



Foto: Irvin Rodríguez

BIOTECNOLOGÍA VEGETAL EN INIA: ciencia para el sector agropecuario

Autores:

Ana Arruabarrena¹, Carolina Tassano², Cecilia Monesiglio³,
Diego Torres⁴, Juan Pablo Gallino², Juan Rosas^{2,5},
Marco Dalla Rizza², Mariana Menoni²,
Mario Giambiasi¹, Silvia Garaycochea²,
Victoria Bonnacarrère²

Funcionarios de biotecnología vegetal en INIA:

Ana Arruabarrena¹, Ana Lucía Britos¹, Belén Bonilla²,
Candela Yorío¹, Carolina Tassano², Cecilia Monesiglio³,
Daniela Dieppa², Diego Torres⁴, Juan Pablo Gallino²,
Juan Rosas^{2,5}, Lauria Rogel², Marco Dalla Rizza², Mariana
Menoni², Maribel Ceppa², Mario Giambiasi¹, Marlene
Bentancor², Martina Villero³, Romina Rocha⁵, Sara
Murchio^{2,6}, Silvia Garaycochea², Victoria Bonnacarrère²,
Wanda Iriarte²

¹INIA Salto Grande, ²INIA Las Brujas, ³INIA La Estanzuela, ⁴INIA Tacuarembó, ⁵INIA Treinta y Tres, ⁶En retiro

¿CÓMO LA BIOTECNOLOGÍA DE INIA CONTRIBUYE A LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA Y AL SISTEMA I+D DE URUGUAY?

La biotecnología contribuye al sistema de producción de semillas haciendo más eficientes los programas de mejoramiento genético que generan mejores variedades. Las herramientas biotecnológicas utilizadas en INIA para este fin involucran el uso de marcadores moleculares, genómica, bioinformática y bioestadística para mejoramiento asistido, selección genómica, identificación varietal, y el descubrimiento de nuevos genes de interés agroalimentario, el cultivo de tejidos para propagación de materiales seleccionados y la edición génica para la variabilidad genética.

La biotecnología contribuye a la sustentabilidad de los sistemas productivos mediante el desarrollo de indicadores biológicos de salud del suelo y aportando al desarrollo de soluciones ambientalmente más sostenibles en el manejo de malezas, enfermedades e insectos.

La biotecnología genera productos y capacidades biotecnológicas disponibles para el sector y las empresas de I+D a través de patentes.

LA BIOTECNOLOGÍA VEGETAL EN INIA COMENZÓ HACE MÁS DE 30 AÑOS

En el año 1991 se crea la Unidad de Biotecnología del CIAAB en la Estación Experimental Las Brujas, con un importante apoyo del gobierno de Japón a través de JICA (Agencia Internacional de Cooperación de Japón). Por su localización, el énfasis de esta Unidad estaba en la producción frutícola y hortícola.

Cuando se crea INIA se decide estratégicamente fortalecer los trabajos en biotecnología, ampliando sus actividades a otros programas de mejoramiento (cultivos de secano, arroz, forrajeras, citrus, forestal). A partir de 1992, con el apoyo financiero del BID, se incorporaron nuevas metodologías en biología celular y molecular.

Con el transcurso del tiempo se desarrolló, en cada una de las estaciones experimentales de INIA, un laboratorio de biotecnología que abordaba soluciones vinculadas a las actividades llevadas a cabo en la estación experimental. Actualmente,

los cinco laboratorios de biotecnología de INIA, si bien mantienen un énfasis en los rubros productivos locales, trabajan en red para potenciar los aportes de los investigadores con formaciones disciplinarias específicas.

LA BIOTECNOLOGÍA VEGETAL EN CINCO GRANDES TEMAS

La biotecnología vegetal en INIA se estructura en los siguientes temas:

Marcadores moleculares en mejoramiento genético vegetal.

Genómica y bioinformática para la agricultura.

Cultivo de tejidos vegetales: cultivo de plantas en el laboratorio con diversas aplicaciones.

Edición génica: una herramienta para generar variabilidad genética con precisión.

Biotecnología aplicada a la protección vegetal y la sustentabilidad de los sistemas productivos.

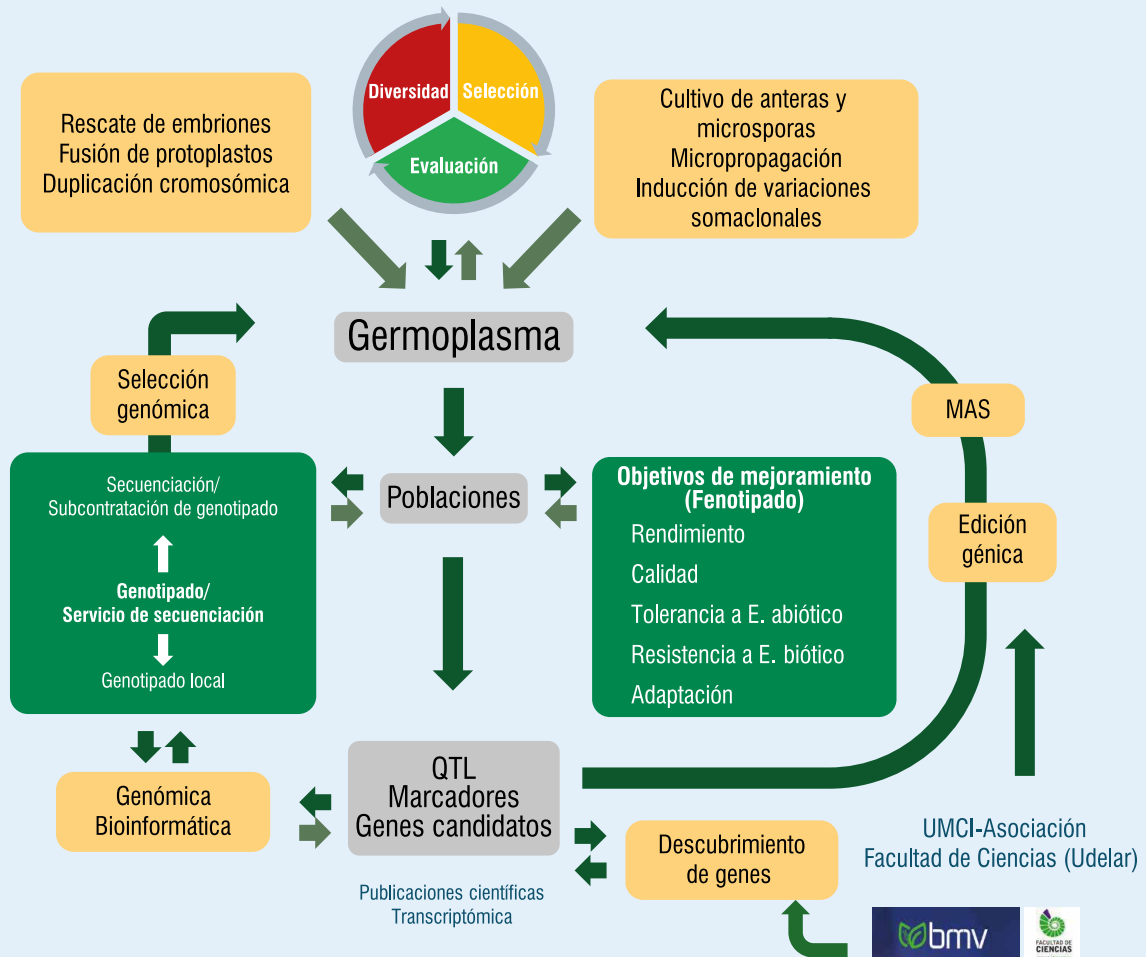
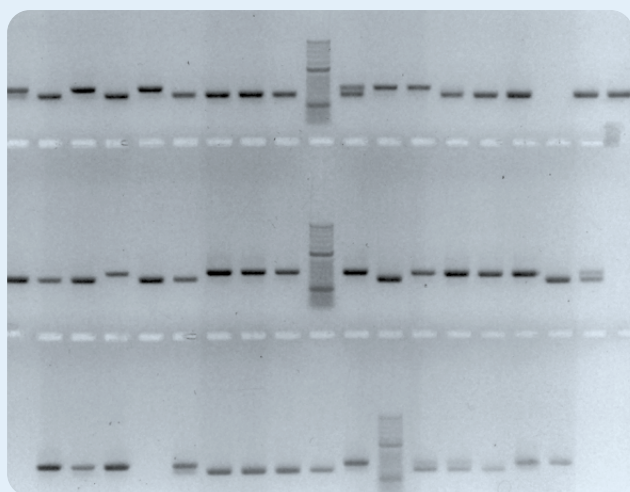


Figura 1 - Estrategia de usos de biotecnología en los programas de mejoramiento genético de INIA.

TEMA 1

MARCADORES MOLECULARES EN MEJORAMIENTO GENÉTICO VEGETAL

Los marcadores moleculares permiten analizar la molécula de ADN y, en particular, diferenciar individuos que portan diferentes versiones genéticas dentro de esta molécula. Cuando estas versiones del ADN están asociadas a diferentes comportamientos de los individuos frente a una



Electroforesis en gel de agarosa que muestra resultados de la Selección Asistida por Marcadores Moleculares para el gen de resistencia Sw5, que otorga al tomate resistencia a Tospovirus. Foto: Laboratorio de biotecnología INIA Salto Grande

¿QUÉ SON LOS MARCADORES MOLECULARES?

Un marcador molecular es un marcador genético que muestra diferencias en la secuencia de ADN (polimorfismos) con una localización cromosómica específica. Existen muchos tipos de marcadores moleculares, pero los más usados en los laboratorios de INIA son los SNP (del inglés, *Single Nucleotide Polymorphism*) que muestran diferencias en un nucleótido del ADN y SSR (del inglés, *Simple Sequence Repeat*) o microsatélites, que son secuencias repetidas cortas de ADN, altamente polimórficas y distribuidas en todo el genoma.

¿QUÉ ES LA SELECCIÓN ASISTIDA POR MARCADORES MOLECULARES O SAM?

La SAM permite seleccionar material genético en base a información de marcadores moleculares. Por ejemplo, si mediante marcadores se identifican genes de resistencia a una enfermedad, el o la mejorador/a seleccionará estos y no otros, sin necesidad de evaluar la respuesta a la enfermedad, directamente.

determinada característica, por ejemplo, plantas resistentes o susceptibles a una enfermedad, esta información se utiliza para seleccionar a los mejores. Esta metodología de selección se llama selección asistida por marcadores o SAM. De esta manera los marcadores posibilitan elegir individuos antes en el ciclo del cultivo y realizar menos ensayos a campo que pueden ser caros, poco precisos o consumir mucho tiempo.

Si bien las tecnologías de marcadores moleculares existen desde hace muchos años, hacer que sean accesibles para todos los programas de mejoramiento genético de manera rutinaria y que sean utilizadas como herramienta de selección no es trivial. La estrategia de INIA ha sido apostar a la generación de capacidades institucionales para el uso masivo y rutinario de marcadores moleculares en todos los programas de mejoramiento. Para este fin, recientemente, se ha fortalecido el equipo técnico en las diferentes estaciones experimentales y se ha adquirido equipamiento que permite automatizar procesos y acelerar las capacidades de genotipado (el genotipado es una forma genérica de llamarle a la caracterización de los genotipos en base a marcadores moleculares).

En el Cuadro 1 se muestran las características fenotípicas que están siendo seleccionadas por marcadores moleculares en los programas de mejoramiento de INIA.

Cuadro 1 - ¿Para qué usamos marcadores moleculares en los programas de mejoramiento de INIA?

Programa de mejoramiento	Los marcadores se usan para.....
Arroz	Identificar genes para adaptación a siembra temprana.
	Asistir en el desarrollo de híbridos.
	Seleccionar por mutaciones para resistencia a herbicidas.
	Identificar genes de aroma.
Trigo	Seleccionar por sensibilidad al fotoperíodo.
	Seleccionar por resistencia a enfermedades (roya de hoja, tallo y fusariosis).
	Seleccionar por fertilidad de la espiga.
	Seleccionar por vernalización.
	Seleccionar para altura de la planta.
Cebada	Seleccionar para fenología, fotoperíodo y dormancia.
	Seleccionar para altura y buena excersión.
	Seleccionar para resistencia a enfermedades.
Soja	Seleccionar por resistencia a roya.
	Identificar mutaciones que confieren resistencia a herbicidas.
Forrajeras	Caracterizar por estrés hídrico y rizomas en lotus.
	Identificar padres en familias de medio hermanos en festuca.
	Determinar el modo reproductivo de especies nativas de pasturas.
	Seleccionar por comportamiento fenológico en avena.
Especies hortícolas	Seleccionar por tolerancia a <i>Peronospora destructor</i> en cebolla.
	Seleccionar por color de fruto en frutilla. Identificar variedades INIA.
	Seleccionar genes de resistencia a virus, hongos y nemátodos y para el gen <i>CYC-B</i> relacionado al contenido de licopeno en fruto.
	Seleccionar por inmunidad a PVY y resistencia a nematodo dorado en papa.
Citrus	Caracterizar el tipo de reproducción (mono/poliembrionía).
	Seleccionar por gen Ruby (antocianinas en la pulpa del fruto).
	Seleccionar por resistencia al hongo <i>Alternaria alternata</i> .
	Identificar variedades generadas por INIA.
Especies frutícolas	Seleccionar por resistencia genética al mildiu de la vid.
	Identificar variedades de pera.
	Estudiar la compatibilidad genética.
Especies forestales	Control de la identidad genética en Eucalyptus y Pino .
	Caracterización genética de Eucalyptus.

TEMA 2

GENÓMICA Y BIOINFORMÁTICA PARA LA AGRICULTURA

En los últimos años, la secuenciación masiva ha revolucionado el mejoramiento genético vegetal al permitir el análisis del genoma con alta precisión y eficiencia. Para abordar el estudio de caracteres complejos, se utilizan principalmente dos enfoques: 1) la secuenciación de alta cobertura que permite un análisis detallado del genoma completo de individuos seleccionados y facilita la identificación de genes candidatos y 2) la secuenciación de baja cobertura que es ideal para caracterizar grandes poblaciones y generar marcadores moleculares. Para llevar a cabo estos análisis, es indispensable el uso de herramientas bioinformáticas, que permiten el procesamiento y alineamiento de las secuencias de ADN.

La información obtenida mediante estos abordajes puede aplicarse a distintos niveles del mejoramiento genético vegetal. Los datos de alta cobertura permiten diferenciar clones varietales e identificar genes candidatos, que luego pueden validarse y usarse en edición génica. Por su parte, la secuenciación de baja cobertura facilita la detección de marcadores SNP en todo el genoma, y puede aplicarse para selección asistida por *background* genético, identificación de líneas experimentales y cultivares, y selección genómica. Al combinar la información genómica con datos fenotípicos —como rendimiento, resistencia a enfermedades o calidad del grano— es posible localizar regiones cromosómicas asociadas a esas características.

¿QUÉ ES EL GENOMA, LA GENÓMICA Y LA BIOINFORMÁTICA?

El genoma es el conjunto completo de material genético —ADN— que posee un organismo o una especie. La genómica es la disciplina que se encarga de estudiar ese genoma en su totalidad, analizando su secuencia, estructura y organización para comprender cómo está codificada toda la información genética de un organismo.

La bioinformática es una disciplina que integra informática, biología y estadística para analizar datos biológicos —como ADN, ARN y proteínas— utilizando herramientas computacionales que permiten interpretar esta información en su contexto biológico.

Este método se conoce como mapeo asociativo o GWAS (del inglés *genome-wide association study*). Dependiendo de cuántos genes o regiones cromosómicas se encuentren asociadas a la característica de interés, los programas de mejoramiento podrán aplicar distintas estrategias de selección.

Las características determinadas por pocos genes pueden abordarse con SAM, como se mencionó antes.

¿QUÉ ES LA SECUENCIACIÓN MASIVA DE ADN?

El ADN se codifica en cuatro letras A, C, G y T, de acuerdo a las combinaciones de cuatro moléculas: adenina, citosina, guanina y timina. La secuenciación masiva es una metodología que permite leer millones de fragmentos de ADN al mismo tiempo, de forma rápida y precisa.



Monitoreo de procesos bioinformáticos utilizados en el análisis de información genética, clave para la investigación.

¿QUÉ SON LAS CARACTERÍSTICAS CUANTITATIVAS, LOS QTL Y LA SELECCIÓN GENÓMICA?

La mayoría de las características de interés en el mejoramiento son cuantitativas, es decir, varían de forma continua entre los materiales evaluados.

Esto se debe a que el fenotipo está influido por muchos genes de pequeño efecto, sus interacciones y el ambiente.

Aunque no siempre se conocen los genes específicos, es posible identificar regiones del genoma que afectan estos rasgos, conocidas como QTL (*quantitative trait loci*). La selección genómica es una herramienta de la genética cuantitativa que permite predecir el valor genético de los materiales en evaluación. A través de modelos estadísticos que integran datos genómicos, de parentesco, ambiente y manejo, facilita una selección más precisa desde etapas tempranas, optimizando el uso de tiempo y recursos en el desarrollo de cultivares.

Sin embargo, muchas características de interés en el mejoramiento genético son complejas y están influenciadas por muchas regiones del genoma, llamadas QTL (locus de rasgo cuantitativo, *quantitative trait locus*). En estos casos, se recurre a la selección genómica, que utiliza información de todo el genoma para identificar los materiales con mayor valor genético, ya sea para desarrollar nuevos cultivares o para hacer cruzamientos más eficientes.

Un ejemplo de la aplicación de estas estrategias en el mejoramiento genético de cebada es el trabajo que se está realizando para caracterizar la arquitectura genética de la calidad maltera mediante herramientas genómicas. Este estudio permite caracterizar genéticamente muchos individuos de forma eficiente y económica. Al vincular estos datos con información de calidad maltera, es posible identificar regiones cromosómicas clave y desarrollar marcadores para aplicar SAM en etapas tempranas.

La estrategia de selección genómica se está utilizando en soja para un objetivo desafiante como es aumentar el contenido de proteína en el grano sin disminuir el rendimiento ni el contenido de aceite.

Genómica y bioinformática para la agricultura (artículo en Revista INIA)

Acceda **AQUÍ**

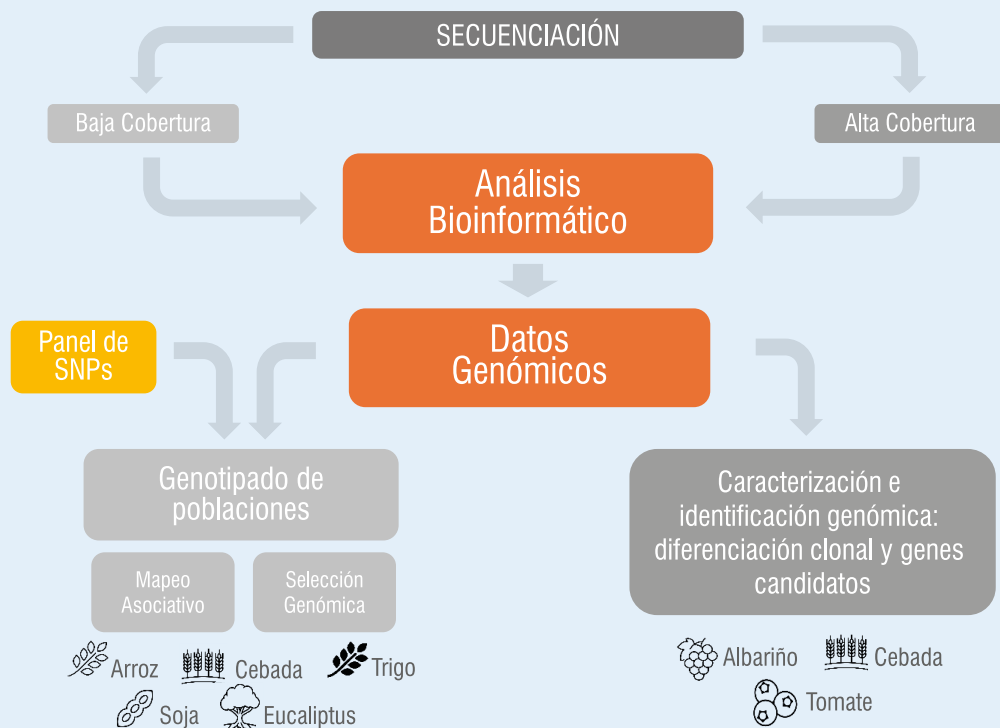


Figura 2 - Aplicación de herramientas genómicas y bioinformáticas en el mejoramiento genético de cultivos.

TEMA 3

CULTIVO DE TEJIDOS VEGETALES: CULTIVO DE PLANTAS EN EL LABORATORIO CON DIVERSAS APLICACIONES



Fotos: Irvin Rodríguez

El cultivo *in vitro* es una herramienta fundamental en varios programas de mejoramiento genético y en la producción de plantas con alta calidad genética y sanitaria. A continuación, se enumeran las aplicaciones de esta tecnología en INIA.

APLICACIONES DE CULTIVO DE TEJIDOS EN MEJORAMIENTO GENÉTICO VEGETAL

El cultivo *in vitro* permite superar varias limitantes comunes en los programas de mejoramiento genético, como la baja tasa de reproducción en algunas especies, la dificultad para obtener híbridos viables y la lentitud en el avance de las generaciones. Además, esta técnica sirve como base para otros avances biotecnológicos, como la generación de diversidad mediante cultivos celulares y la edición génica, que permiten modificar y optimizar características de las plantas con mayor precisión. Las técnicas más utilizadas en INIA son:

- **Duplicación cromosómica:** permite obtener plantas poliploides que tienen más de dos juegos de cromosomas, las que presentan diferentes ventajas agronómicas. Estas características pueden aprovecharse en distintos programas de mejoramiento genético para ser utilizadas como parentales o directamente como nuevas variedades.
- **Cultivo de anteras y micrósporas:** este método permite obtener plantas haploides dobles, lo que acelera el desarrollo de líneas puras de especies autógamas y mejora la eficiencia en la selección de nuevas variedades.
- **Rescate de embriones:** se utiliza para recuperar embriones que normalmente son inviables, facilitando la obtención de híbridos entre especies o variedades con características deseables.

• **Inducción de variaciones somaclonales:** a partir del cultivo celular prolongado se generan plantas con mutaciones al azar, las cuales pueden ser útiles para mejorar alguna característica agronómica de interés.

MULTIPLICACIÓN RÁPIDA DE PLANTAS LIBRES DE PATÓGENOS

En la multiplicación vegetativa tradicional, los patógenos presentes en el material madre se transmiten a las siguientes generaciones. Sin embargo, en el cultivo *in vitro*, se trabaja con meristemos, que son los tejidos más jóvenes y libres de patógenos, evitando la transmisión de enfermedades. El proceso se realiza en condiciones estériles dentro del laboratorio, lo que impide la contaminación durante la regeneración de las plantas. De esta manera, es posible obtener plantas sanas y libres de patógenos, garantizando una propagación limpia y eficiente de las variedades. Entre las enfermedades más comunes que esta herramienta ha permitido superar se encuentran los virus de papa y ajo, los virus y viroides que afectan a los frutales, así como diversos hongos que perjudican la frutilla, entre otros.

Además de garantizar la obtención de plantas sanas, el cultivo *in vitro* permite la multiplicación rápida de material vegetal, asegurando la producción de plantas homogéneas, con características genéticas consistentes y de alta calidad sanitaria. Un ejemplo claro de esta aplicación es la micropropagación clonal de especies forestales, donde el cultivo *in vitro* permite la rápida multiplicación de árboles de alto valor comercial, asegurando un material de plantación homogéneo y libre de patógenos.

¿QUÉ ES EL CULTIVO IN VITRO?

El cultivo *in vitro* es una técnica biotecnológica que permite el desarrollo de plantas en condiciones controladas de laboratorio. A partir de fragmentos vegetales (explantos), es posible regenerar plantas completas mediante el uso de medios de cultivo estériles con nutrientes específicos. Esta metodología es fundamental para la eliminación de patógenos, propagación masiva, conservación de germoplasma y el mejoramiento genético.

CONSERVACIÓN DE GERMOPLASMA

La preservación de la diversidad genética es esencial para el desarrollo de cultivos adaptados a condiciones cambiantes y resistentes a diversas amenazas, como plagas y enfermedades. El cultivo *in vitro* permite la conservación *ex situ* y posterior utilización de germoplasma de alto valor agronómico. INIA mantiene en un banco de germoplasma *in vitro* una colección de más de 1.000 materiales genéticos, que se conservan en condiciones controladas de laboratorio, utilizando medios de cultivo adecuados y almacenados a bajas temperaturas para asegurar su viabilidad a largo plazo.

Cuadro 2 - Aplicaciones de cultivo in vitro en diferentes especies.

Cultivos	Mejoramiento Genético					Multiplicación de plantas libres de patógenos	Conservación
	Duplicación cromosómica	Cultivo de anteras	Rescate de embriones	Variaciones somaclonales	Edición genómica		
Ajo							
Arroz							
Arándano							
Boniato							
Cebolla							
Durazno							
Citrus							
Eucaliptus							
Manzana							
Nativas							
Papa							
Paspalum							
Peral							
Tomate							
Soja							
Trigo							

TEMA 4

EDICIÓN GÉNICA: UNA HERRAMIENTA PARA GENERAR VARIABILIDAD GENÉTICA CON PRECISIÓN

La biotecnología contribuye a los programas de mejoramiento genético de soja, tomate, cítricos, trigo y especies forrajeras generando variabilidad o combinaciones novedosas de alelos a través de la Edición Génica (EG) en líneas avanzadas o cultivares élite.

Generar variabilidad utilizando la EG tiene varias ventajas, entre las cuales se destaca la capacidad de modificar un gen específico para todos los alelos presentes, incluso para especies poliploides como trigo y Paspalum. A diferencia de las mutaciones inducidas por agentes químicos o irradiaciones, cuando se utiliza la EG, se sabe exactamente dónde se produce el cambio en la secuencia de ADN y se evitan efectos no deseados producto de mutaciones inespecíficas.

En INIA, en colaboración con el Laboratorio de Biología Molecular Vegetal de la Facultad de Ciencias (Udelar), se utiliza EG en soja con el objetivo de generar soja con mayor valor nutricional. Para eso se están generando mutaciones en genes que cambian el perfil de aminoácidos y reducen el contenido de factores antríntricos, como la aglutinina, la estaquiosa y la rafinosa. Estos primeros trabajos se realizaron en genotipos de referencia y actualmente se está trabajando para lograr editar los mismos genes en cultivares élite del programa de mejoramiento genético de INIA. En tomate y mandarinas, se utiliza la EG para obtener frutos con color rojo intenso y mayor contenido de licopeno mediante la modificación

del gen de la enzima licopeno β -ciclase en ambas especies (Figura 3). Además, se está trabajando para comenzar a implementar esta herramienta también en cultivares élite de trigo y cebada.

La EG ha permitido lograr, en tomate, la combinación de hábito de crecimiento indeterminado con alto contenido de licopeno en frutos, dos caracteres que no se logran combinar utilizando mejoramiento convencional, ya que los genes responsables de estas características se encuentran estrechamente ligados.

¿QUÉ ES LA EDICIÓN GÉNICA?

La edición génica es una herramienta que permite realizar modificaciones específicas en los genes y generar características fenotípicas nuevas o difíciles de lograr mediante cruzamientos. Esta herramienta permite generar combinaciones génicas o variantes deseadas en cultivares o líneas élite de mejoramiento que son de interés para INIA.

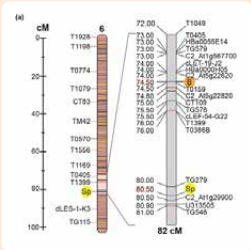


Genotipado

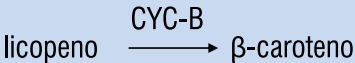


Edición génica en soja. En el panel superior se observan plantas de soja editadas regeneradas en cultivo *in-vitro* y posteriormente aclimatadas en maceta bajo condiciones controladas de invernáculo. En el panel inferior se muestra un ejemplo de resultado obtenido del genotipado de plantas editadas. Se observa una mutación puntual en el ADN con respecto a la referencia en la región esperada, que se traduce en un cambio en la composición de aminoácidos de la proteína expresada.

En el cromosoma 6 del genoma del tomate se encuentran los loci Sp y B a una distancia genética muy cercana, por lo que resulta muy difícil que recombinen durante la meiosis generando nuevas combinaciones de alelos. El locus Sp controla el hábito de crecimiento de la planta de tomate mientras que el locus B determina la capacidad de transformar el licopeno en β -caroteno.



Utilizando Edición génica, se logró generar alelos no funcionales de CYC-B en plantas de tomate con el alelo wt (*Sp*) de hábito indeterminado. Estas plantas acumulan mayor contenido de licopeno en sus frutos.



Indeterminado
(alelo silvestre *Sp*)

licopeno  β-caroteno



WT

4 días a 25°C luego de la cosecha

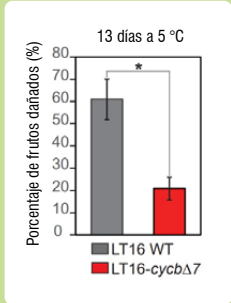


Figura 3 - Edición génica en tomate.

TEMA 5

BIOTECNOLOGÍA APLICADA A LA PROTECCIÓN VEGETAL Y LA SUSTENTABILIDAD DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS

La biotecnología en INIA, a través del uso de herramientas moleculares como PCR, RT-PCR, ARN de interferencia y genómica, realiza importantes aportes vinculados a la fitopatología, entomología, manejo de malezas y salud de suelos.

FITOPATOLOGÍA

En los últimos años la biotecnología ha brindado herramientas claves a la fitopatología, ofreciendo alta precisión en la detección, identificación y caracterización de hongos, bacterias, fitoplasmas y nemátodos que afectan a los cultivos. Mediante el uso de técnicas moleculares como PCR, secuenciación de ADN y análisis genómicos, es posible caracterizar y reconocer patógenos con un nivel de exactitud muy superior al de las metodologías tradicionales, permitiendo actuar en etapas tempranas de las enfermedades y reducir así su impacto en la producción. Además, estas herramientas permiten ampliar el conocimiento sobre sus mecanismos de patogenidad, adaptación y resistencia. Este conocimiento contribuye al diseño de estrategias de control más eficaces y sostenibles, adaptadas a las particularidades de cada patógeno y sistema productivo.

ENTOMOLOGÍA

La biotecnología ha fortalecido de manera significativa el trabajo en entomología en INIA, proporcionando herramientas de alta precisión para la identificación de insectos, tanto plagas como especies benéficas. A través de técnicas como el *DNA barcoding* (código de barras de ADN) y el análisis molecular del contenido intestinal, es posible identificar taxones con gran exactitud, incluso en etapas inmaduras o cuando las características morfológicas no permiten un diagnóstico confiable.

¿QUÉ ES LA METAGENÓMICA?

Es la disciplina que estudia el ADN total extraído directamente de un ambiente, analizando la estructura y función de las secuencias de todos los organismos presentes (principalmente microorganismos).



Visualización de ADN durante la etapa de precipitación en un protocolo de extracción.

Foto: Cecilia Monesiglio

Además de mejorar la identificación, estas metodologías permiten comprender mejor las interacciones ecológicas, como la detección de presas consumidas por depredadores o la confirmación de virus y fitoplasmas en insectos vectores. Este conocimiento es clave para diseñar estrategias más eficaces de manejo integrado de plagas y para fortalecer programas de conservación de enemigos naturales.

Por último, se ha trabajado en el desarrollo de ARNi como herramienta para combatir la chinche de la soja (Figura 4).

CARACTERIZACIÓN DE MALEZAS

La aplicación de técnicas moleculares como la PCR y la secuenciación de ADN permite identificar especies de malezas en estados iniciales de crecimiento, o cuando no presentan características morfológicas claras. Estas herramientas también hacen posible detectar genes asociados a rasgos de interés agronómico, como la resistencia a herbicidas, por ejemplo, a glifosato, inhibidores de ALS (acetolactato sintetasa) y otros modos de acción. De este modo, el laboratorio realiza extracción de ADN de las malezas con posterior PCR y

Cuadro 3 - Aplicaciones de biotecnología para la sostenibilidad ambiental.

Área	Aplicación	Técnica utilizada
Fitopatología	Piricularia en trigo.	PCR convencional
	Detección de marchitez bacteriana, PVY y nemátodos del género Globodera en papa.	
	Control de <i>Piezodorus guildinii</i> en soja.	
	Caracterización genómica de hongos del género <i>Diaporthe</i> , agentes del cancro del tallo en soja.	Genómica
	Caracterización genómica de bacterias de la género <i>Pseudomonas</i> , patógenas del peral.	
	Caracterización de <i>Candidatus Liberibacter</i> , responsable del HLB de los citrus.	
	Identificación de TYLCV, ToMV y TSWV en tomate.	PCR convencional y RT-PCR
	Identificación de <i>Spiroplasma kunkelii</i> , MRFV, MSMV y phytoplasma en maíz.	
	Identificación de hongos de corona en frutilla.	Secuenciación Sanger
Entomología	Identificación de insectos plaga: Epicauta, Astylus, Acyrthosiphon, Aphis, Therioaphis y Piezodorus en alfalfa; Phytomyza en canola; Brevicoryne, Myzus, Armadillidium y Plutella en colza; Dalbulus y Helicoverpa en maíz; Rhopalosiphum y Spodoptera en raigrás; Melanagromyza, Anticarsia, Rachiplusia, Caliothrips, Tetranychus en soja; Bradysia y Xyleborus en especies forestales.	DNA Barcoding
	Identificación de insectos benéficos como Coccinellidae, Dolichopodidae, Muscidae, Syrphidae, Tachinidae, Chrysopidae, Phlaeothripidae, Braconidae, Encyrtidae, Eulophidae y Thomisidae en cultivos hortícolas y Citrus.	
	Análisis de contenido intestinal para confirmar depredación de <i>Diaphorina citri</i> .	Sonda TaqMan
	Determinación de infectividad de patógenos del achaparramiento del maíz en <i>Dalbulus maidis</i> .	PCR convencional y Sonda TaqMan
Caracterización de Malezas	Identificación de mutaciones en el gen ALS.	PCR convencional
	Identificación de especie (<i>Amaranthus hybridus</i> , <i>A. tuberculatus</i> , <i>A. palmeri</i>).	
Metagenómica para la Salud de suelo	Impacto de la intensificación agropecuaria en el microbioma del suelo.	Secuenciación masiva de amplicones de genes 16S rRNA e ITS
	Efecto de cultivos de cobertura en la salud del suelo.	Secuenciación masiva de metagenoma completo (shotgun)

secuenciación Sanger en busca de estos sitios de acción mutados, pudiendo confirmar por biología molecular la presencia de la resistencia a este herbicida. En el caso de malezas emparentadas con la especie cultivada, como el arroz rojo, se presta el servicio de detección de estas mutaciones para contribuir al manejo integrado de sistemas con cultivares resistentes.

Resistencia
a herbicidas en
arroz maleza

Acceda AQUÍ

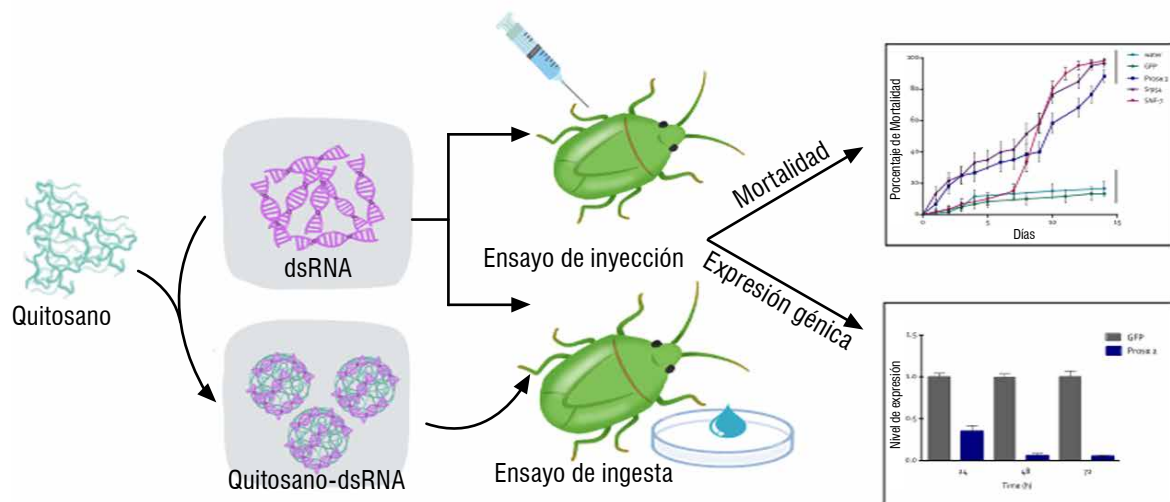


METAGENÓMICA PARA LA SALUD DEL SUELO

La salud del suelo depende en gran medida de la diversidad y actividad de sus comunidades microbianas. Hongos, bacterias, arqueas y otros organismos sostienen procesos esenciales como la descomposición de la materia orgánica, el reciclaje de nutrientes, la promoción del crecimiento vegetal y la supresión de enfermedades. La metagenómica permite analizar el conjunto de genomas presentes en un ambiente, brindando una visión profunda de la composición y las funciones de las comunidades microbianas.

Su aplicación, combinada con otras técnicas genómicas y determinaciones bioquímicas, facilita la detección de cambios en la biodiversidad microbiana, la identificación de microorganismos beneficiosos o patógenos emergentes, y la evaluación de la capacidad del suelo para recuperarse ante perturbaciones. Estos análisis permiten convertir la información obtenida en indicadores precisos del estado de salud del suelo.

Estudios sobre microbiomas de suelos sometidos a distintas condiciones de manejo han permitido caracterizar la composición y estructura de las comunidades microbianas según el uso del suelo, facilitando la evaluación del impacto de las prácticas agrícolas sobre la biodiversidad microbiana y, en consecuencia, sobre la salud del agroecosistema. Además, investigaciones recientes han permitido evaluar la funcionalidad de estos sistemas mediante la identificación de genes involucrados en la liberación de fósforo retenido en el suelo para su absorción por las plantas. Este conocimiento, junto con estudios funcionales, como la medición de actividades enzimáticas proporciona una visión integral del impacto del manejo del suelo en su biodiversidad y sustentabilidad.



Piezodorus guildinii (Hemiptera: Pentatomidae) causa pérdidas económicas en el cultivo de soja, reduciendo su productividad, afectando el tamaño y calidad, contenido de aceite y poder germinativo de los granos. El control se basa en piretroides y neonicotinoides que impactan en enemigos naturales, el ambiente y favorecen la aparición de resistencia. La interferencia por RNA (RNAi) es un proceso conservado de regulación génica en eucariotas desencadenado por RNA doble cadena con homología de secuencia a RNA mensajero. Si el blanco de la interferencia es un gen esencial, puede generar en el organismo la muerte, inhibición de la reproducción o fenotipos no viables en la descendencia. Estas características hacen que el RNAi sea una herramienta para combinar con estrategias de manejo integrado de plagas. Se generaron moléculas de RNAi que alcanzaron mortalidad acumulada a los 14 días mayor al 76 % por inyección, mientras que en ensayos de ingesta se evidenció una mortalidad acumulada del 52 %. Asimismo, se avanzó en la generación de moléculas más estables, mediante formulaciones de nanopartículas de quitosano. Finalmente, se evaluó el efecto de estas moléculas en especies no blanco, demostrando la especificidad de especie de este tipo de moléculas (Tesis de Doctorado de Claudia Schwartzman).

Imagen adaptada de: Schwartzman C, Murchio S, Castro A, Cibils X, Miranda P, Mujica MV, Pardo H, Dalla-Rizza M. Chitosan double-stranded RNA nanocomplexes for *Piezodorus guildinii* control. Pest Manag Sci. 2025 Jul;81(7):3774-3785. doi: 10.1002/ps.8744.

Figura 4 - Estrategia de control de la chinche de la soja usando RNAi.

LA BIOTECNOLOGÍA GENERA PRODUCTOS Y CAPACIDADES DE I+D

Los proyectos de biotecnología, además de aportar herramientas a los programas de mejoramiento y a la sustentabilidad, han generado y están generando productos biotecnológicos *per se*.

Este es el caso de la patente “*Methods of improving plant abiotic stress and yield*” que en el marco de la colaboración con el Laboratorio de Biología Molecular Vegetal de Facultad de Ciencias y el Laboratorio de Bioquímica de Facultad de Agronomía de la Udelar y la Estación Experimental Agropecuaria Obispo Colombres y el CONICET de Argentina, se presentó al PCT (WO 2019/122146 A1), y en fase nacional, en Brasil (BR112020012675-6A), Uruguay (UY38025A), Argentina (AR125770A1), Bolivia (SP-00274-2018 - N/ ref: 155.020) y USA. Actualmente se cuenta con la patente otorgada en Estados Unidos (US 11,618,903 B2) y Uruguay.

Se presentó una solicitud de patente provisional ‘RNAi como una alternativa al uso de pesticidas en el control de chinches de la soja’ en la Oficina de Patentes y

Marcas de Estados Unidos 69151 (*‘Hemipteran control pest in crops using RNAi’*) que fue otorgada en abril de 2024. Asimismo, en 2024 se ha obtenido la certificación de INIA de la tecnología de ARN de interferencia en el control de *Piezodorus guildinii*.

LA BIOTECNOLOGÍA EN INIA TRABAJA DE UNA MANERA INTEGRADA ENTRE LABORATORIOS DE TODAS LAS ESTACIONES EXPERIMENTALES

Los laboratorios de biotecnología del INIA desempeñan un papel fundamental en la interacción con diversos programas de investigación, contribuyendo con un enfoque biotecnológico en cada estación experimental.

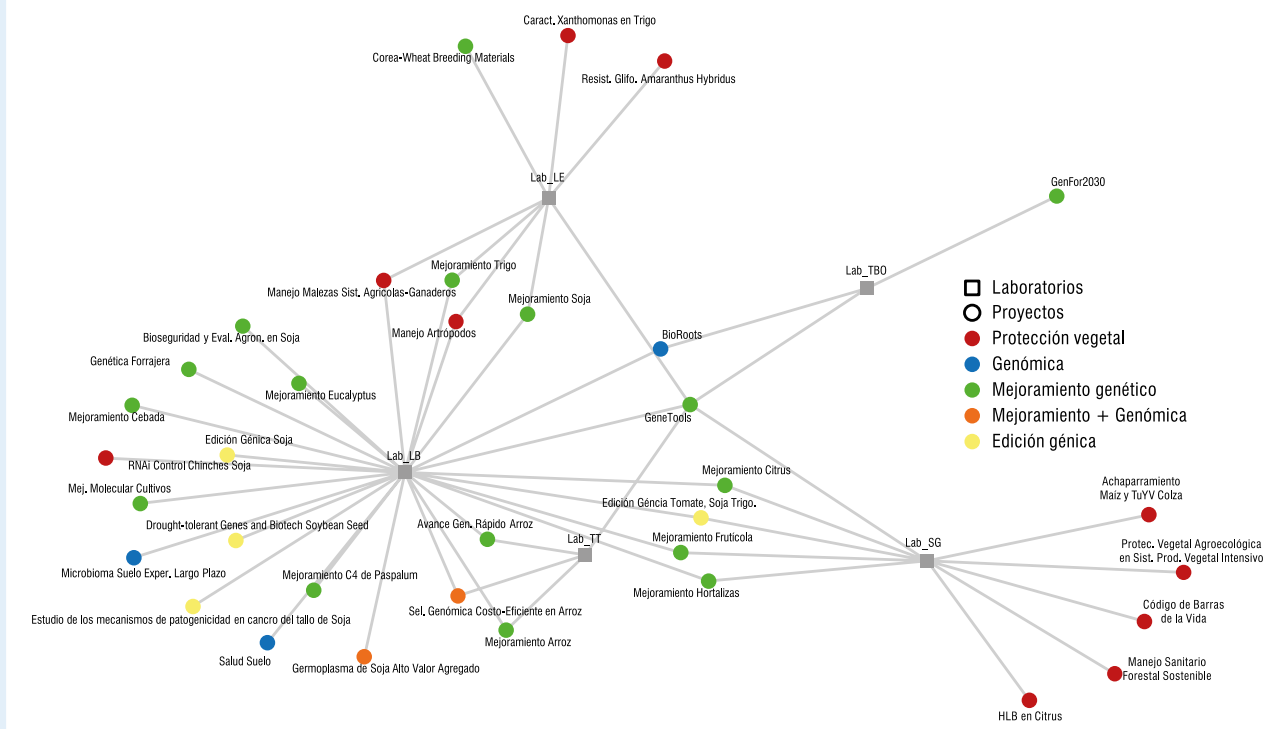
Desde hace dos años, y como estrategia para potenciar los trabajos de biotecnología en INIA, los cinco laboratorios ubicados en las diferentes estaciones experimentales han comenzado a integrarse mediante la implementación de herramientas de gestión y proyectos de investigación. Para esta integración, se realizan jornadas, capacitaciones y seminarios técnicos, entre otras actividades.



A través de una red colaborativa, los cinco laboratorios trabajan en sinergia, potenciando sus capacidades y especializaciones.



Red que muestra la vinculación entre laboratorios de Biotecnología de las cinco estaciones experimentales a través de los 35 proyectos de investigación.



LABORATORIO DE BIOTECNOLOGÍA DE INIA LA ESTANZUELA

Cecilia Monesiglio y Martina Villero

El Laboratorio de Biotecnología de INIA La Estanzuela, localizado en el departamento de Colonia, desarrolla

actividades de investigación en el marco de tres programas de investigación. En el Programa de Protección Vegetal, se brinda soporte en el diagnóstico de enfermedades mediante el empleo de técnicas moleculares, incluyendo la amplificación de ADN por PCR genérica seguida de secuenciación y análisis filogenético.



Laboratorio de Biotecnología de INIA La Estanzuela.



Laboratorio de Biotecnología de INIA Las Brujas.

Asimismo, se lleva adelante la detección de genes asociados a mecanismos de resistencia a herbicidas, tanto previamente caracterizados en poblaciones de *Conyza* spp. y *Amaranthus* spp., contribuyendo además a la identificación taxonómica de estas especies.

En el Programa de Mejoramiento Genético de Cultivos (trigo, cebada y soja), se apoya el proceso de selección asistida por marcadores moleculares, orientados a características claves como vernalización, respuesta al fotoperíodo y altura de planta, lo que permite acelerar el avance generacional y optimizar los programas de mejoramiento.

Respecto al Programa de Mejoramiento Genético de Pasturas y Forrajes, las actividades actuales comprenden la extracción de ADN en accesiones de *Festuca* spp., como etapa preliminar para estudios de diversidad genética. Se prevé además la incorporación de técnicas moleculares orientadas al mejoramiento genético de *Bromus* spp. y *Stipa* spp.

LABORATORIO DE BIOTECNOLOGÍA DE INIA LAS BRUJAS

Belén Bonilla, Carolina Tassano, Daniela Dieppa, Juan Pablo Gallino, Laura Rogel, Marco Dalla Rizza, Mariana Menoni, Maribel Ceppa, Marlene Bentancour, Sara Murchio, Silvia Garaycochea, Wanda Iriarte

El Laboratorio de Biotecnología de INIA Las Brujas, ubicado en Canelones, se especializa en el análisis por marcadores moleculares, en el cultivo *in vitro* de tejidos y en bioinformática. Los marcadores moleculares se aplican para asistir a los programas de mejoramiento genético de trigo, cebada, especies forrajeras y frutícolas. En el laboratorio de cultivo de tejidos se desarrollan diversas metodologías como la micropropagación, el mantenimiento de bancos de germoplasma, el cultivo *in vitro* de embriones, la obtención de doble haploides en arroz a partir del cultivo de anteras, los cultivos celulares de especies nativas para la producción de metabolitos. Por otra parte, se llevan a cabo trabajos de edición génica en soja y trigo, de gran impacto en los programas de mejoramiento.

En Las Brujas están localizadas las capacidades de bioinformática que realizan análisis genómicos y llevan a cabo el procesamiento de datos de secuenciación masiva para caracterizar genomas de cultivos, estudiar la diversidad genética y generar información clave para la toma de decisiones en los programas de mejoramiento.

Además, se realizan estudios de metagenómica que permiten, entre otras cosas, analizar y caracterizar microbiomas del suelo, asociados a diferentes estrategias de manejo.

LABORATORIO DE BIOTECNOLOGÍA DE INIA SALTO GRANDE

Ana Arruabarrena, Ana Lucía Britos, Candela Yorio, Mario Giambiasi

El Laboratorio de Biotecnología de INIA Salto Grande se especializa en biotecnología aplicada a cultivos hortifrutícolas, con énfasis en cultivo *in vitro* y marcadores moleculares.

Entre las actividades que se realizan se destacan la micropropagación de especies hortícolas como boniato y frutilla y el rescate de embriones triploides *in vitro* de cítricos. También se utilizan marcadores moleculares para la selección asistida de genes de resistencia a enfermedades en tomate, cebolla y cítricos y de genes relacionados con características de calidad de frutos, como el color en cítricos y frutillas.

Se trabaja en la identificación de patógenos, plagas e insectos benéficos en diversos cultivos, incluyendo especies forestales y cultivos extensivos, en colaboración con distintas áreas y estaciones de INIA. El equipo se ha consolidado como referente en el uso de técnicas de *barcoding* de ADN para la identificación rápida y precisa de organismos, contribuyendo activamente al desarrollo de capacidades en esta área. Por último, este laboratorio ha liderado la investigación en edición génica de tomate y mandarina para incrementar el contenido de licopeno.



Laboratorio de Biotecnología de INIA Salto Grande.

LABORATORIO DE BIOTECNOLOGÍA DE INIA TACUAREMBÓ

Diego Torres

El Laboratorio de Biotecnología de INIA Tacuarembó se especializa en el estudio y mejoramiento de especies arbóreas de alto valor comercial, como pinos y eucaliptos, mediante el uso de herramientas avanzadas de biología molecular. Su trabajo se enfoca en la identificación de marcadores moleculares tipo SNPs y microsatélites, lo que permite analizar la diversidad genética y desarrollar estrategias de selección que fortalecen los programas de mejoramiento genético.

Además, el laboratorio lleva a cabo la caracterización genética de plagas y enfermedades forestales utilizando técnicas de PCR. Este enfoque permite una identificación precisa de agentes patógenos, el análisis de su variabilidad genética y la detección temprana de brotes, facilitando así el desarrollo de estrategias de control más eficaces.

A través de estos estudios, el laboratorio contribuye al fortalecimiento del sector forestal, apoyando la generación de germoplasma adaptado a las necesidades nacionales y promoviendo la sanidad de las plantaciones. Su labor es clave para garantizar una producción forestal más sostenible y resiliente frente a desafíos ambientales y fitosanitarios.



Foto: INIA

Laboratorio de Biotecnología de INIA Tacuarembó.

LABORATORIO DE BIOTECNOLOGÍA DE INIA TREINTA Y TRES

Juan Rosas, Romina Rocha

El Laboratorio de Biotecnología de INIA Treinta y Tres se enfoca en contribuir a potenciar la producción agropecuaria de la región este del Uruguay a través de la aplicación de herramientas biotecnológicas y de principios de genética. Su principal foco es el mejoramiento genético del arroz, para lo que



Foto: INIA

Laboratorio de Biotecnología de INIA Treinta y Tres.

se desarrollan y aplican marcadores moleculares y estrategias de selección asistida para acelerar la obtención de cultivares con mayor rendimiento, resistencia a enfermedades como el brusone (*Pyricularia grisea*), tolerancia a herbicidas y mejor calidad e inocuidad del grano.

Una de sus líneas de investigación y desarrollo más destacadas es el servicio de diagnóstico molecular de resistencia a herbicidas en arroz maleza. Mediante el uso de marcadores moleculares específicos para mutaciones que confieren resistencia a herbicidas como imidazolinonas y quizalofop, el laboratorio permite la detección temprana de malezas resistentes, facilitando la implementación de estrategias de manejo adecuadas para preservar la utilidad de los sistemas de producción de arroz tolerantes a herbicidas.

Integrado al Campus con el Centro Universitario de la Región Este (CURE) Treinta y Tres, el Fondo Latinoamericano para Arroz de Riego (FLAR), INASE y otras instituciones afines, el laboratorio amplía sus capacidades y líneas de investigación, incluyendo proyectos en genética de poblaciones de organismos tóxicos como *Senecio ssp.*, buscando generar información que sustente recomendaciones de manejo para minimizar las intoxicaciones en el ganado. El laboratorio también brinda apoyo biotecnológico al FLAR para el mejoramiento de arroz para la zona templada, y colabora con INASE en el desarrollo de herramientas biotecnológicas para la identificación molecular de cultivares de arroz.

Desarrollo de herramientas biotecnológicas para el sector arrocero

Acceda **AQUÍ**



Revista de la Asociación de Cultivadores de Arroz

Acceda **AQUÍ**



DIFUSIÓN DEL TRABAJO EN BIOTECNOLOGÍA DE INIA: “BIOTECNOLOGÍA EN ACCIÓN”

Con el objetivo de visibilizar el rol del área de Biotecnología tanto dentro como fuera de la institución, y destacar el trabajo de quienes la integran se generó “Biotecnología en acción”. En el marco de esta iniciativa, desde 2024 se coordina la participación de los investigadores y técnicos en la Semana de la Ciencia y la Tecnología, donde se comparten las actividades con un enfoque accesible y participativo. Además, en colaboración con el equipo de imagen institucional, se generó una serie de videos breves que explican en lenguaje claro y sencillo las principales herramientas biotecnológicas que se utilizan. La primera entrega, centrada en el cultivo *in vitro* de tejidos vegetales, está disponible en el siguiente enlace:

Acceda **AQUÍ**



LA BIOTECNOLOGÍA EN INIA TRABAJA EN RED CON OTROS INSTITUTOS DEL PAÍS Y DEL MUNDO

El trabajo en red ha sido y es fundamental para viabilizar y potenciar gran parte del trabajo en biotecnología en INIA. De hecho, esta ha sido la estrategia llevada adelante por los grupos de biotecnología de INIA al vincularse con institutos públicos nacionales e internacionales, así como empresas del sector privado. Un hito ha sido la formación de la Unidad Mixta UMCI, formada por el Área de Mejoramiento Genético y Biotecnología Vegetal de INIA y el Laboratorio de Biología Molecular Vegetal de Facultad de Ciencias, Udelar. Esta Unidad permitió consolidar una larga trayectoria de vinculación científica, principalmente enfocada en la edición génica de diferentes cultivos.

UNIDAD MIXTA UMCI:
Innovación en
Biotecnología Vegetal
(artículo en Revista INIA)

Acceda **AQUÍ**



Entre las cooperaciones internacionales recientes se destacan las que se llevan adelante con: la CAAS (Academia de Ciencias Agrícolas China), la RDA (Administración de Desarrollo Rural) de la República de Corea, el INTA de Argentina, el FLAR (Fondo Latinoamericano de Arroz de Riego), el CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), el CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo), el Instituto Rothamsted de Reino Unido y el Instituto iDIV (Instituto para la investigación integral de la Biodiversidad) de Alemania.

PENSANDO LA BIOTECNOLOGÍA EN EL INIA DEL FUTURO

El futuro de la biotecnología está relacionado al nuevo Plan Estratégico de INIA con una fuerte visión de

innovación, incorporación de tecnologías avanzadas y vinculaciones estratégicas con empresas del sector privado y público. En este sentido, se plantea potenciar un área de biología computacional, que dé soporte y fortalezca la implementación de herramientas genómicas, bioinformáticas y bioestadísticas. De esta forma, se incrementarán descubrimientos asociados a la identificación de genes, al desarrollo de indicadores medioambientales vinculados a la salud del suelo y uso de selección genómica por los programas de mejoramiento de INIA, entre otros. Además, se consolidará una estrategia institucional para el uso de marcadores moleculares por todos los programas de mejoramiento y estudios de diversidad, que valoren los recursos fitogenéticos nacionales y aceleren los ciclos de selección de variedades. Para ello, se coordinará más y mejor el trabajo en red entre los laboratorios de INIA y se buscarán formas de financiar la modernización del equipamiento, para poder generar nuevos productos biotecnológicos apropiables y contribuir a los diferentes equipos de investigación con tecnologías más eficientes y precisas. Por último, se consolidarán colaboraciones claves, como la UMCI y se fomentará la vinculación con empresas del sector privado, que aseguren procesos modernos de innovación.



Foto: INIA

Charlas en el marco de la Semana de la Ciencia y la Tecnología en un liceo de Montevideo.



Foto: INIA

Captura de pantalla de un video de la serie Biotecnología en acción sobre el cultivo de embriones de mandarinas.

INTEGRANTES DEL EQUIPO DE BIOTECNOLOGÍA DE INIA

Ana Arruabarrena
Investigadora Adjunta
INIA Salto Grande



Lauria Rogel
Auxiliar de Laboratorio
INIA Las Brujas



Marco Dalla Rizza
Investigador Referente
INIA Las Brujas



Ana Lucía Britos
Auxiliar de Laboratorio
INIA Salto Grande



Mariana Menoni
Investigadora Asistente
INIA Las Brujas



Belén Bonilla
Asistente de Laboratorio
INIA Las Brujas



Maribel Ceppa
Asistente de Laboratorio
INIA Las Brujas



Candela Yorio
Auxiliar de Laboratorio
INIA Salto Grande



Mario Giambiasi
Técnico Adjunto de Laboratorio
INIA Salto Grande



Carolina Tassano
Secretaria Técnica del AMGBV
INIA Las Brujas



Marlene Bentancor
Auxiliar de Laboratorio
INIA Las Brujas



Cecilia Monesiglio
Técnica Asistente de Laboratorio
INIA La Estanzuela



Martina Villero
Asistente de Laboratorio
INIA La Estanzuela



Daniela Dieppa
Auxiliar de Laboratorio
INIA Las Brujas



Romina Rocha
Asistente de Laboratorio
INIA Treinta y Tres



Diego Torres
Investigador Adjunto
INIA Tacuarembó



Silvia Garaycochea
Investigadora Adjunta
INIA Las Brujas



Juan Pablo Gallino
Investigador Adjunto
INIA Las Brujas



Victoria Bonnacarrère
Coordinadora del Área
de MGBV



Juan Rosas
Investigador Principal
INIA Las Brujas
INIA Treinta y Tres



Wanda Iriarte
Asistente de Laboratorio
INIA Las Brujas



LA VISIÓN DE INVESTIGADORES Y ESTUDIANTES PASANTES

“La biotecnología juega un papel central en el mejoramiento genético de cultivos. Gracias a herramientas como los marcadores moleculares y la genómica es posible identificar y seguir genes clave para la producción agrícola. Estas tecnologías permiten agrupar genotipos por similitud, localizar regiones genómicas asociadas a características deseables y predecir el comportamiento para caracteres de interés de nuevas variedades. Además, la edición génica abre la puerta a modificar genes específicos en variedades elite, acelerando los procesos de mejora a necesidades actuales y futuras. Por lo señalado, es de destacar la labor del Área de Mejoramiento Genético y Biotecnología Vegetal de INIA”.

Leonardo Vanzetti
Mejoramiento Genético de Trigo

“El uso de herramientas biotecnológicas ha permitido incorporar la selección asistida por marcadores moleculares al Programa de Mejoramiento de Cebada de INIA. Para características de alta relevancia, como por ejemplo la respuesta al fotoperíodo, es posible seleccionar líneas promisorias incluso antes de llevarlas al campo. Esto ha aumentado la eficiencia del proceso de mejoramiento y del uso de recursos. De esta forma hemos podido acelerar el desarrollo de variedades de cebada adaptadas a las condiciones agroclimáticas de Uruguay que ofrezcan mayor estabilidad y productividad para los productores nacionales.”

Monika Kavanová
Mejoramiento Genético de Cebada

“La inclusión de herramientas bioinformáticas permite comprender mejor cómo las prácticas agronómicas –por ejemplo, implementadas en los experimentos de largo plazo– cambian el microbioma del suelo y, por lo tanto, los procesos y servicios que allí ocurren (como secuestro de C, formación de agregados del suelo, regulación de plagas y enfermedades, ciclado de nutrientes), para luego pensar alternativas de manejo menos dependientes de los insumos.

“A futuro, el uso de la secuenciación de alto rendimiento de ADN junto al análisis bioinformático permitirá mejorar el diagnóstico de enfermedades y la identificación de nuevas variantes de los patógenos presentes y/o emergentes en nuestros sistemas productivos”.

Carolina Leoni
Protección Vegetal - Salud del suelo

“La biotecnología ha tenido un impacto creciente acumulativo y no puede separarse de los procesos de mejoramiento genético de hortalizas como hoy los conocemos. Desde un inicio, se utilizó el cultivo de tejidos junto con metodologías sencillas de diagnóstico de virus para el saneado, la conservación y la multiplicación de semilla básica en especies vegetativas. Luego, se fueron incorporando nuevas técnicas de diagnóstico y herramientas moleculares para aumentar significativamente la eficiencia de los procesos de selección. Actualmente, se exploran posibilidades para generar, desde el conocimiento de las bases moleculares de la genética, nueva diversidad asociada a caracteres de interés.

La biotecnología siempre tiene margen para mejorar la eficiencia y la precisión de los procesos en los que hoy ya está involucrada. Por eso, su incidencia seguirá siendo incremental con relación a los procesos de mejoramiento genético de hortalizas. Además, respecto a la generación de conocimiento basado en la biotecnología, hay un espacio estratégico en la identificación de genes y bases moleculares detrás de las características de interés productivo. Esta información alimentará los procesos de mejoramiento genético de precisión, que podrán derivar en la generación de nuevos productos tecnológicos”.

Matías González
Director del Sistema Vegetal Intensivo

“Desde el primer momento me sentí motivado en desarrollar mi etapa académica en INIA y Fagro por el aporte que realizan al sector productivo nacional. Por tal motivo, como centro de investigación de referencia, INIA fue un pilar fundamental para realizar mi tesis de maestría en mejoramiento genético. Durante esta etapa, profundicé en aspectos técnicos del mejoramiento genético vegetal, desarrollo productivo sustentable y también aprendí a abordar los desafíos de la investigación con una mirada crítica, analítica y colaborativa.

Hoy, desde mi rol en el Registro Nacional y el Registro de Propiedad de Cultivares, INASE, sigo vinculado al mundo del mejoramiento genético con las nuevas variedades vegetales que se brindan al sector productivo y con la propiedad intelectual en el derecho de los obtentores varietales. Valoro profundamente lo aprendido y considero que fue una etapa que marcó mi camino tanto personal como profesional”.

Federico Boschi
Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias, opción Ciencias Vegetales. Facultad de Agronomía, Udelar

“La biotecnología ha tenido un impacto significativo en nuestra investigación, especialmente en lo que refiere al monitoreo y manejo integrado de plagas. El uso de herramientas moleculares, como el análisis de ADN mediante *barcoding* para la identificación precisa de especies, nos ha permitido mejorar la detección temprana de plagas y el seguimiento de sus poblaciones. Además, nuestra colaboración nos ha permitido identificar también patógenos presentes en insectos vectores, específicamente el complejo del achaparramiento en maíz. En un futuro cercano, queremos incorporar técnicas de biología molecular que nos permitan estudiar en mayor profundidad distintos procesos dentro de los agroecosistemas. Esto incluye la identificación de mecanismos de resistencia a insecticidas mediante la detección de mutaciones o cambios en la expresión de genes relacionados con la detoxificación; el análisis de interacciones insecto-planta a través de estudios transcriptómicos para comprender cómo responden los insectos a diferentes genotipos o defensas vegetales; y la investigación de relaciones tróficas utilizando análisis de contenido intestinal (*gut content*) con marcadores moleculares, lo que nos permitirá mapear con mayor precisión las redes alimentarias entre plagas y enemigos naturales. Estas herramientas nos ayudarán a desarrollar estrategias de manejo integrado más específicas, sostenibles y adaptadas a cada contexto productivo. En resumen, la biotecnología representa una herramienta clave para enfrentar los desafíos actuales y futuros en la protección de cultivos, siempre bajo un enfoque responsable y complementario a otras prácticas sustentables”.

Ximena Cibils
Protección Vegetal - Entomología

“Lo que me motivó a realizar mi tesis en INIA fue que sentí que allí podría adquirir conocimientos, desarrollarme, contribuir y participar en proyectos con un verdadero impacto en el país. Si bien sabía que era un gran desafío, desde el comienzo me sentí acompañada por el equipo de Mejoramiento Genético y Biotecnología Vegetal, lo que marcó una gran diferencia.

La experiencia me permitió comprender el rol de la investigación aplicada, asumir desafíos y crecer en un entorno colaborativo e inspirador. Agradezco profundamente el respaldo y la ayuda que me han brindado durante este tiempo”.

Lucía Muñoz
Estudiante del doctorado en Biotecnología,
Facultad de Ciencias, Udelar

“Elegí INIA para hacer mi maestría porque quería formar parte de la generación y adaptación de conocimientos para el agro uruguayo. Me atrajo la oportunidad de aprender sobre genética cuantitativa, la calidad humana de mis tutores y de sus equipos, y la posibilidad de trabajar en un entorno interdisciplinario.

Mi experiencia fue muy enriquecedora: participé en discusiones y seminarios con grupos de toda la organización, colaboré en la escritura y ejecución de proyectos, realicé pasantías, asistí a congresos y publiqué artículos. Esto potenció mi carrera y mis habilidades para la investigación interdisciplinaria y el trabajo en equipo”.

Inés Rebollo
Estudiante (egresada) de Maestría en Ciencias
Agrarias (Op. Bioestadística), Facultad de
Agronomía, Udelar

“Elegí realizar mi tesis en INIA porque buscaba salir del entorno académico y vincularme con el trabajo diario en laboratorio. La experiencia fue enriquecedora, logré reafirmar mi vocación, desarrollar nuevas habilidades y despertar mi curiosidad en el área de la investigación.

El acompañamiento de una tutora comprometida y colaborativa fue fundamental para cumplir con mi objetivo en el plazo previsto y fortalecer mi autonomía”.

Gisela Nikitchuk
Estudiante de Licenciatura en Análisis de
Alimentos de UTEC

“Mi motivación para estar en INIA nace desde la elección de mi carrera: tratar de aportar soluciones a la industria agropecuaria. Luego, me di cuenta de que la biotecnología era la herramienta que más me gustaba y que tiene más potencial para aportar productos y soluciones innovadoras.

Mi experiencia fue súper enriquecedora a nivel académico, profesional y personal. Mis compañeros de trabajo fueron muy cálidos conmigo. Fue una experiencia que me aportó mucho conocimiento y horas prácticas fundamentales. Después, en Montevideo, traté de difundir la oportunidad de hacer pasantías en INIA entre mis compañeros de carrera. Como dicen por ahí ‘uso y recomiendo’”.

Joaquín García
Estudiante de Facultad de Ciencias (Udelar).
Pasantía de final de grado en biotecnología/
control de malezas