonces que, luego del cuarto año posterior a la quema, no se registraba impactos del tratamiento con fuego en el porcentaje de materia orgánica total del suelo, como también fue señalado por Von Wallis (2004) en otro contexto.

En otra experiencia, en suelo arenoso de la serie Chavarría en EVASA, en la Provincia de Corrientes y con el objetivo de evaluar el crecimiento inicial de una reforestación en lotes con quema (Fig.1) y sin quema (Fig.2), se seleccionaron operacionalmente dos lotes adyacentes establecidos con la misma especie (*Pinus taeda* L.) y con el mismo método de plantación y cuidados culturales que fueron plantados en Julio 2015 y medidos en noviembre 2016 (16 meses de edad) en parcelas circulares de 800 m² ubicadas en las coordenadas (28°42'05,2" Latitud Sur y 58°20'35,8" Longitud Oeste, lote sin quema fig.1 y 28°42'08,6" Latitud Sur y 58°20'49,5" longitud Oeste, lote con quema fig.2). Se tomaron los datos de diámetro a la altura del cuello de la planta (DAC) y las alturas de cada individuo de la

parcela, con estos datos se estimó un factor de productividad (FP) como indicador de desarrollo antes de los 3 años de edad. Los resultados (información no publicada), dieron cuenta que el crecimiento inicial fue superior en el lote que se utilizó el desbrozado con fuego (7.314 cm³) contra el lote donde se dejaron los residuos (6.126 cm³), como se observa en la figura 3. Cabe aclarar que no se tomaron análisis de suelo previo ni se realizaron mediciones de humedad del suelo.

$$\text{Factor de Productividad} = (\text{DAC cm})^2 \times (\text{ALTURA cm}) = \text{cm}^3$$



Figura.1 Lote sin quema



Figura.2 Lote con quema.



Figura 3. Factor de Productividad (cm³) *Pinus taeda* L., plantación 2015

En resumen, aun cuando las experiencias comentadas no sean enteramente comparables, por haberse realizado en diferentes condiciones ambientales, y si bien no permiten conclusiones terminantes respecto del efecto de la quema de residuos de cosecha sobre el crecimiento inicial, los resultados comentados informan -al menos- que no existen impactos significativos en la primera etapa de crecimiento de los pinos. Habrá que repetir este ensayo con mayor nivel de detalle respecto a la dinámica de nutrientes en parcelas en las que los residuos de cosecha fueron quemados y en otras adyacentes,

sin que se retiren los residuos para ratificar que las quemas pueden tener efectos positivos sobre el crecimiento inicial, como parecen demostrar estos resultados comentados.

2.2. Efecto del fuego sobre la biota del suelo

La biota del suelo comprende un sin número de especies de diferentes tamaños, forma y función, asociadas a la disponibilidad de nutrientes, a la textura y humedad del suelo, entre otros factores. En base a su tamaño suele separarse la mesobiota y microbiota, susceptibles a los efectos del fuego (Roper y Gupta, 1995). En general, un aumento natural de la temperatura del suelo estimula las poblaciones microbianas para convertir nutrientes del suelo a formas disponibles, encontrándose la mayor actividad microbiológica entre 20 y 25 grados.

En la microbiota, los cambios inducidos por el fuego en el número y en la actividad de microorganismos dependen de la severidad del fuego, los tipos de organismos involucrados, las condiciones ambientales posteriores al fuego, la frecuencia del fuego, el número total (efecto acumulativo) de las quemas y de la duración de la quema (Hossain et al., 1995). La mesobiota incluye a organismos de distintas estructuras y funciones, con intervención en las primeras secuencias de la descomposición de la MO, que también pueden recibir distinto grado de impacto según la frecuencia, la intensidad y la duración del fuego, así como los hábitos de cada especie. Pueden ser afectados por acción directa del calor o, indirectamente, por alteración de su hábitat. Algunos autores señalan que estos organismos disminuyen inmediatamente después del fuego y otros encuentran que algunos grupos aumentan (Guazzelli et al., 1999). Todos coinciden que, con el tiempo, la mayoría de los organismos de la mesofauna vuelven a sus niveles anteriores, a partir de un proceso de repoblación del área afectada o bien porque no han sido afectados por el incendio (Pinheiro et al., 2001).

Prácticas, como la quema, pueden generar un impacto negativo, debido a la exportación de nutrientes del sitio, y a los disturbios que produce sobre la biota del mismo, lo cual ha generado una fecunda discusión entre los investigadores, debido a que la fertilidad biológica del suelo, podría no estar afectada, porque, en algunos casos, se verificó una respuesta biótica favorable, en una rápida actividad microbiana después de la quema, debido a la modificación del pH, aumento de cationes y de fósforo (Fenn et al., 1993).

El efecto depende de las características del ecosistema. En ambientes con baja diversidad de especies vegetales, existe menor diversidad biótica en el suelo, lo que no estimula la regeneración biológica de la estructura del mismo. -El fuego puede reducir el efecto de sustancias tóxicas, que frenan la actividad microbiana, como sucede en bosques de eucaliptos (Imeson, 1995). También, la calidad

nitrogenada orgánica e inorgánica de las cenizas puede modificar el sustrato microbiano del suelo después del fuego (Fenn et al., op.cit.). Es conocido que la acumulación de compuestos con alto contenido de lignina en la superficie del suelo, como el que contienen algunos tipos de hojarasca, retardan la mineralización de la materia orgánica, debido al efecto bacteriostático de la lignina (Neiff, 2001). En pinares de *Pinus taeda* (establecimiento Las Marías, Virasoro, Corrientes), Neiff y Colaboradores (Com. pers.) encontraron un aumento de la actividad microbiológica del suelo luego de la quema de la hojarasca en un pinar de 25 años de edad, en que el cociente lignina/nitrógeno fue de 16.

Los organismos más pequeños mueren a temperaturas entre 50°C y 120°C y, dentro de los tipos microbianos, los hongos parecieran ser más susceptibles que las bacterias (Baat et al., 1995; Neary et al., 1999). La mortalidad microbiana es mayor en condiciones de humedad que en suelos secos, porque existe mayor conductancia calórica, y mayor duración del calor latente (Hartford y Frandsen, 1992; Campbell et al., 1994). Sin embargo, mediciones recientes, en experiencias de quema controlada en Corrientes, dan cuenta que los suelos saturados de agua, son malos conductores de la temperatura durante la quema (Neiff, *en preparación*)

En contraste, las tasas más altas de sobrevivencia en suelos secos pueden deberse, en parte, a la formación de esporas y a la adaptación microbiana al estrés. Esta habilidad para entrar en dormancia y producir esporas, lo que permite a muchos microorganismos sobrevivir a la exposición del calor y convertirse en los colonizadores del suelo después de la quema (Dunn et al., 1985).

La microbiota muerta es fuente de mineralización de las formas orgánicas más lábiles, aportando nutrientes para el posterior crecimiento vegetal en el corto plazo, y es restituida al poco tiempo de la quema (Acea y Carballas, 1996; Abril y Gonzales, 2000) a expensas de las fracciones de más rápida mineralización, generando diferentes calidades de MO y tasas de retorno (Choromanska y De Luca, 2001). En general, las tasas de mineralización y las formas lábiles o de rápida mineralización, aumentan en el corto plazo y luego disminuyen (Fernández et al., 1999).

La frecuencia del fuego es de gran importancia ya que quemadas frecuentes reducen la biomasa microbiana por acortar los períodos de mineralización-inmovilización necesarios para el crecimiento de las poblaciones microbianas (Hossain et al., 1995).

La actividad microbiana disminuye, por lo general, en suelos afectados por el fuego. La recuperación microbiana en el suelo con fuegos prescritos es más rápida que en sitios con quemadas espontáneas (Hossain et al., 1995; Prieto-Fernández et al., 1998; Choromanska y De Luca, 2001).

2.3. Efecto del fuego sobre los invertebrados

Los invertebrados tienen un rol importante en la descomposición de los restos orgánicos, en la mineralización de los nutrientes y en las propiedades físicas del suelo.

Alteraciones en la cantidad de sustrato disponible para la descomposición producen cambios en el número y densidad de especies. Los efectos como se observa en la tabla 1, son particularmente más importantes en aquellos invertebrados que no son móviles y que residen en el mantillo, capa de residuos, o en los primeros centímetros del suelo (Lupi, 2013)

En ecosistemas con pastizales, los fuegos raramente alcanzan una *severidad* como para afectar las poblaciones de invertebrados. Para aquellos invertebrados que pueden moverse, el efecto del fuego es mínimo ya que pueden escapar o esconderse dentro del suelo. El impacto más fuerte se presenta en la pérdida de su hábitat o la exposición de su hábitat a predadores. Esto puede tener un impacto, reduciendo la diversidad y abundancia por un periodo relativamente largo luego del fuego (Lupi *et al.*, 2013).

Tabla 1. Efecto de la Severidad del fuego sobre diferentes parámetros en el suelo

Parámetros	Severidad del Fuego		
	Leve	Moderado	Alto
Temperatura en superficie	250°C	400°C	675°C
Temperatura a los 50 mm	< 50°C	50°C	75°C
Mantillo	Parcialmente chamuscado	Mayormente consumido	Totalmente consumido
MO del suelo 25 mm	Inicia la destilación	Parcialmente chamuscada	Consumida/chamuscada
MO del suelo 50 mm	No afectada	Inicia la destilación	Inicia la destilación
Raíces superficiales	Muertas	Muertas	Muertas
Raíces a los 50 mm	Vivas	Vivas	Muertas
Microorganismos superficiales	Muertos	Muertos	Muertos
Microorganismos a 25 mm	Vivos	Según el tipo vivos/muertos	Muertos
Microorganismos a 50 mm	Vivos	Según el tipo vivos/muertos	Según el tipo vivos/muertos
Nutrientes en superficie volatilizados	Nitrógeno	N y P orgánico	N, P, K y S
Nutrientes volatilizados a 25 y 50 mm	Ninguno	Ninguno	Ninguno

Fuente: Lupi, 2013).

En un ensayo para evaluar el efecto de la quema sobre la población de invertebrados con diferentes intensidades de quema (sin quema, anual y bianual) sobre un Pastizal con predominio de *Andropogon lateralis*, *Sorghastrum agrostoides*, en el Noroeste de la Provincia de Corrientes, se

realizaron relevamientos sobre el suelo y en los primeros centímetros debajo de suelo pre y post quema. Como conclusión hallaron que los diferentes grupos de invertebrados en la comunidad vegetal objeto del estudio, fueron afectados de diferentes maneras por la quema: Las órdenes Díptera, Lepidóptera y Coleóptera, habían incrementado su población en cantidad y variabilidad, lo cual indicaría en el corto plazo un efecto beneficioso de la quema. En tanto que los órdenes Hemíptera, Mantódea, Ortóptera; Hymenóptera y Odonata, si bien se observa un aumento en la cantidad hay disminución en la riqueza de especies (Armúa de Reyes, et al, 2004).

A manera de síntesis, la quema es un disturbio que se caracteriza por su acción crítica sobre la biota, con efecto intenso en poco tiempo, ya que las quemas controladas duran generalmente menos de una hora, si bien los efectos residuales pueden prolongarse varias horas con un gradiente decreciente de temperatura.

Si bien el fuego es utilizado como herramienta de manejo, en pastizales para favorecer el rebrote, en silvicultura para la eliminación parcial de los residuos de cosecha, el fuego también ocurre en forma espontánea como consecuencia de rayos durante las tormentas y también por acumulación de metano (Neiff, 2001).

No es raro entonces, que pastizales, humedales y bosques, tengan algún grado de adaptación y de recuperación a este disturbio, ya que el mismo es anterior a la presencia del hombre en los sistemas naturales (Neiff, op. cit.)

Los efectos del fuego no pueden evaluarse solamente por la temperatura que alcanza en el momento de apogeo, o por la duración del mismo, ya que interviene una gama de factores de acción local, como la estructura del suelo, la humedad en el perfil y el relieve del terreno. Obviamente, temperaturas superiores a 60 grados deben considerarse restrictivas para la permanencia de los organismos, ya que a esa temperatura se produce la coagulación de las proteínas. Pero esta temperatura raramente se alcanza al ras del suelo, ya que -como es conocido- el mayor rendimiento calórico del fuego se produce en el tercio superior de la llama.

El suelo tiene suficiente inercia térmica, como para que el calentamiento crítico supere los tres centímetros de profundidad (Neiff, op. cit.) y para que esto ocurra el suelo debiera tener un contenido de humedad entre 10 y 15% (Neiff, com. pers.) por encima y por debajo de ese valor, la conductividad térmica disminuye sensiblemente.

No se dispone de estudios que cuantifiquen la influencia del viento en las quemas, siendo que este factor puede reducir significativamente la duración de las quemas y el aumento térmico en la profundidad del perfil edáfico.

Los antecedentes analizados ponen atención en la recuperación de la riqueza de especies luego del disturbio producido por las altas temperaturas. Pero existe un vacío de información respecto del efecto de la modificación del ambiente. Luego de la cosecha y posterior quema, el suelo queda semi desnudo, con lo cual el efecto de las lluvias llega sin filtros a la superficie del suelo y la amplitud térmica diaria y estacional es sustancialmente mayor, sin que haya recibido importancia hasta hoy.

Buena parte de la investigación sobre el efecto de las quemas, se ha producido en el hemisferio norte, en paisaje de clima templado. En clima subtropical como el de Corrientes, la insolación en un día de verano supera los 900 $\mu\text{mol}/\text{min}$ de radiación PAR y la cantidad de radiación ultravioleta alcanza magnitud levemente inferior, con suficiente capacidad para inhibir la actividad bacteriana en superficie por algún tiempo. De tal manera, las comunidades microbianas tienen una condición de base, antes de la quema, muy distinta que en clima templado y aquellos resultados no son necesariamente comparables, requiriéndose ensayos que consideren las condiciones ambientales de contexto.

2.4. El Fuego

El fuego es el resultado del proceso químico de combustión, en el cual se produce la oxidación y pirólisis del combustible. Cuando éste es de origen vegetal la combustión puede considerarse como la reacción inversa a la fotosíntesis (Trollope, 1984).

Cualquier combustible vegetal debe alcanzar un umbral de $346^{\circ}\text{C} \pm 40^{\circ}\text{C}$ para que se inicie la combustión. El calentamiento del combustible produce vapor de agua y la destilación de productos orgánicos en forma de gases que reaccionan con el oxígeno del aire generándose llamas. Si el calentamiento continúa, este proceso se mantiene a si mismo (Wright y Bailey, 1982).

El tiempo transcurrido para que un combustible inicie su combustión, depende de la humedad, densidad o peso específico, calor específico, composición química espesor del material. En condiciones de campo, el contenido de humedad del combustible es el factor más importante que influencia su probabilidad de ignición.

2.4.1. Tipos de combustibles y algunas de sus características

Los combustibles en los ecosistemas son diversos y se presentan en estratos. Algunos de los estratos poseen todos los tipos, mientras que en otros solo uno. Cada categoría de combustible posee

un ambiente de combustión diferente. Los combustibles presentes en los ecosistemas pueden clasificarse en forma general, de acuerdo a su diámetro (Tabla 2) citar fuente.

Tabla 2. Clasificación de los combustibles en función de su tamaño

Categoría	Tamaño (diámetros)	Tipo de Combustibles
Finos	< 0.5 cm	Pastizales, hojarasca, capas de descomposición
Regulares	0,6 – 2,5 cm	Ramitas, tallos pequeños de arbustos
Medianos	2,5 – 7,5 cm	Ramas de arbustos
Gruesos	>7,5 cm	Fustes, troncos y ramas gruesas

Fuente: Porrero Rodríguez, Incendios Forestales (2001)

El combustible fino puede presentarse en pie (mata de pastos), en forma de mantillo (material dispuesto sobre la superficie del suelo) y en la base de las plantas en distintos grados de disgregación o descomposición. En general el fuego se inicia en este tipo de combustible y después se propaga a otros componentes del sistema. Su ignición es rápida y produce llamas visibles, violentas que se encienden y apagan velozmente.

Los cambios de contenido de humedad en función de la humedad relativa del aire se producen en lapsos de tiempo muy cortos en estos combustibles, siendo el tiempo de retardo (es el tiempo necesario para que un cuerpo (combustible) pierda o gane el 63% (2/3) de la diferencia entre el contenido de humedad actual o inicial y su humedad de equilibrio) próximo a 1 hora (Porrero Rodriguez, op cit.)

Los combustibles medianos y gruesos adquieren importancia en sitios donde las leñosas arbustivas y arbóreas forman parte de la vegetación. Los mismos pueden también presentarse en pie o en el suelo (desecho de cosechas, pilas de leña etc.). El encendido de este tipo de combustible es más lento, que, en el caso anterior, pero arden por más tiempo y en condiciones climáticas extremas producen llamas muy altas (intensidad). El tiempo de retardo de estos combustibles es mayor a 1 hora y puede llegar hasta 100 horas (tabla 3)

Tabla 3. Clasificación del Combustible Por Tamaño y Tiempo de Retardo

Categoría	Tamaño (mm)	Tipo	Tiempo de Retardo
Finos y Ligeros	< 5	Acículas	1 hora
Regulares	5 - 25	Ramillas	10 horas
Medianos	25 - 75	Ramas-Conos	100 horas
Gruesos	> 75	Fustes-madera	1000 horas

Fuente: Porrero Rodríguez, Incendios Forestales (2001).

En los ecosistemas los combustibles pueden presentarse en estado homogéneo (pastizales, plantaciones comerciales de bosques) o combinados con otros (arbustales y bosques con sotobosque de herbáceas). Los aumentos de temperatura serán la proporcionales al tipo y cantidad de combustibles en el sitio.

2.4.2. Características de los combustibles

La principal característica de la estructura interna de las células y tejidos vegetales es la pared celular, que conforma los distintos tejidos y órganos de las plantas y que representa en si el combustible presente en los distintos ecosistemas. Las sustancias químicas que las componen son similares, aunque su proporción varía en los distintos órganos (tabla 4).

Tabla 4. Composición química y poder calorífico de combustibles vegetales

Sustancia	Composición química (% sobre la materia orgánica)		Poder calorífico inferior (Kcal. Kg)
	Acículas de Pino	Madera de Pino	
Celulosa	30 - 44%	40 - 55%	4150 – 4350
Hemicelulosa		15 - 25%	
Lignina	18 - 19%	15 - 30%	6100 – 6200
Materias varias y extractivos solubles en agua o solventes orgánicos (resinas y ceras)	37 - 47%	2 - 15%	8500 – 10000
Cenizas		1 - 4%	Variable

Fuente: Nelson, et. al (2001).

La presencia de resinas y aceites esenciales aumentan la inflamabilidad y volatilidad de los combustibles naturales (Elvira Martín y Hernando Lara, 1989).

2.4.3. Combustibles y Temperaturas

Durante la combustión se libera en forma de calor la energía capturada por el proceso de la fotosíntesis. El calor se define como energía (E) en tránsito o movimiento (Heinemann, 1993) y se transmite a los cuerpos vecinos (ej., el suelo) a través de los fenómenos de convección, radiación y conducción. La E liberada durante la combustión tiene tres destinos: los objetos y la atmósfera situados por encima del suelo, la superficie del suelo propiamente dicha y el cuerpo del suelo. Se estima que un 75% de E liberada en la quema de la vegetación se dirige por encima del suelo y afecta a los componentes aéreos del ecosistema; solo un 8-10% de E (máximo 25%) se transmite hacia el interior del suelo, produciendo alteraciones en sus componentes (Hungerford et al., 1991; Burrows, 2000).

Los cuerpos cercanos al fuego (suelos, órganos vegetales) absorben la E (energía) mediante un proceso físico (Vines, 1981). La absorción de calor origina cambios internos en los cuerpos que pueden ser positivos y/o negativos, entre ellos el aumento de temperatura. La medición de esos cambios de temperatura es un método válido para establecer o interpretar los efectos del fuego (Wright y Bailey, 1982). Para ello se emplean termocuplas eléctricas que cambian de color según la temperatura que alcanza el fuego.

Recientemente se han instalado sensores que permitan conocer el incremento térmico por efecto de la quema. Se colocan materiales termo-fusibles sobre el suelo (0,20 m, 0,50 m y 1,0 m) y sensores de registro continuo ("botones térmicos") que se muestran en la figura 4, enterrados en el sitio de quema (0,05 m; 0,10 m, 0,20 m y 0,50 m de profundidad).

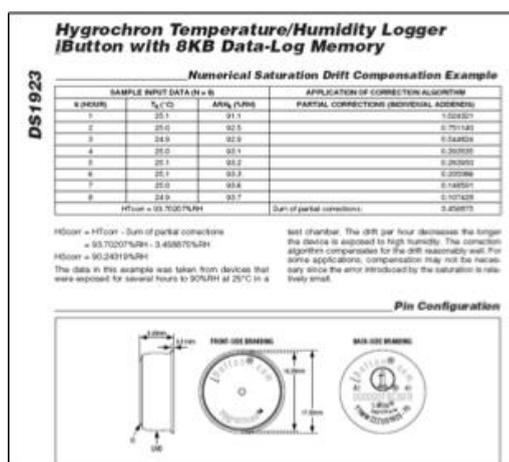


Figura 4. Características de los sensores de registro continuo de temperatura, durante la quema.

Adicionalmente, para seguir el incremento térmico en el perfil de suelo, se toman imágenes termográficas en una calicata, durante y después de la quema (Fig. 5).

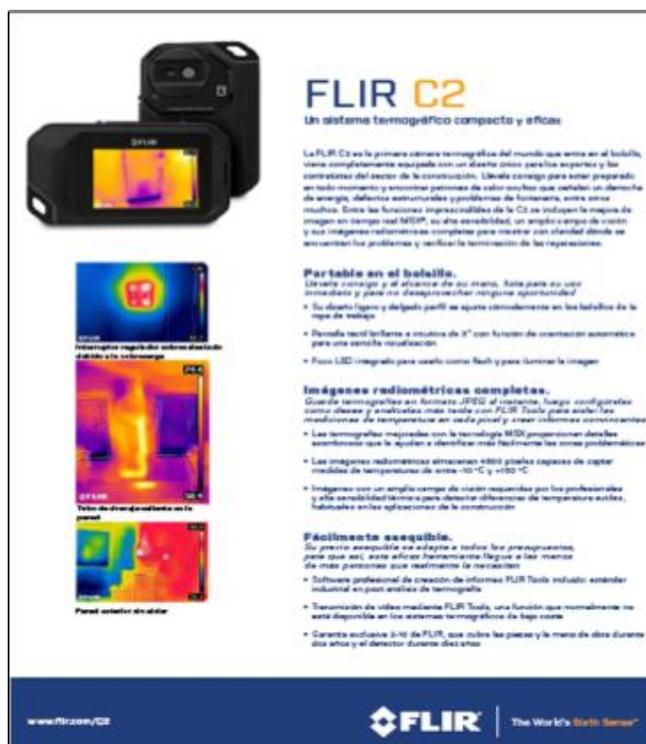


Figura 5. Características del sistema termográfico utilizado para el registro de imágenes durante la quema. fuente

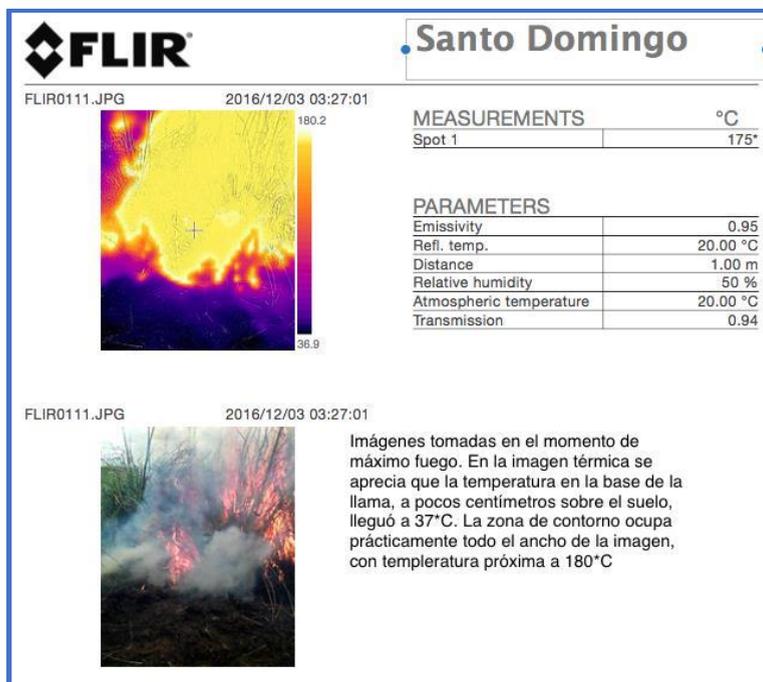
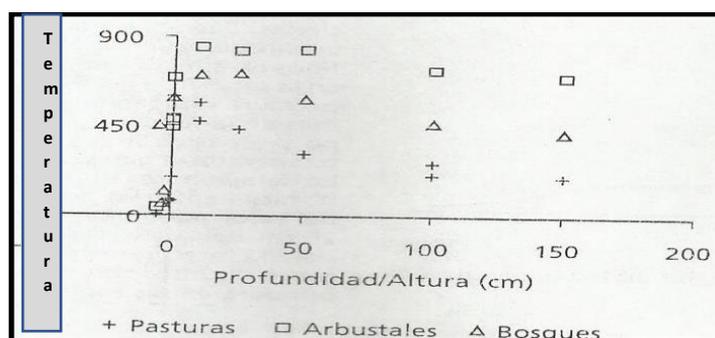


Figura 6. Ejemplo de una imagen termográfica producida por una cámara FLIR durante la quema de un pajonal. Atención de GMF Latinoamericana.

Las temperaturas máximas alcanzadas varían con, el tipo y características físico-químicas del combustible, como, por ejemplo: el grado de compactación, aireación, estructura, contenido de aceites esenciales y/o ceras. La curva de aumento de temperatura generada por fuegos de vegetación, tiene una forma característica en función de la profundidad (debajo la superficie del suelo) como en altura (sobre la superficie del suelo), y tipo de combustible (Alexander, 1982; Weber et al., 1995) como se representa en la figura 7.



Modelo 1

-Características del combustible: (diámetros < 7,5 cm) recientes (0 a 3 años) de tratamiento silvícolas o aprovechamientos, formando una capa poco compacta de escasa altura (30 cm). Los combustibles vivos, si existen, juegan un papel muy significativo. Los restos provienen de raleos o cortas parciales; las operaciones de tala rasa producen más desechos que el indicado anteriormente. La carga del material menos de 7,5 cm es inferior a 25 t/ha.

-Propagación: Se produce a través de los desechos, pero debe existir hojarasca y materiales finos que ayuden a conducir el fuego.

-Comportamiento del fuego: El incendio será muy activo en los desechos y material fino (hojas, ramitas, pasto) mezclado. El espaciamiento del combustible, la sombra de la copa o la edad de los combustibles finos contribuyen a limitar la intensidad del fuego. Cantidad de combustible (materia seca) = 25 – 30 t/ha.

Modelo 2

-Características del combustible: Son desechos que cubren totalmente el terreno. Es probable que exista algunos sectores del suelo desnudo o cubierto ligeramente. La altura media de los restos es de 60 cm y no se encuentra excesivamente compactados. La mitad de las hojas pueden estar adheridas a las ramas (pero no secas). Los combustibles vivos, si existen, no se espera que afecten al comportamiento del fuego. La impresión visual es que dominan los desechos de menos de 7,5 cm de diámetro. La carga total es de menos 80 t/ha. Rodales de coníferas con aclareos fuertes, cortas ha hecho y cortas parciales intensas se encuentran representados e este modelo.

-Propagación: Se produce a través de los restos, que conducen el fuego rápidamente y con alta intensidad, siendo capaces de generar pavesas.

-Comportamiento del fuego: Cuando el incendio comienza, se propaga de forma continua hasta encontrar una barrera cortafuego o un cambio en el tipo de combustibles (materia seca) = 50 – 80 t/ha.

Modelo 3

-Característica del combustible: Los desechos forman una capa continua, no excesivamente compactada y con una altura media de 1 metro. La mitad de las hojas están adheridas a las ramas y se encuentra verdes. Los combustibles vivos no afectan el comportamiento del fuego. La carga de combustible está dominada por diámetros mayores de 7,5 cm representando el 10 % de la carga total que puede exceder de las 450 t/ha.

-Propagación: El incendio discurre por la capa de desechos. Se propaga rápidamente por los combustibles finos y la velocidad disminuye cuando los combustibles gruesos comienzan a arder.

-Comportamiento del fuego: Se producen incendios de gran intensidad, en los que las llamas duran mucho tiempo y se generan pavesas (partículas que saltan de un cuerpo en combustión inflamada durante una quema y/o un incendio forestal) de distintos tamaños, contribuyendo a la creación de focos secundarios cuando las condiciones atmosféricas son desfavorables. Cantidad de combustibles (materia seca) = 100 – 450 t/ha.

2.4.3.2. Temperatura sobre el suelo

La temperatura asciende en forma brusca y rápida hasta una altura entre 6 – 15 cm en combustibles finos, resultando 0,2 – 3 veces superior a la magnitud observada en la superficie del suelo. El valor máximo de la temperatura alcanzada depende de las características químicas del combustible fino y de la velocidad del viento (Wright y Bailey, 1982). En combustibles gruesos, el aumento de temperatura es mayor y su máximo valor se ubica cerca de la altura máxima de la vegetación (por ejemplo, 1 -1,2 m en un fachinal bajo, según Wright y Bailey, (op cit.).

2.4.3.3. Temperatura en la superficie del suelo

En combustibles finos, la temperatura máxima promedio medidas en la superficie del suelo aumentan en relación lineal con la biomasa (Kg/ha) de combustible quemado hasta un valor máximo de 300 – 400°C (Wright y Bailey, 1982). Estas temperaturas alcanzadas no son influenciadas por la temperatura y/o humedad relativa del aire y la humedad del suelo Wright y Bailey, (op cit.). La velocidad del viento es un factor importante ya que al aumentar aviva las llamas (incorporación de oxígeno) favoreciendo la liberación de calor (E).

La acumulación localizada de combustible fino y en distinto grado de compactación puede causar variaciones en la temperatura máxima promedio observada. Así, en pastizales de *Elionorus muticus* (avive) Kunst et al., (2000) en la región Chaqueña informan temperaturas superiores a 300°C, mientras que Peláez, (1995) y Boó et al. (1996), dan cuenta de temperaturas máximas promedio más altas (500 – 600°C en quemas experimentales en el Caldenal (Pcia. de La pampa y Sur de la Pcia. De Bs. As.), donde los pajonales (*Stipa*, spp.) tienen combustibles finos en mayor cantidad.

2.4.3.4. Temperaturas bajo del suelo

Debido a la baja conductividad calórica de los materiales que lo componen, la temperatura en el cuerpo del suelo desciende en forma brusca con la profundidad. En fuegos de pastizales la temperatura aumenta solo en el primer centímetro del suelo mientras que los cambios en mayores profundidades son despreciables (Wright y Bailey, 1982; Neiff, 2001). Las temperaturas máximas promedios observadas en la literatura en este nivel del suelo son de 30-80°C, para distintas clases de combustibles finos, como

se muestra en la figura 1. La penetración del calor y el aumento de temperatura bajo combustibles gruesos es mayor.

2.4.3.5. Persistencia calórica

La persistencia en el tiempo de exposición a la temperatura máxima es muy importante desde el punto de vista ecológico, aspecto que ha sido más estudiado para los combustibles finos en quemas de pastizales. La duración de altas temperaturas sobre la superficie del suelo, en general presenta un rápido incremento inicial hasta alcanzar un máximo, para luego decaer lentamente, como se observa en la figura 8.

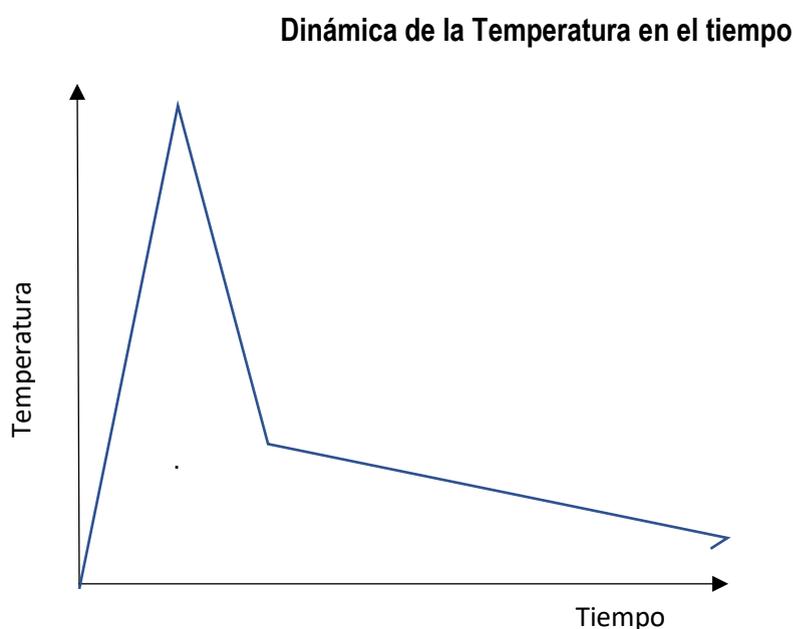


Figura 8 Tomada de: Kunst, et al., 2003

La temperatura máxima y la velocidad de caída están en función de la cantidad y características químicas de los combustibles finos presentes y de la velocidad del viento.

Sobre combustibles gruesos, la permanencia de temperaturas altas en la superficie del suelo puede ser larga. Para el Chaparral de California se señala una persistencia de 15 minutos en temperaturas entre 300 y 700°C. A 2,5 cm de la superficie del suelo las temperaturas varían entre 90 y 195°C, alcanzando un valor de 50°C a los 5 cm. (De Bano, 1977, citado por Wrigth y Bailey, 1992).

La composición química de los combustibles influye directamente sobre la persistencia de la temperatura. Bradstock et al., (1992) comunican mayores temperaturas en la superficie del suelo en hojarasca de Eucaliptus, rica en aceites esenciales.

En resumen, el comportamiento de la duración calórica en el sitio de quema es difícil de generalizar, debido a la multiplicidad de condiciones (tipo y cantidad de combustibles, humedad de suelo, viento). Los autores (citas) concuerdan en que las altas temperaturas duran pocos minutos, cuando se trata de combustibles finos, y que la propagación del calor en profundidad del perfil de suelo se disipa a pocos centímetros de la superficie. Son necesarias mediciones adecuadas en sitios donde se practica el desbroce con fuego de los residuos de cosecha.

3- TRABAJO DE CAMPO

3.1. Justificación y alcance de los trabajos.

La revisión bibliográfica comentada permitió conocer que no hay consenso respecto de los efectos de las quemas de residuos de cosecha sobre los componentes sensibles de los ecosistemas. Las fuentes de incertidumbre que dificulta la aplicación de los resultados de tales estudios son muchas y variadas, pudiendo mencionarse: las diferencias en el contexto ambiental en que se realizaron los ensayos, los indicadores escogidos, los métodos y aparatos de medición, y la escala de tiempo de espacio en que se cumplieron tales estudios.

Ante esta situación, y con la intención de realizar un aporte al conocimiento del tema, con posible aplicación a las condiciones locales, se presenta seguidamente un análisis realizado en oeste de la Provincia de Corrientes. Los resultados que se presentan revisten carácter preliminar y se encuadran de un proyecto de investigación que se desarrolla por acuerdo entre CECOAL (CONICET-UNNE) empresas del sector forestal (EVASA S. A, NOVARTIS S.A), del que forma parte el autor de este documento, y cuyo director del mismo es el director de esta tesina. La mayoría de la información producida y comentada a continuación, fue tomada de ensayos realizados en EVASA, en la que el suscripto se desempeña, en el área de prevención y manejo del fuego.

3.2. Características del área de estudio

Los campos de EVASA SUR se encuentran ubicados sobre la ruta Provincial N° 22 entre las localidades de Concepción y Chavarría de la provincia de Corrientes. Los campos donde se desarrolló la investigación se encuentran a 28° 39' 19" Latitud Sur y a 58° 16' 41" Longitud Oeste (Fig.9).

Sudamérica



Corrientes, Argentina

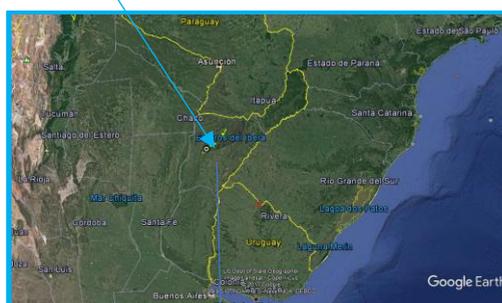


Figura 9. EVASA (Tratamientos)

De acuerdo a lo establecido en el Mapa de Suelos de la Provincia de Corrientes, la Unidades Cartográficas correspondientes a los campos de EVASA son las denominadas **15 a D-E-F** y la **65 a E-H-D**. Las dos unidades representan una 490 mil ha del total provincial, de éstos el 45% son suelos de la Serie Chavarría, 13% de la Serie Pampín, 22% de la Serie Bravo y 5% de la Serie Primo. Todas éstas series son del grupo **Entisoles**, siendo la principal diferencia entre ellos el espesor del manto de arena (menor en la Serie Chavarría y mayor en la Serie Primo), lo que hace variar en la profundidad efectiva (menos a 1 metro en la Serie Chavarría y mayor a 2,5 m en la Serie primo).

El área de estudio se encuentra en clima subtropical, muy cálido en verano, pero con heladas en el invierno. La temperatura media anual varía entre los 27°C de máxima y 14°C de mínima. Según la clasificación climática de Thornthwaite, que permite diferenciar regiones climáticas en la provincia. los sitios de los establecimientos de la empresa están en el tipo climático **B1 B'4 r a'**, que ocupa la región central, con clima húmedo (B1), mesotermal (B'4), con pequeña o nula deficiencia de agua (r), y concentración estival de la eficiencia térmica menor al 48% (a), indicando que otros meses (además de los meses de verano) poseen temperaturas y condiciones hídricas adecuadas para el desarrollo vegetal (Escobar, 1996). La temperatura media anual en las estaciones más cercanas de los sitios forestales oscila entre 20°C y 20,7°C. Entre octubre y abril, la temperatura media supera los 20°C. En el área considerada las isotermas tienen orientación aproximada noreste-suroeste con valores de 20°C a 21°C. Los períodos más rigurosos por las bajas temperaturas se extienden desde mayo hasta julio. Las precipitaciones anuales históricas corresponden a la isohieta 1.100 mm, si bien con distribución estacional. La mayor de las lluvias ocurre entre octubre y abril y, en períodos prolongados de La Niña (como el que se dio en 2003-2009) se registra deficiencia hídrica que llega a producir condiciones circunstanciales de estrés en las plantaciones, con aumento del aporte de hojarasca (Neiff et al. *en preparación*)

3.3. Métodos y materiales

Para agregar elementos a la discusión sobre el uso del fuego en la actividad biológica, en EVASA se llevó a cabo un ensayo, para analizar la velocidad de descomposición de la materia orgánica (MO) en cinco sitios próximos, con usos del suelo y próximos entre sí, para comparar lo que ocurre en ambientes forestales y en ambientes naturales:

- ✓ plantación de pinos adultos, y de pinos jóvenes
- ✓ sitio recién desbrozado con fuego,
- ✓ bosque nativo (BN)
- ✓ palmar de palma poñí

Se analizó en ambos sitios la fauna de invertebrados del suelo como indicadora de condiciones de disturbio y para conocer su posible recuperación en el sitio quemado, respecto de los restantes mencionados.

Para evaluar los efectos de la quema sobre la biota del suelo, se realizó un diagnóstico base de los suelos que no han sido quemados, para contar con la configuración basal en cuanto a riqueza de especies y a la abundancia de organismos edáficos en sitios con la misma configuración ambiental, en la misma condición de relieve. Para esto se definieron los siguientes tratamientos, como se observa en la tabla 5.

Tabla 5. Tratamientos EVASA

TRATAMIENTOS	DESCRIPCIÓN	CAMPO
T1	Campo nuevo Quemado (CQ)pos tala rasa	Toro Cuaré
T2	Pino Taeda Adulto (PTA)	Toro Cuaré
T3	Bosque Nativo Higrófilo (BNH)	Ibicuy
T4	Cocal Palmar Poñi (CPP)	Ibicuy
T5	Pino Taeda Joven (PTJ)	Toro Cuaré

3.3.1. Caracterización de los tratamientos

El sector donde se encuentran los tratamientos (figuras 10, 11 y 12), pertenece al área de suelos de la Serie Chavarría, son suelos de planicie, arenosos pardo-amarillentos, en posición de media loma a media loma baja, con pendiente de 1-1,5%, el escurrimiento es medio, la permeabilidad moderadamente lenta y el drenaje es imperfecto a moderado. Son suelos de baja fertilidad, con escaso tenor de materia orgánica (0,6 – 0,8 %), bajo contenido de base de cambio y C.I.C. (Capacidad de Intercambio catiónico) débilmente ácido y de pobre retención de agua.

Presentan serias limitaciones que restringen la elección de especies y requieren manejo cuidadoso. Las principales limitantes se refieren al exceso de humedad, con sobresaturación por tiempo prolongado, y períodos de deficiencia que ocurren durante el fenómeno La Niña, como se dijo. Tienen baja fertilidad natural.



Figura 10. Tratamiento 1, Campo Quemado (CQ) post tala rasa, Ea. Toro Cuaré



Figura 11. Tratamiento 2, Plantación de Pino Taeda Adulto (PTA), Ea. Toro Cuaré.



Figura 12. Tratamiento 5, Plantación Joven de Pino taeda (PTJ), Ea. Toro Cuaré.

3.3.1.1. Tipo de Cosecha utilizado, configuración de máquinas

Antes de caracterizar los combustibles (restos de cosecha), es importante conocer el método de cosecha utilizado en el tratamiento donde se realizó la quema de residuos forestales, la especie, productividad real y obtenida al final de la tala rasa. Para esta tarea se utilizó el método (procesado del árbol a medida, dentro del lote) dejando los residuos esparcidos en el mismo y acomodados en estivas no superiores al 1,5 m de alto, paralelas a los líneas cosechados. La configuración de máquinas estuvo

conformada por un procesador (tarea de corte, volteo, desramado y trozado) cuya parte motriz es una excavadora oruga, de marca Komatsu PC 200 y cabezal procesador Komatsu 370 E (figura 13), cuyo equipo pesa 22 toneladas. La extracción de la madera comercial fue realizada por un equipo denominado forwarder de marca Jonh Deere 1710 D, con 8 ruedas neumáticas, de peso vacío 20,43 toneladas y carga máxima de 17 toneladas. A borde del lote la carga de la madera se realizó con una grúa marca Caterpillar 312, cuyo peso es de 13,14 toneladas.

La especie cosechada fue *Pinus taeda* del año 1999, con 16,5 años de edad al momento de la cosecha. El IMA (Incremento Medio Anual) proyectado para este sitio/especie fue de 10 m³/ha/año. El volumen real comercial obtenido fue de 165 t/ha.



Figura 13. Configuración de máquinas de cosecha, EVASA 2015

3.3.1.2. Clasificación de los residuos post tala rasa

Antes de realizar la quema controlada se cuantificó la carga de combustible en el tratamiento de CQ y se lo clasificó por tamaño, como se observa en la tabla 6.

Tabla 6. Carga de residuos pos Tala Rasa

Categoría	Tamaño (diámetros)	Cantidad tn/ha
Finos	<0,5 cm	36,67
Medianos	>0,6 – 7,5 cm	20,60
Gruesos	>7,5 cm	16,42
Total		73,69

Fuente. EVASA-febrero 2016.

3-3.1.3. Tratamiento campo nuevo (quema reciente) y tratamiento plantación Joven

Con el objetivo de determinar el comportamiento del fuego se describe las condiciones climáticas a los 5 días previos, durante y 5 días posterior al tratamiento de desbroce con fuego controlado se tomó el índice IRIR (Índice de Riesgo de Incendios Rurales), comunicado diariamente por la Dirección de Recursos Forestales de la provincia de Corrientes a través del CMF (Consortio Manejo del Fuego) con datos de las variables meteorológicas que son enviadas desde la Central de Operaciones de EVASA.

En el caso del campo nuevo (quema reciente), para los 5 días previos a la quema que se mantuvo dentro de la clasificación de Moderado. No se produjeron precipitaciones, y; el día de la quema (21/01/2016) el IRIR era Alto, siendo las variables medias meteorológicas registradas: Temperatura (32°C), Humedad Relativa (55,7%), Velocidad del Viento (7,87 Km/h), Nubosidad (25%) y Precipitaciones (0 mm) y posterior a la quema el promedio fue bajo/moderado, ya que cuatro días se registraron precipitaciones, 45 mm .

Como información de referencia, en el caso del tratamiento plantación joven los días previos a la quema controlada el IRIR indicaba Medio – Medio Alto; el día de la quema (15/07/2012) el IRIR indicó Medio según se indica en la figura 14, y los días posteriores a la quema se mantuvo en moderado. Las variables meteorológicas medias durante la ejecución de la quema fueron: Temperatura (11,67°C); Humedad Relativa (69,7%); Velocidad del viento (4 Km/h); Nubosidad (0 %) y Precipitaciones (0 mm). Los 5 días antes y después de la quema no se registraron precipitaciones.

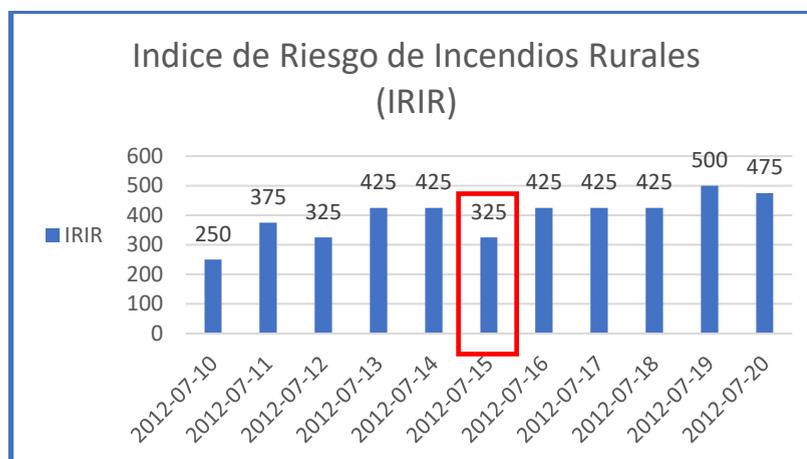


Figura 14 Índice Riesgo Incendios Rurales-Central de Operaciones EVASA-Consortio Manejo del Fuego.

3-3. 1..4. Desbrozado con fuego en el tratamiento campo nuevo (quema reciente) y plantación joven

Debido a la distribución de las estivas el tipo de quema es el denominado en fajas paralelas, previo a obtener una línea de seguridad en los límites. La mezcla utilizada para realizar la ignición fue de 30% Nafta con 70% gasoil (mezcla estándar) que se prepara en una antorcha de goteo, como se observa en la figura 15.



Figura 15. Operario dando Inicio al desbrozado con antorcha de goteo, Ea. Toro Cuaré EVASA 2016.

El movimiento de recursos, tiempo, ubicación, IRIR se encuentran en la ficha de quema elaborada por la Central de Operaciones de EVASA a través del sistema de gestión de la empresa. (coperaciones@evasaforestal.com.ar)

En el tratamiento de plantación joven de Pino taeda del año 2012 (plantación joven), donde también se utilizó previamente el desbroce con fuego controlado, la tala rasa se realizó con la misma configuración de máquinas sobre un *Pinus taeda* del año 1999 con 13 años de edad, que al momento de la cosecha tenía un IMA de 19,4 m³/ha/año (se desconoce la carga del combustible residual).

3-3.1.5. Bosque nativo, cocal o “palmar de poñi” (*Butia paraguayensis*)

El tratamiento donde se encuentra el cocal de palma (*Butia, paraguayensis*), corresponde a un paisaje de sabana abierta, con la matriz formada por *Andropogon lateralis* y facies de *Elionorus muticus* o de *Aristida jubata*, que tiene un estrato muy laxo, compuesto por plantas herbáceas de unas diez especies, que no llegan al 5% de cobertura debido a que las matas de paja interfieren la radiación en más de 90%.

La palma poñi crece en núcleo de hasta 8 plantas, o como plantas aisladas distribuidas cada 4 – 8 metros en una matriz cerrada de pajonal, de 50 – 70 cm de alto. Las palmas se yerguen a 1 -3 m

sobre el suelo, y sus hojas forman una corona abierta de hasta 2 m de diámetro, como se observa en la figura 16.



Figura 16. Tratamiento 4, Cocal o “palmar de poñi” (CPP), Ea. Ibicuy-EVASA.

El cocal se encuentra sobre suelo arenoso profundo (mayor 2 metros), de color rojizo-amarillento, con escurrimiento medio y permeabilidad moderada sin peligro de anegamiento.

Son suelos ligeramente ácidos, de baja fertilidad natural, con pendiente del 0,5 al 1%, y buenas condiciones físicas para el desarrollo radicular y penetración del agua.

La fuerte radiación solar y la circulación del viento, el drenaje, la escasa retención del agua de lluvia, determinan que sea un ambiente de menos contenido de humedad en los primeros centímetros del perfil y explican también la escasa acumulación de hojarasca sobre el suelo (Neiff et al. 2016).

3-3 1.6 Bosque nativo higrófilo

El bosque higrófilo nativo se encuentra en una masa de 10 hectáreas, que tiene las características de los denominados bosques higrófilos relictuales del paisaje fluvial del Paraná (Neiff, 2005; Cabrera, 1976). Ambos autores mencionan que estos bosques son parte de la Selva Paranaense, si bien con un menor número de especies.

El dosel arbóreo corresponde con una formación alta (15 – 20 m), continua, cerrada (el vuelo de la copa ocupa más del 70%) en tres estratos leñosos, con un estrato bajo, herbáceo, del que participan también, renuevos de las plantas leñosas, y que cubren totalmente el suelo, como se observa en la figura 17.



Figura 17. Tratamiento 3, Bosque nativo higrófilo (BNH), Ea. Ibicuy EVASA.

El suelo es de arena mediana a muy finas, con abundante materia orgánica en los primeros 5 cm, y se encuentra cubierto por 2-4 cm de hojarasca, permanentemente húmeda durante el período de la investigación, debido a la regularidad con que se dieron las lluvias, y a la cantidad de lluvias que llegaron en el 2016 a 2100 mm, cantidad muy superior a la media de la zona (Neiff et al, 2016a).

La escasa o nula circulación del viento dentro de la masa, la interferencia de las copas a la radiación (80 – 90% a nivel del suelo) y la abundancia de lluvias, determinan una condición muy favorable al proceso de descomposición y mineralización de la hojarasca. (Neiff et al, op cit.)

Por ser un bosque pluriespecífico, el aporte orgánico se produce durante todo el año en función de la estacionalidad propia de cada especie. Las especies encontradas fueron: *Handroanthus heptaphyllus* (lapacho rosado), *Peltophorum dubium* (ibirá pytá), *Holocalyx balansae* (alecrín), *Nectandra angustifolia* (laurel de río), *Cordia americana* (guayaibi), *Pourteria gardneriana* (aguai), *Eugenia uniflora* (ñangapiri). El sotobosque sobresale por su belleza y abundancia, el jazmín paraguayo (*Brunfelsia uniflora*), que ocupa el estrato bajo y tiene numerosas plántulas en el estrato cespitoso (cita).

La descomposición de la materia orgánica fue medida por el método de las bolsas de litera (Crossley y Hoglund, 1962) según como se observa en la figura 18. En marzo del 2016, se colocaron en cada sitio 30 bolsas plásticas de 20 cm x 20 cm y 2 mm de apertura de malla en todos los tratamientos donde se realizó el desbroce con fuego (CQ, PTJ) y conteniendo 10 g seco de hojarasca de pino taeda (PTA, BHN, CPP).



Figura 18. Instalación de las bolsas de litera. El cuadro superior derecho muestra la manera en que se coloca la bolsa sobre el suelo mineral, debajo de la hojarasca, tratando simular una condición no perturbada.

Después de 30, 60 y 90 días se retiraron de cada sitio tres bolsas, las mismas fueron identificadas y guardadas en bolsas de polietileno y llevadas a laboratorio para su análisis. En el laboratorio las hojas fueron lavadas sobre tamices de 200μ para retener los invertebrados y luego secadas en estufa a 105°C , hasta obtener peso seco constante. A través de la fórmula de Olson (1963) se calculó el coeficiente de decaimiento de la materia orgánica, que es el tiempo necesario para que se descomponga el 50% de la materia vegetal, lo que se conoce como “vida media” de la hojarasca:

$$W_t = W_o e^{-kt}$$

donde:

W_o = cantidad de hojarasca en el inicio del ensayo

W_t . = cantidad de materia orgánica remanente en el tiempo t

t = tiempo en días

kt = constante del proceso.

where W_o is the original amount of litter; W_t . is the amount of litter remaining after the time t , and t is the time in days.

Paralelamente en los meses de abril y mayo del 2016, se tomaron muestras con un cuadro de 25 cm x 25 cm sobre el suelo extrayendo toda la hojarasca contenida en cada cuadrado para cuantificar la abundancia de invertebrados, la cual fue referida al número de individuos por m^2 , como se observa en la figura 19. Posteriormente fueron llevadas a laboratorio, y colocadas en embudos Tullgren y Berlese

(figura 20), para recolección, identificación y conteo de los invertebrados. Los datos fueron expresados como abundancia relativa en porcentaje (%) respecto del total de invertebrados en las muestras.



Foto 19. Cuadro para toma de muestra de hojarasca.



Foto 20. Embudos Tullgren-Berlese utilizados para separar los invertebrados de la hojarasca.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descomposición de la hojarasca (mantillo)

El peso seco remanente, expresado en porcentaje con respecto al peso inicial de la hojarasca, indica la pérdida de masa de los diferentes materiales puesto a descomponer. Las acículas de pino taeda (PTA) se descomponen más lentamente, al igual que el material procedente del campo quemado (CQ). Después de 90 días, permaneció sobre el suelo, más del 78% del material original (Fig.21), pero al final del experimento tienden a igualarse.

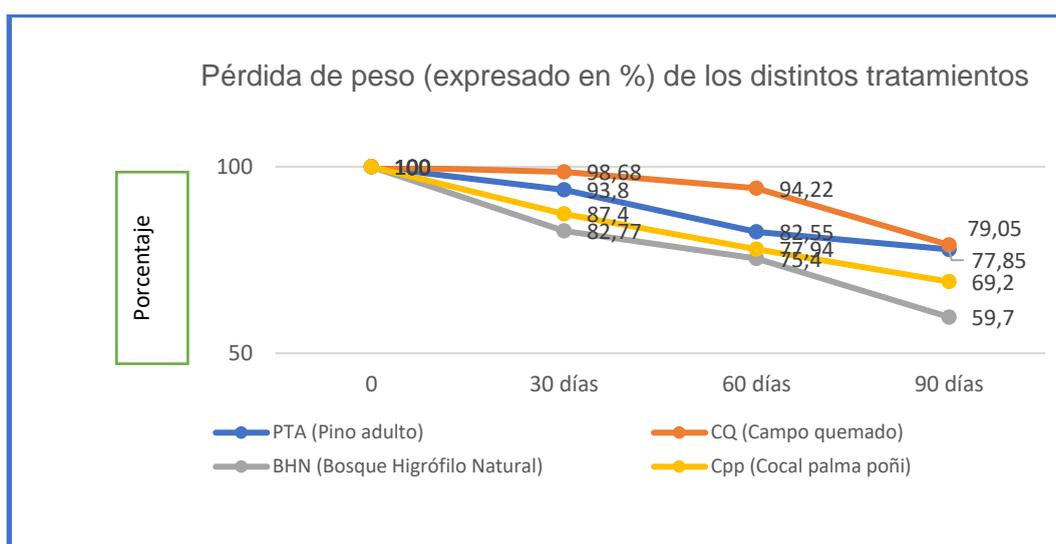


Figura 21. Pérdida de peso seco (expresado en %) de la hojarasca para los distintos tratamientos.

Como era de esperar, la hojarasca del bosque nativo (BHN), tuvo mayor pérdida de masa que las acículas de pino, pero también fue rápida la descomposición en el palmar, Fig.21. Para el caso del tratamiento 5 en plantaciones jóvenes no se cuenta con datos de descomposición y abundancia de invertebrados por problemas operativos.

El tiempo necesario para que se descomponga el 50% de la hojarasca fue 90 días para el bosque pluriespecífico y 121 días para el palmar. Después de 90 días, casi el 80% de la masa inicial de pino taeda permaneció sin descomponerse en plantaciones adultas de Toro Cuaré. En el campo quemado (CQ), la descomposición fue más lenta en las primeras fechas de incubación, pero al final del experimento se asemejaron al del pinar. La vida media estimada para la broza de acícula de pino fue de 248 días, en tanto que en el campo quemado fue de 264 días. No se realizó este ensayo en el tratamiento del pino joven.

La tasa anual de descomposición (k) es de 0.8 años^{-1} , valor común en acículas de plantaciones en zonas climáticas tropicales o subtropicales (O'Connell y Sankaran, 1997), y de 0.3 años^{-1} para las ramas finas (Goya et al. 2000).

La lenta descomposición está relacionada con factores ambientales (tales como la temperatura, pH, nutrientes, etc.) y a la composición química de la broza (factores intrínsecos). De acuerdo a la bibliografía, en los bosques de pino taeda el suelo es ácido y el mantillo tiene una relación C: N alto (Goya et al., 2003) común en las regiones tropicales (>20). Esta alta relación y la presencia de compuestos refractarios ha sido señalada como la causa lenta de la descomposición de la hojarasca en los pinares de diferentes especies.

En experiencias realizadas en Colombia con *Pinus oocarpa*, después de 365 días, solo el 25,2% de la materia producida por el bosque fue incorporada al suelo (Farfán y Urrego, 2007). Bajo rodales de Pino radiata en Chile, se registraron pérdida del 20% (respecto del peso seco inicial) después de 2 meses (Lusk et al., 2001). En plantaciones mixtas de pino y roble en México, después de 135 días permanece entre el 65 y 73% de la masa inicial (Martínez y Falcon et al., 2015). De acuerdo a las experiencias realizada en Misiones, el 60% de las raíces de Pino taeda, quedó en el suelo después de 120 días y menos del 30% en 350 días (Pinazo et al., 2015).

La estimación de la tasa de descomposición estuvo basada en un experimento de 90 días en EVASA. La bibliografía existente para especies de pinos indica, que el proceso de descomposición es mucho más rápido en los dos primeros meses que en los meses siguientes (Melillo et al., 1982; Lusk et al., 2001; Martínez y Falcón et al., op.cit.). Este hecho es debido a una degradación rápida de los componentes más lábiles de las acículas, tales como los carbohidratos solubles durante el proceso de descomposición (Suberkropp et al., 1976). En referencia a *Pinus elliottii* (Frank et al., 2014), destacaron que la velocidad de descomposición es más rápida en el comienzo del experimento, pero que posteriormente se estabilizó, por lo que el 69% de las hojas se descompusieron recién al final del segundo año.

La quema de los residuos produce alteración de las características del suelo y una importante pérdida de materia orgánica y nutrientes (Fölster y Khanna, 1997). La rápida mineralización que se produce con la quema puede producir un aumento en la productividad en una etapa inicial, principalmente por aumento en la disponibilidad de fósforo (Fisher y Binkley 2000); No obstante, algunos estudios demostraron que difícilmente se mantiene a lo largo de todo el turno (Gonçalves et al. 1997). Los valores del *IEP* obtenidos para el N, P y K con la práctica de cosecha que comprende la quema de los residuos se aproximan a los obtenidos para la práctica de extracción del árbol completo.

4.2. Invertebrados del suelo

El número promedio de invertebrados que coloniza la broza durante el experimento de descomposición varió entre 106,3 y 264,6 individuos por bolsa de broza en el bosque nativo higrófilo (BNH) y entre 57,6 y 164,6 en el cocal palmar poñi (CPP), según las diferentes fechas de incubación consideradas. En las bolsas de brozas del pinar adulto (PTA) de Toro Cuaré no hubo invertebrados colonizadores hasta los 60 días de incubación y la máxima abundancia se registró después de 90 días de incubación (51 individuos por bolsa). En el campo quemado (CQ) solo se encontraron invertebrados (promedio de 15 individuos por bolsa) en la última fecha de incubación (Fig. 22).

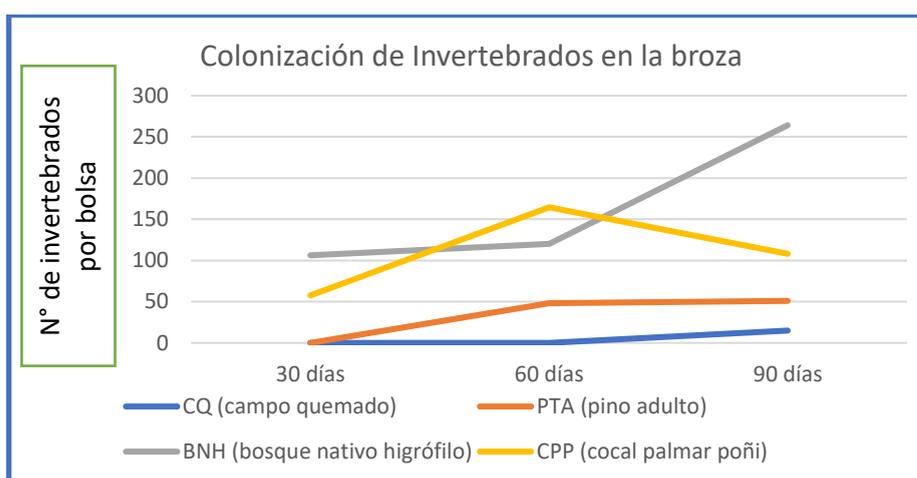


Figura 22. Cantidad de individuos recolectados en los diferentes tratamientos

En las muestras evaluadas de los distintos sitios estudiados, la abundancia promedio llegó a 1289 Individuos/m² (Ind. /m²) en el pinar adulto (PTA), cifra que resultó mayor en el bosque higrófilo nativo (BNH) para el mismo mes de abril 2016, (Fig. 23.). En el campo quemado (CQ) tuvieron menor número de invertebrados que el PTA con condiciones de sitios semejantes.

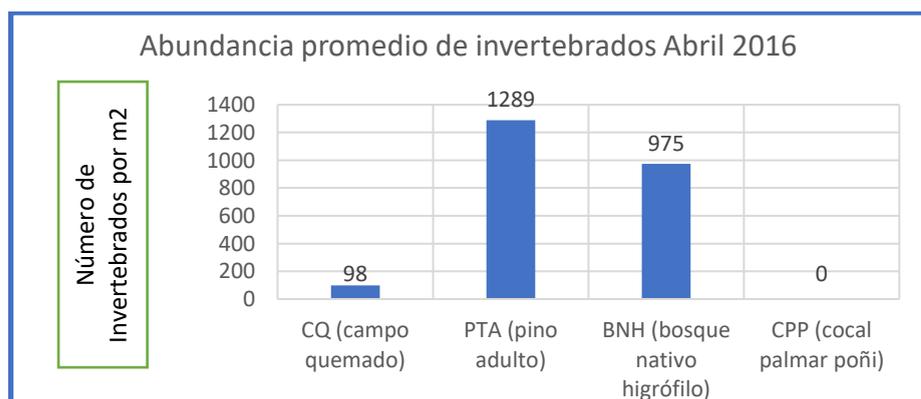


Figura 23. Abundancia promedio de invertebrados (Ind/m²) en abril 2016.

En junio de 2016 el número promedio de invertebrados en el palmar (CPP) y en el bosque nativo (BNH) de Ibicuy superaron los 1400 invertebrados por m², en tanto que el pinar adulto (PTA) de Toro Cuaré la abundancia llegó a 960 Ind/m², figura 6. El campo quemado (CQ) registró mayor número de invertebrados en junio (272 Ind/ m²) que, en abril del mismo año (Fig.24).

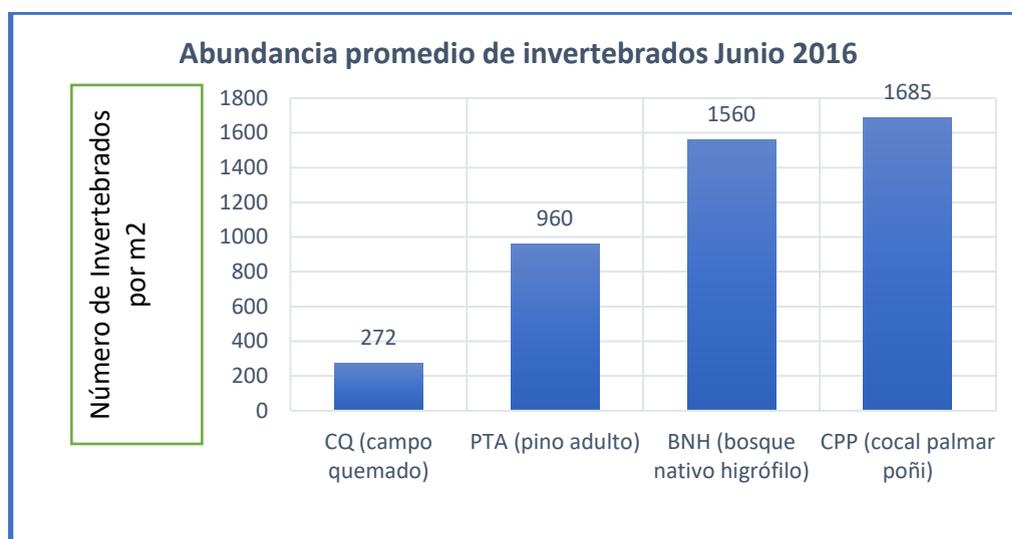


Figura 24. Abundancia promedio de invertebrados (Ind/m²) en junio 2016.

En el campo quemado hubo una menor abundancia de invertebrados en el suelo que en los otros sitios restantes, pero es de destacar que la presencia de colémbolos es alta, importante en la descomposición de la materia orgánica.

Si bien no hubo dominancia de colémbolos en los tratamientos de bosque nativo y cocal, pero este grupo estuvo representado en el tratamiento con quema. Los colémbolos son típicos integrantes de la fauna de suelo y se alimentan de la vegetación en descomposición de hongos y algas. Tienen un importante papel funcional en los procesos de descomposición de la materia vegetal, en el ciclo de los nutrientes.

5. CONCLUSIONES

La producción de material vegetal (broza) y su descomposición en el piso del bosque, son dos importantes procesos en los sistemas forestales asociados a su sustentabilidad a largo plazo. Determinar la cantidad y composición de materia orgánica y posterior descomposición son vitales para conocer el flujo de energía y el patrón de liberación de los nutrientes.

Los resultados obtenidos en el ensayo realizado, en cuanto a la velocidad de descomposición de la materia orgánica, estuvieron en los rangos señalados por otros estudios para los ambientes subtropicales.

En lo referido a la fauna del suelo y el proceso de descomposición del material vegetal, tanto la cantidad como la abundancia registrada como la riqueza (taxonómica), fueron los esperados para un período lluvioso y de otoño-invierno. De acuerdo a los resultados obtenidos hasta el presente y para el período evaluado, los tratamientos de campo quemado poseen menor cantidad de invertebrados contra los no quemados y bosque nativo, si bien los invertebrados encontrados son del grupo que intervienen en la descomposición de la materia vegetal (ácaros y colémbolos) y que tienen activa participación en el proceso que conduce a la mineralización de los restos orgánicos. La abundancia de estos grupos es similar al del tratamiento pinar joven, y se vio recuperada al final del período del ensayo.

Los resultados obtenidos corresponden a los 90 días, pero por otros estudios e investigaciones el proceso de recuperación de la biota, demanda un tiempo superior al año, debido esto a dos circunstancias concurrentes:

1) el efecto del fuego como generador del disturbio (asociado a las condiciones generales de la quema como, características de los residuos (cantidad, distribución), temperaturas máximas (gradiente térmico), humedad del residuo y del ambiente, duración del calentamiento y profundidad que alcanza en el suelo); y,

2) debido al efecto del cambio en el microclima del suelo luego de la cosecha (aumento de la insolación, de la amplitud térmica diaria y estacional, disminución de la humedad en la capa de hojarasca) y otros factores que merecen ser monitoreados por un período más largo.

Sin embargo, el uso del fuego para la eliminación del residuo forestal y su efecto obtenido en el corto plazo no demuestra que haya afectado de forma irreversible a la biota, sobre todo teniendo en cuenta los registros de especies y abundancias de organismos que se dio al final del período de observación.

Otro aspecto que apoya lo expresado es la velocidad de descomposición observada en distintas formaciones leñosas. Para que se descomponga el 50% del total de la materia orgánica de la hojarasca, demandó 90 días en el bosque nativo pluriespecífico, 121 días en el cocal de poñi, y 248 día en el pinar de plantaciones adultas, en tanto que se estimó en 264 días para el campo quemado nuevo. Es decir, si bien el disturbio producido por la quema pudo producir impactos desfavorables en esta etapa inicial, no puede considerarse una grave interferencia en los flujos biogeoquímicos.

Si el fuego afecta exclusivamente a la vegetación sobre la superficie del suelo, el aporte de cenizas o materiales que no han sido completamente carbonizados, mejoran las propiedades antes mencionadas, generando el efecto inverso en la vegetación, post fuego.

La reducción de los residuos forestales posterior a la tala rasa a través del uso del fuego es una técnica utilizada regularmente por los productores forestales regionalmente, se encuentra asociado directamente a una serie de factores, como la falta de demanda de productos residuales del bosque para distintos usos, aumentos de los costos de las actividades silviculturales y estacionalidad de los precios de venta de los productos entre otros.

Como se hizo mención en los antecedentes e investigaciones respecto al efecto de fuego sobre la materia vegetal, sobre la microbiota y sobre la nutrición del suelo, está relacionado con la frecuencia, intensidad y severidad de las quemadas.

Teniendo en cuenta que en un ciclo forestal promedio en plantaciones de pinos de la provincia varía entre 18-22 años, la carga acumulada de hojarasca, el clima subtropical, la velocidad de descomposición (respuesta biótica) y la recuperación de la población de invertebrados, se podría mencionar que la frecuencia del desbrozado con fuego es muy baja con lo cual los procesos asociados al manejo forestal no se verían interrumpidos irreversiblemente en tanto las quemadas se realicen con observancia de las buenas prácticas.

Los resultados obtenidos y el análisis de la información publicada permiten expresar que deben realizarse estudios de la cobertura e intensidad suficientes, que permitan arribar a conclusiones más firmes para mejorar las prácticas actuales y establecer con mayor precisión los efectos de las quemadas sobre los componentes ecosistémicos.

En ese sentido, se sugiere también evaluar el efecto de las quemadas sobre la emisión de gases de efecto invernadero, dado que Argentina es signataria del Protocolo de Kioto y del acuerdo de París para disminución de las causas del calentamiento global del clima.

6. BIBLIOGRAFIA

- ABRIL, A., GONZÁLEZ, C. 2000. Dinámica de la fertilidad y de las poblaciones microbianas en suelos afectados por incendios en las Sierras de Córdoba, Argentina. *Agriscientia*. Cap.16: 63-68.
- ACEA, M., CARBALLAS, T. 1996. Changes in physiological groups of microorganisms in soli following wildfire. *FEMS Microbiology Ecology*. Cap. 20: 33-39.
- ARMÚA DE REYES C., BERNARDIS A., MAZZA S., GOLDFARD M.C. 2004. Efecto del fuego sobre la fauna de invertebrados de un pastizal al noroeste de Corrientes. *Agrotecnia* 13. Cap. 6 p.
- BAATH E., FROSTEGARD A., PENNANEN T., FRITZE H., 1995. Microbial comuniti structure and pH response in relation to soil organic matter quality in Wood-ash fertilized, clear-cut or burned coniferous forest soil. *Soil Biol. Biochem*. Cap.27: 229-240.
- BOÓ R., PELÁEZ D., BUNTING S., ELÍA O., MAYOR M., 1996. Effect of fire on grasses in central semi-arid Argentina *Journal of Arid Environment*. Cap. 32: 259-269.
- BRADSTOCK R.A., AULD T.D., ELLIS M.E., COHN J.S., 1992. Soil temperatura during bushfire in semiarid mallee shrubiands. *Australian J. Ecol*. Cap.17: 433-440. BRONICK C.J & LAL., 2005. Soil estructure and management Review. *Geoderma*. Cap. 124: 3-22.
- BURROWS N. A., 2000. Soil heating index for interpreting ecological impacts of jarrah forest fires. *Australian Forestry*, Cap. 62: 320-329.
- CARLYLE J.C., M.W. BLIGH, and E.K.S. NAMBIAR, 1998. Woody residue management to reduce and phosphorus leaching from sandy soil after clear-felling *Pinus radiata* plantations. *Can J. For. Res.* 28: 1222-1232.
- CARTER M.R., 2002. Soil quality for sustainable land management: Organic matter and aggregation interaction that maintain soil function. *Agren. J.* Cap. 94: 38-47.
- CAMBELL G., JUNGBAUER Jr., BIDLAKE W., HUNGERDFORD R., 1994. Predicting the effects of temperatura on soil termal conductivity. *Soil Science*, cap. 158: 307-313.
- CERDÁ A., 2004. *Geophysical Research Abstracts*, 6. 07193.
- CHOROMANSKA U., DE LUCA T., 2001. Prescribed fire alters the impacts of wildfire on soil biochemical properties in a ponderosa pine fores. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* Cap. 65: 232-238.
- CROSSLEY D A Jr., HOGLUND M P (1962) A litter-bag method for the study of microarthropods inhabiting leaf litter. *Ecology* 43:571-574
- DUNN P., BARRO S., POTH M., 1985. Soil moisture affects survival of microorganisms in heated chaparral soil. *Soil Biol. Biochem*. Cap.17: 143-148.
- DURÁN J., GALLARDO A., J.M. FERNÁNDEZ J.M., PALACIOS., 2004. Efecto del fuego sobre la biomasa microbiana del suelo de ecosistema de Pino Canario (*Pinus canariensis*) – Actas de la 1° Reunión sobre Ecología, Ecofisiología y Suelos Forestales. Cap.20: 181-186.
- ECO FUEGO. 2006., Actas de la Segunda Reunión Patagónica y Tercera Nacional sobre Tecnología y Manejo del Fuego. Ezquel (Chubut) del 25 al 28 de abril. Pag.193-198.
- ELVIRA MARTIN C., HERNANDO LARA C., 1989. Inflamabilidad y energía de las especies de sotobosque. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Inst. Nacional de Investigaciones Agrarias. Madrid.
- ESCOBAR, E. H.; LIGIER, H. D.; MELGAR, R.J.; MATTEIO, H. R. y O. VALLEJOS. 1996. Mapa de **suelos** de la provincia de **Corrientes**. 1:500.000. INTA. EEA Corrientes. Corrientes ... AR. 1996. 432 p.

- FARFAN V., URREBO J.B. 2007. Descomposición de la hojarasca y liberación de nutrientes de *Coffea arabica*, *Cordia alliodora*, *Pinus oocarpa* y *Eucalyptus grandis* en sistemas agroforestales con café. Report. Cenicafé, cap.58(1): 29-39.
- FENN M., POTH M., DUNN P., BARRO S., 1993. Microbial nitrogen and biomass respiration and nitrogen mineralization in soil beneath two chaparral species along a fire-induced age gradient. Soil Biol. Biochemical. Cap.25: 457-466.
- FERNÁNDEZ I., CABANEIRO A., CARBALLAS T., 1999. Carbon mineralization dynamics in soil after wildfires in two Galician Forests. Soil. Biol. Biochem. Cap.31 (13): 1853-1966.
- FERNÁNDEZ R., LUPI A., PAHR N., REIS H., O' LERY H., GELID M., MARTÍNEZ S. Técnicas de manejo de residuos de cosecha para el establecimiento forestal y su impacto sobre la condición química de los suelos rojos del noreste de Argentina. Publicado en Avances de Ingeniería Agrícola. 2000. Ed. Facultad de Agronomía (UBA). Pág. 243-248.
- FERNÁNDEZ R.A.; MARTIARENA, R.A; LUPI, A.M.; VON WALLIS, A. y PAHR N. Manejo de residuos para el establecimiento de *Pinus taeda* L. y la condición química del suelo. Impacto a los 86 meses. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, Argentina 2010.
- FISHER R.F & BINKLEY D., 2000. Ecology and management of forest soil. J. Wiley & Sons, NY.
- FOLSTER H. & KHANNA P.K., 1997. Dynamics of nutrient supply in plantation soil. Pp.339-378. En: EKS Nambiar & AG Brown (Eds). Management of soil and water in tropical plantation forest. CSIRO. Canberra.
- FRANZLUEBBERS A. J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. Soil Till., 2002 a. Res. 66: 95-106.
- GONCALVEZ J.L.M., BARROS N.F., NAMBIAR EKS. & NOVAIS R.F. 1997. Soil and stand management for short-rotation plantations. 379-417 p. En: EKS Nambiar & AG. Brown (Eds). Management of soil nutrients and water in tropical plantation forest. CSIRO. Canberra.
- GONZÁLES-PÉRRER J. A., GONZÁLES VILA F.J., ALMENDROS G., KNICKER H. Environment, 2004. Int. 30:855-870.
- GOYA J., FRANGI J., PÉREZ C & PINAZO M. 2000. Ciclo de nutrientes en plantaciones de *Pino taeda* en el norte de la provincia de Misiones, Argentina. Informe inédito. SAGPyA – BIRF 63p.
- GUAZZELLI M., OSTERRIETTI M., MARTÍNEZ P., 1999. Efecto de incendios sobre la mesofauna y propiedades físico-químicas en Hapludoles Líticos de Sierras de Tandilia, Buenos Aires, Argentina. Resumen del 14° Congreso Latinoam. de la Ciencia del Suelo. Pucón, Chile. 146 p.
- HATCHER P.G., SPIKER E.C., 1988. In: Frimmel, F.H., Christmann, R.F. eds. Humic substances and Their Role in The Environment, Wiley, NY.
- HARTFORD R., FRANSEN W., 1992. When it's hot, it's Hot...or may by it's not! (Surface flaming may not portend extensive soil heating). International Journal Wildland Fire. Cap.2: 139-144.
- HEINEMANN A. G., 1993. Física: mecánica, fluidos, calor. Ed. Estrada. Bs. As.
- HOSSAIN A., RAISON R., KHAMA P., 1995. Effects of fertilizer applications and fire regime on soil Microbial biomass carbon and nitrogen, and nitrogen mineralization in an Australian Subalpine eucalypt forest. Bio. and Fertil. Of. Soil. Cap.19: 246-252.
- HUNGERFORD R., HARRINGTON M., FRANSEN W., RYAN R., NIEHOFF G., 1991. Influence of fire on factors that affect site productivity, 32-50 p. Proceedings – Management and Productivity of Western-Montane Forest Soil. USDA. Forest Service GTR INT – 280.

- IMESON A., 1995. Physical, chemical and biological degradation of the soil. En: Desertification in a European context. European Commission. Science Research Development Report. EUR 15415. E 14: 153-168.
- INVENTARIO DE PLANTACIONES FORESTALES DE LA PROVINCIA DE CORRIENTES – Consejo Federal de Inversiones – Provincia de Corrientes. Informe Final, septiembre 2015.
- JORDÁ A., GONZÁLEZ F.A., ZAVALA L. M., 2010. Hydrological Processes. Cap. 24: 736-748.
- KUMAR, K. y GOH, K., 2000. Crop residue and management Practices: Effects on soil quality, soil nitrogen dynamics, crop yield, and nitrogen recovery. Adv. Agron. Cap.68:197-319.
- KUNST C., BRAVO S., MOSCOVICH F., HERRERA J., GODOY J. & VÉLEZ S., 2000. Control de Tusca (*Acacia aroma* Gill ap. H. et A.) mediante fuego prescripto. Revista Argentina de Producción Animal. Cap.20: 199-213.
- KUNST C. R., BRAVO S., PANIGATTI J.L., (Ed). Fuego En Los Ecosistemas Argentinos, Santiago del Estero: Ediciones INTA, 2003. 4: 39-46; 5: 47:60.
- LADO M., PAZ A. & BEN-HUR., 2004. Organic matter and aggregate size interactions in infiltration, seal formation, and soil loss. Soil Sci. Soc. Am. J. Cap.68: 935-942.
- LUPI A., FERNÁNDEZ R., WON WALLIS A., 2006. Efecto de los residuos forestales sobre el carbono orgánico y el nitrógeno del suelo. Resultados a los 9 años de haber aplicados los tratamientos. 12° Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. FCF – UNAM - EEA Montecarlo, INTA. 8, 9 y 10 de junio 2006. Eldorado, Misiones Argentina.
- LUPI A. M., FERNÁNDEZ R., COSETINO D. & VENIALGO C., 2000. Cambios en las propiedades físicas de un Kandiuult debido a las diferentes técnicas de manejo de residuos de cosecha forestal. XVII Congreso argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina.
- LUSK C.H., DONOSO C., JIMÉNEZ M., OYARCE G., REINOSO R., SALDAÑA A., VILLEGAS P., MATUS F. 2001. Descomposición de la hojarasca de *Pinus radiata* y tres especies arbóreas nativas. Revista Chilena de Historia Natural V.74 n°3. Santiago Chile.
- MARTÍNEZ – FALCON A.P., MORENO C., PAVON N.P. 2015. Comunidades de fauna y descomposición de la hojarasca en un bosque de pino-encino con tala selectiva y un bosque sin manejo en México. Bosque (Valdivia) Vol.36 n°1. Version on-line ISSN 0717-9200.
- MELILLO J.M., ABER J.A. & MURATORE J.F. 1982. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf decomposition. Ecology, cap.63: 621-626.
- NAMBIAR S. 1999. Productivity and sustainability of plantation forest. Bosque, cap.20(1): 9-21.
- NEARY D., KLOPATEK C., DEBANO L., FOLLIOTT P. 1999. Fire effects on belowground sustentability: A Review and synthesis. Forest Ecology and Management. Cap.122: 51-71.
- NEIFF, J.J., 2001. Diversity in some tropical wetland systems of South América. En: Biodiversity in wetlands: assessment, function and conservation, Vol II. B. Gopal, W. Junk and J. Davis (Eds.). Pp. 157-186. Backhuys Publish. The Netherlands. ISBN 90-5782-087.
- NEIFF, J.J., A.S.G. POI, N. Neiff, CASCO S.L., ZAMBIAZCO V.A., CECOAL., 2016a. Monitoreo Ambiental EVASA – LAS MISIONES S. A. 63p.
- NEIFF, J.J., S.L. CASCO, N. NEIFF y V.A. ZAMBIASIO. 2016b. ¿Es posible recuperar los palmares de *Butia paraguayensis* en el nordeste argentino? Capítulo 14. Pp. 319-330. En: Lasso, C. A., G. Colonnello y M. Moraes R. (Editores), XIV. *Morichales, cananguchales y otros palmares inundables de Suramérica. Parte II: Colombia, Venezuela, Brasil, Perú, Olivia, Paraguay, Uruguay y Argentina.*

- Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C., Colombia.
- NEIFF, J.J. 2005. Bosques fluviales de la Cuenca del Paraná. Cap. 4: 1-26. En, Arturi, M.F., Frangi, J.L. y J.F. Goya (Eds). Ecología & Manejo de los bosques de Argentina. La Plata, Argentina. ISBN 950-34-0307-3. Edición multimedia. NELSON, R., 2001. Water relations of forest fuel. Cap. 4: 79-149.
- NOUVELLON Y., EPRON D., KINANA A., HAMEL O., MABIALA A., et al., 2008. Soil CO₂ effluxes, soil carbon balance, and early tree growth following savannah afforestation in Congo: Comparison of two site preparation treatments. For. Eco. Manage. Cap.255: 1926-1936.
- O'CONNELL A.M., SANKARAN K.V. 1997. Organic matter, accretion, decomposition and mineralization. In: Sadanan, EK., Nambiar EKS., Brown AG (Eds), editor/s. management of soil, nutrients and water in tropical plantation forest. Canberra: Australia for International Agricultural Research. Pp 443-480.
- OLSON, J. S. 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. Ecology 44:322-331
- PELÁEZ, D. 1995. Empleo y efecto del fuego en los pastizales. 23-32 p. En: Actas Jornadas de Cría en Campos Monte. I.D.E.V.I. – INTA – Cambio Rural.
- PINHEIRO F., COHELO D., DINIZ I., 2001. Influencia de quemas sobre abundancia y distribución de temperal de insectos no cerrado sensu stricto. Brasilia, DF. Brasil. Res. Del V Congreso Latinoam. De Ecología. S.S. de Jujuy. Publicado en C.D.
- PORER M., GUPTA V., 1995. Management Practices and soil Biota. Aust. J. Soil. Res. Cap. 33: 321-390.
- PORRERO RODRÍGUEZ M.A., 2001. Incendios Forestales. Cap.2: 31-40.
- PRIETO – FERNÁNDEZ, A., ACEA M., CARBALLAS T. 1998. Soil microbial and extractable C and N after wildfire. Biol. Fertil Soil. Cap.27: 132-142. PRIMAVESI A., 1984. Manejo Ecológico del Suelo. 5° Edición. Cap.4: 94-96.
- REUNIÓN N° 188 del Consorcio Forestal Corrientes Norte. Balance de nutrientes de *Pinus elliottii* previo a la tala rasa en un suelo arenoso y efecto del manejo de los residuos de cosecha en el crecimiento de *Pino híbrido* en 2° rotación, Esquina (Corrientes). Jorge Aparicio, INTA Bella Vista, noviembre 2010.
- ROCHA J.R.T., GONCALVES MORAES J.L., MARQUES GIRARDI E.R., BRANDANI C. B. Nutrición y Sustentabilidad de Plantaciones Forestales. 3° Encuentro Brasileiro de Silvicultura – Expoforest. mayo 2014. Pp.149:178
- ROTHERMEL, R. C.; 1983. How to predict the spread and intensity of forest and range fires. U.S. Forest Service. Odgen, EE. UU
- SAIZ J.E., Carlos VERA BRAVO C., LUNA C.V., Guía de Buenas Prácticas Forestales Para la Provincia de Corrientes. INTA, 1° Edición, Bella Vista 2014. Cap.6: 27-28
- SIX J., FELLER C., DENEK K., OGLE S., MORAES SA J.C., ALBRECHT A., 2002. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soil. Effects of no Tillage. Agronomic. Cap. 22: 755-775
- SUBERKROPP K., GODSHALK G.L. & KLUG M.J. 1976. Change in the chemical composition of leaves during processing in a Woodland stream. Ecology. Cap.57: 720-727.
- TIESSEN, H.; CUEVAS, E.; CHACON, P., 1994. The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. Nature, London, V.371: 783-785.

- TIARKS, A.; NAMBIAR, E.; COSSALTER, C., 1998. Site Management and Productivity in Tropical Forest Plantations. CIFOR Bogor: Center for International Forestry Researchs, (Occasional Paper, 16)
- TROLLOPE W.S.W., 1982. Fire behaviour, cap.9: 199-217.
- VINES, R.G., 1981 (reimp.1993). Physics and chemistry of rural fires. Cap. 6: 129-149. En: A. Gill, R. Groves, I. Noble (Eds). Fire and the Australian Biota. Australian Acad. Of Sciences, Canberra, Australia.
- VON WALLIS A., 2004. Contenido de materia orgánica y condición física de un Kandiuult de Misiones bajo diferentes sistemas de preparación de terreno forestal y del bosque nativo. FCF – UNAM. 68p.
- WEBER R., GILL A., LYONS P., BRADSTOCK R., MERCER G., 1995. Modelling widland fire temperatures. CALM Sciences Supplement. Cap.4: 23-26.
- WRIGHT H., BAILEY A., 1982. Fire Ecology in the United States and southern Canada. Wiley, J. & Sons, N.Y.
- YANAI R.D., CURRIE W.S. & GOODLADE C.L., 2003. Soil carbon dynamics after forest harvest. An ecosystem paradigmas reconsidered. Ecosystems, cap.6: 197-212.