

CONJUGAR COMPETITIVIDAD Y SOSTENIBILIDAD PARA EL SECTOR AGROALIMENTARIO EN CLIMAS MEDITERRÁNEOS SEMIÁRIDOS: EL PAPEL DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL AULA DEI-CSIC

Carlos Albiñana Rodríguez

Jorge Álvaro Fuentes

Celia Cantín Mardones

Manuel Matamoros Galindo

Estación Experimental Aula Dei-CSIC

RESUMEN

La Estación Experimental de Aula Dei (EEAD) es un instituto de investigación perteneciente al Área de Ciencias Agrarias del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), organismo público de investigación del Ministerio de Ciencia e Innovación. La EEAD-CSIC forma parte del Campus de Aula Dei, un Campus único en España en el estudio, enseñanza y diseminación de las ciencias agrarias y medioambientales.

1. INTRODUCCIÓN

La Estación Experimental de Aula Dei (EEAD) es un instituto de investigación perteneciente al Área Global Vida, Subárea de Ciencias Agrarias, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), organismo público de investigación adscrito al Ministerio de Ciencia e Innovación. Se halla ubicada en la carretera a Montañana, a 13 Km del centro de Zaragoza, en la ribera del río Gállego y muy próxima a la Cartuja de Aula Dei, de la que toma el nombre.

La EEAD-CSIC forma parte del denominado Campus de Aula Dei, sin duda un campus único en España en el estudio, enseñanza y diseminación de las ciencias agrarias y medioambientales. Además de la EEAD-CSIC, en el campus se ubican el Instituto Pirenaico de Ecología (IPE) del CSIC; la sede en Zaragoza del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) del CSIC; el Instituto Agronómico Mediterráneo/Centro de Altos Estudios Mediterráneos (IAMZ/CIHEAM) de Zaragoza; el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (CITA), el Laboratorio Agroambiental y el Centro de Semillas y Plantas de Vivero (estos tres últimos dependientes del Gobierno de Aragón).

La EEAD-CSIC es un instituto de investigación de referencia para la agricultura de clima templado semiárido en España. Nuestro objetivo es aportar al sector agrícola materiales y tecnologías para aumentar su competitividad y sostenibilidad, partiendo del conocimiento de los procesos implicados en biología y la producción vegetal. El fin último es la obtención de resultados para los sectores agroalimentario, biotecnológico y medioambiental, y para ello se lleva a cabo una actividad investigadora que tiene los siguientes objetivos:

1. Investigación científica básica y aplicada de calidad, formación de personal científico y técnico, asesoría a sectores privados y entes públicos, y difusión de resultados a la sociedad.
2. Incremento de la productividad de los cultivos de zonas templadas semiáridas.

3. Desarrollo de tecnologías para la sostenibilidad de las producciones agrícolas y el medio ambiente.
4. Incremento de la calidad y valor añadido de los productos agrícolas.



A lo largo de sus casi 80 años de historia, en la EEAD se ha desarrollado una intensa actividad científica que continúa en la actualidad. Esta se ha traducido en más de 130 tesis doctorales (más de 100 desde el año 2000) y en la publicación de más de 1850 artículos (el 90% de ellos desde el año 2000) con cerca de 69.000 citas totales

(fuente *Web of Science*, junio de 2023). La mayor parte de los artículos se encuadran dentro de las áreas temáticas de Biología Vegetal (25 %), Agronomía y Agricultura (20 %) y Recursos Hídricos (12 %). Mas de 100 científicos formados en la EEAD desarrollan en la actualidad su actividad científica en países de los cinco continentes.

La investigación en la EEAD se organiza en cuatro departamentos: Biología Vegetal, Genética y Producción Vegetal, Pomología y Suelo y Agua. En las siguientes secciones describiremos algunas de las investigaciones que se llevan a cabo en cada uno de ellos.

2. DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA VEGETAL

En el Departamento de Biología Vegetal se llevan a cabo investigaciones encaminadas a profundizar en el conocimiento de los procesos fisiológicos, bioquímicos y moleculares que determinan la producción vegetal y la tolerancia de las plantas a estreses abióticos tales como la deficiencia de nutrientes, la sequía o las altas temperaturas. Este conocimiento es necesario para optimizar la aplicación de fertilizantes, reducir su impacto en el medio ambiente e incrementar la eficiencia de los cultivos bajo condiciones ambientales adversas.

En el grupo *Fijación de Nitrógeno en la Simbiosis-Rizobio-Leguminosa* se investiga cómo la asociación de plantas y bacterias reduce el uso de fertilizantes y beneficia al medio ambiente. El nitrógeno es, después del agua, el principal nutriente limitante para el desarrollo de las plantas. En España en las últimas décadas se ha multiplicado por diez el uso de fertilizantes nitrogenados. La síntesis industrial de fertilizantes conlleva un enorme gasto de energía y contribuye a problemas medioambientales como la eutrofización de lagos y embalses y el calentamiento global debido a las emisiones de CO₂ y gases nitrogenados. Las leguminosas tienen gran importancia agronómica y ecológica debido a su capacidad para llevar a cabo la fijación biológica de nitrógeno (FBN) en simbiosis con bacterias del suelo denominadas rizobios, la cual representa una alternativa económica y respetuosa con el medio ambiente frente a la fertilización química. El proceso puede resumirse de la siguiente forma: en los suelos pobres en nitrógeno las plantas emiten señales químicas a través de la raíz que son reconocidas por los rizobios. Estas bacterias, a su vez, secretan compuestos que facilitan la penetración de las bacterias en las células de la raíz, lo que da lugar a la formación de un nuevo órgano denominado nódulo. En su interior las bacterias transforman el nitrógeno atmosférico (N₂) en amonio (NH₄⁺), el cual es asimilado por las plantas e incorporado a las proteínas y otras biomoléculas. Como contrapartida, las plantas suministran azúcares a las bacterias y mantienen dentro del nódulo unas condiciones ideales para la fijación de N₂. De esta manera, la asociación rizobio-leguminosa es responsable de la fijación anual de entre 40 y 60 millones de toneladas métricas de N₂. No obstante, la FBN es muy sensible a condiciones ambientales adversas que disminuyen su eficiencia. En la EEAD se investigan los mecanismos de adaptación y tolerancia de las leguminosas al estrés con el fin de utilizar esta información para prolongar la etapa funcional del nódulo y potenciar la biofertilización.

El grupo *Fisiología del Estrés Abiótico en Plantas* está interesado en conocer los mecanismos mediante los cuales las plantas se adaptan a condiciones ambientales adversas. Su principal línea de

investigación trata el problema de la deficiencia de hierro (Fe), el desorden nutricional más común en el planeta. La disponibilidad de este micronutriente depende de las características físico-químicas del suelo y de las condiciones climáticas. Los suelos calcáreos presentes en buena parte del Valle del Ebro y, aproximadamente, en un 30% de la superficie terrestre, favorecen la formación de óxidos e hidróxidos de Fe³⁺ poco solubles, haciendo que las plantas no puedan asimilarlo y desarrollen clorosis férrica. Esta se caracteriza por el amarilleo de las hojas debido a la falta de clorofila y un menor crecimiento de la planta, provocando pérdidas de hasta un 90% de la producción. En el campo, esta deficiencia se controla mediante el uso de fertilizantes sintéticos. El cambio climático actual conduce a sequías e inundaciones que disminuyen también la disponibilidad de Fe para las plantas. Las investigaciones desarrolladas en la EEAD se encaminan a conocer en profundidad las estrategias desarrolladas para hacer frente a este problema. Se ha observado que plantas resistentes a la clorosis secretan pequeños compuestos naturales capaces de solubilizar el Fe presente en suelos calizos. Los científicos de este grupo tratan de identificar estos compuestos, caracterizar sus vías de síntesis y establecer sus funciones, así como comprender los mecanismos moleculares que determinan esta respuesta.

El grupo de *Biomembranas y Aceites Vegetales* estudia la biosíntesis de los ácidos grasos y de los lípidos que forman las membranas celulares y los aceites vegetales. El grupo estudia la regulación y dinámica de las omega-3 desaturasas, enzimas responsables de la síntesis de ácidos grasos omega-3, mayoritarios en las membranas del cloroplasto, orgánulo celular donde tiene lugar la fotosíntesis. El papel de estos enzimas es clave por cuanto los ácidos grasos omega-3 determinan las propiedades fisicoquímicas de las membranas y, por tanto, muchas de las respuestas de aclimatación a estreses por temperatura. Igualmente, estos ácidos grasos son precursores del ácido jasmónico, una hormona vegetal que regula el crecimiento y desarrollo de las plantas, así como la respuesta al estrés biótico y el ataque por patógenos. El grupo también estudia el uso y desarrollo biotecnológico de aceites vegetales para aplicaciones industriales. Una planta, Pennycress (*Thlaspi arvense*), posee unas cualidades excepcionales para la obtención de *biofuel* y *biojet* de alta calidad a partir de su aceite. En la EEAD se investiga la regulación de enzimas clave en la ruta de biosíntesis de aceite en la semilla de esta especie. Además, se está desarrollando una estrategia de cultivo de variedades locales de Pennycress mejor adaptadas a las condiciones agroclimáticas del Valle del Ebro, dirigidas a la obtención sostenible de biocombustibles de alto poder energético.

3. DEPARTAMENTO DE GENÉTICA Y PRODUCCIÓN VEGETAL

En la década de los años 50, en la EEAD ya se trabajaba de forma pionera en genética y citogenética vegetal, con el desarrollo de híbridos para aumentar el rendimiento en la producción de maíz. Un investigador de este departamento, Joe Hin Tjio, en colaboración con el profesor sueco Albert Levan (Universidad de Lund) publicó en 1956 el artículo que estableció definitivamente el número exacto de cromosomas humano.

Hoy en día el departamento está estructurado en tres grupos de investigación. El grupo de *Biología Computacional y Estructural* (grupo mixto con el Departamento de Biología Vegetal) trabaja en el desarrollo de métodos computacionales para facilitar la investigación en genómica de plantas en torno a dos temas. El primero es la exploración a escala poblacional de los genomas de gramíneas como la cebada y *Brachypodium*, aplicada a la mejora y al descubrimiento de mecanismos de control de la expresión de genes en procesos relevantes. Estas actividades se llevan a cabo en estrecha colaboración con otros investigadores que hacen trabajo de campo. El segundo tema es el análisis evolutivo y estructural de factores de transcripción, flavoenzimas, metaloproteínas y proteínas dúctiles en plantas. Estas investigaciones también se extienden a sistemas bacterianos con interés biotecnológico y de salud en colaboración con laboratorios externos.

El objetivo del grupo *Genética y Desarrollo de Materiales Vegetales* es la obtención de plantas (se trabaja principalmente con cebada, la especie con mayor extensión cultivada en España) adaptadas a las condiciones de cultivo españolas y mediterráneas. La domesticación de cultivos y la mejora moderna han estrechado la base genética de muchos cultivos, que ha disminuido con respecto a las variedades locales y las especies afines. Las investigaciones de este grupo tratan de explorar la diversidad genética española y caracterizarla y con el fin de encontrar caracteres favorables y diseñar estrategias de transmisión a programas de mejora. Estos estudios han llevado al descubrimiento de genes de adaptación a la sequía, temperatura, fotoperiodo, y de genes de resistencia a enfermedades, que han servido de punto de partida para proyectos específicos. Asimismo, las entradas autóctonas que han demostrado características agronómicas sobresalientes se han incorporado a los programas de mejora. En general, las accesiones más interesantes por su comportamiento agronómico son objeto de investigaciones más detalladas (marcadores moleculares, expresión génica, secuenciación de DNA y RNA), creando de esta manera poblaciones específicas.



La actividad del grupo *Biología de la Embriogénesis Gamética y Aplicaciones* se centra en la embriogénesis gamética como vía para la producción de plantas doble haploides (DH). Un DH es un genotipo que se forma cuando las células (n) de un haploide experimentan un proceso, espontáneo o inducido artificialmente de duplicación cromosómica. Para avanzar en la optimización de la producción de DH es necesario un mayor conocimiento de los procesos que intervienen en la embriogénesis gamética, por ello el grupo ha incorporado herramientas genéticas y genómicas como estrategia para determinar los mecanismos genéticos, moleculares y los genes candidatos de la embriogénesis gamética. La producción de DH es una herramienta biotecnológica que permite obtener plantas 100% homocigotas en una sola generación, lo cual permite acelerar del desarrollo de nuevas variedades vegetales. El grupo trabaja en la optimización de protocolos para producción de DH en cereales y especies hortícolas. La colaboración con otros grupos de investigación y compañías privadas, tanto nacionales como internacionales, permite la transferencia directa de las tecnologías implementadas en la EEAD al sector agroalimentario.

4. DEPARTAMENTO DE POMOLOGÍA

El Departamento de Pomología comenzó su actividad con la fundación del instituto en 1944. En este departamento se llevaron a cabo trabajos pioneros que tuvieron una gran influencia en la fruticultura moderna española, especialmente durante la segunda mitad del siglo XX, contribuyendo a establecer las directrices de plantación, manejo y formación de árboles frutales.

La actividad que se lleva a cabo actualmente en este departamento se centra en la búsqueda de materiales vegetales y tecnologías para aumentar la competitividad y sostenibilidad del sector frutícola. Para ello, este departamento cuenta con una valiosa herramienta que se ha ido creando desde los comienzos de su actividad: los bancos de germoplasma. Estas colecciones de material vegetal, algunas de ellas únicas en España, reúnen una gran variabilidad genética de materiales de especies frutícolas como la Colección de ciruelo europeo, la Colección de variedades de manzano, la Colección de variedades de melocotonero, y la Colección de patrones *Prunus*. La actividad científica del departamento en la actualidad se estructura tres grupos de investigación.

El grupo de *Mejora Genética de Frutales y Calidad del Fruto* se centra en la mejora genética de especies frutales de la familia Rosaceae (*Prunus* y *Malus*). Uno de los objetivos es la obtención de patrones *Prunus* para especies frutales de hueso (albaricoquero, almendro, cerezo, ciruelo y melocotonero) y variedades de melocotonero de buena calidad y adaptación a las condiciones climáticas del área mediterránea. Asimismo, el grupo desarrolla técnicas multidisciplinares (fisiológicas, bioquímicas y moleculares) para su aplicación en mejora, y lleva a cabo análisis para identificar regiones

genómicas relacionadas con la calidad de fruto en manzano y melocotonero y la resistencia a estreses abióticos en patrones *Prunus*.



Los investigadores del grupo de *Genómica de Frutales y Vid*, mediante técnicas genómicas y de otras disciplinas, identifican genes y marcadores moleculares asociados con calidad de fruto y tolerancia a estrés abiótico y patógenos para su utilización en programas de mejora de especies frutales y vid. También trabajan en la conservación y caracterización molecular de recursos fitogenéticos y en la catalogación molecular de todas las accesiones incluidas en el Banco de Germoplasma de Vid de Aragón. El objetivo final es la evaluación y selección de

patrones y variedades frutales (especies de los géneros *Prunus*, *Malus* y *Vitis*) tolerantes a estreses y con buena calidad de fruto.

El grupo *Nutrición y Postcosecha de Cultivos Frutales* (grupo mixto con el Departamento de Biología Vegetal) lleva a cabo investigaciones con el fin de profundizar en la comprensión de las bases fisiológicas, bioquímicas y genéticas que determinan la calidad del fruto. El objetivo es introducir nuevas tecnologías de interés para la industria hortofrutícola y aumentar la calidad de los productos a través de técnicas de producción sostenible, respetuosas con el medio ambiente y competitivas. En concreto, la actividad se enfoca a la optimización de los procesos fisiológicos que regulan la productividad y calidad de especies de frutales de hoja caduca siguiendo un enfoque holístico. Además, se trata de desarrollar técnicas agronómicas y tratamientos postcosecha que ayuden a mejorar la calidad de fruto y alargar su vida útil. En el grupo también se investigan estrategias de fertilización foliar para mejorar la calidad del fruto, así como el desarrollo de nuevos materiales funcionales y biodegradables para la producción y vida postcosecha de productos hortofrutícolas.

5. DEPARTAMENTO DE SUELO Y AGUA

El Departamento de Suelo y Agua de la EEAD se creó en 2006 tras la fusión entre el antiguo Departamento de Edafología y el grupo 'Riegos, Agronomía y Medio Ambiente' del Departamento de Genética y Producción Vegetal. Se trata de un departamento multidisciplinar que tiene como objetivo el estudio científico de las interacciones entre los componentes suelo, agua, atmósfera y planta en sistemas agrícolas y naturales. El departamento está formado por más de 30 personas, entre personal investigador, técnico y en formación, con una amplia representación de diferentes disciplinas: geólogos, ingenieros agrónomos y agrícolas, biólogos, químicos, físicos, geógrafos y ambientalistas. La actividad científica se estructura en cuatro grupos de investigación.

El grupo de *Conservación de Suelo y Agua en Agroecosistemas* tiene como principal objetivo estudiar y resolver problemas relacionados con el uso y conservación de los recursos suelo y agua en agroecosistemas. Los investigadores evalúan la capacidad de diferentes sistemas de manejo agrícola para incrementar el contenido de materia orgánica y preservar la estructura del suelo. Además, estudian las propiedades hidrofísicas y el balance de agua del suelo bajo diferentes usos y manejos.

El grupo de *Erosión y Evaluación de Suelo y Agua* tiene como principal objetivo estudiar y determinar la degradación del suelo por erosión hídrica y movimientos en masa. En el grupo se investiga la erosión y redistribución del suelo mediante el uso de trazadores radioisotópicos, por ejemplo, cesio-137, plomo-210 en exceso, y berilio-7. También se desarrollan y aplican modelos numéricos de movimientos en masa (deslizamientos, coladas de barro, avalanchas de roca) y métodos basados en datos para analizar dinámicas espacio-temporales y relaciones causales en climatología e hidrología continental y disciplinas relacionadas, como la geomorfología, la ecología o la agronomía.

El grupo de *Manejo del Suelo y Cambio Global* se centra en evaluar y estudiar el impacto de las prácticas de manejo agrícola en la capacidad de mitigación y adaptación al cambio climático. Los investigadores del grupo tratan de determinar el potencial de mitigación de diferentes prácticas agrícolas en sistemas de secano y regadío. Además, cuantifican las tasas de emisión de gases de efecto invernadero bajo diferentes condiciones de manejo e identifican los principales factores bióticos y abióticos que controlan las emisiones de este tipo de gases y el secuestro de carbono en los suelos. Finalmente, estos estudios permiten calibrar y validar modelos matemáticos de flujos de carbono y nitrógeno en las condiciones climáticas mediterráneas a diferentes escalas geográficas.



El grupo de *Riegos, Agronomía y Medio Ambiente* se centra en los aspectos científicos del interfaz entre la agronomía de cultivos, el agua, el suelo y el medio ambiente desde la perspectiva de una de las regiones más áridas de Europa: el valle medio del Ebro. Los investigadores de este grupo tratan de modelizar sistemas de riego por aspersión y gravedad (a escala de parcela y de red de distribución), estudiar y optimizar el uso de agua de riego y la fertilización nitrogenada de los cultivos en regadío, y de evaluar los suelos y hábitats de interés con relación a las actividades agrarias. Su trabajo también está encaminado a la gestión de sistemas colectivos de riego, incluyendo el diagnóstico y el apoyo tecnológico, y a la evaluación, diseño y mejora del manejo de sistemas de riego en parcela.

6. SERVICIOS CIENTÍFICO-TÉCNICOS, TRANSFERENCIA Y DIVULGACIÓN

Las distintas tecnologías generadas por los grupos de investigación permiten a la EEAD disponer de un catálogo de servicios científico técnicos, de interés tanto para usuarios internos como para empresas y otros centros de investigación. Algunos ejemplos son el “Servicio de cultivo de plantas en condiciones controladas”, cuyas instalaciones constan de invernaderos y cámaras de cultivo de plantas de última generación; el “Servicio de metabolómica y genómica vegetal”, que ofrece el análisis de metabolitos y la aplicación y desarrollo de herramientas moleculares útiles en estudios de expresión génica y mejora genética; el “Servicio de análisis de gases de efecto invernadero por cromatografía de gases”, concebido para determinar los flujos a la atmósfera de los tres principales gases de efecto invernadero provenientes de suelos agrícolas: dióxido de carbono (CO_2), óxido nítrico (N_2O) y metano (CH_4); y el “Servicio de caracterización de variedades y patrones de especies frutales de hueso y de pepita”, donde se realiza la identificación molecular y la caracterización morfológica de variedades frutales para su registro oficial o para la identificación del material vegetal.



El catálogo completo de servicios científico-técnicos de la EEAD puede consultarse en: <https://www.eead.csic.es/web/guest/services/index>.

En la EEAD perseguimos el objetivo de que algunos de los resultados de investigación generados en nuestro instituto se conviertan en innovaciones que mejoren la vida de las personas. Por ejemplo, nuevas tecnologías que mejoren el medio ambiente o variedades vegetales con potencial comercial. Con el fin de promocionarlas al sector productivo, participamos en distintos proyectos, facilitando la colaboración entre investigadores y empresas.

Finalmente, desde la EEAD se hace también un esfuerzo importante para acercar la ciencia y la tecnología a la sociedad, buscando especialmente el contacto con estudiantes y profesorado de distintos niveles educativos, con la doble finalidad de estimular el gusto por el saber científico y de dar a conocer nuestra actividad. Para ello participamos y ponemos en marcha distintas actividades, como talleres, jornadas de puertas abiertas, presencia en medios de comunicación y redes sociales, exposiciones, cursos, conferencias, etc.