



UNIVERSIDAD DE JAÉN

Anexo II

TITULACIÓN: Grado en Ciencias Ambientales

MEMORIA INICIAL DEL TRABAJO FIN DE GRADO

CENTRO: Facultad de Ciencias Experimentales

CURSO ACADÉMICO: 2013-14



UNIVERSIDAD DE JAÉN

Facultad de Ciencias Experimentales

Título del Trabajo Fin de Grado:

Efectos de la fertilización compensatoria con P sobre el crecimiento secundario y la señal isotópica de C y N en bosques de *Abies pinsapo* (Boiss) sometidos a deposición crónica de N

1. DATOS BÁSICOS DE LA ASIGNATURA

NOMBRE: Trabajo Fin de Grado

CÓDIGO: 10416001

CARÁCTER: Obligatorio

Créditos ECTS: 12

CURSO: Cuarto

CUATRIMESTRE: Segundo

2. TUTOR/COTUTOR (en su caso)

Tutor: BENJAMÍN VIÑEGLA PÉREZ

Cotutor: JOSÉ A. CARREIRA DE LA FUENTE

3. VARIANTE Y TIPO DE TRABAJO FIN DE GRADO (Artículo 8 del Reglamento de los Trabajos Fin de Grado)

Variante: Específico (Laura Hernández Sequera)

Tipo: Experimental

4. COMPETENCIAS Y RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Competencias generales:

CT-23 Tener sensibilidad hacia temas medioambientales

CE-3 Capacidad para tomar conciencia de las dimensiones temporales y espaciales de los procesos ambientales

Competencias transversales:

CT-2 Capacidad de organización y planificación

CT-3 Ser capaz de comunicarse correctamente de forma oral y escrita

CT-7 Ser capaz de resolver problemas

CT-14 Razonamiento crítico

CT-16 Ser capaz de aprender de forma autónoma

Competencias Específicas:

CE-4 Capacidad para integrar las evidencias experimentales encontradas en los estudios de campo y/o laboratorio con los conocimientos teóricos

CE-14 Ser capaz de diseñar y aplicar indicadores de sostenibilidad

CE-36 Ser capaz de evaluar la degradación ambiental y planificar medidas correctoras y/o restauradoras

CE-39 Capacidad de análisis e interpretación de datos



UNIVERSIDAD DE JAÉN

Resultados de aprendizaje	
Resultado 416001A	Capacidad de integrar creativamente sus conocimientos para resolver un problema biológico real.
Resultado 416001B	Capacidad para estructurar una defensa sólida de los puntos de vista personales apoyándose en conocimientos científicos bien fundados.
Resultado 416001C	Destreza en la elaboración de informes científicos complejos, bien estructurados y bien redactados.
Resultado 416001D	Destreza en la presentación oral de un trabajo, utilizando los medios audiovisuales más habituales.

5. ANTECEDENTES

La limitación de emisiones gaseosas acidificantes, fundamentalmente SO_2 (Bolin et al. 1972), principal responsable de la aparición de síntomas de declive forestal en Europa y Norte América en la década de los años 60 (Cowling 1982), no ha tenido su correspondencia en el control de emisiones de N_xO_y , produciéndose consecuentemente un incremento de sus emisiones en las últimas décadas (Hedin et al. 1994), lo que ha tenido como consecuencia la aparición de un nuevo tipo de "lluvia ácida", compuesta por diversos compuestos de nitrógeno (N), entre ellos el ácido nítrico (Nihlgard 1985, Aber et al. 1989).

La deposición atmosférica de N ha acabado por convertirse en un problema ambiental de primer orden en regiones industrializadas del mundo (Vitousek et al. 1997, Fenn et al. 1998), previéndose su tendencia creciente en las próximas décadas (Galloway et al. 2003). Esta nueva versión de "lluvia ácida" tiene, además de los efectos acidificantes directos de la tipología clásica, un efecto adicional de "fertilización" asociado a la entrada de un nutriente, el N, que suele ser limitante de la producción primaria de los ecosistemas terrestres (Vitousek & Howard 1991), incrementando a corto-medio plazo la producción de los bosques pero teniendo, a largo plazo, bajo condiciones de deposición crónica, un efecto saturante sobre los sumideros bióticos (producción primaria, inmovilización microbiana) y abióticos (retención en el complejo de cambio y en la materia orgánica del suelo) que operan en el ecosistema secuestrando las entradas contaminantes de N (Blanes et al. 2012a). Esto lleva a un exceso de disponibilidad de formas reactivas de N en el suelo, con efectos subsiguientes de lixiviación de nitrato, depleción de cationes básicos y acidificación adicional, que eventualmente reducen la producción y conducen al declive forestal (Magill et al. 1997; Gundersen et al. 1998). Este síndrome recibe el nombre de "Saturación de N" (*sensu* Aber et al. 1989).

Trabajos previos del grupo RNM-296 indican que existe un gradiente geográfico de deposición de N con la distancia al área industrializada del Campo de Gibraltar (Salido 2007). En particular, hemos estudiado bosques de *Abies pinsapo*, detectando síntomas de saturación de N y de decaimiento, defoliación y mortalidad en aquéllos localizados cerca de la fuente contaminante (Sierra Bermeja). Este tipo de síntomas de declive del crecimiento, o no aparecen o están asociados a tendencias de cambio climático en localidades más distantes. Bajo la hipótesis de que la entrada crónica de N provoca el declive del bosque debido al desbalance nutricional que dicha entrada provoca en relación a otros nutrientes disponibles se ha realizado una experiencia de fertilización compensatoria con P, de forma que dicho aporte efectuado sobre parcelas experimentales pretende restaurar el balance estequiométrico entre N y P, permitiendo la incorporación del N que antes estaba en exceso respecto al P y estimulando el crecimiento de los árboles mediante un incremento de la incorporación de N por parte de los árboles y el consecuente incremento de la producción primaria.

En cuanto a la aproximación experimental propuesta se pretende, en primer lugar emplear el incremento radial del tronco de los árboles, reflejado en la anchura de los anillos anuales de madera, como una manera de reconstruir los patrones pasados de crecimiento en los bosques, y



UNIVERSIDAD DE JAÉN

la búsqueda de sus relaciones con factores ambientales tanto climáticos (Fritts 1976, Linares et al. 2011) como no climáticos (e.g., cambios en la disponibilidad de nutrientes; MacLauhlan et al. 2007). Además se evaluarán los cambios que se han producido, como consecuencia de la fertilización compensatoria, en las señales isotópica de N y C, en el primer caso ya que en ecosistemas con ciclo del N acelerado y abierto (elevadas pérdidas en relación con las tasas de reciclaje interno), el “pool” de N se enriquece progresivamente con el isótopo pesado (^{15}N) y existe una fuerte relación entre la tasa de ciclado de N y el factor de enriquecimiento en ^{15}N (Bukata y Kyser 2005). Por este motivo se ha propuesto que la señal $\delta^{15}\text{N}$ de la vegetación puede ser un instrumento útil para evaluar el estatus de N actual y pasado en ecosistemas forestales (McLaughlan et al. 2007). En el segundo caso porque la composición isotópica de C refleja el grado de estrés a que se ven sometidos los árboles, especialmente desde el punto de vista hídrico, produciéndose una disminución de la discriminación isotópica en situaciones de elevado estrés por déficit hídrico debido al cierre estomático para evitar la pérdida de agua, situación común de forma estacional en ecosistemas mediterráneos.

Este trabajo resulta de especial interés al tratarse *Abies pinsapo* de una especie relictica, de gran valor conservacionista y protegida por la legislación andaluza como “en peligro de extinción”, por lo que es fundamental para asegurar la conservación de la especie frente a los problemas de contaminación atmosférica a que se ve sometida conocer la efectividad, aplicabilidad y utilidad de tratamientos de fertilización que mitiguen los síntomas de declive asociados a la deposición crónica de N, resultando, por tanto, adecuado como TFG para estudiantes del Grado en Ciencias Ambientales.

6. HIPÓTESIS DE TRABAJO

- La deposición crónica de N ha llevado al declive del bosque, reduciendo las tasas de crecimiento y provocando, en algunos casos, la mortalidad de los árboles. La fertilización compensatoria con P permite una restauración de las relaciones estequiométricas entre C, N y P, estimulando el crecimiento de los árboles en las parcelas experimentales sometidas a los tratamientos de fertilización con P.

- El patrón de cambio temporal en la señal $\delta^{15}\text{N}$ de los anillos de madera en árboles de las parcelas Control será función de la deposición crónica de N, mostrando una tendencia de incremento en el $\delta^{15}\text{N}$ de la madera, especialmente a partir de la década de 1960, en que tuvo lugar el desarrollo del polo industrial del Campo de Gibraltar. Por el contrario, en las parcelas sometidas al tratamiento experimental de fertilización compensatoria con P existirán valores negativos e incluso una tendencia de decrecimiento en esta variable, indicando una reducción en la disponibilidad de N en el suelo y la recuperación de un ciclo del N relativamente cerrado como consecuencia del aporte experimental de P y la estimulación del crecimiento de los árboles.

- Esperamos que el análisis dendrocronológico permita diferenciar las distintas fases de desarrollo del síndrome de saturación de N en el pinsapar de Sierra Bermeja: crecimiento fuertemente correlacionado con las condiciones climáticas en la primera mitad del siglo XX, incremento del crecimiento en las décadas de los 60s y 70s, con pérdida de la señal climática, como respuesta inicial a la elevación de las entradas contaminantes de N, y disminución del como consecuencia del desarrollo de la saturación de N, así como el alivio de dichos síntomas asociado a la recuperación del crecimiento primario de los árboles al restaurarse las relaciones estequiométricas entre nutrientes (C:N:P).



UNIVERSIDAD DE JAÉN

7. BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES A REALIZAR

1. Revisión bibliográfica sobre el tema de la contaminación atmosférica y la saturación de N, sus efectos sobre el crecimiento de los árboles y la salud de los bosques, y en relación con el empleo de la discriminación de isótopos estables como marcadores ecológicos.
2. Muestreo de cilindros de madera de los árboles en el pinsapar de Sierra Bermeja a dos altitudes, en parcelas Control, sometidas a deposición crónica de N, y en parcelas Fertilizadas, donde se ha realizado la fertilización compensatoria con P.
3. Preparación y montaje de los cilindros de madera, datación de anillos, cronología y elaboración de series temporales de crecimiento radial.
4. Preparación de las muestras de madera para el análisis isotópico (^{15}N , ^{13}C). Elaboración de series temporales de cambio en la señal isotópica de la madera. Cálculo de la disponibilidad de N y de la eficiencia de uso de agua a partir de los datos isotópicos.
5. Tratamiento numérico y estadístico de los datos obtenidos: modelos de crecimiento radial en función del clima, obtención de funciones respuesta; análisis de residuales y su correlación con las series de datos de isótopos. Interpretación de resultados.
5. Realización del diagnóstico sobre la historia de efectos de la contaminación atmosférica (deposición de N) en los pinsapares y del efecto de la fertilización compensatoria con P.
6. Redacción de la Memoria del TFG.

8. DOCUMENTACIÓN/BIBLIOGRAFÍA

- Aber, J.D., K.J. Nadelhoffer, P. Steudler, J.M. Melillo. 1989. Nitrogen Saturation in Northern Forest Ecosystems. *Bioscience* 39: 378-386.
- Bolin, B. et al. (1972). Sweden's Case Study for the United Nations Conference on the Human Environment: Air Pollution Across National Boundaries. Norstadt & Sons: Stockholm, 1972.
- Bukata A.R., T.K. Kyser. 2005. Response of the nitrogen isotopic composition of tree-rings following tree-clearing and land-use change. *Environ. Sci. Technol.* 39: 7777-7783.
- Cowling, E.B. 1982. Acid precipitation in historical perspective. *Environ. Sci. Technol.* 16.
- Elhani, S. J.M. Guehl, C. Nys, J.F. Picard, J.L. Dupouey. 2005. Impact of fertilization on tree-ring ^{15}N and ^{13}C in beech stands: a retrospective analysis. *Tree Physiology* 25: 1437-1446.
- Emmett, B.A., O.J. Kjenaas, P. Gundersen, C. Koopmans, A. Tietema, D. Sleep. 1998. Natural abundance of ^{15}N in forests across a nitrogen deposition gradient. *Forest Ecology and Management* 101: 9-18.
- Fenn ME, Poth MA, Aber JD, Baron JS, Bormann BT., Johnson DW, Lemly AD, McNulty SG, Ryan DF and Stottlemeyer R 1998 Nitrogen excess in north american ecosystems: predisposing factors, ecosystem responses, and management strategies. *Ecol. Appl.* 8: 706-733.
- Fritts, H.C. 1976. *Tree rings and climate*. Academic Press, New York.
- Galloway JN, Aber JD, Erisman JW, Seitzinger SP, Howarth RW, Cowling EB and Cosby BJ 2003 The Nitrogen Cascade. *BioScience* 53: 341-356.
- Guerrieri R., M. Mencuccini, L.J. Sheppard, M. Saurer, M. P. Perks, P. Levy, M.A. Sutton, M. Borghetti, J. Grace. 2010. The legacy of enhanced N and S deposition as revealed by the combined analysis of d^{13}C , d^{18}O and d^{15}N in tree rings. *Global Change Biology* (doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02362.x).
- Gundersen P., Emmett B.A., Kjenaas O.J., Koopmans C.J., Tietema A. 1998. Impact of nitrogen deposition on nitrogen cycling in forests: A synthesis of NITREX data. *Forest Ecol. Manag.* 101:37-56.
- Hedin, L.O., G.E. Likens, F.H. Bormann. 1987. Decrease in precipitation acidity resulting from decreased SO_4 concentration. *Nature* 325: 244-246.
- Hedin, L.O., L. Granat, G.E. Likens, T.A. Buisahnd, J.M. Galloway, T.J. Butter, H. Rodhe. 1994. Steep declines in atmospheric base cations in regions of Europe and North America. *Nature* 367: 351-354.
- Linares, J.C., A. Delgado-Huertas, J.A. Carreira. 2011. Climatic trends and different drought adaptive capacity and vulnerability in a mixed *Abies pinsapo* - *Pinus halepensis* forest. *Climatic Change* 105: 67-90.
- Magill A.H., Aber J.D., Hendricks J.J., Bowden R.D., Melillo J.M., Steudler P.A. 1997. Biogeochemical response of forest ecosystems to simulated chronic nitrogen deposition. *Ecol. Appl.* 7:402-415.
- McLauchlan K.K., J.M. Craine, W. W. Oswald, P.R. Leavitt, G.E. Likens. 2007. Changes in nitrogen cycling during the past century in a northern hardwood forest. *Proc. Nac. Acad. Sci.* 104.
- Nihlgard, B. 1985. The ammonium hypothesis - An additional explanation to the forest dieback in Europe. *Ambio* 14: 2-8.
- Salido M.T. 2007. Evaluación del estado de saturación de nitrógeno en masas de pinsapar (*Abies pinsapo*, Boiss.) del sur de la Península Ibérica: patrones generales de entrada, circulación interna y salida del nitrógeno en el ecosistema. Tesis Doctoral, Universidad de Jaén.



UNIVERSIDAD DE JAÉN

Saurera M., P. Cherubini, M. Ammann, B. De Cinti, R. Siegwolf. 2004. First detection of nitrogen from NOx in tree rings: a $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ study near a motorway. *Atmospheric Environment* 38: 779–2787.
 Vitousek, P.M., R.W. Howarth. 1991. Nitrogen limitation on land and in the sea: how can it occur?. *Biogeochemistry* 13: 87-115.
 Vitousek PM, Aber JD, Howarth RW, Likens G., Matson PA, Schindler DW, Schlesinger WH and Tilman DG 1997 Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. *Ecol. App.* 7: 737-750.

9. CRONOGRAMA PROVISIONAL

Semana	A5 - Trabajo fin de Grado	Trabajo autónomo	Observaciones
Semanas 1 y 2	2.0	19.0	Presentación por parte del Tutor del tema del TFG/entrega de documentación y bibliografía relevante a revisar por estudiante. Trabajo de revisión bibliográfica inicial y estudio de conceptos generales y específicos sobre efectos de la lluvia ácida en bosques.
Semana 3	0.0	24.0	Realización de los muestreos de campo en parcelas Control y Fertilizadas
Semanas 4 y 5	0.0	48.0	Tareas de pre-procesamiento y preparación de muestras (cilindros de madera con anillos de crecimiento anual).
Semanas 6 y 7	0.0	48.0	Realización de análisis de laboratorio (series dendrocronológicas)
Semanas 8 y 9	0.0	48	Realización de análisis de laboratorio (discriminación isotópica)
Semana 10	1.5	24	Revisión y análisis inicial de resultados. Guía sobre tratamientos numéricos y estadísticos y respecto a la presentación de resultados.
Semana 11	0	24	Realización del tratamiento numérico, estadístico y gráfico de resultados.
Semanas 12, 13 y 14	1.5	60	Supervisión por el Tutor de la redacción del Trabajo Fin de Grado. Redacción del TFG y ensayo de su presentación pública por parte del estudiante.
TOTALES:	5.0	295.0	300.0