

# EXPERIENCIA DE COOPERACIÓN INTERUNIVERSITARIA PARA LA FORMACIÓN DE PERSONAL INVESTIGADOR EN EL DESARROLLO DE BIOFERTILIZANTES AGRÍCOLAS EN REPÚBLICA DOMINICANA

*Línea Temática I: Desarrollo Humano*

*Cesar-Antonio Díaz-Alcántara<sup>(1)</sup>, Angel-Felipe Vicioso-Alcalá<sup>(1)</sup>, Angel Pimentel-Pujols<sup>(1)</sup>, Iris-Esther Marcano<sup>(2)</sup>, Raúl Rivas González<sup>(3)</sup>, Beatriz Urbano López de Meneses<sup>(4)</sup>, Encarna Velázquez Pérez<sup>(3)</sup>, Fernando González-Andrés<sup>(2)\*</sup>*

(1) Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias, Universidad Autónoma de Santo Domingo, República Dominicana

(2) Instituto de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Biodiversidad, Universidad de León, España,

(3) Departamento de Microbiología y Genética, Universidad de Salamanca, España

(4) Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal, Universidad de Valladolid, España

\*Autor para correspondencia fernando.gonzalez@unileon.es

## RESUMEN

*La experiencia que se presenta lleva trabajando y obteniendo resultados satisfactorios en programas de cooperación al desarrollo en República Dominicana desde 2007. En este período se han desarrollado dos proyectos PCI-AECID (2007-2008; 2010-2011; 2012-2015) y dos proyectos de investigación concedidos por el Ministerio de Educación Superior, Ciencia y Tecnología de la República Dominicana. Estos proyectos han incluido entre los miembros del equipo a profesores-investigadores de las Universidades españolas de León, Salamanca y Valladolid y de la Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD) en la República Dominicana. El objetivo fue crear capacidades de investigación en la UASD para desarrollar la tecnología de los biofertilizantes en la agricultura Dominicana, que se considera una Tecnología Apropriada. Los biofertilizantes, productos basados en microorganismos, están irrumpiendo en el mercado mundial por ser alternativos en unos casos y complementarios en otros, a los productos químicos de síntesis comúnmente utilizados en agricultura. Cumplen todos los requisitos para ser considerados una Tecnología Apropriada, en especial: i) son de bajo coste, ya que su producción es más barata que la de los insumos convencionales; ii) es necesario trabajar con microorganismos autóctonos, por lo que deben ser desarrollados a pequeña o mediana escala. Los resultados obtenidos pueden clasificarse en resultados formativos, científicos y tecnológicos. Entre los formativos destacan la formación en España de dos doctores especializados en microbiología de suelos, y la formación en Dominicana de cinco Ingenieros Agrónomos. Los resultados científicos se resumen en ponencias conjuntas en congresos internacionales, dos libros de investigación, y artículos científicos y de divulgación. Desde el punto de vista tecnológico se han desarrollado varios biofertilizantes para cultivos de interés en el país, que pueden ser transferidos al sector agrícola previa producción por una empresa local, aspecto en el que se trabaja actualmente. En el trabajo se discuten las claves del éxito de este tipo de acciones.*

*Palabras clave: Tecnología apropiada, Biofertilizantes, Inoculantes, PGPR, Doctorado.*

## ANTECEDENTES

El papel de la tecnología en cooperación al desarrollo ha sido objeto de análisis desde diferentes vertientes, tratando en todos los casos de racionalizar su uso, pues la tecnología y el ámbito del desarrollo son universos

que cada vez han tenido más elementos en común (Arribas Giner y Fernández-Baldor Martínez, 2011). A lo largo de la historia han existido diferentes visiones de la tecnología aplicada al desarrollo. En un principio se denominó Tecnología Apropriada, para luego pasar a denominarse Tecnología Social, y más recientemente Tecnología para el Desarrollo Humano (TDH), relacionando en este último caso los objetivos de la TDH con los ejes del Índice de Desarrollo Humano, lo que supone una visión de la tecnología que debe, en primer lugar, garantizar los derechos básicos y el acceso a servicios básicos con equidad y un mínimo de dignidad, en segundo lugar, garantizar la producción y las capacidades de participación social, y en tercer lugar, ser sostenible y promover el empoderamiento (Pérez-Foget, 2005). La evolución en la visión de la tecnología, su rol en la sociedad y sus límites de actuación, ha ido unida a los movimientos sociales que se han producido a finales del siglo XX (Arribas Giner y Fernández-Baldor Martínez, 2011). Sin embargo el término “Tecnología Apropriada” es el más utilizado en la actualidad, y el que maneja Naciones Unidas, si bien el concepto que representa ha ido evolucionando paralelamente o otras evoluciones sociales. Pérez de Armiño (2001) define el término como la “tecnología adecuada a las condiciones locales, caracterizada por su bajo costo, la no importación de insumos, su pequeña escala, su fácil utilización por la población y su sostenibilidad”.

Según el texto refundido de la Ley Orgánica de Universidades (Ley Orgánica 4/2007, de 12 de abril), “la investigación científica es una herramienta primordial para el desarrollo social a través de la transferencia de sus resultados a la sociedad”. En consecuencia, nuestro grupo de investigación diseñó en 2007 un plan para transferir el conocimiento generado en las Universidades Españolas a la Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD) de República Dominicana, en forma de Tecnología Apropriada destinada contribuir con el desarrollo del sector agrícola de la sociedad Dominicana.

El desempeño del sector agropecuario dominicano ha sido modesto y volátil durante los últimos 15 años. Se observa que la productividad media tendió a estancarse o a disminuir en varios cultivos y fue menor que la de muchos países competidores. Factores climáticos como sequías, inundaciones y huracanes afectaron las producciones. En el mismo periodo, la productividad media del sector descendió o se estancó en la mayor parte de los principales cultivos a la vez que la superficie cultivada aumentó a un ritmo del 0,6% (Godínez y Mattar, 2008). La rentabilidad agropecuaria ha sido muy baja, menor que en otros sectores, desde la segunda mitad de los años ochenta. Según una estimación de la rentabilidad media de la mayor parte de los productos agrícolas se observa una tendencia negativa en el periodo de 1990-2006 para más de la mitad de los productos y muy baja para el 20%. Es más, la rentabilidad media ha tendido a decrecer considerablemente entre los periodos 1990-1995 y 2000-2006. De esta forma, la capacidad de consumo y ahorro de los productores agropecuarios también se redujo, lo que explica en parte la baja inversión, la pobreza y la emigración rurales (Godínez y Mattar, 2008; Urbano et al., 2011; ONE, 2008). La diversificación de productos y de mercados fue un logro considerable a partir de 1990. Las proyecciones globales de mayor y más calificada demanda de productos agrícolas ofrecieron una oportunidad de expansión a la producción dominicana de exportación y proyectaron mayores costos para las importaciones de maíz y otros granos. El déficit agroalimentario del comercio exterior ha sido volátil y se acentuó considerablemente por el crecimiento acelerado de las importaciones de cereales y semillas oleaginosas durante los 10 primeros años y el estancamiento de las exportaciones agroalimentarias. En República Dominicana conviven dos tipos de agricultura totalmente opuestos, una agricultura de subsistencia y otra agricultura orientada al mercado exterior, que se basa fundamentalmente en la exportación de productos obtenidos mediante técnicas de producción ecológica (orgánica en la terminología Americana). Es necesario destacar el crecimiento de las exportaciones de banano y cacao orgánico en República Dominicana, que sitúa al país actualmente entre los líderes en estos renglones, lo cual ha contribuido a despertar el interés por la agricultura orgánica. La utilización de factores productivos en República Dominicana es muy irregular, siendo en muchos casos directamente proporcional a la disponibilidad de recursos económicos por parte del agricultor, especialmente en las explotaciones de más bajo nivel tecnológico, lo que es consecuencia de una falta de formación por parte de los agricultores (Díaz Alcántara et al., 2009), deficiencia que instituciones dominicanas como el Instituto Nacional de los Recursos Hidráulicos (INDRHI) ha tratado de corregir (INDRHI, 2006 a,b) con la participación de la Cooperación Española en la formación de formadores (Silva Guzmán et al., 2009). De los principales factores productivos necesarios en agricultura, que son el suelo, el agua, la maquinaria, los fertilizantes y los productos de control de plagas y enfermedades, nuestra acción se ha centrado en los biofertilizantes en una primera fase, para abordar también los productos de biocontrol en una segunda fase, de no haberse interrumpido la financiación que recibimos de Cooperación Española, como consecuencia de la crisis económica existente en España.

Para comprender el carácter estratégico de la fertilización en la producción vegetal, es preciso destacar que el nitrógeno y el fósforo son los dos principales elementos limitantes para el crecimiento de las plantas, por lo que en general éstos han de ser adicionados a los cultivos para obtener cosechas suficientes para alimentar a la población, lo que está relacionado con el objetivo del milenio correspondiente a la erradicación del hambre. Lo habitual es añadirlos en forma de abonos minerales que están formulados a base de nitratos y fosfatos, pero la generalización de su uso lleva a un exceso a nivel global (Good y Beatty, 2011) y genera problemas ambientales y sobre la salud (de Felipe, 2006), por lo que el cumplimiento del objetivo del milenio relacionado con la sostenibilidad del medio ambiente exige la racionalización de su uso. Entre los problemas ambientales merece la pena destacar la eutrofización de las aguas por el exceso de nitratos y la contribución del nitrógeno volatilizado al efecto invernadero, mientras que los problemas más importantes sobre la salud humana son la contaminación de las aguas potables con nitratos y el efecto nocivo de las nitrosaminas liberadas a la atmósfera (Vitousek et al., 1997). Se calcula que hasta un 50% del nitrógeno aportado al suelo en forma de abonos químicos se puede perder por procesos de lavado y de descomposición microbiana (de Felipe, 2006). Pero además los fertilizantes nitrogenados, que están basados en la síntesis industrial de la molécula de amoníaco, son muy costosos desde el punto de vista energético, llegando a representar la energía gastada en la síntesis de los mismos, el primer consumo energético de la agricultura (Omaña Álvarez, Urbano López de Meneses, 2012). La volatilidad de los precios de las materias primas para la fabricación del amoníaco en el mercado mundial hace que el mercado de los abonos nitrogenados se encuentre siempre en una situación inestable, lo que perjudica claramente a los países que, como República Dominicana, deben importar este producto por carecer de industria propia. La adición de fosfato al suelo tampoco está exenta de riesgos medioambientales, pero el mayor problema es la insolubilización de los mismos al contacto con el suelo, lo que los convierte en inutilizables para las plantas. Se ha calculado que se insolubiliza hasta un 80% del fósforo aplicado, convirtiéndose en sales no utilizables por las plantas (Dey, 1988, Singh and Kapoor, 1994). Por lo tanto la eficacia real del abonado químico es baja, ya que a un gran coste económico corresponde una baja tasa real del nitrógeno y del fósforo disponible para las plantas.

Existe una Tecnología Apropiada para mejorar la nutrición de las plantas, reduciendo o eliminando según el caso, la utilización de fertilizantes minerales obtenidos mediante procesos químicos de síntesis, y consiste en la utilización de biofertilizantes. Aunque no existe una acepción única sobre lo que es un biofertilizante, en general se acepta que se trata de un producto rico en microorganismos vivos, que tienen un efecto positivo en el desarrollo de los cultivos. En general para que un producto pueda ser considerado un biofertilizante y utilizado en agricultura con todas las garantías, debe estar constituido por una sola cepa de un microorganismo o un “consorcio” de cepas conocido, que han sido seleccionadas, en base a sus buenas características sobre el cultivo. Existen dos tipos de biofertilizantes (Mulas et al. 2013, González-Andrés et al., 2011): El primero son los inoculantes a base de rizobios para leguminosas, que tienen la finalidad de fijar nitrógeno atmosférico en las nudosidades que forman en la raíz, eliminando la necesidad de abonado nitrogenado. Estos pueden considerarse “biofertilizantes de primera generación”. El segundo tipo de biofertilizantes incluye productos formulados con bacterias del género *Rhizobium* y afines para plantas no leguminosas, o también formulados con otras bacterias de la rizosfera diferentes a los rizobios para plantas leguminosas y no leguminosas, y por último con hongos micorrícicos. Este tipo de biofertilizantes pueden denominarse de “segunda generación” y su efecto final es mejorar el rendimiento económico de los cultivos, y un mejor aprovechamiento de los abonos y de los nutrientes que hay de manera natural en el suelo, en especial el fósforo, mediante una mezcla compleja de modos de acción. Las bacterias edáficas que realizan estas acciones reciben el nombre de *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR). Los rizobios en plantas no leguminosas no fijan nitrógeno atmosférico, pero se ha comprobado que estimulan el crecimiento (García-Fraile et al., 2012). También hay algunas bacterias como *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Acetobacter* y *Azolla*, que fijan nitrógeno atmosférico, aunque no lo hacen en simbiosis, pero este nitrógeno puede ser asimilado por los cultivos (Fallik and Okon 1996, Rodríguez-Navarro and Ruiz-Sánchez, 2010).

En síntesis, se pueden destacar tres propiedades de los biofertilizantes que los convierten en una Tecnología Apropiada (Mulas et al., 2013). En primer lugar su bajo coste de desarrollo y producción, lo que se refleja en un bajo coste para el usuario comparado con los abonos químicos de síntesis, ya que para su desarrollo y producción se necesitan unos medios materiales y humanos relativamente simples. En segundo lugar, para que los microorganismos se adapten a las condiciones agroclimáticas en las que se utilizan, deben de ser autóctonos (Mulas et al., 2013), por lo que es necesario desarrollarlos a nivel de unidades agroclimáticas, lo que abre una oportunidad para la creación de empresas pequeñas o medianas, ligadas al medio geográfico al que vayan

destinados los productos. En tercer lugar son ambientalmente respetuosos y seguros para el ser humano, pero para que esto sea así es necesario identificar y caracterizar perfectamente los microorganismos utilizados para tener la certeza de que se utilizan especies seguras, razón por la que es necesario un proceso de formación científica de los técnicos responsables del desarrollo de los biofertilizantes, lo que se ha conseguido en el proyecto que se analiza en este trabajo. En República Dominicana, los biofertilizantes tienen interés para los dos tipos de agricultura coexistentes, la de subsistencia por su bajo costo comparado con los productos químicos, y la orientada a la exportación de banano y cacao orgánico, que genera buenas perspectivas para la propuesta de utilizar insumos inocuos como los biofertilizantes.

Con la finalidad de introducir la Tecnología Apropiada de la biofertilización en la Agricultura de República Dominicana, se abrió un **Plan de Formación para la UASD**, con el objetivo de capacitar en España investigadores especialistas en microbiología de suelos, que puedan en el futuro liderar el desarrollo de biofertilizantes para la agricultura Dominicana. Un aspecto importante de nuestro trabajo, ha sido la implicación de la Universidad de destino, que no ha actuado como mera receptora, sino que se ha solicitado proyectos a las instituciones Dominicanas, participando activamente en la formación de personal a nivel de Grado, mientras que en España la formación ha sido a nivel de Doctorado.

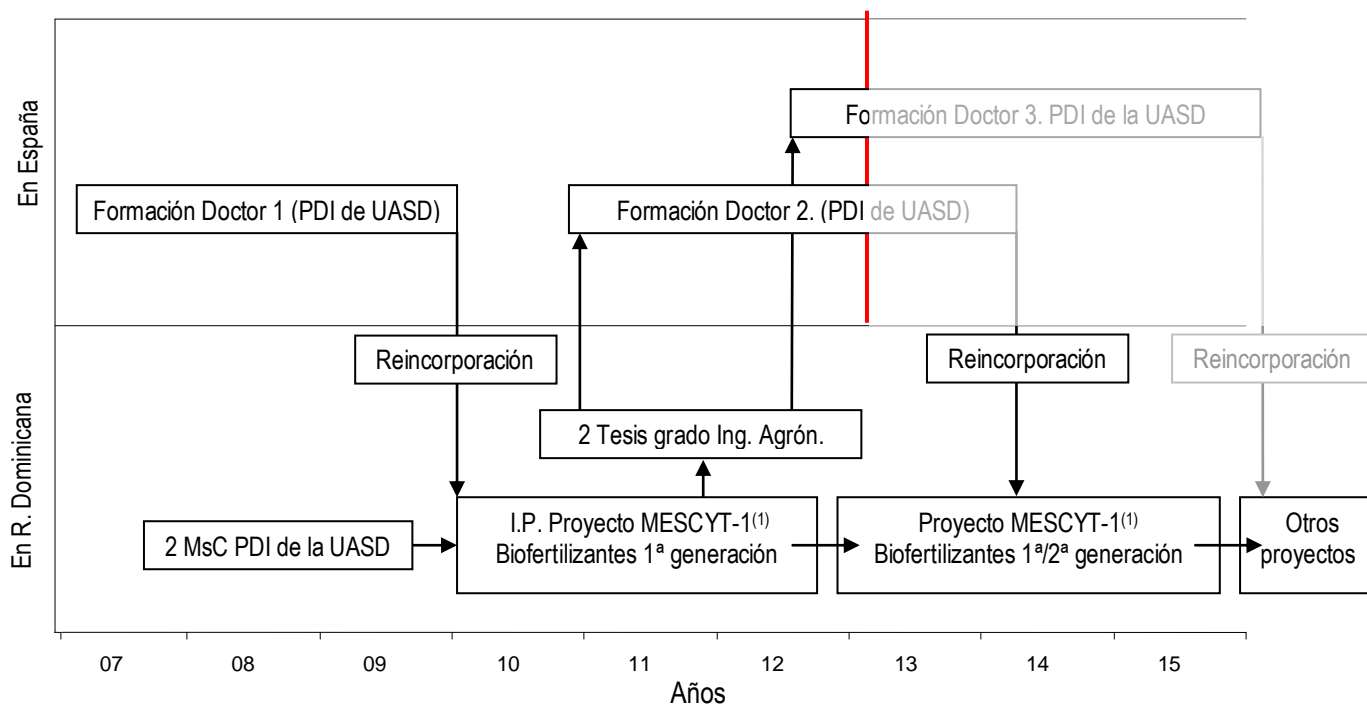
## **METODOLOGÍA UTILIZADA.**

La metodología consistió en la creación de un grupo de trabajo estable constituido por tres Doctores formados en España con tres proyectos AECID-PCI, de los que el último no podrá ser formado y en el segundo habrá que reducir los objetivos formativos debido a la interrupción de la financiación del tercero de los proyectos debido a los recortes sufridos en el presupuesto de AECID. El primero de los doctores (Doctor 1 en la Figura 1) se formó en España entre 2007 y 2009 mediante la cofinanciación del primer proyecto AECID-PCI (2007-2008) y la Universidad de León (2007-2009), y al finalizar el período se reincorporó a la UASD (Figura 1), ejerciendo como Investigador Principal en un proyecto financiado por el Ministerio de Educación Superior, Ciencia y Tecnología (MESCYT) Dominicano (2009-2012) (Proyecto MESCYT-1 en la Figura 1), que fue solicitado antes de la finalización de la Tesis Doctoral para que no existiera un lapso de tiempo sin actividad. La mayor parte de dicho proyecto se realizó en Dominicana utilizando la tecnología aprendida por el Investigador Principal en España durante su doctorado, mientras que otra parte de la investigación se realizó en colaboración con las Universidades Españolas, que participaron también en el proyecto, pues todavía la UASD no había implementado la tecnología necesaria para realizar un proyecto completo de microbiología de suelos. En dicho proyecto participaron también otros 2 profesores de la UASD que disponían del título de *Master of Science* por otra Universidad Americana (Figura 1). Para la ejecución del proyecto en Dominicana, se incorporaron también cinco estudiantes de Ingeniería Agronómica de la propia UASD, realizaron su Tesis de Grado (Tesis de Ingeniería en la denominación de la UASD) con la investigación asociada al proyecto, iniciándose de esta manera en microbiología de suelos. Una vez superada esta fase formativa, que fue selectiva, el siguiente paso en su carrera fue realizar el Doctorado en España para dos de estos estudiantes (Doctor 2 y Doctor 3 en la Figura 1). La financiación corrió a cargo de una beca MAEC-AECID (2011-2014) para el Doctor 2 (Figura 1), cubriendo la experimentación mediante otros dos proyectos PCI-AECID (2010-2011 y 2012-2015). El Doctor 3 estaba destinado a ser formado con la financiación del proyecto PCI-AECID (2012-2015), que por ser una acción integrada admitía gastos de personal, pero la interrupción de la financiación ha impedido iniciar la formación de este Doctor. La interrupción de dicho proyecto ha afectado también a la formación del Doctor 2, pero al haberse mantenido las becas MAEC-AECID puede continuar con la formación doctoral aunque hemos tenido que reducir sus objetivos formativos, al haber quedado sin fondos para financiar la investigación asociada a su formación.

Por otra parte, en República Dominicana todo el equipo integrante del proyecto MESCYT-1 solicitó en 2012 otro nuevo proyecto a la misma institución (Proyecto MESCYT-2 en la Figura 1). A este proyecto se incorporará el Doctor 2 cuando finalice su formación en España.

Los doctores formados en España pertenecen al Personal Docente e Investigador de la UASD. El proceso de selección se realizó entre los candidatos menores de 40 años que mostraron interés en recibir una formación

de este tipo en España, utilizando criterios de i) afinidad de sus líneas de docencia/investigación; ii) Curriculum Vitae.



**Figura 1.-** Metodología utilizada para la creación de capacidades de investigación en microbiología de suelos en la UASD (República Dominicana). La financiación de la formación en España corrió a cargo de los proyectos AECID – PCI (A/4824/06 y su prórroga, A/023132/09 y su prórroga, y A1/035364/11). La línea roja y la parte sombreada corresponden a actividades que no se pudieron ejecutar por la interrupción del proyecto A1/035364/11, como consecuencia de la supresión de los proyectos PCI.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

La ejecución del programa, tuvo como resultado principal la generación en la UASD, del conocimiento necesario para desarrollar Biofertilizantes para agricultura, que se considera una Tecnología Apropiada en las condiciones de República Dominicana. Sin embargo, la interrupción de la financiación antes de la finalización del último proyecto aprobado ha tenido como consecuencia que el grupo de la UASD no haya alcanzado la autonomía prevista en un principio, afectando a la sostenibilidad de la línea, en tanto en cuanto no se alcancen vías de financiación alternativas.

Además de los resultados obtenidos en cuanto a formación de personal, dado que la metodología utilizada para la formación ha sido la realización de tesis doctorales, se han obtenido también resultados científicos y tecnológicos, que más adelante se describen.

### Los biofertilizantes como Tecnología Apropiada.

En primer lugar es necesario justificar que la tecnología agrícola basada en los Biofertilizantes puede calificarse de Apropiada, según el concepto de *Pérez de Armiño (2001)*. La Tabla 1 es una lista de comprobación que recoge las propiedades que debe tener la Tecnología Apropiada, de acuerdo a la recopilación realizada por *Arribas Giner y Fernández-Baldor Martínez (2011)* sobre un trabajo previo de *Motta, R. (1996)*. Dicha tabla señala, para cada una de las propiedades, si la tecnología de los biofertilizantes cumple con cada una

de ellas. En la tabla se observa que la tecnología de los biofertilizantes presenta prácticamente todas las propiedades requeridas para que una tecnología pueda considerarse apropiada, tal como ya habían demostrado con anterioridad *Díaz-Alcántara et al. (2011)* y *Mulas et al. (2013)*.

**Tabla 1.-** Lista de comprobación comparando las propiedades que debe cumplir una Tecnología Apropiada y las características de los biofertilizantes.

Nº	PROPIEDAD INHERENTE A LA TECNOLOGÍA APROPIADA	CUMPLIMIENTO POR PARTE DE LOS BIOFERTILIZANTES
1	Orientación a las personas de más bajos ingresos	Sí / Por el bajo coste del biofertilizante
2	Orientación a la satisfacción de necesidades básicas	Si/ En la agricultura de subsistencia permite mejorar cosechas
3	Orientación a la creación de empleo masivo	No
4	Tener bajo costo relativo	Sí / Comparado con los fertilizantes minerales
5	Baja inversión por puesto de trabajo	Sí / Para la producción de biofertilizantes la tecnología es de bajo coste
6	Privilegiar el uso intensivo de trabajo antes que el de capital	Sí / Se trata de una tecnología que mejora la productividad agrícola sin sustituir mano de obra por tecnología
7	Sencillez en el diseño y construcción	Sí / El equipamiento de las plantas de producción de biofertilizantes es relativamente sencillo
8	Facilidad en la operación y mantenimiento	Sí
9	Escaso impacto ambiental	Sí / El uso de biofertilizantes es inocuo* para el medio ambiente y por la pequeña dimensión de las plantas de fabricación, la fabricación tampoco genera impactos importantes
10	Fácil control	Sí / Por parte del usuario final. Mediante formación adecuada también por parte de los diseñadores y fabricantes
11	Un mercado definido y determinado	Sí / Sector productivo agrario
12	Hacer uso de materiales y recursos naturales locales	Sí/ Posible por la sencillez de las materias primas
13	Requerir bajo consumo de materiales y energía	Sí
14	Ser de fácil adaptación al medio natural y social	Sí / Para que se cumpla es imprescindible que los biofertilizantes estén fabricados con microorganismos autóctonos

\* Siempre y cuando exista la certeza de estar utilizando bacterias seguras.

A pesar de la sencillez de la tecnología de los biofertilizantes, para su diseño se precisa una estricta formación científica y técnica, pues, al tratarse de productos biológicos, es necesario tener la certeza de utilizar microorganismos seguros para el medio ambiente y el ser humano. Por eso, es tan importante prestar atención al punto 9 de la Tabla 1. Dado que el tipo de microorganismos que pueden formar asociaciones rizosféricas o endofíticas con las plantas es muy extenso, que algunos de ellos pertenecen a especies patógenas y que, en algunos casos, también es frecuente aislar algún patógeno vegetal, una correcta identificación de los aislados es el primer paso en todo tipo de trabajo. Para desarrollar un biofertilizante el proceso secuencial es el siguiente (*Mulas et al., 2013*):

1. Aislamiento de microorganismos autóctonos por su capacidad de adaptarse a las condiciones agroecológicas de la zona en la que se desarrollaron.

2. Identificación de los aislados por técnicas de biología molecular como la secuenciación del gen ribosómico 16S, aplicando generalmente con carácter previo una técnica de análisis de la biodiversidad que permita la agrupación de las cepas, como por ejemplo PCR-RFLP combinado con TP-RAPD (Datos de los autores no publicados).

3. Ensayo en campo a muy pequeña escala, para seleccionar los aislados con mejor efecto sobre la planta. El criterio de selección puede ser fijación de N atmosférico en el caso de las bacterias fijadoras de N, o promoción del crecimiento vegetal, en el caso de otras bacterias en las que se busque este efecto.

4. Ensayo en campo a gran escala.

Para seleccionar las bacterias que se utilicen en el paso 3, existen diferentes opciones, la primera consiste en realizar pruebas sobre plantas crecidas en medio hidropónico y en condiciones axénicas, lo que es imprescindible para bacterias nitro fijadoras, utilizando como medio hidropónico uno libre de N.

En el caso de otras bacterias promotoras del crecimiento vegetal, es posible analizar previamente *in vitro* determinadas actividades como la generación de fitohormonas, la solubilización de P, etc., seguido de un ensayo en planta en las mismas condiciones que las indicadas para las bacterias nitro fijadoras, pero utilizando una solución nutritiva completa, que incluya Nitrógeno. También es posible realizar la selección desde el punto de vista puramente taxonómico, es decir analizando en campo únicamente los aislados que pertenecen a las especies en las que existen gran número de cepas ya descritas con efecto promotor del crecimiento vegetal.

Queremos insistir en la importancia de ejecutar el paso 2, que por sus características precisa de personal cualificado, con formación científica y técnica especializada, a lo que hemos prestado especial atención en nuestro Plan de Formación. Para ejemplificar el riesgo de abordar un proyecto de estas características sin la formación adecuada, mencionaremos el caso de un estudiante de Máster de Cooperación Internacional al Desarrollo, que es responsable de la gestión de proyectos de Cooperación. Dentro de las actividades de una asignatura de dicho Máster, propuso el aislamiento de microorganismos a partir de huertos familiares en un país Africano, para desarrollar con los aislados un biofertilizante. Aparte de presentar la idea como una actividad académica del Máster, proponía ejecutarlo en un proyecto que estaba coordinando. Sin embargo, no incluyó entre las actividades la identificación de los aislados, con lo que de no haber tenido un filtro académico previo, y haber ejecutado la actividad, habría puesto en riesgo a las personas y al medio ambiente. En un huerto familiar de un país Africano, donde las medidas higiénicas son insuficientes, podría haber aislado bacterias peligrosas, entre las que probablemente se encontrarían patógenos humanos. Esto alerta del riesgo de que la gestión de los proyectos de Cooperación al Desarrollo recaiga en profesionales que actúen exclusivamente como gestores, y que no cuenten o con los conocimientos o con el apoyo de técnicos, que en nuestra opinión deben estar en el país de destino por su mejor conocimiento del entorno. El Plan de Formación abordado ha tenido entre sus logros formar científicos que no solamente actúen en el plano académico y tecnológico, sino en la gestión de los fondos de Cooperación que puedan recibir en el futuro.

### **Resultados referentes a la formación de personal docente e investigador.**

La estrategia elegida fue la formación al más alto nivel académico del personal docente e investigador de la UASD, es decir formación de doctorado. Los Doctores formados están destinados a constituir un grupo de investigación, que se estructurará en torno al **Laboratorio de Biología Molecular**, que fue creado, acondicionado y equipado por la Facultad de Ciencias Agronómica y Veterinarias de la UASD. Para el acondicionamiento y equipamiento de dicho laboratorio, la UASD contó cronológicamente con los siguientes tipos de financiación: un proyecto local (MESCYT-1 en Figura 1); a continuación un proyecto PCI-AECID que, debido a su interrupción, sólo pudo ejecutar el 66% de la inversión propuesta; en tercer lugar otro proyecto local (MESCYT-2 en Figura 1). Se pretende que al finalizar 2013 sea plenamente funcional para trabajos microbiológicos de aislamiento, caracterización fisiológica y selección en planta de microorganismos rizosféricos y endófitos, incluyendo bacterias y hongos micorrízicos. También podrá realizar los primeros pasos de la caracterización molecular, que se irá ampliando progresivamente como corresponde a la denominación que ha recibido.

Los resultados obtenidos durante el período 2007-2012 fueron la formación de un Doctor perteneciente a la plantilla de Personal Docente e Investigador de la UASD, y para 2014 está prevista la finalización de la formación de una segunda Doctora. Lamentablemente ha habido que renunciar a la formación de un tercer doctor para 2015, por la interrupción del proyecto que estaba financiando su formación. La formación de doctores, que se integren en un grupo de investigación, es la estrategia más adecuada para establecer en la institución de destino las competencias básicas de investigación. Una vez creada la suficiente “masa crítica” de doctores, que en el caso concreto de análisis estimamos en tres, se alcanzará la sostenibilidad en la creación de competencias de investigación, que pertenecerán a dos categorías, las básicas, y las específicas en microbiología de suelos y biofertilizantes. En cuanto a las competencias básicas, corresponden a los siguientes grupos (ANECA, 2009):

- Disciplinarias: Demostrar comprensión en un campo de estudio.
- Metodológicas: Demostrar dominio de métodos de investigación.
- Instrumentales: Demostrar dominio de técnicas de investigación.
- Genéricas o transferibles.

Los doctores formados fueron los responsables de la transmisión de las competencias adquiridas a los Ingenieros Agrónomos, a través de la realización de Tesis de Grado (denominada en la UASD Tesis de Ingeniería). El objetivo final de la acción A1/035364/11 era establecer un Posgrado Conjunto entre las Universidades Españolas participantes y la Universidad Autónoma de Santo Domingo, de manera que se llegue a conseguir la sostenibilidad. Como primera fase de la construcción del posgrado, durante 2012 se llevó a cabo en la UASD el “Curso Internacional sobre biofertilizantes en Agricultura” de 100 horas de duración, cuyo Diploma final ha sido expedido simultáneamente por las Universidades Autónoma de Santo Domingo y de León, y en él han participado un total de 18 profesores Españoles y Dominicanos, que están llamados a ser parte de los docentes del posgrado. La interrupción de la financiación obliga a buscar fuentes alternativas para seguir adelante con la construcción, pero de momento ha frenado el proceso.

### **Resultados científicos y tecnológicos y transferencia al sector.**

Un aspecto clave del Plan de Formación diseñado, es que los conocimientos generados en el entorno Universitario, llegarán en un plazo muy breve a la sociedad, en este caso a los productores agrícolas. Al utilizar como estrategia formativa la realización de Tesis Doctorales y Tesis de Grado, la experimentación asociada a las mismas ha tenido también resultados científicos y tecnológicos. Entre los resultados científicos merece la pena destacar los siguientes.

- Siete comunicaciones en congresos internacionales
- Un capítulo en un libro internacional de investigación y un libro completo
- Una publicación en una revista especializada de divulgación científica en el sector
- Un artículo en una revista incluida en las listas SCI (en evaluación) y otros dos en preparación

En cuanto a los resultados tecnológicos más destacados, indicamos los siguientes:

- Un biofertilizante de primera generación para habichuela roja (*Phaseolus vulgaris* L.) (variedad José Beta), consistente en dos cepas de *Rhizobium phaseoli* autóctonas, probadas en condiciones de campo (Figura 1)
- Un biofertilizante de primera generación para guandul (*Cajanus cajan* L.) de las mismas características del anterior, basado en cepas de *Bradyrhizobium* spp. (está en fase de identificación específica)
- Un biofertilizante de segunda generación, consistente en bacterias endofíticas no rizobios para banano, con efecto fitofortificante frente al ataque del patógeno *Mycosphaerella fijiensis*. El producto no está completamente desarrollado, pues corresponde a la segunda Tesis Doctoral que tiene plazo de finalización 2014 (Figura 1)



En cuanto a la explotación de los resultados tecnológicos, la creación de una empresa de base tecnológica en la UASD es la opción que puede ser más conveniente y ya se han iniciado acciones en ese sentido.



**Figura 2.-** Izquierda: Cultivo puro de una cepa autóctona de República Dominicana, perteneciente a *Rhizobium phaseoli* seleccionada como inoculante de habichuela (*Phaseolus vulgaris* L.). Derecha: Banano tratado con un Biofertilizante de segunda generación (PGPR) frente a un control. En el ensayo había 10 plantas por tratamiento y las presentadas en la Figura corresponden al tamaño medio (media aritmética de las 10 plantas).

### Claves del éxito del Plan de Formación abordado y conclusiones.

Un aspecto clave en la realización de la actividad fue el alineamiento del proyecto en los planes de desarrollo institucional de la institución de destino. Esta es una premisa imprescindible en cualquier actividad de Cooperación, y un prerrequisito para que tenga éxito. La implicación del Decanato de la Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias de la UASD ha sido constante independientemente de los cambios de responsables de dicho decanato, ya que desde el principio ha sido considerada una línea estratégica. Un riesgo en planes a largo plazo es el cambio de líneas prioritarias, lo que puede depender de cambios a nivel de Decanato o Dirección de Centro o en los planes regionales, nacionales e internacionales de I+D+i.

El segundo aspecto clave es el alineamiento de las capacidades de investigación creadas con las prioridades de la Cooperación del país financiador, y la transferencia real del conocimiento generado a la sociedad del país de destino. En concreto la tecnología de los biofertilizantes se alinea con el Sector Prioritario de la Cooperación Española en República Dominicana titulado “Desarrollo Rural y Lucha contra el Hambre”, consistente entre otras cosas en “mejorar la capacidad productiva agropecuaria de pequeños y medianos productores, incrementando la productividad mediante la diversificación y la incorporación de tecnologías adaptadas localmente” (AECID, 2013).

Para alcanzar la sostenibilidad de las capacidades creadas es importante establecer un Posgrado en la Universidad de destino, que permita continuar con la formación de Doctores, y que en principio ha sido planteado como un Posgrado Conjunto Hispano-Dominicano en Microbiología de Suelos. Para alcanzar el efecto multiplicador de la acción en la sociedad Dominicana, hemos abordado la transferencia del conocimiento generado al sector productivo, proponiendo la creación de una empresa de base tecnológica, idea que está siendo sometida a estudio de viabilidad.

### AGRADECIMIENTOS

El trabajo ha sido cofinanciado por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) a través de los programas PCI (A/4824/06, A/7473/07, A/023132/09, A/030020/10 y A1/035364/11) y MAEC, la Universidad de León (España), la Universidad Autónoma de Santo Domingo y el Ministerio de

Educación Superior, Ciencia y Tecnología de República Dominicana. Agradecemos al personal de la OTC – Santo Domingo (AECID) su inestimable ayuda.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AECID. (2013): *Programas, Proyectos de la Cooperación Oficial*. Internet. Visto Febrero 2013 [http://www.aecid.org.do/index.php?option=com\\_content&view=article&id=13&Itemid=28](http://www.aecid.org.do/index.php?option=com_content&view=article&id=13&Itemid=28)
- ANECA (2009): *XI Foro ANECA. El Doctorado: Logros y Desafíos*. Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad, Madrid, 210 pp.
- Arribas Giner, P., Fernández-Baldor Martínez, A. (2011): Tecnología y cooperación para el desarrollo. En: P. Arribas Giner (Ed.), *Casos Prácticos de Proyectos de Infraestructuras en Cooperación al Desarrollo. Cuadernos de Cooperación para el Desarrollo*. Núm. 3. Centro de Cooperación al Desarrollo. Editorial Universitat Politècnica de València, Valencia, pp. 13-30.
- De Felipe, M.R. (2006): Fijación de dinitrógeno atmosférico en vida libre. En: Bedmar, E.J., González, J., Luch, C., Rodelas, B. (Ed.) *Fijación de Nitrógeno: Fundamentos y Aplicaciones*. Sociedad Española de Fijación de Nitrógeno (SEFIN), Granada, España. pp 9-16.
- Dey, B. K. (1988). Phosphate solubilizing organisms in improving fertility status of soil. En: Sen, S.P., Palit, P. (Ed.), *Biofertilizers Potentialities and Problems*. Plant Physiology Forum. Naya Prokash. Calcuta, pp. 237-248.
- Díaz Alcántara, C., González-Andrés, F., Mulas, D., Urbano López de Meneses, B. (2009): Estudio de viabilidad de la biofertilización del cultivo de habichuela (*Phaseolus vulgaris* L.) en República Dominicana, con cepas de rizobios autóctonos, seleccionados en agrosistemas de montaña. *XXIV Reunion Latinoamericana De Rhizobiología (XXIV Relar) y I Conferencia Iberoamericana De Interacciones Beneficiosas Microorganismo-Planta-Ambiente (I IBEMPA)*.
- Díaz-Alcántara, C.A., Urbano, B., Mulas, D., Velázquez, E., González-Andrés, F. (2011): *In vitro* plant growth promotion properties of endophytic bacteria isolated from banana (*Musa* sp.) roots in Dominican Republic. *17th International Congress on Nitrogen Fixation. Fremantle, Western Australia*.
- Fallik, E., Okon, Y. (1996): Inoculants of *Azospirillum brasilense*: biomass production, survival and growth promotion of *Setaria italica* and *Zea mays*. *Soil Biology Biochemistry*. 28:123-126.
- García-Fraile, P., Carro L., Robledo M., Ramírez-Bahena M.H., Flores-Félix J.D., Fernández M.T., Mateos P.F., Rivas R., Igual J.M., Martínez-Molina E., Peix Á., Velázquez E. (2012): *Rhizobium* promotes non-legumes growth and quality in several production steps: towards a biofertilization of edible raw vegetables healthy for humans. *PLoS ONE* 7(5): e38122. doi:10.1371/journal.pone.0038122
- Godínez, V., Máttar, J. 2008. *La República Dominicana en 2030: Hacia una Nación Cohesionada*. CEPAL. Santo Domingo.
- Good, A.G., Beatty, P.H. (2011): Fertilizing Nature: A Tragedy of Excess in the Commons . *PLoS Biol* 9(8):e1001124. doi:10.1371/journal.pbio.1001124

- INDRHI. (2006a): *Las Juntas de Regantes. La Gobernanza del Riego*. Instituto Nacional del Recursos Hidráulicos de República Dominicana. 171 pp.
- INDRHI. (2006b): *El INDRHI en el Desarrollo Nacional*. Instituto Nacional del Recursos Hidráulicos de República Dominicana. 252 pp.
- Motta, R. (1996): *Epistemología de la Tecnología: una aproximación a la definición de tecnología y a las nociones de tecnologías adecuadas y/o apropiadas*. Buenos Aires, Universidad del Salvador, Vicerrectorado de Investigación.
- Mulas, D., Díaz-Alcántara, C.A., Mulas, R., Marcano, I., Barquero, M., Serrano, P., González-Andrés F. (2013): Inoculants Based in Autochthonous Microorganisms, a Strategy to Optimize Agronomic Performance of Biofertilizers En: Rodelas M.B. and Gonzalez-López, J. (Eds.) *Beneficial plant-microbe interactions: Ecology and applications*. CRC Press - Talyor and Francis, Enfield New Hampshire. (en prensa)
- Omaña Álvarez, J.M., Urbano López de Meneses, B. 2012. Fertilización y eficiencia energética: aplicación al cultivo de remolacha azucarera en Castilla y León. *Tierras de Castilla y León: Agricultura*, 196:58-63
- ONE, Oficina Nacional de Estadísticas. 2008b. *Las zonas rurales de la República Dominicana*. Panorama Estadístico, 2008, Año 2, Nº 9.
- Pérez de Armiño, K. (Dir.) (2001): *Diccionario de acción humanitaria y cooperación al desarrollo*. Icaria – Hegoa, Barcelona.
- Pérez-Foguet, A. P., Oliete-Josa S., Saz-Carranza, A. (2005): Development education and engineering. A framework for incorporating reality of development countries into engineering studies. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 6:278-303.
- Rodríguez-Navarro, D.N. and J.E.C. Ruíz-Sánchez. 2010. Biofertilisers. En: A. Gonzalez-Fontes, A. Gárate, I. Bonilla (Eds.). *Agricultural Sciences Topics in Modern Agriculture*. Studium Press LLC Houton. Texas. Pp 79-102
- Silva Guzmán, H., González Andrés, F., Urbano López de Meneses, B. (2009): *Optimización de la fertilización mineral en cultivos de regadío de República Dominicana*. AECID – Publicaciones INEA. 119 pp.
- Singh, S. Kapoor, K. K. (1994). Solubilization of insoluble phosphates by bacteria isolated from different sources. *Environmental Ecology*, 12:51-55.
- Urbano López de Meneses, B., Urbano P., Briz J., Revilla F.A., de Felipe I., Fernández M., González-Andrés, F. (2011): *Plan de capacitación de los asentados de la reforma agraria: técnicos, parceleros, mujeres e internos de prisiones*. Madrid: Red Universitaria de Investigación sobre Cooperación para el Desarrollo. 96p.
- Vitousek, P.M., Aber, J.D., Howarth, R.W., Likens, G.E., Matson, A., Schindler, D.W., Schlesinger, W.H., Tilman, D.G. (1997): Human alteration of the global nitrogen cycle: causes and consequences. *Issues of Ecology*, 1:1-15.