

ACTIVIDAD INVESTIGADORA

Resumen

La actividad y los objetivos científicos de nuestra labor investigadora se han centrado de manera exclusiva en temas relacionados con el estudio del suelo. A grandes rasgos se pueden señalar tres líneas de investigación. Una se relaciona con la **fertilidad del suelo**, particularmente con la dinámica del potasio y del nitrógeno como elementos nutrientes. Otra línea de investigación se centró en el desarrollo y aplicación de **nuevas metodologías de evaluación y cartografía integrada de suelos**, que posteriormente derivó hacia el estudio de indicadores de calidad y degradación del suelo. La tercera línea está orientada al estudio de los **procesos de degradación del suelo** en condiciones mediterráneas (desertificación). Esta línea constituyó una de las iniciativas pioneras en el estudio de estos procesos en nuestro país.

Por otra parte hemos desarrollado una **activa labor de comunicación y transmisión** a la sociedad de los conocimientos científicos generados por nuestra actividad, así como múltiples actividades de **asesoramiento científico** a instituciones nacionales e internacionales, y **organización de cursos y reuniones científicas** nacionales e internacionales.

Paralelamente a la labor de investigación desarrollé durante nueve años actividades de **docencia universitaria** en Ciencia del Suelo en las licenciaturas de Farmacia y de Ciencias Biológicas de la Universidad de Valencia.

Tuve el honor de ser el primer **Director del Centro de Investigaciones sobre Desertificación –CIDE** (Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Universitat de València, Generalitat Valenciana), así como el primer **Project Leader del European Topic Centre on Soil** de la Agencia Europea de Medio Ambiente. En el año 1996 recibí el **Premio Jaime I de Protección Ambiental: Desertización en España**. Actualmente, soy el **Presidente de la European Society for Soil Conservation**.

Nuestro objetivo general ha sido, por una parte, profundizar en el conocimiento del suelo desde el punto de vista de objeto científico de estudio, y por otra parte en la aplicación de ese conocimiento a la búsqueda de soluciones ante problemas concretos que el uso de este recurso plantea.

Las líneas futuras de investigación se orientan a profundizar en la problemática del suelo y su conservación, desde una perspectiva integrada e incorporando las últimas tendencias y paradigmas en Ciencia del Suelo.

Objetivos científicos perseguidos

Nuestra actividad científica se inició con la tesis doctoral, que se centró en el estudio de la dinámica del potasio en el suelo. Los objetivos concretos de la tesis fueron:

1. Estudio de las características y distribución del potasio en el suelo.

2. Capacidad del suelo para suministrar potasio a las plantas.
3. Estudio del proceso de fijación del potasio
4. Distribución, en el perfil del suelo, del potasio de los fertilizantes y determinación de las pérdidas por lixiviación.
5. Movilidad del potasio en la solución del suelo.

Como resultado de estos estudios, se publicaron tres artículos científicos en los que se aportó información básica sobre el comportamiento del potasio en el suelo en relación a sus interacciones con la nutrición de las plantas.

El éxito de los estudios sobre el potasio hizo plantearse en mi centro de actividad (Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, CSIC-Valencia) la necesidad de desarrollar una línea de investigación centrada en el estudio del Nitrógeno en el suelo, dadas sus repercusiones en la productividad agrícola y sus efectos negativos como contaminante ambiental. Como consecuencia, fui seleccionado por el CSIC para desarrollar una beca postdoctoral de un año otorgada por el Banco Internacional de Reconstrucción y fomento, en el National Fertilizer Development Center (Alabama, USA).

El tema de trabajo en USA se centró en los Fertilizantes Nitrogenados de Aporte Controlado (FNAC) y en la utilización de isótopos estables de nitrógeno (^{15}N) como trazadores en los estudios de relaciones suelo-planta. Los FNAC mejoran la utilización del Nitrógeno mediante el control de la gran solubilidad que los fertilizantes convencionales presentan en el suelo. Esta solubilidad es, en gran parte, la responsable de la baja eficacia de utilización que los fertilizantes nitrogenados presentan en el suelo. Por su parte, la utilización de ^{15}N como trazador constituye una potente herramienta de investigación que permite obtener información no accesible por los procedimientos y técnicas convencionales de estudio.

En el programa de trabajo de los Estados Unidos se evaluaron dos FNAC: Isobutilidendiurea (IBDU) y Oxamida, frente a un fertilizante convencional: Urea, en un estudio en el que se utilizó arroz como planta test bajo condiciones de invernadero. En el estudio se utilizaron materiales enriquecidos en ^{15}N que se sintetizaron a partir de sulfato amónico marcado y que se procesaron en gránulos. La absorción por parte de las plantas se determinó a lo largo del período vegetativo.

El estudio implicó la utilización de técnicas de invernadero y procedimientos analíticos para la determinación de formas inorgánicas de nitrógeno del suelo, nitrógeno total en plantas y suelo, preparación de muestras para los análisis de relaciones isotópicas y determinaciones de ^{15}N mediante espectrometría de masas.

Los resultados de estos experimentos permitieron la evaluación de la eficacia relativa de los dos fertilizantes de aporte controlado y de la urea para dos típicos sistemas de cultivo de arroz, proporcionando información sobre el ritmo de liberación y sobre la absorción por parte de las plantas del nitrógeno de estos compuestos. También se obtuvo información sobre las reacciones de mineralización-inmovilización del nitrógeno en suelos inundados y, en conjunto, generaron información conducente a un uso más eficiente de los fertilizantes nitrogenados en el cultivo de arroz por inundación.

Después de la estancia en USA y una vez reincorporado al Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, la actividad de investigación se orientó a obtener información sobre el comportamiento del nitrógeno en el suelo que, a su vez, permitiera una mejora de las técnicas de fertilización y una disminución del importante impacto ambiental del nitrógeno en zonas de agricultura intensiva como las de Valencia, con elevado consumo de fertilizantes nitrogenados.

En este contexto, uno de los programas de investigación se dedicó a la evaluación, por primera vez en España, de un fertilizante de aporte controlado, Urea Recubierta de Azufre (URA), que se incluía entre uno de los más prometedores dentro de los Fertilizantes Nitrogenados de Aporte Controlado. Los aspectos que se abordaron se centraron en las transformaciones que el nitrógeno experimenta en el suelo y en diversos órganos de los cítricos a lo largo del ciclo vegetativo, su descenso en el perfil del suelo, las características de nitrificación y difusión y el ritmo de aporte de nitrógeno en función del tiempo, profundidad de aplicación y humedad del suelo.

Como resultado de estos estudios, se elaboraron tres publicaciones en revistas internacionales. Cabe destacar que la URA mantiene mejores niveles de nitrógeno asimilable en los momentos críticos del período vegetativo de los cítricos y que se alcanzan niveles similares de N en el suelo con tratamientos en los que, sin embargo, se aplica la mitad de dosis de fertilizante. También se aportó información de base sobre los aspectos de liberación, difusión, nitrificación y efectos de riego simulado en URA, frente al comportamiento de los fertilizantes convencionales.

La segunda parte de este programa se centró en el desarrollo de las técnicas de marcado de fertilizantes nitrogenados con ^{15}N para profundizar en el estudio de la absorción y traslocación del nitrógeno en cítricos, obteniéndose información que hasta ese momento era inasequible por las metodologías convencionales. La utilización de estas técnicas permite establecer los momentos óptimos de absorción, las cantidades absorbidas, sus traslocaciones internas, la formación de reservas de nitrógeno en planta y las relaciones entre el nitrógeno y producción de frutos.

Otra de las actividades en relación con la dinámica del nitrógeno fue la realización de un programa sobre lavado del N en el suelo, con el objetivo de conocer, en condiciones de laboratorio, la distribución cuantitativa en el perfil del suelo del N aportado por los fertilizantes y las pérdidas que se producen por lixiviación. En el estudio que se llevó a cabo en varios suelos de la zona citrícola de Valencia, se aportó información sobre las pautas de distribución en profundidad y sobre la dosificación del riego a aplicar a fin de conseguir que el fertilizante estuviera el mayor tiempo posible en la zona de influencia radicular, mejorando de esta manera su utilización.

En este contexto, también trabajamos en la evaluación de las pérdidas por volatilización de amoníaco, resultantes de la aplicación de fertilizantes nitrogenados. Para el logro de este objetivo se diseñó y se puso a punto un dispositivo de laboratorio que permitió la valoración simultánea de diversos factores y tratamientos. Las pérdidas por este proceso en los suelos básicos se producen con rapidez (4-7 días) y en algunos casos son muy considerables, llegando hasta casi el 40% del N inicialmente aplicado.

Posteriormente se desarrolló un nuevo dispositivo para evaluar estas pérdidas en condiciones de campo.

Paralelamente a la actividad comentada, centrada en los aspectos de fertilización-nutrición, y como consecuencia de mi actividad docente universitaria, que me proporcionaba una perspectiva más amplia de los temas relacionados con la ciencia del suelo, mantuve una atención y un seguimiento activo de los temas relacionados con la problemática general de los suelos en la Comunidad Valenciana, en el contexto más general de los problemas de degradación en ambientes mediterráneos.

Esta perspectiva más amplia, y la preocupación por intentar aportar soluciones a problemas específicos de degradación del suelo, significó el inicio de una nueva línea de investigación de temática y orientación distintas a la anterior.

Como resultado, se elaboró el proyecto *Los suelos en la provincia de Valencia: su evaluación como recurso natural*, con el objetivo de llegar a un mejor conocimiento de la génesis, distribución, condiciones de deterioro y uso racional del suelo como factor productivo y ecológico. Esta iniciativa inició en Valencia, y con metodologías originales, el estudio integrado del suelo frente al desconocimiento existente hasta ese momento sobre sus características, distribución, problemática y capacidad de uso.

Este Programa de Cartografía Integrada además de su posible repercusión en las actividades agrícolas, forestales y de ordenación del territorio tuvo una orientación fundamental como documentación básica para articular estrategias de lucha contra la desertificación en el litoral mediterráneo. Concretamente, la información aportada para el ámbito forestal permitió el inicio de la tendencia a diversificar la utilización del bosque mediterráneo teniendo en cuenta las características y limitaciones del territorio. El adaptar el uso del suelo a sus propias potencialidades es siempre la forma más racional de utilización del territorio y además es una de las medidas de conservación más económicas a corto y largo plazo.

Parte de los resultados del proyecto se presentaron en el I Congreso Nacional de Ciencia del Suelo (Madrid, 1984) y fueron calificados por el Dr Sombroek (Secretario General de la Sociedad Internacional de Ciencia del Suelo) como "uno de los intentos más serios y con sentido práctico para evitar la desertificación en los suelos mediterráneos".

Durante este período se nos encargó la organización del *workshop* internacional sobre *Estrategias de Lucha contra la Desertificación en la Europa Mediterránea*, patrocinado por la CEE, el CSIC y la Generalitat Valenciana, que contó con la presencia de 150 participantes de 13 países y que fue la primera reunión internacional sobre el tema en España, y la segunda que se realizaba en Europa.

En el mismo contexto fui encargado por el CSIC de la elaboración de un anteproyecto de creación de un Instituto de Ecosistemas Mediterráneos. En el marco de esta línea de actuación y en el proceso de reestructuración del IATA, la Unidad de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal pasó a ser la Unidad de Desertificación. Posteriormente, y por acuerdo firmado en mayo de 1987 en el que intervinieron el Ministerio de Educación y Ciencia, el Presidente del CSIC, el Presidente de la Generalitat Valenciana y el Conseller de Agricultura, Pesca y Alimentación, se creó la Unidad Mixta sobre Desertificación constituida por personal del CSIC y la Generalitat

Valenciana como paso previo para la creación del citado Instituto de Ecosistemas Mediterráneos. En junio de 1987 fui nombrado coordinador de dicha Unidad Mixta.

Las actividades científicas de ese período se centraron en dos proyectos: "*Evaluación de los efectos de las técnicas forestales de repoblación sobre los procesos erosivos y la fertilidad del suelo*" y "*Restauración de zonas agroforestales marginales mediante el empleo de especies arbustivas y forrajeras. Control de la erosión*". El primero de estos proyectos aportó información objetiva sobre un tema tan debatido como son los posibles efectos de las técnicas de repoblación sobre la calidad del suelo. Esta información contribuyó al diseño de directrices de actuación forestal a través de nuestra participación en el debate y redacción de políticas forestales mediterráneas (en concreto *Libro Blanco sobre Política Forestal en la Comunidad Valenciana*).

En el caso del proyecto sobre especies arbustivas, se pretendió obtener información sobre especies que pueden jugar un importante papel en el control de la erosión proporcionando al mismo tiempo una actividad económica a través de su utilización forrajera para la ganadería extensiva. En este proyecto también se incluyó el diseño e instalación de parcelas para el estudio de la erosión en condiciones de campo y del desarrollo de las especies arbustivas.

Otro de los objetivos de nuestra actividad científica se centró en aspectos concretos de los procesos de degradación del suelo/desertificación. Específicamente en la identificación y estudio de los factores y procesos desencadenantes del riesgo de desertificación en ambientes mediterráneos.

Uno de los factores cruciales que inciden en la degradación del suelo es la erosionabilidad o resistencia intrínseca a la erosión. Al iniciar esta temática, prácticamente no existían en el área mediterránea evaluaciones ni estudios cuantificados sobre la misma. Ello nos obligó a diseñar actuaciones de investigación pioneras y originales que fundamentalmente consistieron en el diseño y construcción de un simulador de lluvia de laboratorio (uno de los primeros realizados en España), construcción de instalaciones de campo (temporales y permanentes) y la elaboración y aplicación de metodologías de cartografía de erosión (basadas en fotografía aérea y modelos matemáticos).

El simulador de lluvia consta de un sistema formador de gotas, un mecanismo de impulsión de agua y un dispositivo para disponer el suelo y recoger los flujos de escorrentía y sedimentos. El simulador nos permitió estudiar en profundidad y de forma muy controlada algunos de los factores y condiciones que afectan a los procesos de erosión y además realizar las repeticiones necesarias de los experimentos en un corto espacio de tiempo. Entre otros aspectos estudiados destacan el efecto de distintas características de las gotas de lluvia (energía cinética, velocidad de caída, diámetro,...) de la lluvia en sí (cantidad, intensidad,...), estudiar el proceso de erosión por salpicadura y algunos parámetros responsables de la erosionabilidad del suelo, y finalmente evaluar el efecto de distintas formas de control de la erosión, para un tipo de suelo y precipitación determinados.

A finales de los ochenta tuvimos la oportunidad de participar en una iniciativa de la Unión Europea que consistió en el desarrollo de un Modelo de Predicción de la Erosión Hídrica (EUROSEM) junto con veinticinco grupos de investigación europeos procedentes de diez países. El EUROSEM es un modelo matemático basado en procesos para predecir la erosión de episodios individuales de lluvia, tanto en parcelas agrícolas como en pequeñas cuencas. El modelo utiliza una ecuación de equilibrio de masas para evaluar el transporte de sedimentos, la

erosión y la deposición en la superficie del suelo. Su estructura es modular, de forma que cada módulo pueda ser tratado como una subrutina independiente y permita ser posteriormente desarrollado hasta el nivel que los conocimientos científicos de los mecanismos erosivos lo vayan permitiendo.

El desarrollo del modelo EUROSEM permitió desde una perspectiva multidisciplinar, el profundizar en los numerosos factores y procesos involucrados, el desarrollo y validación de ecuaciones o fórmulas concretas para cada módulo, el aporte de numerosos datos y observaciones experimentales y la puesta a punto de nuevas metodologías informáticas.

En el contexto del programa EUROSEM construimos en Porta Coeli (Valencia) una instalación permanente de parcelas de erosión (en funcionamiento hasta la fecha) que además de ser utilizada para el desarrollo y validación del modelo EUROSEM nos ha permitido ir disponiendo a lo largo de los años de datos experimentales en gran cantidad y calidad, que han sido la base de ir comprendiendo el funcionamiento edáfico, hidrológico y erosivo de una típica ladera forestal mediterránea.

La instalación de Porta Coeli se encuentra actualmente incluida en la Red de Estaciones Experimentales de Seguimiento y Evaluación de la Erosión y Desertificación (RESEL) del Ministerio de Medio Ambiente. La instalación consta de cuatro parcelas experimentales, cada una con un tipo distinto de vegetación, en cuya base se han colocado colectores metálicos conectados a depósitos de 2000 litros de capacidad para la recogida global tanto de escorrentía como de sedimentos. El equipamiento consiste en un sistema de sensores pluviométrico, de temperatura y humedad del suelo y capacitivos. También incluye dataloggers, modems y un sistema de transmisión-emisión de datos por radiofrecuencia.

En el marco del Proyecto ERMES II de la Unión Europea (en el que participé como coordinador de un subproyecto) la instalación se utilizó para el seguimiento de las características del suelo, del proceso erosivo y de la evolución de la vegetación después del impacto de un incendio forestal.

Una de las grandes dificultades en el estudio del impacto de los incendios forestales estriba en conocer las características del sistema antes del fuego. La utilización de estas instalaciones con la simulación de un fuego experimental de dos intensidades y tres repeticiones por tratamiento, nos ha ido permitiendo obtener información muy valiosa y de gran interés sobre la dinámica post-incendio de un área representativa forestal mediterránea.

Dicha información abarca numerosos aspectos. Uno de ellos se refiere a la medida de la variabilidad de las temperaturas alcanzadas en la superficie del suelo durante un incendio y su distribución espacial. La velocidad de avance del frente de llamas, la penetración del calor en profundidad del suelo. Para estas determinaciones se utilizaron termopares, pinturas termosensibles y recipientes de evaporación. También se está obteniendo información sobre la respuesta y recuperación de los distintos tipos de vegetación afectados por el fuego.

Las características y propiedades del suelo forestal fueron cuidadosamente evaluadas antes y después del fuego y se han obtenido y se continúa obteniendo información sobre la dinámica, propiedades y características más importantes del suelo, incluyendo la evolución de los parámetros de fertilidad y estabilidad estructural. Igualmente

se está obteniendo información en condiciones de campo de las características de las precipitaciones y génesis de la escorrentía superficial, así como de valores umbrales, erosividad de la lluvia y datos estadísticos de la incidencia de la intensidad de los episodios erosivos.

Esta línea de investigación sobre impacto del fuego se vio complementada en el año 1994 con una nueva instalación permanente de campo situada en Alcupblas (Valencia) mediante un Convenio de Colaboración CSIC-Generalitat Valenciana.

Esta nueva instalación, de mayor calidad experimental, puesto que aprovecha la experiencia acumulada, nos ha permitido seguir profundizando en el estudio del grave impacto ambiental que en los ámbitos mediterráneos representan los incendios forestales.

El desarrollo de estos estudios de campo, complementados con la actividad de laboratorio, ha generado numerosas publicaciones científicas, así como ponencias en congresos nacionales e internacionales y capítulos de libros, y la realización de dos tesis doctorales sobre el tema.

La iniciativa de la Unidad Mixta de Desertificación, citada anteriormente, evolucionó y culminó en el año 1996 con el decreto de creación del Centro de Investigaciones sobre Desertificación –CIDE, en virtud de un convenio de colaboración científica entre el CSIC, la Universitat de València y la Generalitat Valenciana, constituyéndose como Centro Mixto de Investigación con el objetivo de profundizar en la investigación de los aspectos científicos cruciales para la lucha contra la amenaza de desertificación de los ecosistemas mediterráneos. Tuve el honor de ser nombrado primer Director del mismo, cargo que desempeñé hasta 1998.

Los objetivos científicos del CIDE se centran en los siguientes aspectos prioritarios:

-

Procesos de erosión y degradación del suelo a diferentes escalas.

-

Estudio del funcionalismo de los ecosistemas mediterráneos.

-

Implicaciones del cambio climático.

-

Aspectos hidrológicos: régimen hídrico del suelo e incidencia de las sequías.

-

Aspectos socio-económicos derivados de los cambios de uso del suelo.

-

Restauración de zonas degradadas y planificación de uso sostenible del territorio.

-

Aplicación de nuevas tecnologías en la evaluación, seguimiento y lucha contra la desertificación.

Durante este periodo, mi actividad investigadora se vio complementada con actividades de asesoramiento científico a distintas instituciones nacionales e internacionales. A nivel internacional, participé como Asesor Científico de la Delegación Española durante todo el desarrollo y elaboración del *Convenio de Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación en Países Gravemente Afectados por la Sequía, especialmente en África*. La Delegación Española participó activamente en las distintas sesiones de preparación del Convenio y contribuyó significativamente a conseguir que uno de los cuatro anexos específicos de aplicación regional del Convenio se dedicara exclusivamente a la problemática de la zona europea mediterránea afectada por la desertificación. Esta situación otorga a los problemas de desertificación el máximo rango de atención institucional comparable a los otros dos grandes convenios globales de Naciones Unidas: Biodiversidad y Cambio Climático.

También en el plano internacional recibimos el encargo por parte del CSIC de coordinar la propuesta española de solicitar el European Topic Centre on Soil de la Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA). Los European Topic Centres de la AEMA agrupan grupos selectos de investigación europeos para proporcionar adecuada cobertura científica y geográfica de los grandes temas ambientales europeos y facilitar información temática y asesoramiento a la AEMA, quien a su vez se encarga de coordinar la información ambiental europea y contribuir al establecimiento de directrices y políticas ambientales adecuadas en el contexto de la Unión Europea. Este encargo institucional culminó con éxito y el European Topic Centre on Soil se consiguió para España, liderando un grupo integrado por investigadores de ocho países europeos. El Centro Temático de Suelos se instaló físicamente en las dependencias del CIDE en Valencia, y tuve el honor de ser el primer Project Leader de este Centro Temático Europeo, desde su creación hasta 1998.

En la búsqueda de nuevos procedimientos de evaluar y predecir los procesos de desertificación, he participado en el desarrollo de Indicadores de Degradación del Suelo/Desertificación. Los indicadores aportan la ventaja de proporcionar información sintética e integrada que puede proporcionar datos sobre umbrales de procesos, situación actual y evolución de distintos mecanismos de degradación; pueden ser incorporados con facilidad a las metodologías informáticas y son una potente herramienta para el desarrollo de políticas ambientales de previsión y corrección.

En esta temática se ha contribuido a liderar la selección de metodologías de identificación y evaluación de Indicadores de Desertificación. Nuestros resultados se solicitaron para ser expuestos en dos Congresos Internacionales sobre el tema. También se ha contribuido a establecer y publicar por parte del Ministerio de Medio Ambiente el Sistema Español de Indicadores del Suelo, en el marco del Sistema de Indicadores Ambientales. Igualmente, hemos desarrollado metodologías para la selección y caracterización de Indicadores de la Calidad del Suelo.

Además del programa de trabajo del Centro Temático, participamos en la elaboración del Informe *Europe's Environment: The Second Assessment*, que constituye el análisis de la situación ambiental europea cada tres años. Nuestra participación concreta consistió en la coordinación y elaboración del capítulo dedicado a la problemática del suelo.