

REVISTA DE
INVESTIGACIONES
AGROPECUARIAS

RIA

ISSN edición impresa 0325-8718
ISSN en línea 1669-2314
Vol. 38 N.º2, Agosto 2012
Buenos Aires, Argentina

PROYECTOS
DESARROLLO
INTERACCIÓN
EQUIDAD
OPORTUNIDAD
PRODUCCIÓN
COMERCIALIZACIÓN
EDUCACIÓN
SOBERANÍA
TERRITORIO EFICIENCIA ACCESO
NUTRICIÓN
PRODUCTORES
EMPLEO
CIENCIA

INNOVACIÓN “A LA CARTA”
Pequeñas mejoras para agricultores

CÓMO SALVAR A LA AGRICULTURA
Respuestas ante el cambio climático

**“ARGENTINA,
UNA POTENCIA ALIMENTARIA”**
Entrevista con el titular de la FAO-AR

SEGURIDAD ALIMENTARIA

Las claves para el Desarrollo

AMBIENTE
COOPERACIÓN
MERCADO
EMPLEO
CIENCIA
DESARROLLO
REDES
GESTIÓN
COMPETITIVIDAD
INVERSIÓN
SUSTENTABILIDAD
INTERCAMBIO
CONSUMO
AGRICULTURA FAMILIAR
POLÍTICAS
CIENCIA
INCLUSIÓN
DEMANDA
CULTURA
AUTOCONSUMO
ASOCIATIVISMO
ORGANIZACIÓN
ESTADO
EFICIENCIA
CALIDAD DE VIDA
SOBERANÍA
TECNOLOGÍA
PROYECTOS
CIENCIA
EFICIENCIA
EDUCACIÓN
IGUALDAD
INNOVACIÓN
DESARROLLO
EQUIDAD
ESTRATEGIA
INTERACCIÓN
DERECHOS
ACCESO
PRODUCCIÓN
AMBIENTE
SOCIALIZACIÓN
EMPLEO
DESARROLLO
ADAPTACIÓN
REDES
PLANEAMIENTO
SOBERANÍA
DISTRIBUCIÓN
INTERCAMBIO
AGRICULTURA FAMILIAR
EMPLEO
INCLUSIÓN

■ Ediciones

Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria



Ministerio de
Agricultura, Ganadería y Pesca
Presidencia de la Nación



ISSN edición impresa 0325-8718
ISSN en línea 1669-2314

Institución Editora:
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
(INTA)

Cuatrimestral

Vol. 38 / N.º 2 /
Agosto 2012, Buenos Aires, Argentina

Propiedad Intelectual n° 4980255

SEDE EDITORIAL

Chile 460 2.º piso
Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina
CP (C1098AAJ)
+54 (011) 4339-0600
<http://ria.inta.gov.ar>
revista_ria@correo.inta.gov.ar

La Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA) es una publicación de información científica editada por el INTA.

Los artículos presentados son admitidos por un Comité Editorial compuesto por prestigiosas figuras del ámbito académico y científico agropecuario.

Abarca diferentes temas preparados por profesionales del INTA y de otras instituciones, y está destinada a la comunidad científica nacional e internacional.

Reservados todos los derechos. Prohibida su reproducción sin autorización expresa de sus editores, en cuyo caso se agradecerá citar la fuente.

Lo expresado por autores, corresponsales o columnistas no necesariamente reflejan el pensamiento del Comité Editorial, de la revista o de su institución editora.

Indexada en
Latindex (Folio 3346)
CABI Publishing
DOAJ (Directory of Open Access Journals)
Dialnet
Sidalc

Impreso en Gráfica Latina
Av. de los Constituyentes 3423
Ciudad de Buenos Aires (1427)

54 (11) 4522 7888 - 4521 8082
54 (11) 4521 4988 - 4523 6566

info@graficalatina.com.ar

MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO DEL INTA

Presidente:

Ing. Agr. Carlos Casamiquela

Vicepresidente:

Ing. Agr. Francisco Anglesio

Consejeros Nacionales:

Méd. Vet. Daniel Gustavo Garello - MAGyP

Ing. Agr. Oscar Arellano - Facultades de Agronomía

Dr. Eduardo Eliseo Baroni - Facultades de Cs. Veterinarias

Ing. Agr. Horacio A. Alippe - AACREA.

Ing. Agr. Elbio Néstor Laucirica - CONINAGRO

D. Alejandro Lahitte - CRA

Dr. Aldo Paredes - FAA

Sr. Bruno Quintana - SRA

Director Nacional:

Ing. Agr. Eliseo Monti

Directores Nacionales Asistentes:

DNA Sistemas de Información, Comunicación y Calidad

Lic. Gabriel Delgado

DNA de Relaciones Institucionales

Dra. Ana Cipolla

DNA Planificación, Seguimiento y Evaluación

Dra. Susana Mirassou

DNA Organización y RR.HH.

Ing. Agr. Guillermo Semproní

DNA Administración

CPN Lic. Rosendo Tarsetti

Coordinadores Nacionales:

CN de Transferencia y Extensión

Ing. Agr. Julio Catullo

CN de Investigación y Desarrollo

Dra. Norma Pensel

CN de Vinculación Tecnológica

Ing. Adolfo Luis Cerioni

COMITE EDITORIAL

Dr. Carlos Di Bella - INTA

Ing. Agr. M.Sc. Jorge Mariotti - INTA

Dr. Eduardo Baroni - UNL

Dr. Rafael Fernández - UNCuyo

Dr. Emilio Satorre - UBA

Dr. Carlos Scoppa - ANAV

Dr. Roberto J. Fernández Aldúncin - UBA

COMITE ASESOR

Ing. Agr. M.Sc. María Eugenia Beget - INTA

Med. Vet. M.Sc. Ana María Canal - UNL

Dra. Luciana Couso - UBA

Dra. Sandra García Lampasona - INTA

Dra. Betina Kruk - UBA

Ing. Agr. M.Sc. Alejandro Rago - INTA

Dr. Miguel Ángel Taboada - INTA

STAFF

Dirección:

Dra. Norma Pensel

Lic. Máximo Bontempo

Coordinación editorial:

Lic. Felicitas Terreno

Asistente editorial:

Giselle Miquet

Florencia Castilla

Producción Editorial:

Asesores técnicos y de contenido

Dr. Ricardo Sager

Ing. Agr. Cristian Zuchini

Diseño y Edición:

Gráfica, Gerencia de Comunicación
e Imagen Institucional

Fotografía:

Área Audiovisual, Gerencia de Comunicación
e Imagen Institucional

Esta publicación es propiedad del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Rivadavia 1439. CABA, Buenos Aires, Argentina.



Ministerio de
Agricultura, Ganadería y Pesca
Presidencia de la Nación

Mucho más que la comida de los pueblos

La seguridad y soberanía alimentaria son conceptos que responden a un posicionamiento sobre políticas de Estado. Ambos abordan la alimentación de los pueblos, pero de manera esencialmente diferente.

Mientras la seguridad alimentaria contempla la disponibilidad de los alimentos para la población, la soberanía, en cambio, se entiende como la facultad de cada Estado para definir sus propias políticas agrarias y alimentarias de acuerdo a objetivos de desarrollo sostenible y seguridad alimentaria. Esto incluye aspectos culturales de diversa índole, prácticas de producción, origen de los alimentos, recursos disponibles, tradiciones culinarias, y consumos de alimentos propios de la población, entre otros.

El concepto fue introducido con mayor énfasis en la década del 90, en Roma, con motivo de la Cumbre Mundial de la Alimentación de la FAO, y tiene su origen en el campesinado. El INTA, en el marco de sus políticas públicas vinculadas a profundizar un país cada vez más soberano, adhiere a él ya que implica la protección del mercado interno contra los productos excedentarios que se venden más baratos en el ámbito internacional y contra la práctica del dumping.

Esta mirada sobre los alimentos de los pueblos, expresa un posicionamiento para el desarrollo como nación soberana, con su política de estado vinculada al desarrollo rural, y a respetar las dimensiones sociales, económicas y productivas. Soberanía alimentaria implica superar la visión de la industrialización de los alimentos y su tratamiento reduccionista a simples mercancías.

Esta soberanía se constituye en un desafío para los organismos de Ciencia y Técnica, y para la proclamación

de la independencia alimentaria de los países. Comprende el respeto por su agrobiodiversidad, ciclos productivos, y ambiente. Es un desafío para que los pueblos generen sus propios alimentos, generando mano de obra y conservando la cultura.

La soberanía alimentaria expresa el derecho de los pueblos a alimentarse, pero también a producir y decidir sobre su nutrición que, junto con el agua y la tierra, son ejes esenciales no sólo para la subsistencia de las poblaciones, sino para la permanencia, el crecimiento y el desarrollo de los aspectos productivos, económicos, comerciales, culturales y sociales.

Para ello, la Agricultura Familiar es estratégica. Según un estudio realizado por el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Pequeña Agricultura Familiar (CIPAF) del INTA, las 140 ferias relevadas funcionan sólo en el 6 por ciento de los municipios de Argentina y abastecen a más de 30 mil consumidores por día. El 97 por ciento de los productos son frutas, verduras y hortalizas. Estas ferias generan más de 4500 puestos de trabajo y promueven un movimiento económico directo de más de 45 millones de pesos al año. Así, se constituyen en una herramienta concreta para el desarrollo local, el crecimiento de puestos laborales y la conservación de tradiciones alimentarias. Incluso provocan el descenso de precios de los alimentos debido a la cercanía geográfica que existe entre los productores y los consumidores.

Sin dudas, la Agricultura Familiar y la Soberanía Alimentaria son factores estratégicos para las naciones que buscan su desarrollo económico, político, social, alimentario y productivo. Y sobre todo, que buscan vivir con dignidad.

Actualidad en I+D

Editoriales

110 Mucho mas que la comida de los pueblos

La Soberanía Alimentaria es una política de Estado que estimula el desarrollo del país.

Notas

114 Respuesta a la (in)seguridad alimentaria

La visión de la región para lograr la seguridad alimentaria se centra en estrategias para fortalecer la agricultura familiar que provee a mercados locales.



119 Innovación "a la carta"

Los agricultores familiares requieren estrategias diferenciadas para la innovación de ese sector que se caracteriza por ser muy heterogéneo.

123 Soluciones para salvar a la agricultura

La gestión integral del territorio será clave para adaptarse al cambio climático y enfrentar sus efectos sobre la región.



128 "Argentina: Potencia agroalimentaria"

El representante de la FAO asegura que este país es referente por su desarrollo tecnológico en el sector alimentario.

132 Pastillas

Un breve resumen de las noticias más sobresalientes.

Trabajos

Artículos

133 Viabilidad de la soja con simientes verdes

Gallo, C.; Enrico, J.M.; Craviotto, R.; Arango, M.

141 Niveles de nitrato en canopeo de la papa

Martínez J.P.; Giletto, C.M.; Echeverría, H.E..

150 Maíz en la digestibilidad de bovinos

Bocanegra, D.; Rochinotti, D.

153 Macrofitas que eliminan níquel

Bres, P.; Crespo, D.; Rizzo, P.; La Rossa, R..

158 Monitoreo de sequías

Easdale, M.H.; López, D.R.; Bianchi, E.; Bruzone, O.; Villagra, S.E.; Siffredi, G.L.; Gaitán, J.J.; Umaña, F.; Oricchio, P



165 Niveles de dormición en *Panicum virgatum*

Checovich, M.L.; Ruiz, M.A.

171 Restauración agro-hidrológica

Rodríguez Vagaría, A.; Gaspari, F.; Senisterra, G.; Delgado, M.I.; Besteiro, S.

182 Conocer la afectación fluvial del Paraná

Sepulcri, M.G.; Pizarro, M.J.; Flamenco, E.; Herrera, M.; Borus, J.; Giordano, L.

190 Calidad de láminas de *Festuca*

Insúa, J.R.; Agnusdei, M.G.; Di Marco, O.N.



196 Nitrógeno en descomposición orgánica

Meyer, J.; Frigerio, K.; Cortes, M.



Estrategias para asegurar la alimentación

Por primera vez se consolidó una visión regional en pos de la Seguridad Alimentaria (SA) con el objetivo de darla a conocer ante los países desarrollados en la reunión del G20. Según la Red INNOVAGRO, la SA podrá lograrse a través de la innovación y la incorporación de la Agricultura Familiar.

Este sector de la economía no sólo provee de trabajo digno, dinamiza el comercio intra-regional y mejora los ingresos, sino que contribuye entre el 30 y el 40 por ciento del PIB regional agrícola. Su potencial de expansión podría dirigirse a mercados de nicho o denominaciones de origen.

(Actualidad en I+D p. 114)



Innovaciones diferenciadas para la AF

Especialistas de la región recomiendan estrategias de innovación diferenciadas para fortalecer la función social de los agricultores familiares en la producción de alimentos.

“La innovación es hacer las cosas diferentes para mejorar, puede ser cualquier tipo de conocimiento aplicado que les permita incrementar su productividad como utilizar semillas con mejor desempeño, acceder a mercados de nicho o desarrollar mecanismos para el asociativismo”, explica el oficial de la CEPAL, Adrián Rodríguez. En la Argentina, entre el 66 y el 75 por ciento de los productores son pequeños y responsables de hasta el 80 por ciento de los alimentos que se consumen.

(Actualidad en I+D p. 119)

Cambio climático y agricultura

Diversos estudios indican que la producción futura de alimentos es incierta debido a que la oferta ambiental para la agricultura se modifica constantemente. En ese contexto, los países en vías de desarrollo serían más vulnerables, por lo que los especialistas sugieren respuestas integrales para adaptarse al cambio climático.

“La cooperación horizontal de los gobiernos es necesaria para comprender que todos somos gestores del territorio; que lo público debe acompañar lo privado y que, de alguna manera, estas alianzas nos permitirán salir de esta situación”, explica la líder técnica del Programa Intergubernamental del IICA, Martha Lucía Alviar.

(Actualidad en I+D p.123)

Argentina agroalimentaria

Para el representante de la FAO en el país, Alejandro Flores Nava, la Argentina es una potencia agroalimentaria que puede transferir sus capacidades a otros países de la región. El trabajo de la FAO se encamina en este sentido al trabajar junto con la Cancillería y el Ministerio de Agricultura de la Nación.

“Queremos llegar a un acuerdo con otros países de América Latina para transferir tecnologías y proyectar la capacidad de la Argentina al mundo”, señala Flores Nava. Una de las apuestas fuertes de la Argentina es en lo referido a la adaptación y el desarrollo de las tecnologías para los pequeños productores.

(Actualidad en I+D p. 128)

Viabilidad de la soja con simientes verdes

En los cultivares de soja expuestos a períodos de déficit hídrico y temperaturas superiores a 32 °C, pueden presentarse desbalances fisiológicos en las plantas y, como consecuencia, la aparición de semillas verdes en los lotes. Investigadores del INTA Oliveros se propusieron determinar la calidad fisiológica de semillas de cultivares con diferentes grupos de madurez con el objetivo de determinar su vigor y viabilidad. Esto se evaluó a través de la Prueba Topográfica por Tetrazolio que concluyó que las simientes verdes pueden ser viables si el eje embrionario y la unión con los cotiledones no presentan daños profundos y extensos.

(Trabajos p. 133)



Niveles de nitrato en canopeo de la papa

El nivel de nitrógeno (N) en el cultivo de papa tradicionalmente se evalúa a través de la concentración de nitrato en el pecíolo de la primera hoja del estrato superior del canopeo y del índice verde (IV) en su folíolo terminal. Sin embargo, estos parámetros no varían ante la oferta variable de N en etapas tempranas del ciclo, cuando es posible la fertilización con N. Se propone establecer si la concentración de nitrato y el IV en las hojas del estrato inferior del canopeo (más sensibles a los cambios en la disponibilidad de N) son apropiados como muestreo complementario del tradicional.

(Trabajos p. 141)

Germen de maíz en la digestibilidad de bovinos

A través de la metodología propuesta por Theodureau *et al.* (1994), investigadores del INTA Mercedes y El Colorado evaluaron los efectos del agregado de germen de maíz sobre la digestibilidad de heno de baja calidad de Grama Rhodes (*Chloris gayana*). Para ello, se alimentaron cuatro novillos cruzado cebú de 350 kilogramos promedio: tres fueron alimentados con agregado de germen y sólo uno con heno. Entre los primeros no se presentaron diferencias significativas pero hubo variación con el tratamiento básico ya que el contenido de proteína del germen de maíz duplica y mejora significativamente los valores de digestibilidad de los bovinos.

(Trabajos p. 150)

Niveles de dormición en *Panicum virgatum*

En la región semiárida pampeana, la gramínea estival *Panicum virgatum* Linnaeus es una especie forrajera tolerante a condiciones de sequía. Sin embargo, sus semillas presentan dormición, que es un estado que impide su germinación y establecimiento. En este trabajo se evaluó la duración de la dormición en las semillas de 10 variedades producidas localmente y el efecto de la temperatura de almacenamiento sobre ellas. Las variedades no respondieron en forma similar durante el período de poscosecha y los valores de germinación fueron variables. Asimismo, las temperaturas de conservación más bajas prolongaron su dormición respecto de las expuestas a temperatura ambiente.

(Trabajos p. 165)

Susceptibilidad hídrica en el delta del Paraná

El valle aluvial del río Paraná es un ecosistema de alta fragilidad ambiental que con frecuencia es afectado por inundaciones con daños considerables a nivel social, económico y productivo. Por ello, los investigadores propusieron generar una cartografía de susceptibilidad hídrica con el fin de obtener una herramienta que permita al productor agropecuario planificar las actividades agrícolas, ganaderas y forestales como así también realizar un ordenamiento territorial. Mediante la clasificación de imágenes satelitales de alta resolución e información de pronósticos estacionales de caudales (serie temporal 1980-2010) se generó un mapa de susceptibilidad hídrica para los tramos medio y superior del delta Paranaense.

(Trabajos p. 182)

Macrófitas que eliminan níquel

La contaminación del agua causada por metales pesados como el níquel es uno de los mayores problemas a nivel mundial. Si bien este metal es un micronutriente esencial para las plantas, si se presenta en dosis elevadas puede causar efectos negativos en sus funciones fisiológicas. Por ello, investigadores del INTA Castelar se propusieron evaluar la capacidad de remediación de dos especies macrófitas, la *Lemna minor* y la *Eichhornia crassipes*, que fueron expuestas a diferentes concentraciones de níquel. Ambas especies mostraron una importante reducción en la concentración a lo largo del tiempo y resultaron ser eficientes en la eliminación de este metal.

(Trabajos p. 153)

Restauración agro-hidrológica

El manejo inadecuado de los recursos naturales origina problemas que afectan seriamente la capacidad productiva de los sistemas agropecuarios y finalmente repercuten en la calidad de vida de los habitantes. La restauración agro-hidrológica engloba, en un plan unificado de acción, la problemática de suelos, agua y vegetación de las cuencas hidrográficas en un auténtico proceso de ordenación de los recursos naturales. El trabajo evaluó el efecto sobre el escurrimiento superficial de las medidas de restauración agro-hidrológica mediante la aplicación del modelo GeoQ a través de la comparación con la situación actual de la cuenca serrana del Arroyo Pillahuincó Grande.

(Trabajos p. 171)

Calidad de láminas de *Festuca*

Los cultivares de hojas flexibles de la festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb.) fueron desarrollados para mejorar la palatabilidad, el consumo y la producción animal. En el trabajo, investigadores del INTA Balcarce evaluaron la calidad nutritiva de las láminas individuales de dos cultivares durante un rebrote estival, en relación a su morfogénesis: el tradicional, (Palenque PlusINTA) y el de hojas flexibles (AdvanceGentos). El estudio se realizó en hojas individuales, en seis estados ontogénicos de similar edad térmica, que abarcó desde el inicio del crecimiento hasta la senescencia completa de las primeras tres generaciones de hojas consecutivas de un ciclo de rebrote.

(Trabajos p. 190)

Monitoreo de sequías

La variabilidad ambiental es una característica de regiones pastoriles áridas y semiáridas en donde la sequía es uno de los principales problemas en sistemas ganaderos extensivos con implicancias productivas y económicas. Los investigadores proponen una herramienta para el monitoreo de sequías basada en imágenes satelitales que permite contar con información compatible con la toma de decisiones en sistemas ganaderos extensivos. El monitoreo de sequías es un paso hacia el desarrollo de sistemas de alerta temprana y mitigación de sequías en regiones áridas y semiáridas, para contribuir con el desarrollo de políticas vinculadas al manejo ganadero adaptativo.

(Trabajos p. 158)



Nitrógeno en la descomposición orgánica en semiáridos

Los cultivos en las regiones semiáridas son propensos al estrés hídrico y una alternativa para mejorar la eficiencia del uso del agua es la incorporación de cultivos de cobertura y abonos verdes. Para esto, el uso de leguminosas puede proveer una cantidad importante de nitrógeno (N) en función de la velocidad de descomposición de los residuos. En este trabajo se estudió la relación entre la descomposición de abonos verdes de vicia con y sin estiércol, la liberación de N y la dinámica de los microbios. Los resultados muestran cómo las sucesiones microbianas en la descomposición tienen influencia en los nutrientes del suelo.

(Trabajos p. 196)



COMBATIR EL HAMBRE

Una respuesta regional a la (in)seguridad alimentaria

Mientras el mundo se pregunta qué vamos a comer, los países de la región ya tienen una respuesta. Promover la innovación para incrementar la competitividad, la sustentabilidad y la equidad sería la clave.

Por Felicitas Terreno

Según el **Programa Mundial de Alimentos** de las Naciones Unidas, hoy una de cada siete personas en el mundo se irá a dormir con hambre. En América Latina solamente, en dos años se perdieron los avances que se habían hecho en 15 y el número de personas con hambre aumentó de 47 a 52 millones (Ver recuadro: “**Las cifras del hambre**”).

Es por ello que por primera vez se presentó ante el Grupo de los 20 (-G20-, un foro que reúne a las economías avanzadas y emergentes más importantes del mundo) las opiniones y puntos de vista de los países de esta región con la finalidad de incidir en los

acuerdos y compromisos sobre la Seguridad Alimentaria (SA).

En su declaración, la **Red INNOVAGRO** señaló a la innovación como el “motor para alcanzar la seguridad alimentaria” e instó a las agencias internacionales de cooperación y financiamiento a “promover la inversión destinada a la innovación agroalimentaria para avanzar en la SA de manera sustentable a través de la incorporación de la Agricultura Familiar (AF)” (ver nota: **Innovación “a la carta”**).

A sólo un año de su creación, la Red se encuentra conformada por 16 países y 52 entidades (Institutos de Inves-

tigación; Ministerios de Agricultura, de Ciencia y de Seguridad Alimentaria; universidades y fundaciones, entre otras) y busca contribuir al **desarrollo agroalimentario** mediante el establecimiento de mecanismos de cooperación y alianzas estratégicas en procesos de innovación y gestión de la innovación.

Para ello, realizaron un Seminario Internacional en Buenos Aires en el que participaron referentes de más de 10 países y cuyos resultados fueron plasmados en la Declaración presentada ante el G20 (ver recuadro: “**Una Red de Innovación**”).



**LA AGRICULTURA FAMILIAR
EN LA REGIÓN ES IMPORTANTE
NO SÓLO POR SU POTENCIAL
A FUTURO SINO PORQUE TIENE
UN PAPEL CLAVE EN LA
ESTABILIDAD ECONÓMICA
DE LOS PAÍSES.**

"La riqueza de la Red radica en que no tenemos que generar nada; lo tenemos y lo ponemos a disposición", destaca a la RIA el presidente de la Red INNOVAGRO, Mauricio Lastra Escudero, quien explica que "durante el Seminario contamos qué somos, qué queremos y qué proponemos en temas que tienen preocupado y ocupado al G20 este año... **Y ahora se están preguntando qué vamos a comer**".

Según señala, "la gente de las ciudades pensó que la producción de alimentos era algo muy fácil; que se daba casi por generación espontánea y que la gente del campo tenía la obligación de producirlos a cualquier costo, aunque su precio de venta no alcanzara **ni para cubrir sus necesidades básicas**".

Seguridad Alimentaria en la región

De acuerdo a las estimaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés), en 2050 la población alcanzará los 9.100 millones de habitantes, lo que ocasionaría un aumento de un 70 por ciento en la demanda mundial de alimentos. Además, la cantidad limitada de tierra cultivable, el deterioro de los recursos naturales, el cambio climático y la vo-

latilidad de precios son factores que atentan y atentarán contra la seguridad alimentaria de la población.

Aún así, la región de **América Latina y el Caribe se perfila como "el principal productor de alimentos del planeta"**, opina el presidente del INTA de la Argentina, Carlos Casamiquela, quien manifiesta que "en nuestro país producimos alimentos para más de 400 millones de personas y somos 40 millones, por lo cual tenemos un excedente productivo del 90 por ciento".

No obstante, en una región que parece tener todo a su favor, existen grandes **desigualdades**: en países como México, Uruguay, Chile y Argentina sólo el cinco por ciento o menos de su población se encuentra desnutrida; mientras que en Haití, República Dominicana y Bolivia el número supera al 20 por ciento.

Los expertos coinciden en que el problema del hambre no radica en la producción, sino en el **acceso a los alimentos**. El representante de la FAO en la Argentina, Alejandro Flores Nava, opina que "si hubiera una distribución homogénea, cada uno de los habitantes del planeta tendría el balance suficiente de proteínas". El problema estaría en que al exportar los exceden-

tes de producción, los alimentos se someten a la ley de mercado (ver nota: "**La Argentina es una potencia agroalimentaria muy importante**")

El oficial a cargo de la Unidad de Desarrollo Agrícola de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Adrián Rodríguez, explica a la RIA que el aumento en los precios de los alimentos "significó un incremento en el número de gente que se encuentra en situación de pobreza extrema debido a que se mide a través de una canasta en la cual la alimentación es fundamental".

En este sentido, el Ministerio de Desarrollo Social de la Argentina (MDS) y el INTA implementan el ProHuerta, un **programa que busca mejorar la seguridad y la soberanía alimentaria**, y favorecer la participación y la organización de sectores vulnerables de la población.

Según la subsecretaria de Políticas Alimentarias de esa cartera, Liliana Periotti, esta iniciativa "busca el **autoconsumo**, el **intercambio** y la **comercialización** de alimentos para fortalecer el núcleo familiar, generar trabajo y continuar con el proceso de inclusión laboral".

Así, mediante sus 737 técnicos y casi 20 mil promotores, se producen in-

**“AMÉRICA LATINA
Y EL CARIBE SE PERfila COMO
EL PRINCIPAL PRODUCTOR
DE ALIMENTOS DEL PLANETA”
(CARLOS CASAMIQUELA).**

sumos estratégicos y se mejora la capacidad alimentaria de la población. “Trabajamos en el rescate de las producciones locales”, explica Periotti, quien destaca que el ProHuerta “ofrece a las familias la posibilidad de **alimentarse con calidad**”.

El potencial de la Agricultura Familiar

Esta situación también representa una oportunidad de **dinamizar el comercio intrarregional de alimentos** y mejorar los ingresos de la agricultura familiar, un sector que toma más fuerza y que hoy presenta la oportunidad de abastecer al mercado nacional.

Este tipo de actividad no sólo provee de un trabajo digno para las personas sino que aumenta en un muy alto margen el empleo agrícola y contribuye entre **el 30 y el 40 por ciento del PBI regional agrícola**. Sólo en la Argentina, el 66 por ciento de los productores son pequeños y generan el 20 por ciento del PB agropecuario.

Así, el mayor potencial de la AF radica en incrementar la seguridad alimentaria de las poblaciones más pobres a través de la comercialización de sus productos en mercados locales

PROHUERTA POR LA INCLUSIÓN SOCIAL

Se trata de una iniciativa gestionada entre la Subsecretaría de Políticas Alimentarias del Ministerio de Desarrollo Social de la Nación (MDS) y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria promueve el acceso a una alimentación saludable, variada y equilibrada mediante la asistencia técnica, capacitación, acompañamiento y provisión de insumos biológicos que posibiliten el autoconsumo a nivel familiar, escolar, comunitario e institucional.

Actualmente, este programa es replicado en diversos países como Haití, Mozambique y Angola, donde los técnicos argentinos apoyan la implementación de políticas y estrategias de seguridad alimentaria adecuadas a particularidades sociales, productivas y culturales de cada país.

El ProHuerta llega a 3,5 millones de personas y articula con más del 90 por ciento de los municipios de todo el país. A su vez, cuenta con 160 mil granjas y 600 mil huertas agroecológicas, y se relaciona con más de siete mil escuelas y 10 mil instituciones comunitarias y sociales a través de 20 mil promotores voluntarios y 737 técnicos.

y nacionales y, aunque su producción no tenga grandes volúmenes, tiene un alto potencial de comercialización.

Por ejemplo, Rodríguez considera que podrían orientar su producción a **mercados de nicho** como el nostálgico que se caracteriza por una demanda alta de productos que la gente valora porque los consumía cuando habitaba en ese lugar. También podrían vender **productos muy exóticos** como los elaborados con frutas autóctonas que se produzcan en determinadas zonas (como es el caso del maracuyá y la guayaba).

Según el especialista de la CEPAL, “éstos son rubros no muy investigados y su producción no es de grandes volúmenes pero se les puede agregar mucho valor al darles un uso más industrial”.

Por ejemplo, el valor de exportación de la **quinua real** (un cultivo andino que presenta excelentes propiedades nutricionales) ascendió este año a 3.237 dólares por cada tonelada métrica. Por otra parte, México, el principal productor de **guayaba** a nivel continental exportó 4.042 toneladas en 2011 y, a febrero del mismo año, las

exportaciones de **maracuyá** provenientes del Perú alcanzaban los 3.6 millones de dólares.

A su vez, las **marcas colectivas** o las **denominaciones de origen** son otras herramientas que los agricultores familiares pueden utilizar al momento de exportar y que permiten identificar un producto específico con una región.

Para el oficial regional de la FAO para América Latina y el Caribe, Salomón Salcedo, el crecimiento de este tipo de producción dependerá fundamentalmente de la aplicación de **políticas de estado diferenciadas** que atiendan a las diversas necesidades del sector. “Se deberá aplicar una ‘política a la carta’ para un sector tan heterogéneo como este que necesita saber cuáles son las directrices a aplicar para ser eficientes con un menor costo y lograr el impacto deseado”, sostiene.

En este sentido, la Secretaría de Agricultura Familiar de la Argentina dispuso más de 3,9 millones de pesos en su presupuesto 2009-2011 para asistencia técnica y capacitación a más de 700 mil beneficiarios y, a través de



Una respuesta regional a la (in)seguridad alimentaria

1.140 técnicos en el territorio, trabaja en la adaptación de tecnología disponible para pequeños productores (ver nota: **Innovación “a la carta”**).

El subsecretario de esa cartera, Guillermo Martini, afirma que hoy el país se encuentra en “una matriz de producción diversificada en la que también se producen alimentos en función del desarrollo nacional equilibrado”.

La agricultura familiar en la región es importante no sólo por su potencial a futuro sino porque tiene un **papel clave en la estabilidad económica** de los países. Así lo asegura Salcedo, quien manifiesta que la actividad productiva de este sector “sirvió como colchón para amortiguar el cambio de precios” sufrido en 2007 y explica que “al ser más diversificada se encuentra menos afectada por los efectos del cambio climático y las pestes”.

Lo cierto es que América Latina y el Caribe tiene grandes posibilidades de convertirse en un importante exporta-

dor de alimentos de cara al 2050 y a los 9.100 millones de habitantes que se estima alcanzar.

Según Lastra Escudero, **“lo primero que tenemos es la gente**: los productores, los investigadores y también los factores de la producción” y advierte que “el camino es largo pero tenemos que hacer cada uno su tramo y aprovechar las fortalezas de cada país. Si seguimos actuando de manera desorganizada (local, nacional y regional) vamos a seguir a merced del mercado”.

Más información:

Mauricio Lastra Escudero
Red INNOVAGRO.

El MVZ Lastra Escudero estudió Medicina veterinaria y Zootecnia en la Universidad Nacional Autónoma de México. Es especialista en producción animal y actualmente preside la Coordinadora Nacional de las Fundaciones Produce (COFUPRO) y la Red INNOVAGRO.

**“LA ALIMENTACIÓN ES EL CENTRO DE LA EXISTENCIA, PERO ESO SE NOS OLVIDÓ”
(MAURICIO LASTRA ESCUDERO).**



PARA LOS AGRICULTORES FAMILIARES

Innovación “a la carta”

Debido a que el sector agrícola es muy heterogéneo, los especialistas proponen implementar estrategias diferenciadas en lo tecnológico, social y organizacional.

En un bol, mezcle cantidades iguales de investigación y de extensión. Deje reposar hasta que tome consistencia y luego agregue una pizca de comunicación y otra de ingenio. Saborice con inversiones y bata la preparación durante algunos meses hasta observar resultados. Póngala en una fuente y déle un golpe de horno. Desmolde y deje enfriar. El producto resultante deberá ser condimentado de acuerdo a las condiciones propias del lugar y las preferencias específicas del comensal. De esta manera, podrá ofrecer innovaciones “a la carta” para los agricultores familiares de la región, algo que recomiendan los chefs del conocimiento.

“El potencial de la agricultura familiar es muy grande pero es necesario diseñar políticas diferenciadas que atiendan a sus necesidades **ya que el sector agrícola es muy heterogéneo**”, destaca el oficial regional de la FAO para América Latina y el Caribe, Salomón Salcedo.

Para fortalecer la función social que posee este sector en la alimentación

local y nacional, sería necesario un **cambio estructural** cuyo motor sea la innovación comprendida no sólo desde su aspecto tecnológico sino también social y organizacional.

En este sentido, el director del Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Pequeña Agricultura Familiar (CIPAF) del INTA, José Catalano, agrega que “la importancia de la innovación es un tema que no sólo atañe a la agricultura familiar, sino que es una necesidad que tiene que ser satisffecha **para todos los actores del territorio**”.

Por su parte, el oficial a cargo de la Unidad de Desarrollo Agrícola de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Adrián Rodríguez, explica a la RIA que la innovación “es **hacer las cosas diferentes para mejorar**” y señala que, en el caso concreto de este tipo de actividad, “puede ser cualquier tipo de conocimiento aplicado que les permita incrementar su productividad como, por ejemplo, utilizar semillas con mejor

desempeño, acceder a mercados de nicho o desarrollar mecanismos para el asociativismo”.

Asimismo, el subsecretario de Agricultura Familiar (AF) de la Argentina, Guillermo Martini, sostiene que “la institucionalización de las asociaciones de AF significa fortalecer su vida y el lugar en el que se desempeñan para que los pequeños productores accedan al **pleno ejercicio de sus derechos**”.

En este sentido, el INTA reconoce a ese sector como parte de los Consejos Asesores de los institutos que pertenecen al CIPAF. Según Catalano, esto “hace posible la mayor visibilidad de la AF y sus problemáticas porque participan en **espacios de decisión que antes no tenían**”.

Para Martini, “la agricultura familiar está llamada a cumplir un papel preponderante vinculado a la producción de alimentos: son entre el 66 y el 75 por ciento (según hasta qué parámetro se tome) y responsables de hasta el 80 por ciento de los alimentos que se consumen”.

“EL POTENCIAL DE LA AGRICULTURA FAMILIAR ES MUY GRANDE PERO ES NECESARIO DISEÑAR POLÍTICAS DIFERENCIADAS QUE ATIENDAN A SUS NECESIDADES” (SALOMÓN SALCEDO).

PARA FORTALECER LA FUNCIÓN SOCIAL QUE POSEE LA AF EN LA ALIMENTACIÓN LOCAL Y NACIONAL, SERÍA NECESARIO UN CAMBIO ESTRUCTURAL CUYO MOTOR SEA LA INNOVACIÓN.

Tecnología para el cambio

No obstante, en muchos casos su producción se ve disminuida por **obstáculos estructurales** para introducir nuevas prácticas y sistemas productivos sostenibles, aunque esa búsqueda puede ser también una **alternativa** para proteger los recursos naturales y mejorar la calidad de vida. Por lo tanto, usar variedades apropiadas, rotar cultivos y utilizar equipamientos adaptado para espacios reducidos se constituyen como alternativas adecuadas y accesibles para los pequeños agricultores.

Así, Catalano señala que “en el caso de la AF (con sus características tan específicas) la generación de conocimiento, la búsqueda de tecnologías y su adopción y/o apropiación por parte de las familias campesinas pasa a ser un tema central dado que deben responder a sus **verdaderas necesidades**”.

Por su parte, Martini afirma que 1.140 técnicos trabajan en el territorio en el diseño, adaptación y disponibilidad de tecnología para pequeños productores. “**La innovación tecnológica**

será uno de los puntos centrales de acá en adelante”, asegura.

En esa línea, estudios llevados a cabo por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación detectaron la existencia de **230 cuestiones tecnológicas disponibles** y que están vinculadas a la fruticultura, el mejoramiento genético, la ganadería y el uso del agua, entre otras.

Para el coordinador nacional de Vinculación Tecnológica, Adolfo Ceroni, “la innovación tecnológica es la





gran salida a las amenazas que tiene la seguridad alimentaria que están centradas, principalmente, en el cambio climático, el limitado uso de recursos naturales, la volatilidad de los precios, el hambre, la inocuidad y la sanidad.

Un claro ejemplo de esto es el desarrollo de la variedad de **arroz Puitá INTA-CL** que se caracteriza por ser resistente a herbicidas del grupo de las imidazolinonas y por ser la primera variedad de alto rendimiento y calidad con adaptación a climas subtropicales y tropicales.

Al no ser transgénico su comercialización no se encuentra vedada por países que puedan levantar barreras

contra cultivos genéticamente modificados. De hecho, este arroz desarrollado por investigadores del INTA se siembra en Costa Rica, Italia, Colombia, Panamá, Brasil, Argentina y Uruguay.

Cerioni asegura que **estos desarrollos** "tienen un impacto muy importante en la producción de alimentos y **son clave para la región** de América Latina y el Caribe por su capacidad adaptativa".

Por otra parte, el INTA y el INTI desarrollaron la **cosechadora de granos de arrastre "La Reconquista"**, ideal para superficies menores a 50 hectáreas. Según explica su diseñador, Orlando Pilatti, el objetivo fue "desarrollar una máquina sencilla

que se adecúe a las características de producción de escalas pequeñas, generalmente condicionadas por la extensión del predio".

Además, agrega que "la satisfacción es completa cuando el trabajo diario sirve para que muchos productores de pequeñas y medianas superficies se consoliden en su territorio y no pierden su cultura e identidad".

Así, los agricultores utilizan herramientas manuales para el trabajo diario que no sólo se puedan usar para mejorar la producción, sino también la sanidad y proteger el ambiente.

En este sentido, el INTA también promovió la elaboración de un prototipo de **trasplantadora de arroz manual** en

Santa Fe que se encuentra en etapa de evaluación. Una de las alternativas que los desarrolladores consideran es autopropulsar la máquina y evaluar la siembra de arroz pregerminado.

Por otra parte, técnicos del INTA Esquel crearon una **bomba de sogá** para productores de la zona patagónica con dificultades de acceso al agua con el fin de ser utilizado en el consumo doméstico y productivo.

La construcción social de la innovación

El desarrollo de todas estas tecnologías requirió el trabajo conjunto de diseñadores, técnicos, ingenieros y los mismos agricultores familiares a los que estarían destinadas.

“La innovación es algo social; es una dinámica de intercambio de experiencias donde los usuarios finales participan de las instancias iniciales”, explica el investigador del grupo de Estudios Sociales de la Tecnología y la Innovación de la Universidad Nacional de Quilmes, Hernán Thomas.

En esta dinámica de trabajo multi-sectorial, el INTA se destaca de otros organismos latinoamericanos ya que en el transcurso de los años mantuvo la articulación estrecha entre la investigación y la extensión. Según concluye Cerioni, “la fortaleza del INTA radica en que contempla un **abanico diverso de estrategias** entre las que se encuentran esas dos actividades y, también, la vinculación tecnológica con las empresas”.

Es simple: la innovación se genera **en el campo y para el campo** pero para que sea apropiada por otros productores debe ser compartida. Es como saber exactamente lo que uno quiere comer, pedirle al chef que lo prepare y así tener el placer de degustar algo único. Ahora pida un aplauso para el cocinero y recomién-



delo a sus compañeros para que no sólo usted disfrute de los beneficios de este manjar.

Más información:

Adolfo Cerioni – Coordinación Nacional de Vinculación Tecnológica del INTA.

El Ing. Cerioni se desempeña como coordinador desde el 2006 y actualmente representa al INTA ante la Asociación de Incubadoras de Empresas, Parques y Polos Tecnológicos y preside el Consorcio Facilitador de Flujo de Proyectos INTA INIS Biotech.

**“LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA
ES LA GRAN SALIDA
A LAS AMENAZAS QUE TIENE
LA SEGURIDAD ALIMENTARIA”
(ADOLFO CERIONI).**

ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Soluciones integrales para salvar a la agricultura

Especialistas sugieren enfrentar este fenómeno mediante estrategias de adaptación pensadas conjuntamente con políticos, científicos y productores. La gestión integral del territorio sería clave.

Que la población va en aumento, ya lo sabemos. Que la producción de alimentos se debería incrementar en un 70 por ciento para cubrir la demanda mundial al 2050, también. Pero además sabemos que existe una limitada cantidad de tierra cultivable y que los recursos naturales se encuentran cada vez más amenazados a raíz de las actividades humanas y el cambio climático, entre otros factores.

En este sentido, los especialistas de la región creen que **la producción futura de alimentos es incierta** debido a que la oferta ambiental para la agricultura se modifica constantemente.

“Los escenarios del cambio climático son inciertos. En algunos modelos hay variaciones de temperaturas de un grado y en otros pueden llegar hasta ocho, Con esta incertidumbre en los escenarios no sabemos cuál sea el futuro de la oferta ambiental de la que de-

**“LA CLAVE ESTÁ
EN LA GENTE: LAS PERSONAS
QUE VIVEN DE LA AGRICULTURA
SABEN QUE TIENEN
QUE CAMBIAR Y HAY
QUE ACOMPAÑARLAS”
(MARTHA ALVIAR).**

pende la agricultura”, explica a la RIA la líder técnica del Programa Intergubernamental de Cooperación “Cambio Climático: Oportunidades y desafíos para la agricultura” (PRICA-ADO) del IICA, Martha Lucía Alviar.

Aún así, la especialista asegura que “el cambio climático, en este momento, es **el mejor pretexto que podemos tener para lograr finalmente el desarrollo sostenible**, porque nos muestra la necesidad de adaptarnos a esta incertidumbre a través de la planeación del territorio y los procesos propios de la adaptación”.

Para lograrlo, las estrategias de innovación que tengan que ver con la **gestión integral del territorio** serían clave al tener en cuenta lo ambiental, lo económico, lo sociocultural y lo político-administrativo.

EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA AGRICULTURA

- En los países en vías de desarrollo se reducirá el rendimiento de los cultivos más importantes. Asia Meridional será particularmente afectada.
- Tendrá diversos efectos en los rendimientos de los cultivos bajo riego en todas las regiones.
- Acarreará aumentos adicionales de precios para los principales cultivos. Esto implicará un aumento en los costos de la alimentación animal que se traducirá en un aumento de los precios de la carne.
- La disponibilidad de calorías en 2050 no sólo será menor, sino que disminuirá en todo el mundo en vías de desarrollo en relación con los niveles alcanzados en 2000.
- Hacia 2050, la disminución en la disponibilidad de calorías incrementará la malnutrición infantil en un 20 por ciento, en relación con lo estimado para un mundo sin cambio climático.

(Estimaciones realizadas por el IFPRI)

Por lo tanto, no solamente el desarrollo de tecnología podría ayudar en este sentido, sino también conocer los usos adecuados de un determinado suelo. Según Alviar, “intentar utilizar la tierra en cultivos para los que no está preparada requiere de más agua y mayor tecnología”.

A su vez, también debería existir una interacción mayor entre los investigadores y los productores en los territorios ya que es necesario el **conocimiento local** para interpretar el comportamiento del cambio climático sobre los cultivos y la producción. Para la investigadora “la cooperación horizontal de los gobiernos es necesaria para comprender que **todos somos gestores del territorio**; que lo público debe acompañar lo privado y que, de alguna manera, estas alianzas nos permitirán salir de esta situación”.

Impacto del clima en la región

Un informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) acerca de los impactos regionales del cambio climático prevé una disminución de la producción agrícola para varios tipos de cultivos de México, países del istmo de América Central, Brasil, Chile, Argentina y Uruguay, incluso si se tienen en cuenta los efectos positivos del aumento de dióxido de carbono (CO²) sobre el crecimiento de los cultivos y un cierto grado de adaptación de las explotaciones agrarias.

Es que en lo que a cambio climático se refiere, los países en vías de desarrollo serían **los más afectados** y su producción agrícola para asegurar la alimentación se vería disminuida en los próximos años.





En este sentido, Alviar asegura que “las alteraciones en la oferta ambiental provocadas por ese fenómeno afectarán los aspectos de la seguridad alimentaria en la disponibilidad y el acceso a los alimentos” y sostiene que “también se verán afectados los rendimientos de los cultivos”. Por ejemplo, al año 2050, América Central tendrá “problemas bastante graves en las producciones de frijol, maíz y arroz si hace algo para adaptarse, pero **si no hace nada, la situación será aún peor**”, asegura.

Así, estimaciones realizadas por el IPCC indican que mientras los países industrializados tendrían buenas producciones agropecuarias, los que pertenecen a la región de América Latina y el Caribe se verían afectados fuertemente de manera negativa.

Para Alviar, el hecho de que la región se encuentre en esta situación se debe a la acción de los países desarrollados porque “ellos aprovecharon a ultranza los recursos naturales y nosotros, de alguna manera, somos los afectados”.

Por ello, las convenciones internacionales en las que se trata el tema del cambio climático se refieren a las “**responsabilidades comunes pero diferenciadas**”, un principio que fue anunciado formalmente durante la primera Cumbre de la Tierra que se realizó hace exactamente 20 años en la ciudad brasilera de Río de Janeiro. Según establecía, “los países desarrollados reconocen la responsabilidad que les cabe en la búsqueda internacional del desarrollo sostenible, en

vista de las presiones que sus sociedades ejercen en el medio ambiente mundial y de las tecnologías y los recursos financieros de los que disponen”.

En la Argentina, el impacto del cambio climático en la región Pampeana (una de las principales áreas agrícolas del país) podría beneficiar ciertos cultivos, aunque se debería considerar el uso adecuado de los suelos para continuar con esa actividad en el largo plazo.

Así lo indican las investigadoras del INTA Castelar, Graciela Magrín y María Travasso, en una publicación de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación al manifestar que “en gran parte del área, la tendencia a la súper especialización y al monocultivo **incrementa la vulnerabilidad** a las variaciones interanuales del clima. En otras, el cambio en el uso del suelo, el desmonte generalizado y la labranza de suelos de baja aptitud agrícola podrían inducir **procesos de desertificación** que impedirían el retorno a las antiguas condiciones de producción”.

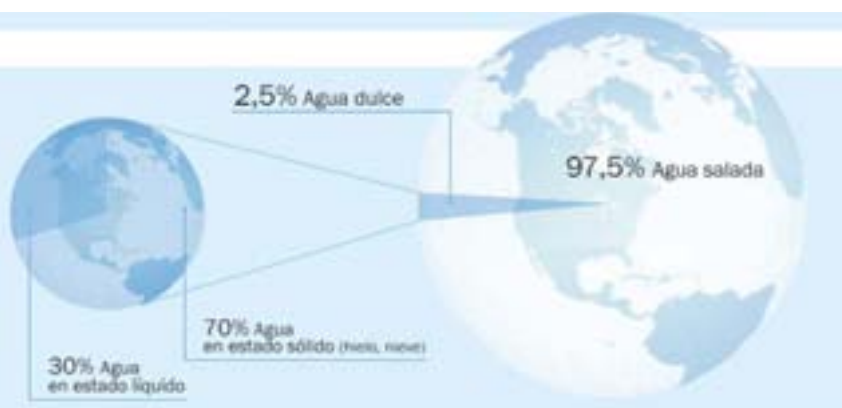
Los escenarios climáticos proyectados indican incrementos en la **temperatura** de mayor magnitud en la zona norte y leve aumento de las **precipitaciones**, lo que, sumado al efecto biológico del crecimiento del CO², permitiría que los rendimientos medios de los cultivos de trigo y maíz se incrementen levemente y la soja resulte muy beneficiada.

Aún así, Magrín y Travasso sugieren tomar medidas para enfrentar la variabilidad y el cambio del clima y evitar daños colaterales derivados de la de-

**HABRÍA QUE AUMENTAR
LAS INVERSIONES
EN LA PRODUCTIVIDAD
AGRÍCOLA PARA
CUBRIR LA DEMANDA
DE LA POBLACIÓN MUNDIAL
AL 2050.**

Recursos de Agua

El volumen total de agua en la Tierra es de unos 1400 millones de km³. El volumen de agua dulce es de cerca de 35 millones, o sea, un 2,5 por ciento del volumen total. De ese total, cerca de 24 millones de km³, o el 70 por ciento, se encuentra en forma de hielo y de nieve permanente en las regiones montañosas, las antárticas y las árticas.



Uso de Agua

El uso del agua aumentó a más del doble de la tasa de crecimiento demográfico en el último siglo. Los siete mil millones de personas que habitan la Tierra se están apropiando del 54 por ciento de toda el agua dulce disponible en ríos, lagos y acuíferos subterráneos.



LA INTERACCIÓN ENTRE POLÍTICOS, INVESTIGADORES Y PRODUCTORES PUEDE BENEFICIAR LAS ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN.

gradación de los recursos naturales. En la región pampeana, una de las medidas más simples de adaptación sería la modificación de las fechas de siembra ya que “con aumentos de 2 °C en la temperatura, el calendario agrícola se podría extender alrededor de dos meses, lo que permitiría adelantar hasta un mes la siembra de trigo y retrasar otro tanto la siembra de la soja”, explican las investigadoras.

El agua importa

A su vez, para el desarrollo de la actividad agropecuaria, el agua es un factor importante y esta región tiene grandes reservas. Así lo indica a RIA el presidente de la Red INNOVAGRO, Mauricio Lastra Escudero, quien considera que **la innovación deberá centrarse en el uso del agua** ya que “América Latina posee una gran disponibilidad de agua dulce. Por ejemplo, esta región tiene más del doble de unidades de agua que Asia”.

En esta línea, un informe del Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (IFPRI) indica que en un futuro “el abastecimiento de agua de riego mejoraría ligeramente tanto en América Latina y el Caribe como en el Medio Oriente y Norte de

África, pero empeoraría ligeramente en África Sub-sahariana”.

En consecuencia, “el aumento de las temperaturas y el cambio en los regímenes pluviales tendrán **efectos directos sobre el rendimiento de los cultivos**, así como efectos indirectos a través de los cambios en la disponibilidad de agua de riego”.

Por su parte, el IPCC advierte que “la producción pecuaria menguará si las praderas de las regiones templadas se ven afectadas por una disminución sustancial de la disponibilidad de agua”. En esos casos, Magrín y Travasso sugieren el uso del riego complementario, sin descartar la utilización de genotipos resistentes a estreses climáticos (térmicos o hídricos).

Políticos, científicos y productores

Los fenómenos extremos (por ejemplo, crecidas, sequías y heladas, entre otros) también podrían perjudicar a la producción agrícola y amenazar las formas de vida de los pueblos tradicionales.

En este sentido, los especialistas aseguran que **la interacción** entre los políticos, los investigadores y los productores puede beneficiar las estrategias de adaptación al cambio climático.



Para uno de los miembros argentinos del IPCC, Vicente Barros, “la mejor estrategia para el futuro será fortalecer las **instituciones** que ya existen e incrementar la **educación** y el **desarrollo tecnológico**”.

El informe del IFPRI sugiere **aumentar las inversiones en la productividad agrícola** para cubrir la demanda de la población mundial al 2050. “Una investigación que permita repotenciar la productividad agrícola y pecuaria, incluida la biotecnología, será esencial para sobreponerse a la tensión causada por el cambio climático”, indica esa entidad.

La región se encuentra en una situación vulnerable ante el cambio climático de la cual es muy difícil salir ya que depende de los insumos de los países desarrollados y posee un importante atraso tecnológico, pero si se logran **respuestas integrales** que tengan en cuenta a todos los actores del territorio, entonces la situación podría comenzar a mejorar.

Así, Alviar asegura que “tenemos los recursos naturales, la biodiversidad y los patrones de consumo que podemos fortalecer en nuestras comunidades, en nuestros territorios” pero **la clave está en la gente** porque “las personas que

ALGUNAS RECOMENDACIONES

- Diseñar e implementar políticas y programas de desarrollo de buena calidad.
 - Aumentar las inversiones en productividad agrícola.
 - Vigorizar la investigación nacional y los programas de extensión.
 - Mejorar la recopilación, difusión y análisis de la información mundial.
 - Hacer de la adaptación agrícola un punto clave en la agenda dentro del proceso internacional de negociación sobre el cambio climático.
 - Reconocer que las mejoras en seguridad alimentaria y en adaptación al cambio climático van de la mano.
 - Apoyar las estrategias locales de adaptación.
- (Recomendaciones del IFPRI)

viven de la agricultura lo tienen claro: saben que tienen que cambiar y lo que hay que hacer es acompañarlas”.

Más información:

Martha Lucía Alviar – PRICA-ADO

Informe: cambio climático. El impacto en la agricultura y los costos de adaptación (IFPRI)
<http://www.ifpri.org/sites/default/files/publications/pr21sp.pdf>

Informe: El Cambio Climático en Argentina
<http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/UC/C/File/09ccargentina.pdf>

HAMBRE, ALIMENTOS Y MERCADO

“La Argentina es una potencia agroalimentaria muy importante”

Así lo asegura el representante de la FAO, Alejandro Flores Nava, en una entrevista exclusiva con Revista RIA. Ciencia y tecnología al servicio del desarrollo nacional.

“Argentina es un referente internacional por el desarrollo tecnológico que ha tenido en el sector agroalimentario. Hoy por hoy, este país tiene mucho que ofrecer al proyectar sus capacidades a otros”.

El representante de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación (FAO, por sus siglas en inglés) en la Argentina, Alejandro Flores Nava, sostiene que este país es un **referente internacional** a la hora de asegurar la alimentación de su población.

“Las políticas públicas que hoy se aplican están muy orientadas a la **inclusión** y a la **igualdad social**. La canalización de recursos para tratar de evitar esas disparidades es muy importante y la Argentina lo está haciendo muy bien”, explica a la RIA.

En este sentido, el gobierno argentino destinó una cifra superior a los **6,5 millones de pesos** para financiar estudios de adaptación y desarrollo de tecnología en valor agregado en origen, maquinarias y herramientas agrícolas, y diversificación productiva.

Debido a la importancia regional de la Argentina, la FAO trabaja junto con

la Cancillería y con el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca con el objetivo de “llegar a un acuerdo con otros países de América Latina para transferir tecnologías y **proyectar la capacidad de este país al mundo**”, señala Flores Nava.

¿Cómo define a la Seguridad Alimentaria?

El concepto de “Seguridad Alimentaria” está constituido por varias dimensiones que incluyen la **disponibilidad**, la **accesibilidad**, la **utilización informada** de los alimentos y la sostenibilidad de estas dimensiones.

“TRATAMOS DE CONCILIAR EL INTERÉS DE PROYECTAR LA CAPACIDAD DE ARGENTINA A OTROS PAÍSES”.



“La Argentina es una potencia agroalimentaria muy importante”



LA FAO participó desde el principio con el conjunto de agencias y programas de las Naciones Unidas para asistir a los países en sus esfuerzos para llegar a cumplir con los Objetivos de Desarrollo del Milenio que fueron planteados en el 2000. No obstante, una serie de eventos (muchos de ellos asociados al clima) permitieron que en 2007/2008 haya habido una **crisis en los precios** de los alimentos que alcanzaron máximos históricos. Ese hecho tuvo un efecto de regresión en lo que se había alcanzado en la región en cuanto al descenso del hambre. El problema ahí fue la falta de acceso a

los alimentos y no la disponibilidad porque esta es una región netamente productora con excedentes importantes de alimentos.

Si hay alimentos para todos... ¿Por qué no hay acceso a ellos?

Una de las razones principales es la **pobreza** que impide a la población más vulnerable contar con los recursos monetarios para comprar alimentos. También porque en situaciones de contingencia y baja producción quien produce, primero satisface las necesidades de su población y el excedente

se exporta. Esta menor disponibilidad repercute en mayores precios. Por ejemplo, si hay un problema de sequía y la cosecha proyectada no se alcanza, automáticamente repercute en una demanda insatisfecha y los precios suben. Las asimetrías en la producción entre los países, sea por diferencias en las condiciones ambientales o bien por las diferencias en su grado de desarrollo relativo del sector agropecuario, determinan igualmente que la distribución sea desbalanceada. Mientras algunos países producen muy en exceso de sus necesidades alimentarias, muchos otros son importadores netos.



“LAS POLÍTICAS PÚBLICAS QUE HOY SE APLICAN EN LA ARGENTINA ESTÁN MUY ORIENTADAS A LA INCLUSIÓN Y A LA IGUALDAD SOCIAL”.



“HABRÍA QUE GENERAR EL CONOCIMIENTO PARA LOGRAR MEJORAR PRODUCTIVAMENTE AQUELLAS ÁREAS QUE HOY SON TOTALMENTE ÁRIDAS”.

¿Qué propone la FAO para combatir el hambre?

La FAO a escala global promueve, en términos simplistas y generales, hacer **una intensificación sostenible** de la producción de alimentos, sobre todo en aquellas regiones que, por sus condiciones geográficas y ambientales, no es factible hacerla.

Existen países como la Argentina que es una potencia agroalimentaria muy importante y hay otros donde hay hambruna propiciada por eventos climáticos extremos ocurridos durante los últimos dos o tres años.

La FAO está muy atenta de esta heterogeneidad para, en función de las capacidades y de ser un Foro donde se discuten diferentes estrategias, poder **erradicar el hambre**.

¿Cómo ve la situación de la Argentina en cuanto a seguridad alimentaria?

Este país es un referente internacional por el desarrollo tecnológico que ha tenido en el sector agroalimentario. Hoy por hoy, la Argentina tiene mucho que ofrecer a terceros países en ese sentido.

Como en todos los países de la región, hay asimetrías. Sin embargo, las políticas públicas que hoy se aplican

acá están muy orientadas a la inclusión y a la igualdad social. Definitivamente, la canalización de recursos para tratar de evitar esas disparidades es muy importante y la Argentina lo está haciendo muy bien. Basta ver cómo han evolucionado localmente aquellas regiones consideradas como las más atrasadas o de menor desarrollo.

El país se ve como un **referente** en muchos aspectos. La economía y el sector agropecuario que han sido históricamente un núcleo de producción importante de alimentos a escala global hoy se refrendan porque tienen cosechas históricas.

¿Qué acciones relacionadas con la seguridad alimentaria que se llevan a cabo en la Argentina considera que podrían ser aplicadas en otros países?

En marzo del año pasado, por iniciativa del gobierno argentino hubo una convocatoria de Ministros de Agricultura africanos que conocieron la realidad argentina y la **potencialidad de transferencia de tecnologías**. La actividad de la FAO se relaciona con cómo proyectar las capacidades locales hacia terceros países que lo necesitan y tienen un grado de desarrollo menor.

Lo que hacemos es conciliar el interés de **proyectar la capacidad de la**

“La Argentina es una potencia agroalimentaria muy importante”



Argentina a otros países y de otros países de recibir esa tecnología. Así, trabajamos junto con la Cancillería y con el Ministerio de Agricultura para llegar a un acuerdo con los países de América Latina.

¿Cuál piensa que es el mayor factor que influye en la falta de seguridad alimentaria?

Creo que las **políticas** son instrumentos que se diseñan desde un gobierno y una sociedad para responder a una realidad, ya sea enfrentando un problema o aprovechando una oportunidad. En ese sentido, no podemos dissociarlas. Creo que las políticas hoy tienen que ser mucho más flexibles para adaptarse a los cambios tan acelerados que hay. El **clima** está jugando un papel fundamental en los cambios que a nivel de la **economía** de muchos países se están dando. Es decir, la producción de alimentos, la de commodities, sus precios, su disponibilidad y la estacionalidad en esa disponibilidad tienen una influencia sustantiva en los arreglos económicos.

El acceso a la **tecnología** también es importante, sobre todo en una era de conocimiento: mientras un país tiene una masa crítica de investigación (de un nivel educativo alto) se gene-

rará más conocimiento que se traducirá, eventualmente, en tecnologías aplicables a todas las áreas de la sociedad. La Argentina lo está haciendo porque también hay una **canalización importante de recursos hacia la ciencia y la tecnología**.

Teniendo en cuenta que en 40 años habrá 9.100 millones de habitantes... ¿Cuál será la importancia de la región en la producción de alimentos?

Si dividiéramos la producción de alimentos básicos entre la cantidad de habitantes, sobra alimento. **No sólo es un problema de producción, sino de distribución** porque es totalmente heterogénea. La región es un granero importantísimo a escala global como China o Estados Unidos.

Desde la perspectiva tecnológica habría que generar el conocimiento que hace falta para lograr mejorar productivamente aquellas áreas que hoy son totalmente áridas o tienen un proceso de desertificación muy fuerte.

En la medida que pongamos a disposición de los países con menos recursos el **desarrollo tecnológico** que ya se da en países con otro nivel de avance; en la medida en que se canalicen esfuerzos para proyectos de captación hídrica o **acceso al agua**, estaremos en mejores

condiciones de afrontar los problemas que se van a recrudecer.

Si nosotros hoy decidiéramos hacer todo lo necesario para revertir los efectos de cambio climático, **sus efectos no se estabilizarían hasta en 50 años**. Ese tiempo es muy largo para la velocidad que se requiere de respuesta ante un problema como la escasez de alimentos y con una población creciente.

Más información:

Alejandro Flores Nava – FAO Argentina
El Dr. Flores Nava es especialista en acuicultura. Ingresó a la FAO en 2009 como Oficial de Pesca y Acuicultura de la Oficina Regional para América Latina y el Caribe y fue nombrado Representante de ese organismo para Argentina en 2011.

“LA ARGENTINA HACE UNA CANALIZACIÓN MUY IMPORTANTE DE RECURSOS HACIA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA”.

Pastillas

Más información en <http://ria.inta.gov.ar>



Minilaboratorio de semillas

Investigadores del INTA desarrollaron un minilaboratorio de alta producción y fácil manejo que permite clasificar semillas en **24 horas** según su **vigor** y **poder germinativo**. “Conocer qué sucederá con la germinación y la emergencia de las semillas es fundamental para explicar ciertas fallas que se puedan registrar en la implantación inicial del cultivo”, señaló el especialista en tecnología de semillas del INTA Oliveros, Roque Craviotto. El **Analizador Automático de Semillas** llamado SAD 9000-S, fue avalado y recomendado por la Asociación Oficial de Analistas de Semillas de los Estados Unidos como equipamiento de laboratorio para la **determinación de calidad**.

Inoculantes genéticamente mejorados

Científicos argentinos secuenciaron el **genoma** de dos **rizobacterias** más utilizadas en el país, la *Azospirillum brasilense* Az39 y la *Bradyrhizobium japonicum* E109, promotoras del crecimiento y el aumento de la productividad de cultivos para comprender aspectos clave sobre su capacidad de **interacción** con las plantas y potenciar su funcionamiento en condiciones agronómicas. “Esto ayudará a dilucidar por qué han sido y son exitosos para la inoculación de **ciertos cultivos** y, así, diseñar futuras estrategias para mejorar su actividad cuando son propuestos a las plantas como productos biológicos”, expresó el investigador del **CONICET** y responsable del proyecto, Fabricio Cassán.

Rosita ISA dio leche maternizada

Técnicos del **INTA Balcarce** y de la Universidad Nacional de San Martín (UNSAM) confirmaron la presencia de dos proteínas de origen humano en la leche producida por la **ternera clonada Rosita ISA** que le otorgan características propia de la leche materna. A través de una **crianza artificial** se introdujeron **genes en el ADN** del bovino para obtener células transgénicas con proteínas humanas: **lisozima y lactoferrina**. “Esta investigación no busca reemplazar el vínculo madre-hijo durante la lactancia, sino que está destinada a aquellos lactantes que no tengan acceso a la leche de sus madres”, expresó uno de los investigadores, Germán Kaiser.



Más biocombustibles con caña de azúcar

Investigadores del INTA estimaron que la oferta de **bioetanol** a partir de caña de azúcar **podría incrementarse hasta 21 veces** de acuerdo a la superficie agroecológicamente apta para ese cultivo. Lo anunciaron durante la jornada auspiciada por la Revista RIA sobre energías renovables en el NOA en el mes de abril en la ciudad de Salta. Si bien existen en el país cada vez más iniciativas para producir bioetanol a base de maíz, lo cierto es que el cultivo de caña es mucho **más eficiente** en términos de producción de energía por hectárea, por lo que el INTA recomienda orientar la producción en ese sentido.

La evolución del genoma del tomate

Investigadores del INTA Castelar participaron en la secuenciación del genoma del tomate en un estudio que develó que el fruto experimentó una división celular que llevó a la **triplicación de su información**. El contenido genético reproducido se modificó y se adaptó a nuevas funciones. Algunas características quedaron obsoletas y se reorganizaron para generar cambios que **beneficien a la especie** o generen nuevas. El estudio también permitió conocer el orden y la estructura de los 35 mil genes que lo conforman, por lo que se podrán perfeccionar otras especies de la familia Solanácea como la papa, la berenjena y los pimientos.



Variabilidad de la viabilidad y vigor de lotes de semillas de soja con presencia de simientes verdes pertenecientes a cultivares de distintos grupos de maduración producidos en dos fechas de siembra

GALLO, C.¹; ENRICO, J.M.²; CRAVIOTTO, R.¹; ARANGO, M.¹

RESUMEN

Temperaturas superiores a los 32 °C combinadas con estrés hídrico durante el llenado de granos de soja pueden provocar la aparición de semillas verdes. Estas simientes pueden ocasionar fallas en la germinación de los lotes, problemas durante el acondicionamiento y dificultades para el almacenamiento. Los objetivos del presente trabajo fueron determinar la calidad fisiológica de lotes de semillas de soja pertenecientes a distintos grupos de madurez, sembrados en dos fechas de siembras y con distintos contenidos de semillas verdes y estimar la viabilidad y el vigor de las semillas verdes. Se emplearon 5 lotes de semillas de cultivares de grupos de madurez III y IV sembrados tempranamente, con diferentes % de semillas verdes (4, 11, 16, 38 y 53%) y 5 lotes de grupo de madurez VI y VII sembrados tardíamente, con 3, 7, 11, 13 y 19% de semillas verdes. La calidad fisiológica fue evaluada mediante la Prueba Topográfica por Tetrazolio. Se utilizaron 4 repeticiones de 50 semillas para cada cultivar. El porcentaje de daño ambiental fue $\geq 52\%$ en todos los cultivares. En las semillas de los grupos de madurez sembrados tempranamente los daños ambientales fueron extensos y ubicados en el eje embrionario. En las semillas de los grupos de madurez sembrados tardíamente, las lesiones ambientales fueron de poca extensión y superficiales. Las semillas verdes que permanecieron sin tinción en la PTT fueron clasificadas como no viables. Todos los materiales evaluados, presentaron un alto porcentaje de daño ambiental, siendo los cultivares de GM III y IV los que presentaron daños más críticos. Las semillas verdes pueden ser viables cuando el eje embrionario y la zona de unión de éste con los cotiledones no presentan daños profundos ni deterioro fisiológico.

Palabras clave: calidad, semilla, *Glycine max*, tetrazolio, ambiente.

ABSTRACT

Temperatures over 32°C combined with hydric stress during soybean seed filling can cause the appearance of green seeds. These seeds can cause occasional failures in lot germination, problems during conditioning and difficulties in storing. The objectives of the present work were to determine the physiological quality of soybean seed lots belonging to different maturity groups sown in two planting dates and with different contents of green seeds, and to estimate the viability and vigor of the green seeds. Five seed lots from early planting

¹Tecnología de Semillas, INTA EEA Oliveros, Ruta N.º 11, Km 353, 2206 Oliveros, Argentina. Correo electrónico: cgallo@correo.inta.gov.ar

²Manejo de Cultivos, INTA EEA Oliveros, Ruta N.º 11, Km 353, 2206 Oliveros, Argentina. Correo electrónico: jmenrico@correo.inta.gov.ar

maturity groups III and IV cultivars were utilized, with different % of green seeds (4, 11, 16, 38 and 53%) and 5 lots of late planting maturity groups VI and VII, with 3, 7, 11, 13 and 19% of green seeds. Physiological quality was evaluated using the Topographical Tetrazolium Test. Four repetitions of 50 seeds were used for each cultivar. The percentage of environmental damage was $\geq 52\%$ in all cultivars. In seeds from early planting maturity groups, environmental damages were extensive and located in the embryonic axis. In seeds from late planting maturity groups, environmental lesions were less extensive and superficial. Green seeds that were not stained in the TTT were classified as non-viable. All the material evaluated showed a high percentage of environmental damage, but the MG III and IV cultivars presented the greatest critical damage. Green seeds can be viable when the embryonic axis and the proximal area where it joins the cotyledons do not present deep or physiological damage.

Keywords: quality, seed, *Glycine max*, tetrazolium, environment.

INTRODUCCIÓN

Las temperaturas superiores a 32 °C, conjugadas con períodos prolongados de déficit hídrico en el suelo durante el llenado de los granos, son condiciones ambientales que pueden provocar desbalances fisiológicos en las plantas de soja (Wiebold, 2002). Durante la formación de las semillas, los tejidos de las vainas y del tegumento de las simientes se contraen y elongan como resultado de fluctuaciones de humedad y temperatura que ocurren durante todo el día (Arango *et al.*, 2006). Este proceso de hidratación y deshidratación que se produce en las estructuras seminales, origina daños denominados ambientales que afectan a la calidad fisiológica. Frente a estas condiciones estresantes, los mecanismos enzimáticos que degradan los pigmentos clorofilicos acumulados en las semillas durante su desarrollo pueden ver alterado su normal funcionamiento generando la aparición de simientes verdes al final del ciclo del cultivo (Gallo *et al.*, 2009). La viabilidad de las semillas verdes depende de la localización, profundidad y extensión de los tejidos con clorofila. La cantidad de tejido cotiledonar verde puede ser limitante para la germinación ya que indica falta de maduración de esos tejidos y por lo tanto, la movilización de las reservas hacia el eje embrionario puede ser afectada (Zorato *et al.*, 2007). Las semillas verdes también pueden ocasionar problemas durante el acondicionamiento y dificultades para el almacenamiento (Craviotto *et al.*, 2001).

Scheeren *et al.* (2005), estudiaron la relación entre la presencia de clorofila y la maduración de las semillas de soja y evaluaron la calidad fisiológica de las semillas con diferente coloración concluyendo que las simientes verdes poseen una calidad fisiológica inferior a las semillas amarillas. Sin embargo, Craviotto *et al.* (2006a) determinaron que las semillas de soja pueden ser fisiológicamente maduras pero presentar coloración verde en algunas áreas y, por lo tanto, lotes de simientes que presentan elevados contenidos de semillas verdes pueden poseer un alto valor de germinación. Las disímiles condiciones fisiológicas que pueden presentar las semillas verdes conllevan a la necesidad de identificar y cuantificar las simientes verdes capaces de germinar a fin de definir si el destino del lote

de semillas será la siembra. Asimismo, debido a la influencia del ambiente sobre la calidad final de las semillas de soja, la correcta elección del Grupo de Madurez (GM) de los cultivares, y la Fecha de Siembra (FS) adquieren gran importancia en la siembra.

Los objetivos del presente trabajo fueron a) determinar la calidad fisiológica, en términos de viabilidad y vigor, de lotes de semillas de soja pertenecientes a distintos grupos de madurez, sembrados en dos fechas de siembras y con distintos contenidos de semillas verdes y b) estimar la viabilidad y el vigor de las semillas verdes.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo fue realizado en el Laboratorio de Semillas de la Estación Experimental Agropecuaria Oliveros del INTA (EEA Oliveros). Las muestras fueron obtenidas de ensayos de la Red Nacional de Cultivares de Soja en la EEA Oliveros.

Se emplearon 5 lotes de semillas con diferentes contenidos de semillas verdes, pertenecientes a cultivares de GM III y IV sembrados tempranamente el 17 de octubre de 2007 y 5 lotes de semillas de los GM VI y VII sembrados tardíamente el 20 de diciembre de 2007 (tabla 1).

Sobre 50 gramos de semillas enteras se determinó el porcentaje de semillas verdes para cada cultivar. Las semillas con tonalidad verde se separaron manualmente. La identificación de las semillas verdes se realizó de manera visual y fueron seleccionadas todas las simientes con tonalidad verde de diferente intensidad y distribuidas en áreas de distinta extensión sobre el tegumento.

La Viabilidad y el Vigor de las semillas de soja fueron evaluados mediante la Prueba Topográfica por Tetrazolio (PTT). Esta prueba, basada en la reacción de coloración de los tejidos vivos en presencia de una solución de sal de cloruro de 2,3,5-trifenil tetrazolio, permitió además diferenciar distintos tipos de daños en las semillas. En presencia de la solución de la sal de tetrazolio, se expresa la

Cultivar	GM	Semillas Verdes (%)
NK 43	IV	4
SPS 3900	III	11
NK 34	III	16
NK 32	III	38
A 4613	IV	53
TOB 7800	VII	3
RMO 67	VII	7
MERCEDES 76	VII	11
NA 7708 RG	VII	13
A 6411 RG	VI	19

Tabla 1. Cultivares, Grupos de Madurez y Porcentaje de semillas verdes de las muestras analizadas.

actividad de las enzimas respiratorias deshidrogenadas en los tejidos vivos de las semillas. Estas enzimas catalizan la reacción de los iones hidrógeno liberados por la respiración de los tejidos vivos con la sal de tetrazolio, formando una sustancia estable, no difusible, de coloración rosada –rojiza, denominada trifenil formazan que permite distinguir en las semillas a las áreas vivas (áreas de color rojo) de las áreas muertas que no poseen coloración (Hampton y Tekrony, 1995).

Se utilizaron 4 repeticiones de 50 semillas para cada cultivar. Cada repetición fue preacondicionada en rollos de 4 hojas de papel toalla humedecidas a saturación (Scott Brand, Airflex, Kimberly-Clark). Los rollos se colocaron en bolsas de polietileno de 100 micrones y se mantuvieron a temperatura ambiente durante 18 horas (AOSA, 2000). Finalizado el período de preacondicionamiento, se sumergieron las semillas en la solución de tetrazolio al 0.1%, en baño termostático (Vicking, Modelo Masson, Buenos Aires, Argentina) a 35 °C, durante 2.5 horas y en oscuridad. Luego de la incubación, las semillas se enjuagaron con abundante agua corriente y se evaluaron individualmente. Los colores que se observaron en las semillas permitieron identificar distintos estados fisiológicos de las mismas: rosado pálido (tejido sano y vigoroso); rojo intenso (tejido en proceso de deterioro); blanco mate (tejido muerto) y verde (tejido inmaduro).

Las variables observadas en cada semilla fueron: viabilidad, vigor, daños ambientales y semillas verdes sin tinción. Se consideró la extensión, profundidad y la ubicación del tejido deteriorado o muerto y del tejido verde. El daño ambiental fue identificado como fuelles, garras y/o bandas de tejidos muertos en ambos cotiledones (fig.1); y también como tejidos rojos intenso indicando un importante deterioro (fig.2).

Las semillas fueron clasificadas por su viabilidad en cuatro categorías: 1) semillas viables sin defectos, 2) semillas



Figura 1. Semillas teñidas con fuelles de daño ambiental.

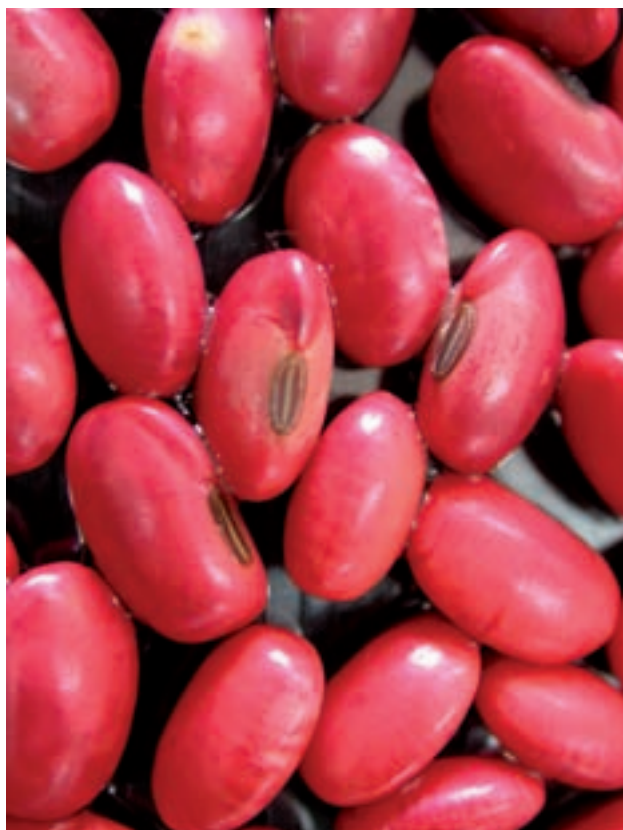


Figura 2. Semillas completamente teñidas con coloración rojo intenso.

viables con defectos leves, 3) semillas viables con defectos moderados y 4) semillas viables con defectos severos.

La clasificación de las semillas en los distintos niveles de viabilidad se realizó según: a) la ausencia o presencia de daño ambiental y/o tejidos verdes sin tinción y su localización, extensión y profundidad; b) el estado fisiológico del eje embrionario y cotiledones según la coloración y c) la homogeneidad y la turgencia de los tejidos (Hampton y Tekrony, 1995).

Los resultados de viabilidad fueron expresados como Porcentaje de Semillas Viables, obtenido de la sumatoria de las cuatro categorías de viabilidad.

Para determinar el vigor, las semillas viables sin defectos fueron consideradas como semillas de vigor alto, mientras que las semillas viables defectos leves y viables defectos moderados fueron consideradas como semillas de vigor medio y vigor bajo respectivamente (Craviotto y Arango, 2006; Craviotto *et al.*, 2008). Se consideraron a las semillas de vigor alto, medio y bajo para calcular el porcentaje de semillas vigorosas.

Los datos se expresaron en porcentajes y fueron transformados usando el arco seno de la raíz cuadrada de la proporción ($\text{arc sen } \sqrt{x/100}$). Se realizó un análisis de inferencia basada en dos muestras (Prueba T), con un nivel de significación del 0.05. Se utilizó el software estadístico InfoStat (InfoStat, Grupo InfoStat/FCA. Universidad Nacional de Córdoba, 2007).

RESULTADOS

Para conocer la disponibilidad hídrica del suelo se utilizaron datos provenientes de balances hídricos diarios de ensayos de seguimiento de agua en el suelo en la EEA Oliveros durante la campaña 2007/08 en cultivos de soja sembrados el 10 de octubre (siembra temprana) (fig.3) y

el 14 de diciembre (siembra tardía) (fig.4). Los cultivares empleados corresponden al GM III y VI.

En la siembra temprana, para los GM III y IV, el período de llenado (R5 – R7) coincidió con el mes de enero y principios de febrero donde se registraron temperaturas máximas superiores a los 30 °C y estrés hídrico. En los cultivares de GM VI y VII, el llenado de granos se produjo con temperaturas máximas que oscilaron entre 27 °C y 32 °C (fig.5). A mediados de marzo, se registraron heladas tempranas que ocasionaron la muerte de plantas antes de finalizar el ciclo del cultivo en los GM VI y VII.

Los gráficos de balance hídrico diario (fig. 3 y 4) muestran la evolución del contenido de agua disponible para el cultivar DM 3700 (GM III) y para el cultivar A 6411 (GM VI) en los que se realizó el seguimiento de humedad durante el ciclo del cultivo (Andriani, 2010). Se observa la línea de capacidad máxima de agua disponible (AUM) del suelo explorado por las raíces y la línea de estrés hídrico (L. Str.) 50% del agua útil máxima, correspondiente a ese volumen de suelo. Cuando el agua disponible en el suelo para los cultivares se encontró por debajo de la línea de estrés hídrico, los mismos se encontraron en déficit hídrico y cuanto mayor es la diferencia mayor es la intensidad del mismo. Los sitios experimentales tuvieron distintas condiciones hídricas en el suelo durante el ciclo del cultivo.

Los datos agrometeorológicos prevalentes durante el período R5 – R7 permitieron concluir que las plantas de todos los materiales sembrados en ambas FS sufrieron estrés hídrico y térmico con distintos niveles de intensidad (fig.5). Los cultivos sembrados tardíamente también sufrieron la ocurrencia de heladas tempranas en R6.

La pérdida de viabilidad y vigor de las semillas de los GM sembrados tempranamente estaría explicada por el alto porcentaje de semillas con daños ambientales (entre 54% y 85%) ubicados en zonas críticas para la viabilidad como son la región de unión del eje embrionario con los

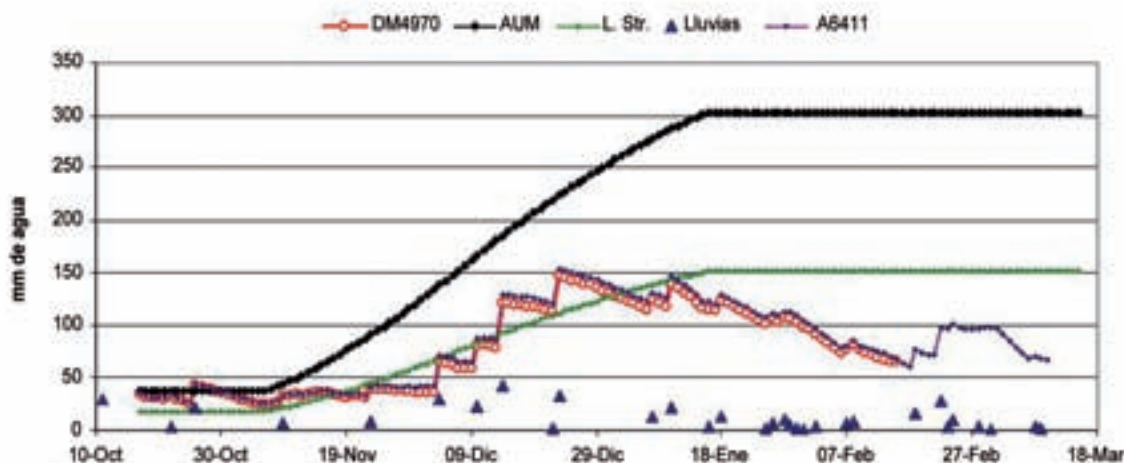


Figura 3. Balance hídrico diario en soja temprana. AUM: agua útil máxima. L.Str.: límite de estrés hídrico. Agua útil existente para cultivares DM 3700 y A 6411.

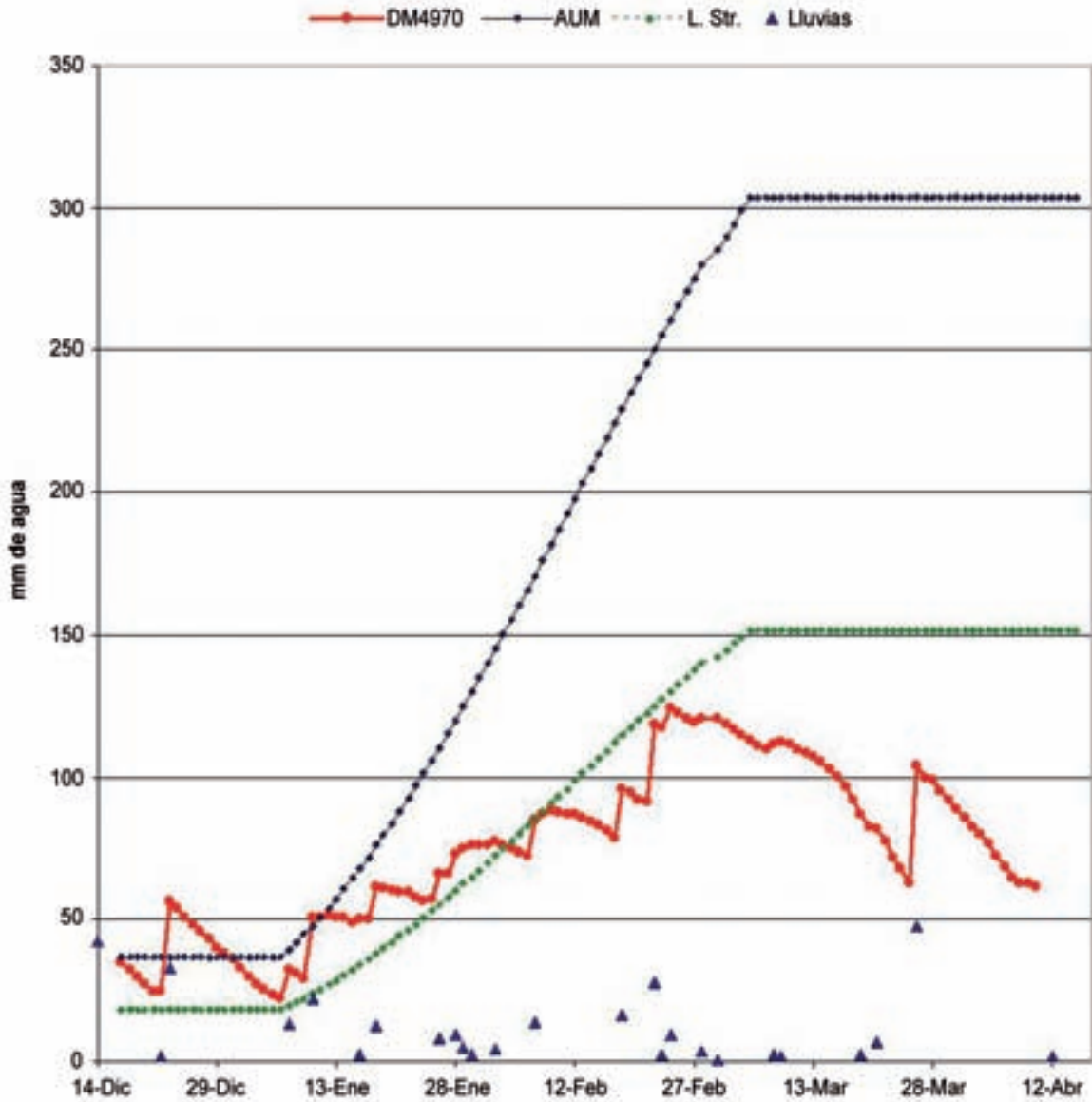


Figura 4. Balance hídrico diario en soja de 2da. AUM: agua útil máxima. L.Str.: límite de estrés hídrico. Agua útil existente para cultivar DM 4970.

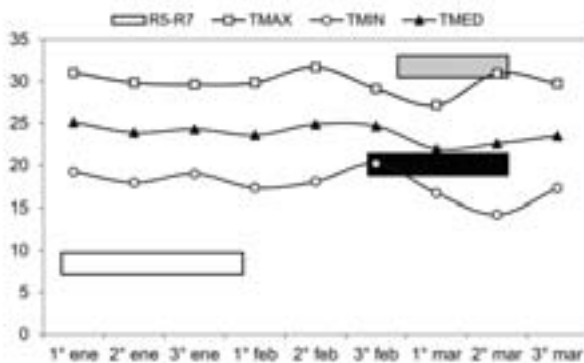


Figura 5. Temperaturas medias máximas (Tmax), medias (Tmed) y mínima (Tmin) durante el período de los estadios R5-R7 de los cultivares de GM III y IV (rectángulo blanco), GM VI (rectángulo negro) y GM VII (rectángulo gris). Campaña 2007/08.

cotiledones, el cilindro central y corteza del eje radícula-hipocótilo, y la plúmula y que permitieron clasificarlas como no viables (tabla 2).

Los cv A 4613, NK 32 y NK 34 presentaron los valores más altos de viabilidad respecto al resto de los cvs sembrados en la misma fecha. Con respecto al vigor, el cv. A 4613 difirió significativamente del resto de los cv manifestando el mayor % de semillas vigorosas. Sin embargo, en todos los cvs, los valores de viabilidad y vigor indicaron baja calidad fisiológica.

En todos los materiales evaluados, independientemente del cultivar y de la FS, se observaron valores de daño ambiental $\geq 52\%$ (tabla 2). Sin embargo, en los cultivares sembrados tempranamente el daño ambiental fue de gran extensión y estuvo ubicado en el eje embrionario afectando a la corteza y al cilindro central, explicando los bajos

Fecha de Siembra	Cultivar	GM	Viabilidad (%)	Vigor (%)	Daño Ambiental (&)	Semillas verdes sin tinción (%)
Temprana	NK 43	IV	42b	28c	83b	29c
	SPS 3900	III	42b	26bc	85b	19bc
	NK 34	III	52ab	35b	74b	7a
	NK 32	III	57a	34bc	85b	9a
	A 4613	IV	61a	55a	54a	4a
Tardía	TOB 7800	VII	87c	80bc	65b	1a
	RMO 67	VII	84bc	72abcd	92a	7b
	MERCEDES 76	VII	73abc	62ab	76ab	9bc
	NA 7708 RG	VII	71abc	66abc	52b	7b
	A 6411 RG	VI	74a	56a	92a	1a

Valores acompañados de una misma letra, en la columna y para una misma FS, no difieren entre si por la prueba T($\alpha=0,05$)

Tabla 2. Porcentajes de Viabilidad, Vigor, Daño Ambiental y Semillas con tejidos verdes sin tinción, de semillas de soja de diferentes cultivares y grupos de madurez (GM), sembrados en dos fechas de siembra (temprana y tardía) obtenidos en la Prueba por Tetrazolio.



Figura 6. Semilla verde no viable. Eje embrionario muy deteriorado y cotiledones sin tinción.



Figura 7. Semilla verde no viable. Eje embrionario muerto y cotiledones sin tinción.

valores de viabilidad y vigor. El cv. A 4613 se diferenció estadísticamente del resto de los materiales manifestando el menor % de semillas dañadas por el ambiente.

En el caso de los materiales sembrados tardíamente, el daño ambiental se caracterizó por ser poco extenso y superficial, permitiendo clasificar a las semillas como viables con defectos leves o viables con defectos moderados. Estos dos niveles de viabilidad no fueron limitantes de la

producción de plántulas y permitieron explicar los valores de viabilidad superiores al 70% (tabla 2).

Con respecto al porcentaje de simientes verdes sin tinción, los materiales evaluados en la FS tardía, manifestaron valores comprendidos entre el 1% y el 9%. En la FS temprana, con excepción de los cultivares NK 43 y SPS 3900 que presentaron 29% y 19% respectivamente, los demás cvs no difirieron estadísticamente de entre (tabla 2).

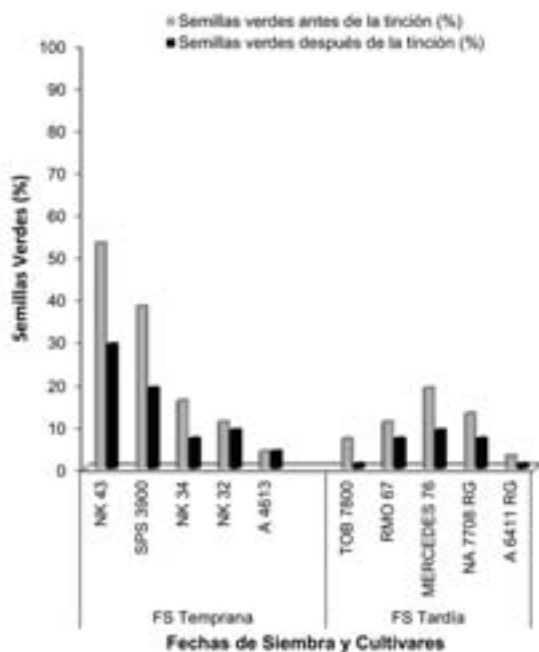


Figura 8. Porcentajes de semillas verdes antes de la tinción y después de la tinción en la Prueba de Tetrazolio correspondiente a diferentes cultivares sembrados en dos fechas de siembra (FS).

En todas las muestras analizadas, las semillas verdes que permanecieron sin tinción en la PTT fueron clasificadas como no viables debido a la existencia de ejes embrionarios con falta total de tinción y presencia de tejidos flácidos, o bien con coloración rojo intensa que denota un activo deterioro. Se observaron semillas verdes con ejes embrionarios deteriorados o muertos y cotiledones con coloración verde en la totalidad de su superficie (fig. 6 y fig. 7).

Los porcentajes de semillas verdes observados en las muestras antes de iniciar la PTT y los porcentajes de semillas con tejidos verdes sin tinción presentes al finalizar el tiempo de tinción difieren estadísticamente entre sí en ambas FS, siendo el valor $p \leq 0.0001$ para la FS temprana y $p = 0.0131$ para la FS tardía (fig.8)

Las muestras analizadas presentaron diferentes contenidos de semillas verdes antes de ser sometidas a la PTT, siendo los cultivares SPS 3900 y NK 43, pertenecientes a los GM III y IV respectivamente, los que manifestaron los mayores porcentajes de semillas verdes (38% y 53% respectivamente). El resto de los cultivares manifestaron contenidos de semillas verdes iguales o inferiores a 19%, independientemente de la FS (fig.8).

En los materiales de la FS temprana, los cultivares NK 43, SPS 3900 y NK 34, aproximadamente el 50% de las semillas verdes de las muestras permanecieron sin tinción al final de la PTT, y fueron clasificadas como semillas no viables. Por otro lado, en el cv NK 32 el 81% de las semillas verdes de la muestra permaneció sin tinción y en el cv A 4613 todas las semillas verdes de la muestra fueron no viables debido a que sus tejidos verdes permanecieron sin tinción al final de la PTT (fig.8).

En la FS tardía, los cultivares RMO 67, Mercedes 76 y NA 7708 RG tuvieron aproximadamente un 50% de las semillas verdes de la muestra que no se tiñeron al final de la PTT; mientras que en los cultivares TOB 7800 y A 6411 RG solamente el 14% y 33% de las semillas verdes de la muestra respectivamente no se tiñeron al final de la PTT (fig.8).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Entre los cultivares estudiados se encontraron diferencias significativas con respecto al contenido de semillas verdes, siendo SPS 3900 y NK 43, pertenecientes a los GM III y IV los que manifestaron los valores más elevados. Ensayos realizados por Cencig y Villar (2006) también demostraron que los cultivares de GM III y GM IV sembrados en fechas tempranas muestran mayor tendencia a presentar elevados porcentajes de granos verdes.

Los resultados obtenidos indicarían que los tejidos verdes pueden poseer actividad respiratoria y teñirse durante la PTT, mientras que otras estructuras seminales verdes son incapaces de reducir la sal de tetrazolio, permaneciendo sin tinción. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Craviotto *et al.*, (2006b), quienes identificaron un alto porcentaje de semillas de soja con grandes áreas de color verde que no lograron alcanzar la tinción característica del tetrazolio. La ausencia de tinción de estos tejidos verdes demostró fallas en la reducción de la sal de tetrazolio a formazan por parte del sistema enzimático respiratorio de las semillas verdes.

Además de las particularidades manifestadas por las semillas verdes respecto a la tinción de los tejidos verdes, el daño ambiental se manifestó con iguales síntomas en todas las semillas del lote, independientemente del grado de madurez de los tejidos seminales. Sin embargo, la influencia del daño ambiental sobre la pérdida de viabilidad y vigor dependió de la estructura seminal afectada por el mismo. Así también fue manifestado por França Neto *et al.* (2005) y Zorato *et al.* (2007) quienes observaron semillas de soja con elevados porcentajes de daño ambiental, y argumentaron que según la intensidad del daño ambiental sobre estructuras seminales esenciales, se produce una reducción del vigor y de la germinación de los lotes de semillas. Según Craviotto *et al.* (2008), el grado de penetración del daño en el interior del eje radícula-hipocótilo, y que afecte la integridad de la corteza y del cilindro central, redundará en un grave defecto para la futura plántula e incluso la no producción de ella.

Todos los materiales evaluados, independientemente de la fecha de siembra, presentaron un alto porcentaje de daño ambiental. Este daño se manifestó con diferente nivel de gravedad, siendo los cultivares de GM III y IV los que presentaron daños más críticos para la viabilidad y el vigor, reduciendo la calidad fisiológica.

Los cultivares NK 43 y SPS 3900 presentaron los mayores niveles de semillas verdes no viables y de daño ambiental y la calidad fisiológica más baja respecto al resto de los cultivares.

El porcentaje de semillas verdes no viables fue variable entre los materiales evaluados, independientemente del contenido de semillas verdes inicial. Esto permite concluir que las semillas verdes de soja pueden ser viables cuando el eje embrionario y la zona de unión de éste con los cotiledones no presentan daños profundos ni deterioro fisiológico.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ing. Agr. M.Sc. José Andriani por el aporte de los datos agrometeorológicos.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDRIANI, J. 2010. BAHICU. Software Balance Hídrico de Cultivos Extensivos. INTA, Argentina.
- ARANGO, M.R.; SALINAS, A.R.; CRAVIOTTO, R.M.; FERRARI, S.A.; BISARO, V.; MONTERO, M.S. 2006. Description of the environmental damage on soybean seeds (*Glycine max* (L) Merr). *Seed Science and Technology*, 34: 133 – 141.
- AOSA. 2000. Association of Official Seed Analysts. *Tetrazolium Testing Handbook*, 294 p.
- CENCIG, G.F.; VILLAR EZCURRA, J.L. 2006. Efecto de la fecha de siembra y del grupo de maduración sobre la manifestación de grano verde y grano dañado en soja, campaña 2004/05. III Congreso de Soja del Mercosur, Rosario, Argentina, pp. 13 -16.
- CRAVIOTTO, R.M.; ARANGO, M.R. 2001. Calidad de semilla 2001. Odisea de la soja. *Revista APOSGRAN*, 2:10-13.
- CRAVIOTTO, R.M.; ARANGO, M.R. 2006a. Simiente de soja: Nuevos patrones en gestión de calidad por tetrazolio. III Congreso de Soja del MERCOSUR, Rosario, Argentina, pp. 141-145.
- CRAVIOTTO, R.M.; SALINAS, A.R.; ARANGO, M.R.; GALLO, C. 2006b. Diagnóstico por tetrazolio en semillas de soja verdes arrugadas y abolladas. III Congreso de Soja del MERCOSUR, Rosario, Argentina. pp.146 – 149.
- CRAVIOTTO, R.M.; ARANGO, M.R.; GALLO, C. 2008. Prueba Topográfica por Tetrazolio en Soja. *Revista Análisis de Semillas. Suplemento especial N.º 1. 1.º ed.*, Rosario, Argentina 96 p.
- FRANÇANETO, J.B.; PÁDUA, G.P.; CARVALHO, M.L.M.; COSTA, O.; BRUMATTI, P.S.R.; KRZYZANOWSKI, F.C.; COSTA, N.P.; HENNING, A.A.; SANCHES, D.P. 2005. Semente esverdeada de soja e sua qualidade fisiológica. *EMBRAPA Soja. Circular Técnica N.º 38*. p.8
- GALLO, C.; CRAVIOTTO, R.M.; ARANGO, M.R.; GONZALEZ, L.A. 2009. Un problema de calidad: semillas verdes de soja. *Revista Análisis de Semillas* 3 (2), 56 a 60.
- HAMPTON, J.G.; TEKRONY, D.M. 1995. *Handbook of vigour test methods*. International Seed Testing Association. 3º ed. Zurich. 117 p.
- INFOSTAT. 2007. InfoStat, versión 2007. Grupo InfoStat/FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Ed. Brujas, Córdoba, Argentina.
- SCHEEREN, B.R.; TOLENTINO, C.F.; RODRIGUES, E.B. 2005. Calidad fisiológica de semillas verdes de soja en función a la coloración del tegumento. *Informativo ABRATES* 15. p.140.
- WIEBOLD B. 2002. Soybean plants killed before maturity possess grain that remains green. (<http://www.plantsci.missouri.edu/soyx/soyfacts/green.PDF>, verificado: abril de 2002).
- ZORATO, M.F.; PESKE, S.T.; TAKEDA, C.; FRANÇA NETO, J.B. 2007. Sementes esverdeadas em soja: Testes alternativos para determinar a sua qualidade. *Revista Brasileira de Sementes* 29, 01-10.

Nitrato en pecíolo e índice verde en estratos del canopeo del cultivo de papa

MARTÍNEZ J.P.¹; GILETTO, C.M.¹; ECHEVERRÍA, H.E.¹

RESUMEN

La concentración de nitrato en los pecíolos (NBS) y el Índice Verde (IV) medidos en las hojas inferiores del canopeo de papa podrían usarse como alternativa de los métodos tradicionales de evaluación del estado nutricional nitrogenado. Se realizaron dos ensayos con las variedades de papa Innovator y Umatilla Russet durante la campaña agrícola 2006-2007. Se evaluaron cuatro tratamientos de fertilización con nitrógeno (N) (N0=testigo, N1=62 kg ha⁻¹; N2=125 kg ha⁻¹ y N3=250 kg ha⁻¹). En estadíos iniciales del ciclo se determinó la NBS y el IV en el estrato superior e inferior del canopeo y se los relacionó con la dosis de N y el N total acumulado por el cultivo. La NBS determinó con mayor precisión el estatus nitrogenado en etapas tempranas del ciclo que el IV. La respuesta de NBS a la dosis de N y al N acumulado varió con el estrato del canopeo; siendo más sensible en el estrato inferior y menor en el superior. El IV no varió con la oferta de N ni entre estratos del canopeo. Por lo tanto, la determinación del IV en las hojas inferiores no mejoró la sensibilidad de este método de diagnóstico. En cambio, el NBS de las hojas inferiores del canopeo, por demostrar mayor sensibilidad a los cambios en el aporte de N y en la materia seca total que en las hojas superiores, podría ser utilizada como método promisorio para diagnosticar el estatus nitrogenado en papa.

Palabras clave: *Solanum tuberosum*, variedades de papa, nitrógeno.

ABSTRACT

The nitrate concentration in the petiole (NDB) and green index (GI), measured at early stages of the cycle in the lower layer, may be used as an alternative to the traditional methods to evaluate nitrogen (N) nutritional status. Two experiments were carried out using the varieties of potato Innovator and Umatilla Russet during the 2006-2007 growing season. Four N treatments (N0=control; N1=62 kg ha⁻¹; N2=125 kg ha⁻¹ y N3=250 kg ha⁻¹) were evaluated in each one of them. At early stages of the cycle, the NDB and the GI in upper and lower layer of the canopy were determined. These two indexes were then related to N rate and total N accumulated by the crop. The NDB determined the N nutritional status in early stages of the cycle with higher precision than GI. The response of NDB to N rate and N accumulated varied among canopy layers, being higher in the lower one. The GI was not affected by N doses or canopy layers. Therefore, the determination of GI in the lower leaves did not improve the sensibility of this diagnostic method. However, as NDB in the lower layer showed a higher sensibility to changes in N availability and total dry matter relative to the upper layer, it can be used as a promising method to diagnose N nutritional status in potato crops.

Keywords: *Solanum tuberosum*, potato variety, nitrogen.

¹Unidad Integrada Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)-Universidad Nacional Mar del Plata (UNMdP), Facultad de Ciencias Agrarias (FCA). Ruta 226, km 73,5 Balcarce. Correo electrónico: cmgiletto@balcarce.inta.gov.ar

INTRODUCCIÓN

El estado de nutrición nitrogenado del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) tradicionalmente se evalúa a través de la determinación de la concentración de Nitrato en Base Seca (NBS) en el pecíolo de la primera hoja totalmente expandida del tallo principal desde el tope del canopeo y del Índice Verde (IV) en el folíolo terminal de la misma hoja (Booij *et al.*, 2000). Vitosh y Silva (1996) determinaron que para obtener el máximo rendimiento, los niveles de NBS deben ser superiores a 17 y 11 g kg⁻¹ para las etapas de inicio de tuberización y de llenado de tubérculos; respectivamente. En el sudeste de la provincia de Buenos Aires, Rattín *et al.* (2004) y Giletto *et al.* (2006) establecieron la evolución durante el ciclo de NBS y fijaron los umbrales de suficiencia sólo para la etapa de llenado de tubérculos. En los estadios tempranos del ciclo, el NBS no se asoció con la oferta de N ni con el rendimiento del cultivo. Booij *et al.* (2000) recomendaron que durante las primeras 7 u 8 semanas del cultivo, los valores de IV debieran ser superiores a 40 – 41 unidades SPAD, y Haverkort y MacKerron (2000) propusieron como nivel crítico 43 unidades SPAD, para el inicio de tuberización. En el sudeste bonaerense, el IV permitió estimar aceptablemente el estado de nutrición nitrogenada en papa al final del ciclo (Giletto, 2002), coincidiendo con lo determinado en maíz y trigo (Echeverría y Studdert, 2001). El IV, independientemente de la disponibilidad de N, es afectado por diversos factores como el cultivar, el estado de crecimiento, el tipo de suelo, las enfermedades foliares y las condiciones ambientales. Para minimizar la influencia causada por los mismos se recomienda relativizar el IV a un índice de suficiencia de N (ISN-IV) (Olivier *et al.*, 2006). Snapp *et al.* (2002) determinaron que el ISN-IV debe ser superior al 96% a lo largo del ciclo del cultivo para un adecuado estado nutricional y, si fuera menor a éste umbral, recomiendan corregir la deficiencia fertilizando con N. En el sudeste de la provincia de Buenos Aires, Díaz (2008) estableció umbrales de suficiencia de N sólo para la etapa de llenado de tubérculos, obteniendo valores de 93,7 y 91% para los 89 y 103 días después de la plantación (DDP), respectivamente. Aún no se han podido establecer asociaciones estrechas entre la concentración de nitrato, el IV y/o ISN-IV con el rendimiento relativo en etapas tempranas del ciclo, como para determinar el umbral o rango crítico en papa durante el período en el que es posible intervenir para corregir la deficiencia de N (Giletto, 2002; Giletto *et al.*, 2006; Díaz, 2008).

Una alternativa para mejorar la predicción del estado nutricional en esta etapa del ciclo, podría ser que al muestreo tradicional se lo reemplace con la determinación del NBS e IV en otra hoja más sensible a los cambios en la disponibilidad de N. Millard y Catt (1988) concluyeron que el nitrato medido en las hojas del estrato inferior fue más sensible a los cambios en el aporte de N que el medido en hojas del estrato superior. MacKerron *et al.* (1995) reportaron que ante dosis de N por encima del óptimo, el exceso de N es almacenado como nitrato en las hojas inferiores. Por lo tanto, muestrear la primera hoja totalmente expandida del tallo principal desde el tope del canopeo en etapas

tempranas del ciclo probablemente no sea suficiente para detectar diferencias entre plantas que crecen con diferente oferta de N. Por esta razón, se plantea como hipótesis que el NBS y el IV determinados en las hojas del estrato inferior del canopeo del cultivo de papa son más sensibles a los cambios en la disponibilidad de N que el NBS y el IV determinados en las hojas del estrato superior. Para probar esta hipótesis, se plantea como objetivo estimar el estatus nitrogenado en la etapa de crecimiento vegetativo del cultivo de papa utilizando el NBS y el IV determinado en las hojas inferiores del canopeo y comparar esta estimación con la obtenida a partir de la determinación de estos indicadores en las hojas superiores.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron dos ensayos de fertilización en papa, uno con la variedad de ciclo corto Innovator (INN) (110-120 días) (Caldiz, 2004) y el otro con la variedad de ciclo intermedio Umatilla Russet (UR) (130 días) (Caldiz, 2005). Se realizaron durante 2006-2007 en un lote del campo experimental de McCain, en Balcarce (37°45' S; 58°18' W, 130 msnm), Buenos Aires, en un suelo Argiudol típico sin limitaciones en su capacidad de uso. En la tabla 1 se resumen algunas características del suelo al momento de la plantación y del manejo del cultivo.

La preparación del suelo se realizó con rastra de discos, cincel y vibrocultivador y posteriormente, antes que el cultivo alcance el 100% de cobertura, se realizó el aporque. Durante el desarrollo del cultivo se controlaron plagas y malezas, con métodos químicos y combinados mecánicos y químicos. Se hicieron aplicaciones periódicas de fungicidas para la prevención de enfermedades. Se regó desde mediados de noviembre hasta mediados de febrero con equipo de avance frontal. El diseño experimental fue en bloques completos y aleatorizados (BCA) con tres repeticiones y las unidades experimentales fueron parcelas de 12 surcos distanciados a 0,85 m y de 12 m de longitud, con cuatro tratamientos de fertilización (tabla 2). La combinación de dosis y momento de fertilización permitió contar con un amplio rango de disponibilidad de N a lo largo del ciclo del cultivo. La fuente de N fue urea granulada [(NH₂)₂CO].

Al inicio del ciclo se midió el índice verde (IV) en el folíolo terminal de la primera (PH) y última (UH) hoja totalmente expandida del tallo principal desde el tope del canopeo, en 30 plantas seleccionadas al azar. Se utilizó el medidor de clorofila Minolta SPAD 502. Las fechas de muestreo fueron 19/12, 26/12, 4/1 correspondientes a los 44, 53, 60 días después de plantación (DDP). En llenado de tubérculos (18/1, 2/2 correspondientes a los 73 y 97 DDP) se midió el IV sólo en la PH como lo recomienda la técnica tradicional. Se cosecharon los pecíolos de la PH y la UH de 30 plantas al azar de cada unidad experimental, se secaron en estufa a 60 °C y se determinó el NBS. Las fechas de muestreo fueron 21/12 y 3/1 correspondientes a los 46 y 59 DDP. En muestreos posteriores (18/1 y 8/2 correspondientes a los

Características del suelo	
Materia orgánica	4,2 g 100 g ⁻¹
pH	6,0
P (0-20 cm)	30 mg kg ⁻¹
N-NO ⁻³ (0-60 cm)	39 kg ha ⁻¹
S-SO ₄ ⁻² (0-60 cm)	35 kg ha ⁻¹
N potencialmente mineralizado ¹	151 kg ha ⁻¹
Ca ⁺²	11,1 cmol _c kg ⁻¹
Mg ⁺²	2,0 cmol _c kg ⁻¹
Datos de manejo	
Lluvias + riego al 8/2/07 (95 DDP)	649 mm
Fecha de plantación y de aporte para ambas variedades	5/11 y 10/12/06
Densidad	4,5 cortes por metro lineal
P en plantación (superfosfato triple 0-20-0)	180 kg ha ⁻¹
S en plantación (Sulpomag 20% de S)	80 kg ha ⁻¹

Tabla 1. Características del suelo previo a la plantación y del manejo del cultivo de papa en ambos ensayos.

¹Estimado según la metodología propuesta por Echeverría y Bergonzi (1995).

Nitrógeno aplicado				
Tratamiento	Pre-plantación	Plantación	Aporte	Total
	----- kg N ha ⁻¹ -----			
N0	-	-	-	-
N1	-	31	31	62
N2	-	46	79	125
N2	46	92	112	250

Tabla 2. Dosis y momento de aplicación de N.

74 y 95 DDP) sólo se cosechó la PH de 30 plantas al azar de cada unidad experimental, de la cual se usó el pecíolo para la determinación de NBS. Los muestreos siempre se realizaron por la mañana para evitar variaciones debidas a la hora de muestreo (Haverkort y MacKerron, 2000). Para la determinación del NBS, se molieron los pecíolos en malla de 1 mm, y se determinó la concentración de nitrato siguiendo la técnica colorimétrica del ácido fenoldisulfónico (Keeney y Nelson 1982). Se realizaron dos muestreos de planta en la etapa de llenado de tubérculos, uno cuando el cultivo alcanzó la máxima acumulación de N en planta entera (95 DDP) y el otro próximo a madurez fisiológica (116 DDP). En cada muestreo se cosecharon las plantas ubicadas en un metro lineal de un surco de cada unidad

experimental. Cada muestra se la separó en parte aérea y tubérculos y se determinó la materia seca de cada fracción. Para esto último, las dos fracciones de la planta se llevaron a estufa a 60 °C por 24 hs o hasta peso constante. En las muestras secas y molidas tomadas a los 95 DDP se determinó el N total por el método Kjeldhal (Nelson y Sommers, 1973). Con estos datos luego se determinó el N total acumulado (NTac).

Se calculó el índice de suficiencia de N (ISN-IV) como la relación entre el IV de cada unidad experimental y la mayor lectura promedio del tratamiento. Se estableció la asociación entre NBS e ISN-IV determinados en la PH y UH a los 46 y los 59 DDP con la dosis de N y con el N

total acumulado por el cultivo a los 95 DDP. Los resultados obtenidos fueron analizados utilizando el programa Statistical Analysis Systems (SAS) (SAS, Institute, 1988) y las medias de cada tratamiento fueron comparadas mediante la prueba de comparación de medias LSD ($p < 0,05$). Las ecuaciones de las funciones lineales se obtuvieron utilizando el procedimiento PROC N-LIN del programa SAS. Para determinar si existen diferencias significativas ($p < 0,1$) entre los parámetros de las regresiones lineales, se desarrolló un modelo de regresión conteniendo variables Dummy (Littell *et al.*, 1991) y se realizaron los test de paralelismo y coincidencia, utilizando el procedimiento PROC REG incluido en las rutinas del programa Statical Analysis System (SAS Institute 1988).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En ambas variedades, el NBS determinado en la PH fue máximo en los estadios iniciales de desarrollo y luego disminuyó gradualmente a medida que avanzó el ciclo del cultivo coincidiendo con otros trabajos (Gianquinto y Bona, 2000; Saluzzo, 2001; Giletto *et al.*, 2006) (tabla 3). La concentración de NBS-PH no varió ($p > 0,05$) entre tratamientos en los estadios iniciales del ciclo (46 DDP), y se ubicó en el rango de inadecuado ($6-17\text{ g kg}^{-1}$) para INN y en el de adecuado ($17-22\text{ g kg}^{-1}$) para UR, según los umbrales establecidos por Vitosh y Silva (1996). A partir

de los 59 DDP, la concentración de NBS en la variedad INN varió ($p < 0,05$) por efecto de la dosis de N, registrándose los valores más elevados en N3, los menores en N0, e intermedios en N1 y N2. Mientras que, en la variedad UR las diferencias entre los tratamientos comenzaron a manifestarse en estadios más avanzados del ciclo del cultivo (a partir de los 74 DDP), registrándose los mayores valores en N2 y N3 y los menores en N0 y N1. Durante el período de tuberización (59 DDP) y llenado de tubérculos (74 DDP), el NBS-PH en las dos variedades, fue inferior al rango de adecuado ($11-15\text{ g kg}^{-1}$) en los tratamientos con menor fertilización, mientras que el tratamiento N3 se ubicó en ese rango. A la madurez del cultivo (95 DDP), tanto en INN como en UR la concentración de NBS se ubicó en el rango de inadecuado ($4-6\text{ g kg}^{-1}$) en el tratamiento N3, mientras que los tratamientos menos fertilizados se ubicaron en el rango de déficit ($< 4\text{ g kg}^{-1}$). Las diferencias entre las variedades en NBS durante el ciclo fueron debidas a que UR es de ciclo más largo que INN. Los resultados obtenidos manifiestan que el NBS estableció el ordenamiento de los niveles nutricionales de los tratamientos en función de la dosis de N a lo largo del ciclo del cultivo, siendo más evidente la diferencia durante la etapa de llenado de tubérculos. Resultados similares, en los que a partir del inicio de tuberización se estableció respuesta a la fertilización nitrogenada, fueron determinados en el sudeste de la provincia de Buenos Aires con variedades para consumo fresco e industria (Giletto, 2002; Rattín *et al.*, 2004; Giletto *et al.*, 2006).

		Nitrato en base seca de peciolo			
Variedad	Tratamiento	(g kg ⁻¹)			
		DDP			
		46	59	74	95
INNOVATOR	N0	13,5 a	9,3 b	3,5 c	1,0 c
	N1	15,5 a	10,4 b	8,1 b	0,9 c
	N2	16,5 a	10,7 b	9,6 a b	3,1 b
	N3	16,1 a	14,3 a	12,0 a	5,4 a
	CV	13,1	10	14,4	27,3
	R ²	0,64	0,88	0,94	0,93
UMATILLA	N0	17,7 a	12,5 a	2,0 c	1,4 b
RUSSET	N1	18,8 a	14,8 a	6,8 b	1,4 b
	N2	19,1 a	14,7 a	11,1 a	4,7 a
	N3	18,4 a	18,5 a	12,5 a	5,7 a
	CV	9,6	20,5	14,5	35,9
	R ²	0,53	0,52	0,96	0,84

Tabla 3. Concentración de nitrato en base seca de peciolo en la primera hoja totalmente expandida desde el tope del canopeo (NBS-PH), para cada tratamiento (N0, N1, N2, N3) y fecha de muestreo en las variedades Innovator y Umatilla Russet. DDP = días después de la plantación. Las letras iguales indican que no hay diferencias significativas entre los tratamientos para una misma fecha de muestreo, según la prueba DMS ($p < 0,05$). CV = coeficiente de variación y R² = coeficiente de regresión.

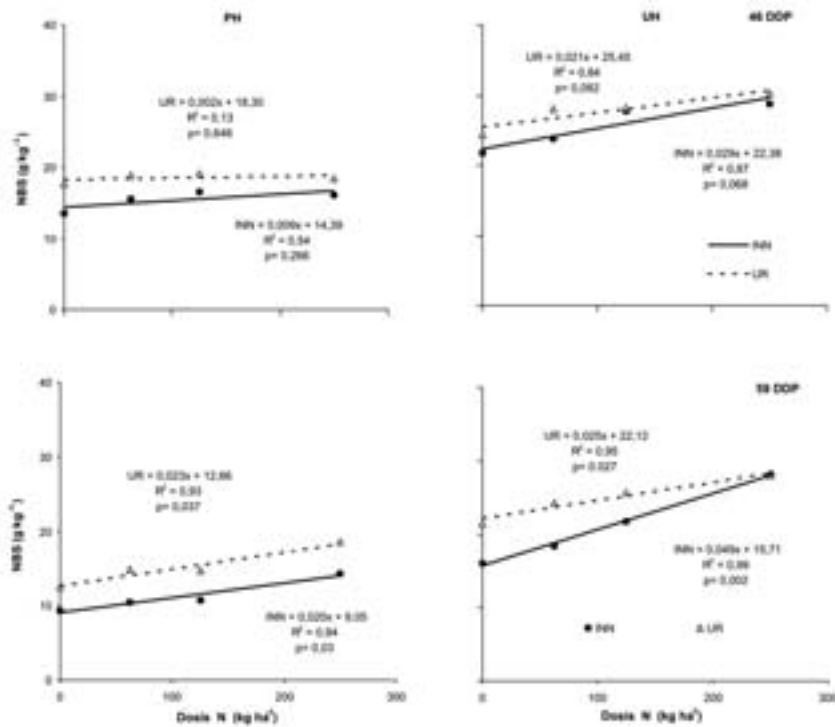


Figura 1. Relación entre la concentración de nitrato en base seca de peciolo (NBS) en la primera (PH) y última hoja (UH) totalmente expandida del tallo principal, desde el tope del canopeo, con la dosis de N a los 46 y 59 DDP en Innovator (INN) y Umatilla Russet (UR). Se considera la regresión significativa cuando ($p < 0,1$). Cada punto corresponde al promedio de tres repeticiones.

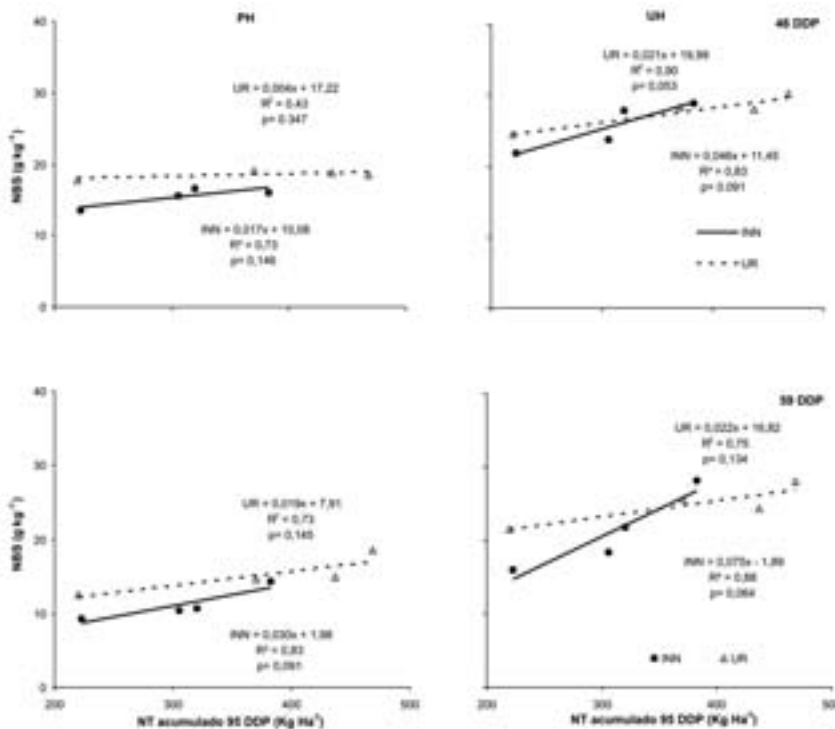


Figura 2. Relación entre la concentración de nitrato en base seca de peciolo (NBS) en la primera (PH) y última hoja (UH) totalmente expandida del tallo principal, desde el tope del canopeo, a los 46 y 59 DDP, con el nitrógeno total acumulado en planta y tubérculo (NT acumulado) a los 95 DDP en Innovator (INN) y Umatilla Russet (UR). Se considera la regresión significativa cuando ($p < 0,1$). Cada punto corresponde al promedio de tres repeticiones.

		Índice verde				
Cultivar	Tratamiento	(SPAD)				
		DDP				
		44	53	60	73	97
INNOVATOR	N0	49,8 a	47,5 a	43,8 a	37,3 b	30,0 b
	N1	49,2 a	47,2 a	43,1 a	38,2 b	31,6 b
	N2	50,8 a	49,0 a	43,0 a	37,8 b	31,0 b
	N3	51,8 a	49,6 a	44,3 a	43,5 a	37,0 a
	CV	2,9	4,8	3,2	3,6	4,8
	R ²	0,48	0,52	0,25	0,88	0,88
UMATILLA	N0	45,3 a	45,4 a	41,5 a	38,3 c	33,1 b
RUSSET	N1	44,9 a	44,8 a	41,2 a	40,4 b	35,1 a b
	N2	44,9 a	44,7 a	42,5 a	42,5 a	37,1 a
	N3	45,3 a	46,4 a	42,9 a	42,0 a b	37,5 a
	CV	4,3	4,4	2,7	2,4	3,9
	R ²	0,24	0,78	0,58	0,87	0,77

Tabla 4. Índice verde de la primera hoja totalmente expandida desde el tope del canopeo (PH), para cada tratamiento (N0, N1, N2, N3) y fecha de muestreo en las variedades Innovator y Umatilla Russet. DDP= días después de plantación. Las letras iguales indican que no hay diferencias significativas entre los tratamientos para una misma fecha de muestreo, según la prueba DMS ($p < 0,05$). CV = coeficiente de variación y R² = coeficiente de regresión.

Al relacionar el NBS-PH y el NBS-UH con la dosis de N a los 46 y 59 DDP, se estableció que el NBS-PH aumentó ($p < 0,1$) con la dosis de N recién a los 59 DDP en las dos variedades (figura 1). Mientras que, el NBS-UH aumentó ($p < 0,1$) por efecto de la dosis de N en ambas fechas de muestreo y variedades. Además, el NBS-UH presentó mayores valores que NBS-PH, lo que supone menor error experimental en la determinación. La respuesta de la concentración de NBS a la dosis de N, en ambos estratos del canopeo, fue similar en las dos variedades. Sin embargo, se determinaron diferencias entre los estratos en la respuesta de NBS a la dosis de N, siendo mayor en la UH y menor en la PH. Esto fue debido a que ante una oferta de N por encima del óptimo, el exceso de N es almacenado como nitrato principalmente en las vacuolas de las hojas inferiores. Mientras que, ante una deficiencia de N, el nitrato almacenado en las hojas inferiores se trasloca hacia las superiores en activo desarrollo. Estos resultados coincidieron con los determinados por Millard y Catt (1988) y MacKerron *et al.* (1995), quienes concluyeron que las hojas del estrato inferior fueron más sensibles a los cambios por el aporte de N que las hojas del estrato superior.

La figura 2 muestra la relación entre el NBS de ambos estratos del canopeo con el N total acumulado por el cultivo a los 95 DDP (NTac). El NBS-PH aumentó ($p < 0,1$) con el incremento de la cantidad de NTac sólo en INN a los 59 DDP. Mientras que, el NBS-UH aumentó ($p < 0,1$) en ambas fechas de muestreo en las dos variedades, excepto UR a los 59 DDP. Por otro lado, la respuesta del

NBS al NTac fue mayor en INN que en UR, siendo más evidente en la UH que en la PH. Probablemente, esto sea debido a que las variedades de papa difieren en la tasa de crecimiento y acumulación de N en planta (Gianquinto y Bona, 2000; Giletto *et al.*, 2007). Estos resultados coinciden con los obtenidos al relacionar el NBS con la dosis de N y confirman que el NBS determinado en las hojas del estrato inferior estima el nivel de N en planta en forma más temprana que las hojas del estrato superior, además de ser más sensible a la diferente oferta de N que tuvo el cultivo.

En las etapas iniciales del ciclo del cultivo (44, 53 y 60 DDP) los valores de IV-PH en las dos variedades no variaron ($p > 0,05$) por efecto de la dosis de N (tabla 4) y fueron superiores al umbral de 42 unidades SPAD propuesto por Booi *et al.* (2000); excepto los tratamientos N0 y N1 en UR a los 60 DDP, que presentaron valores ligeramente inferiores. Después de los 73 DDP, el IV varió significativamente por efecto de la dosis de N, determinándose que los tratamientos que recibieron las menores dosis de N tuvieron los más bajos valores de IV y fueron menores al umbral de suficiencia. Estos resultados coincidieron con los determinados en el sudeste bonaerense en maíz y papa (Echeverría y Studdert, 2001; Giletto *et al.*, 2010); quienes establecieron que el IV fue más sensible para determinar diferencias debidas a la oferta de N en etapas avanzadas del ciclo. Por otro lado, el IV detectó las diferencias nutricionales entre los tratamientos más tarde en el ciclo que el NBS, coincidiendo con lo señalado por Wu *et al.*, (2006).

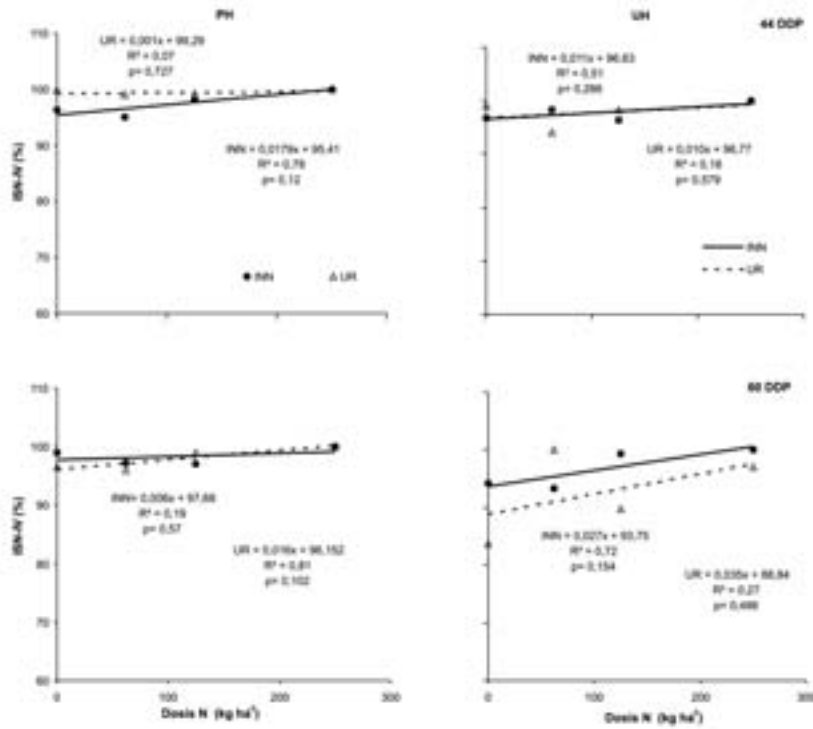


Figura 3. Relación entre índice de suficiencia de nitrógeno del índice verde (ISN-IV) en la primera (PH) y última hoja (UH) totalmente expandida del tallo principal desde el tope del canopeo con la dosis de N a los 44 y 60 DDP, en Innovator (INN) y Umatilla Russet (UR). Se considera la regresión significativa cuando ($p < 0,1$). Cada punto corresponde al promedio de tres repeticiones.

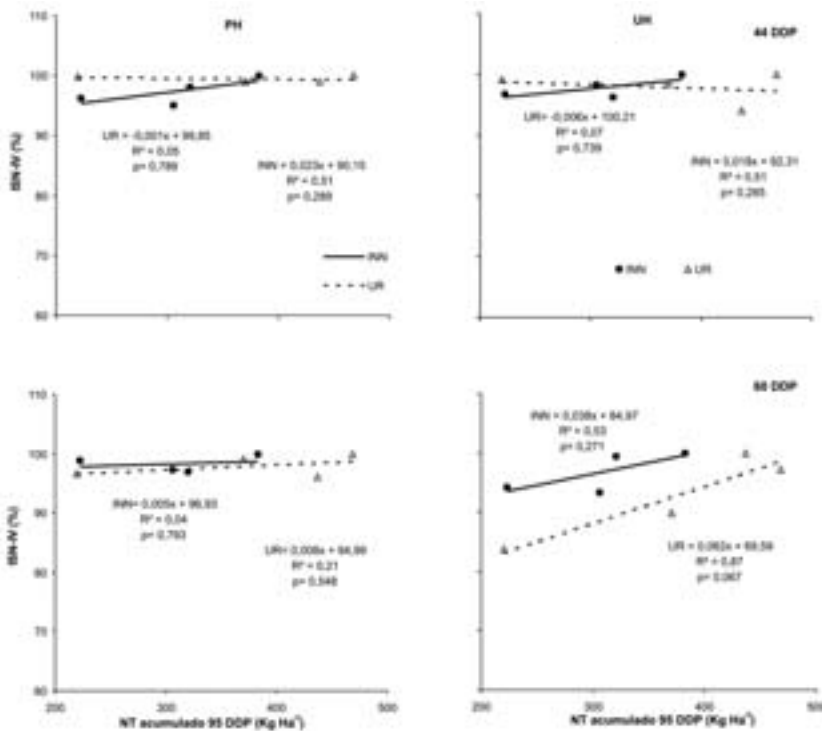


Figura 4. Relación entre índice de suficiencia de nitrógeno del índice verde (ISN-IV) en la primera (PH) y última hoja (UH) totalmente expandida del tallo principal, desde el tope del canopeo, a los 46 y 59 DDP, con el nitrógeno total acumulado en planta y tubérculo (NT acumulado) a los 95 DDP en Innovator (INN) y Umatilla Russet (UR). Se considera la regresión significativa cuando ($p < 0,1$). Cada punto corresponde al promedio de tres repeticiones.

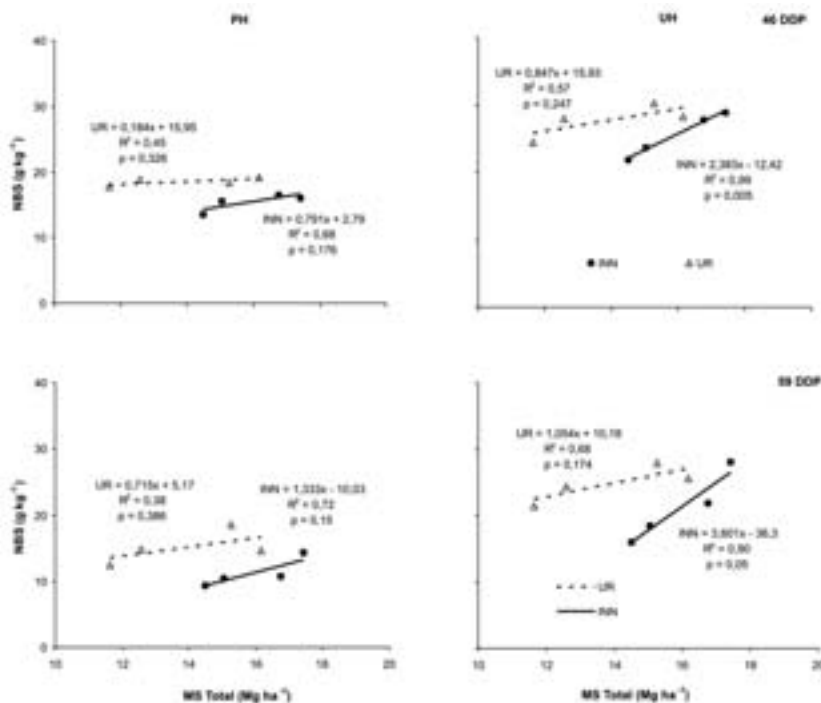


Figura 5. Relación entre la concentración de nitrato en base seca de peciolo (NBS) en la primera (PH) y última hoja (UH) totalmente expandida del tallo principal desde el tope del canopeo a los 46 y 59 DDP, con la materia seca total al final del ciclo, en Innovator (INN) y Umatilla Russet (UR). Se considera la regresión significativa cuando ($p < 0,1$). Cada punto corresponde al promedio de tres repeticiones.

El IV fue relativizado a un ISN-IV para minimizar el efecto de la variedad, estado de crecimiento y condiciones ambientales y destacar la eventual deficiencia de N. El ISN-IV de cada estrato del canopeo en general no varió con la dosis de N (figura 3) ni con el NTac (figura 4) en ambas fechas de muestreo. La respuesta del ISN-IV al NTac, en ambos estratos del canopeo, fue similar en ambas variedades. Por lo tanto, el ISN-IV determinado en estadios iniciales del desarrollo del cultivo fue menos sensible que el NBS para determinar el estatus nitrogenado en papa. Samborski *et al.*, (2009) expresaron que el IV determinado en etapas tempranas del ciclo no detectó niveles subóptimos de N en plantas de papa que recibieron moderada cantidad de N, pero sí pudo identificar situaciones con deficiencias de N. Los resultados obtenidos en esta experiencia, revelaron que el IV en las hojas inferiores del canopeo no determinó diferencias entre los tratamientos debido al efecto de la oferta de N en etapas tempranas del ciclo, por lo que la incorporación de estas hojas al muestreo tradicional no permitió mejorar la sensibilidad del método de diagnóstico.

Los resultados mostraron que el NBS, especialmente el determinado en las hojas del estrato inferior, estimarían con mayor precisión el estado nutricional del cultivo que el IV. Al relacionar el NBS determinado en ambos estratos con la producción de materia seca total previo a la madurez fisiológica (MST) (figura 5) se estableció que el NBS-UH tendió a aumentar con la MST en ambas variedades y fechas de muestreo en mayor medida que el NBS-PH. La respuesta en MST al aumento de NBS-UH fue mayor en INN y menor en UR. Por lo tanto, el NBS de las hojas del estrato inferior

del canopeo determinado durante el crecimiento vegetativo e inicio de tuberización podría predecir la MST en etapas más avanzadas del ciclo.

CONCLUSIÓN

En etapas tempranas del ciclo, el IV no varió con la oferta de N en ambos estratos del canopeo, mientras que la concentración de NBS-UH fue más sensible que la de NBS-PH para determinar el estatus nitrogenado del cultivo de papa y la producción de MST. De acuerdo con esto, NBS-UH podría ser una alternativa promisoría para mejorar la caracterización del estatus nitrogenado del cultivo. No obstante, su utilidad deberá ser verificada en futuras experiencias.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado con fondos de los Proyectos INTA AERN-295561, PNHFA-061271 y de la FCA-UNMP AGR319/10.

BIBLIOGRAFÍA

- BOOIJ, R.; VALENZUELA, J.I.; AGUILERA, C. 2000. Determination of crop nitrogen status using non-invasive methods. Chapter 2. En: HAVERKORT, A.J. AND MACKERRON, D.K.L. (Eds.). Management of nitrogen and water in potato production. Wageningen Pers, Wageningen, The Netherlands, pp 72-81.
- CALDIZ, D.O. 2004. Características y manejo de la variedad Innovator. Balcarce, Argentina. Del Campo a la Fábrica. 4(4): 3-6.
- CALDIZ, D.O. 2005. Características y manejo de la variedad Umatilla Russet. Balcarce, Argentina. Del Campo a la Fábrica. 5(1): 3-6.

- DÍAZ, C. 2008. Métodos no destructivos para determinar el estatus de nitrógeno en variedades de papa para industria. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ciencias Agrarias. 42 p.
- ECHEVERRÍA, H.E.; BERGONZI, R. 1995. Estimación de la mineralización de nitrógeno en suelos del sudeste bonaerense. Boletín Técnico 135. Est. Exp. Agrop. INTA Balcarce. 15p.
- ECHEVERRÍA, H.E.; STUDDERT, G.A. 2001. Predicción del contenido de proteína en grano de trigo (*Triticum aestivum* L.) mediante el índice de verdor de la hoja bandera. Ciencia del Suelo 19: 67-74.
- GIANQUINTO, G.; BONA, S. 2000. Plant nitrogen status. The significance of trenes in concentration of total nitrogen and nitrogenous compounds. En: HAVERKORT, A.J. AND MACKERRON D.K.L. (Eds.) Management of nitrogen and water in potato production. Wageningen Pers, Wageningen, The Netherlands. pp 35-54.
- GILETTO, C.M. 2002. Comparación de métodos para evaluar la nutrición nitrogenada en papa. Tesis presentada como requisito para optar por el grado de *Magister Scientiae* en el Postgrado en Producción Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrarias. UNMdP.74 p.
- GILETTO, C.M.; RATTIN, J.E.; ECHEVERRÍA, H.E.; CALDIZ, D.O. 2006. Evaluación de la nutrición nitrogenada en nuevas variedades de papa aptas para el procesamiento industrial. Ciencia del Suelo. 24 (1): 65-75.
- GILETTO, C.M.; RATTÍN, J.E.; ECHEVERRÍA, H.E.; CALDIZ, D.O. 2007. Eficiencia de uso de nitrógeno en variedades de papa para industria cultivadas en el sudeste de la provincial de Buenos Aires. Ciencia del Suelo 25(1):43-52.
- GILETTO, C.M.; DÍAZ, C.; RATTÍN, J.E.; ECHEVERRÍA, H.E.; CALDIZ, D.O. 2010. Green index to estimate crop nitrogen status in potato processing varieties. Chilean Journal of Agricultural Research 70(1):142-149.
- KEENEY, D. R.; NELSON, D. W. 1982. Nitrogen inorganic forms. En : Page A. L. *et al.* (Eds.) Methods of soil analysis. Part 2 Agron. Monog 9 Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Agron., Madison, Wisconsin, EEUU. pp 643-698.
- LITTELL, R.C.; FREUND, R.J.; SPECTOR, P.C. 1991. SAS system for linear models. 3rd ed. SAS Inst., Cary, NC.
- HAVERKORT, A.J.; MACKERRON, D.K.L. 2000. Management of nitrogen and water in potato production. Wageningen Pers, Wageningen, The Netherlands. 353 p.
- MACKERRON, D.K.L.; YOUNG, M.W.; DAVIES, H.V. 1995. A Critical assessment of the value of petiole sap analysis in optimizing the nitrogen nutrition of the potato crop. Plant and Soil 172:247-260.
- MILLARD, P.; CATT, W. 1988. The influence on nitrogen supply on the use of nitrate and ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase as leaf nitrogen stores for growth of potato tubers (*Solanum tuberosum* L.). Journal of experimental botany 39 (198)1-11.
- NELSON, D.W.; SOMMERS. 1973. Determination of total nitrogen in plant material. Agronomy Journal 65:109-112.
- OLIVIER, M.; GOFFART, J.P.; LEDENT, J. F. 2006. Threshold values for the chlorophyll meter used as a decision tool for supplemental nitrogen application in the potato crop. Agronomy J. 98: 496-506.
- RATTIN, J.E.; GILETTO, C.M.; ECHEVERRÍA, H.E. 2004. Comparación de métodos de determinación de nitratos en pecíolos de cultivares de papa. RIA 33:117-134.
- SALUZZO, J.A. 2001. Comparación de nitratos en pecíolos y rendimiento de los cultivares de papa Kennebec y Shepody en relación a la fertilización nitrogenada. Agriscientia. 18:21-26.
- SAMBORSKI, S.M.; TREMBLAY, N.; FALLON, E. 2009. Strategies to make use of plant sensors-based diagnostic information for nitrogen recommendations. Agronomy J. 101(4):800-816.
- SAS Institute. 1988. SAS/STAT User's guide. Statics version. 6.0. 3rd ed. SAS Institute, Cary, North Carolina, USA.
- SNAPP, S.; SMUCKER, D.; VITOSH, M.L. 2002. Nitrogen Management for Michigan Potatoes. Michigan State. University. Extension Bulletin E-2779. 4 p.
- VITOSH, M.L.; SILVA, G.H. 1996. Potato petiole sampling procedure for sap nitrate testing. Michigan State University Extension Home page. Vegetable CAT home page. 3 p.
- WU, J.; WANG, D.; ROSEN, C.; BAUERET, M. 2006. Comparison of petiole nitrate concentrations, SPAD chlorophyll readings, and QuickBird satellite imagery in detecting nitrogen status of potato canopies. Field Crops Res. 101 (1): 96-103.

Estimación de la digestibilidad *in vitro* mediante la técnica propuesta por Theodorou *et al.* (1994)

BOCANEGRA, D.¹; ROCHINOTTI, D.²

RESUMEN

Se evaluó, en 4 novillos cruza cebú de 350 kg promedio y por medio de la metodología propuesta por Theodureau *et al.* (1994), el efecto del agregado de germen de maíz sobre la digestibilidad de heno de baja calidad de Grama Rhodes (*Chloris gayana*). Los novillos fueron alimentados durante 14 días, uno con una dieta a base de heno y los tres restantes con heno más el equivalente al 0,6% de su peso vivo en germen de maíz. Pasado este período se obtuvieron, por medio de una sonda nasogástrica, aproximadamente 300 centímetros cúbicos de fluido ruminal del animal que consumió sólo heno y 300 centímetros cúbicos de fluido ruminal de cada uno de los que consumió heno más suplemento. Se incubó en las muestras de fluido, muestras representativas de alimento correspondiente a una dieta de heno solo y tres dietas de heno más niveles crecientes (0,3; 0,6 y 0,9% peso vivo) de germen de maíz para la posterior determinación de producción de gases a las 3, 6, 9, 15, 21, 27, 39 y 49 horas de iniciada la digestión. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con 4 tratamientos y 5 repeticiones. Los datos del DCA fueron analizados utilizando el análisis de la varianza (ANOVA) de Infostat (2009) seguido del Test de Tukey cuando hubieron valores significativos de F ($p < 0,05$). No hubo diferencias significativas entre los tratamientos con germen, sí las hubo entre estos y el tratamiento solo heno, duplicando los valores de digestibilidad para los que contenían germen. El contenido de proteína del germen de maíz mejora significativamente los valores de digestibilidad *in vitro* del heno de Grama Rhodes.

Palabras clave: Theodureau, bovinos, suplementación, digestibilidad.

ABSTRACT

The effect of addition of maize germmeal to bovine fed low quality Rhodes Grass (*Chloris gayana*) hay was evaluated using Theodureau *et al.* (1994) *in vitro* gas production methodology. Four zebu bulls with a mean live weight of 350 kg were maintained in individual 16 m² pens and supplemented with maize germmeal (0 and 0,6). From each animals 300 cubic centimeters of ruminal fluid was obtained through a nasogastric probe. Representative samples of hay alone or supplemented as to feed animals at 0,3, 0,6 and 0,9 % of germmeal to liveweight were incubated with ruminal fluid from the 4 animals. Gas production was determined at 3, 6, 9, 15, 21, 27, 39 and 49 hours after digestion begins. A completely random design with 4 treatments and 5 replications was used. No difference was found between treatments that included germmeal but they different compared to hay alone, which was lower. It is concluded that protein supplementation significantly increases *in vitro* digestibility of Rhodes grass hay.

Keywords: gas production, bovines, supplementation, digestibility.

¹EEA El Colorado INTA, Av. Carlos Pellegrini s/n Acceso Sur, El Colorado, Formosa, Argentina. dbocanegra@correo.inta.gov.ar

²EEA Mercedes INTA, Juan Pujol al Este, s/n, Mercedes, Corrientes, Argentina. rochinotti@correo.inta.gov.ar

INTRODUCCIÓN

Los métodos *in vitro* para estimación en laboratorio de digestibilidad de alimentos son muy usados en nutrición y alimentación animal.

La técnica de Tilley y Terry (1963) se utiliza ampliamente debido a su comodidad, especialmente cuando se requiere procesar un gran número de muestras. Es un método común y ampliamente empleado en laboratorios de evaluación de alimentos y forrajes y consta de dos etapas, en la primera los alimentos son sometidos a 48 hs de fermentación en una solución tampón que contiene líquido ruminal; seguido por 48 hs de digestión con pepsina ácida. En 1994 Theodorou *et al.* propusieron una modificación de la técnica en la cual se estima la digestibilidad a partir de la degradación, durante 48 horas, de una muestra de alimento en líquido ruminal.

Aunque el método ha sido validado ampliamente con los valores *in vivo* (Van Soest, 1994), este posee algunas desventajas, como por ejemplo la sobrestimación de la digestibilidad de alimentos ricos en taninos. De igual manera sigue siendo, junto con el de Van Soest, uno de los métodos más utilizados.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en la Estación Experimental Agropecuaria Colonia Benítez del INTA, ubicada sobre la calle Marcos Briologni s/n, Ruta Nacional N.º 11 Km. 1018, Colonia Benítez, provincia del Chaco. Se continuó en el Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE, en la ciudad de Corrientes.

Se utilizó la técnica propuesta por Theodorou *et al.* (1994), modificación de la de Tilley y Terry (1963), por la cual se midió la producción de gas en milímetros de mercurio, como consecuencia de la fermentación de un alimento en líquido ruminal producida en un lapso de tiempo. Además de las muestras de alimento, se colocaron a incubar tres frascos sin muestra de forraje sólo con el inóculo y la saliva artificial, utilizados estos como "blancos" y tres frascos más con una muestra de alimento cuya digestibilidad era conocida, utilizados estos como "patrones". Luego, y a partir de la fórmula detallada más abajo, se transformaron los datos de presión de gas producida en porcentaje de la digestibilidad del alimento:

$$\% \text{ digestibilidad} = ((\text{SVPF} - \text{SVPB}) * 0.11052) * \text{CCP}$$

Donde,

SVPF: sumatoria de los valores de presión obtenidos del alimento en estudio,

SVPB: sumatoria de los valores obtenidos del blanco,

0.11052: factor de corrección,

CCP: coeficiente de corrección de patrones, se obtiene del cociente entre la digestibilidad conocida del alimento patrón y la digestibilidad obtenida del mismo. Esta fórmula

es la utilizada en el Laboratorio de Química de la Facultad Agrarias para determinación de la digestibilidad con la producción de gas.

Para la obtención del fluido se utilizaron cuatro novillos cruzados cebú, de peso promedio 350 Kg, de cada uno se obtuvo, por medio de una sonda nasogástrica, aproximadamente 300 centímetros cúbicos (cc) de fluido ruminal.

Actividades

Los novillos pasaron por un período previo de acostumbramiento de 14 días en los cuales consumieron heno y la cantidad de suplemento equivalente al tratamiento de Medio, obteniendo así una muestra de fluido ruminal del animal que consumió sólo heno y otra de animales que consumieron heno y suplemento, con lo cual los fluidos ruminales extraídos fueron representativos de los tratamientos "Sólo Heno" y "Heno+Suplemento".

Una vez obtenidas las muestras de fluido, se condujeron al Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias donde previamente se prepararon muestras iguales a las dietas ofrecidas a los animales en ensayo (0; 0,3; 0,6 y 0,9% del peso vivo). Las muestras de fluido ruminal del grupo de animales que consumió germen se mezclaron sabiendo que no habría alteración a la hora de hacer las digestiones con los diferentes tratamientos, conforme a los resultados obtenidos por Hussein *et al.* (1995). Las muestras de alimento fueron puestas a digerir en frascos cerrados herméticamente para determinar producción de gases con el uso de un manómetro a las 3, 6, 9, 15, 21, 27, 39 y 48 horas de iniciada la digestión.

Se utilizó un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA) con cinco repeticiones para cada nivel de germen dando como resultado un total de veinte frascos.

Análisis estadísticos

Los datos del DCA fueron analizados utilizando el análisis de la varianza (ANOVA) de Infostat (2009) seguido del Test de Tukey cuando hubieron valores significativos de F ($p < 0,05$).

El modelo matemático para este tipo de diseño es el siguiente (Lyman Ott, 1988):

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \epsilon_{ij} \quad \text{donde,}$$

Y_{ij} es la observación del tratamiento i en la parcela j

τ_i es el efecto del tratamiento i

ϵ_{ij} es el del término de error aleatorio asociado a la observación Y_{ij}

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Si bien, no hubo diferencias significativas entre los niveles de germen, sí las hubo entre los tratamientos con germen y sin germen, duplicando prácticamente los valores de digestibilidad de la materia seca.

Nombre del alimento	Materia seca (%)	Proteína bruta (g/100gMS)	FDN (g/100gMS)	FDA (g/100gMS)	Humedad (%)	Cenizas (%)
Heno	92,92	4,26	77,52	42,94	7,08	9,73
Germen de maíz	85,83	13,89	35,29	7,25	13,1	6,87

Tabla 1. Composición química de los alimentos suministrados. Valor promedio de 64 muestras de cada alimento.

Análisis de la varianza			
Tratamiento	Medias	DS	
Cero	23,14	3,42	a
Bajo	50,56	7,58	b
Alto	51,33	7,47	b
Medio	58,36	8,62	b

Tabla 2. Cuadro de ANOVA de digestibilidad *in vitro*. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Donde las medias están expresadas como valores de porcentaje de digestibilidad.

En la figura 1 se puede observar claramente lo enunciado en el párrafo anterior, la mayor digestibilidad se observa en el tratamiento Medio con un valor de 58,36%.

Reis (Reis *et al.*, 2003) muestra resultados positivos a favor de la digestibilidad de la fracción fibrosa usando suplementos proteicos. Asimismo, cita que la oferta de proteína o de nitrógeno no proteico en la dieta de bovinos permite el aumento de la eficiencia de utilización de la fracción fibrosa potencialmente digestible, resultando en un aumento del consumo y del desempeño animal (Moore *et al.*, 1999).

De igual manera, cuando el volumen de forraje y el contenido de fibra son altos y el tenor de proteína bruta bajo, mayores son las respuestas a los suplementos proteicos (Siebert y Hunter, 1982).

Church y Santos (1981) reportaban incrementos en la digestibilidad de la materia seca cuando al menos 1 gr. PB/kg. PV⁷⁵ era ofrecido, en forma de harina de soja, a novillos que consumían paja de trigo comparados con novillos sin suplementar.

Todo lo antedicho da más respaldo a la hipótesis propuesta de que el germen de maíz, usado como suplemento proteico durante el invierno, tiene un efecto positivo sobre el consumo y la digestibilidad.

CONCLUSIONES

La digestión ruminal de la materia seca de la dieta implica la participación de la flora microbiana del rúmen, sobre todo para digestión de la fibra y esto es de peculiar importancia en dietas que contienen altas proporciones de dicho componente. Los microorganismos bacterianos

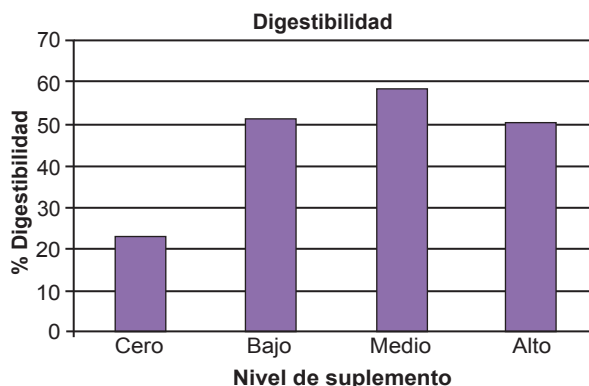


Figura 1. Digestibilidad *in vitro* de la materia seca.

del rúmen requieren de diversas fuentes de energía y de nitrógeno fácilmente disponibles, pero bajo las condiciones de este trabajo, la sola fuente de proteína del germen de maíz fue suficiente para una mejorar los valores de digestibilidad *in vitro*.

BIBLIOGRAFÍA

- CHURCH, D.C.; SANTOS, A. 1981. Effect of Graded Levels of Soybean Meal and of a Nonprotein Nitrogen-Molasses Supplement on Consumption and Digestibility of Wheat Straw J Anim Sci 53:1609-1615.
- HUSSEIN, H.S.; MERCHEN, N.R.; FAHEY G.C. 1995. Composition of Ruminal Bacteria Harvested from Steers as Influenced by Dietary Forage level and Fat Supplementation. Journal of Animal Science, Vol. 73:2469-2473
- LYMAN OTT, 1988. An Introduction to Statistical Methods and Data Analysis. Third Edition. Merrel Dow Research Institute. 833p.
- REIS, R.A. 2003. Suplementação como estratégia para otimizar a utilização de pastagens. In: Simpósio Goiano Sobre Manejo E Nutrição de Bovinos De Corte E Leite, 5., Goiânia. 85-120p.
- SIEBERT, B.D.; HUNTER, R.A. Supplementary feeding of grazing animals. In: HACKER, J.B. (Ed.). Nutritional limits to animal production from pasture. Farnham Royal: Commonwealth Agricultural Bureau, 1982. 409-425p.
- THEODOROU, M.K., WILLIAMS, B.A., DHANOA, M.S., MCALLAN, A.B.; FRANCE, J. 1994. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. Animal feed science and technology. 48:185-197.
- TILLEY, J.M.A.; TERRY, R.A. 1963. A two stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. British Grassland Society 18:104-111.
- VAN SOEST, P. 1994. Nutritional ecology of the ruminants. O&B Books Inc. Oregon. USA. 375pp.

Capacidad de las macrofitas *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes* para eliminar el níquel

BRES, P.; CRESPO, D.; RIZZO P.; LA ROSSA, R.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue estudiar la capacidad de dos especies de macrofitas, *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes*, para eliminar el níquel. Se realizaron cuatro tratamientos durante dos semanas para cada una de las especies. Las plantas fueron incubadas con 0, 1, 3 y 6 mg l⁻¹ de Ni. Ambas especies mostraron, en todos los tratamientos con Ni, una reducción en la concentración a lo largo del tiempo. *L. minor* mostró ser más eficiente para remover este ión a la más baja concentración. Sin embargo, en concentraciones más elevadas no se observaron diferencias entre ambas especies. El análisis del tejido de las plantas mostró que las mismas acumulaban el metal, en los tres casos evaluados con concentraciones diferentes.

Palabras clave: fitorremediación, metales pesados, plantas acuáticas, acumulación.

ABSTRACT

The aim of this work was to study the capacity of two macrophyte species, *Lemna minor* and *Eichhornia crassipes* to remove nickel. Four treatments were carried out for two weeks with each species: plants were either incubated with 0, 1, 3 and 6 mg l⁻¹ de Ni. All treatments with both plants showed a decrease in Ni concentration over time. *L. minor* proved to be more efficient to remove the ion at the lowest concentration. At higher concentrations, however, no differences were observed between both species. The analysis of plant tissue showed that plants accumulated the metal at the three concentrations evaluated.

Keywords: Phytoremediation; heavy metals; aquatic plants; accumulation.

INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua causada por metales pesados es uno de los mayores problemas a nivel mundial. Las aguas residuales y los tratamientos ineficientes de las aguas industriales contribuyen continuamente a diseminar contaminantes orgánicos e inorgánicos (peligrosos para el ecosistema y la salud humana). A diferencia de los contaminantes orgánicos, los metales pesados persisten y tienden a acumularse en el ambiente.

El níquel es un micronutriente esencial que juega un papel importante en la actividad catalítica de los sistemas enzimáticos de las plantas. Sin embargo, a dosis más elevadas, este metal es fitotóxico causando efectos negativos en las funciones fisiológicas de las plantas (Gardea-Torresdey *et al.*, 2005).

En el agua natural las concentraciones de Ni son generalmente bajas (2-10 µg l⁻¹). Sin embargo, en los últimos años, las concentraciones de este metal en agua se incre-

mentaron notablemente debido a la combustión de combustibles fósiles, procesos de revestimiento y acabado, explotación minera, refinación del níquel, incineración de residuos y, por supuesto, por la descarga de residuos industriales y municipales (Xiaolei, 1998). Una gran parte de las pilas y baterías híbridas Ni-Cd o Ni-Metal son desechadas en basurales. Una vez liberados, esos metales se convierten en un riesgo para el medio ambiente, ya que pueden llegar a acuíferos y, por lo tanto, afectar la calidad del agua (Rydh y Karlstrom, 2002; Ris, 2007).

La fitorremediación se basa en el uso de plantas para remover contaminantes del ambiente (Suthersan, 2002). Esta tecnología ha demostrado ser una opción viable para purificar el agua contaminada con trazas de elementos, debido a su relación costo-beneficio y al impacto positivo que tiene sobre el ambiente (Raskyn *et al.*, 1997).

Numerosos estudios han reportado el uso de macrofitas para la remediación de agua contaminada con metales pesados como ser Pb, Cd, Cu, Fe, Ni, Mn, Zn y Cr VI (Nasu y Kugimoto, 1981; Wang *et al.*, 1997; Maine *et al.*, 2001; Miretzky *et al.*, 2004).

Las macrofitas, *Eichhornia crassipes* y determinadas especies de la familia Lemnaceae, tales como *Spirodela* sp, *Lemna gibba* y *L. minor*, han sido estudiadas para la remoción de determinados metales (Gardea-Torresdey *et al.*, 2005; Del Campo Marín y Oron, 2007; Rhaman *et al.*, 2007). Mishra y Tripathi (2008) demostraron que *E. crassipes* es más eficiente que *P. stratiotes* y *Spirodela polyrrhiza* para eliminar diferentes metales (Fe, Zn, Cu, Cr y Cd). Por otra parte, Axtell *et al.* (2003) evidenciaron que *L. minor* es efectiva en la remoción de Ni, y que es capaz de eliminar entre el 50 y 90% de este metal dentro de las primeras 24 horas.

El objetivo de este estudio fue evaluar la capacidad de remediación de *L. minor* y *E. crassipes* cuando son expuestas a diferentes concentraciones de níquel.

MATERIALES Y MÉTODOS

La especie *E. crassipes* (Mart) Solms (Pontederiaceae) fue recolectada en el río Paraná de las Palmas (Escobar, provincia de Buenos Aires, Argentina) y la especie *L. minor* (Lemnaceae) en un estanque cercano a la ciudad de Castellar (provincia de Buenos Aires, Argentina).

Previo al ensayo, las plantas fueron aclimatadas durante quince días en bandejas rectangulares (1.52 x 0.6 x 0.1 m) conteniendo agua corriente. Se agregó 1 kg de lombricompost por bandeja cada 7 días (pH 7.56; CE 4.47 mS.cm⁻¹; COT 36.69% NTK 3.83%; C/N 9.57).

El estudio fue realizado en febrero (2006) en un invernadero donde el fotoperíodo, la temperatura y la humedad fueron registrados diariamente (Datalogger AZ 8829).

Las plantas fueron sacadas de las bandejas de cultivo, lavadas con agua destilada para eliminar resto de sedimentos y luego secadas con papel absorbente. En el caso

de que alguna planta presentase tejido dañado o deteriorado, éste fue descartado para el ensayo.

Las plantas seleccionadas (30 gr de peso húmedo/especie) fueron colocadas en recipientes cilíndricos plásticos (diámetro: 13 cm, capacidad: 1 litro) con 700 ml de una solución de Ni²⁺. Cada solución de Ni²⁺ (NiSO₄.6H₂O) fue preparada en una solución nutritiva (Hoagland and Arnon, 1950) para asegurar el aporte de nutrientes durante el experimento.

Cada especie fue sometida a cuatro tratamientos, con 0, 1, 3 y 6 mg l⁻¹ de Ni. Además, para cada concentración de Ni, se realizó un control sin planta para evaluar el fenómeno de adsorción del contaminante en la superficie interior del recipiente plástico.

El experimento consistió en un diseño completamente aleatorio, con tres repeticiones para cada tratamiento. Se tomaron muestras a las 0, 3, 20, 24, 48, 72, 168 y 336 horas de incubación para cada tratamiento y control.

La pérdida de agua por procesos de transpiración y evaporación fue compensada diariamente con solución nutritiva, a fin de evitar el efecto de concentración del contaminante. El volumen perdido de la solución en cada muestreo no fue compensado, siendo un 5,7% del volumen total, al final del ensayo.

La concentración de metal en la solución fue determinada por espectrofotometría de absorción atómica (Perkin Elmer, AAnalyst 100; CNEA- Comisión Nacional de Energía Atómica -; límite de detección para Ni: 0,2 mg l⁻¹)

Al final del experimento las plantas fueron retiradas de los recipientes con la solución, lavadas con agua destilada y secadas con papel absorbente. Luego, el tejido de la planta fue secado a 105 °C hasta obtener un peso constante, triturado y digerido con ácido nítrico (HNO₃), según métodos normalizados por la APHA (1992).

La concentración de Ni en las plantas fue determinada por espectrofotometría de absorción atómica. La masa de Ni en las plantas fue calculada a partir de estos datos obtenidos y comparados con la masa inicial del metal en la solución para cada tratamiento.

Un análisis de regresión fue llevado a cabo para comparar las curvas de concentración de Ni en solución en función del tiempo. Se calculó el tiempo necesario para eliminar el 50% del Ni en la solución.

El ANOVA y el Test de Student fueron utilizados para comparar la masa inicial de Ni en solución con la masa incorporada de Ni por las plantas al final de la experiencia. Se utilizó el paquete estadístico Infostat V 08. En todos los casos, el nivel de significancia empleado fue del 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Remoción de Ni en solución

Los registros en el invernadero indicaron temperaturas promedio de 27 °C, 70% de humedad relativa y fotoperíodos de 14 horas.

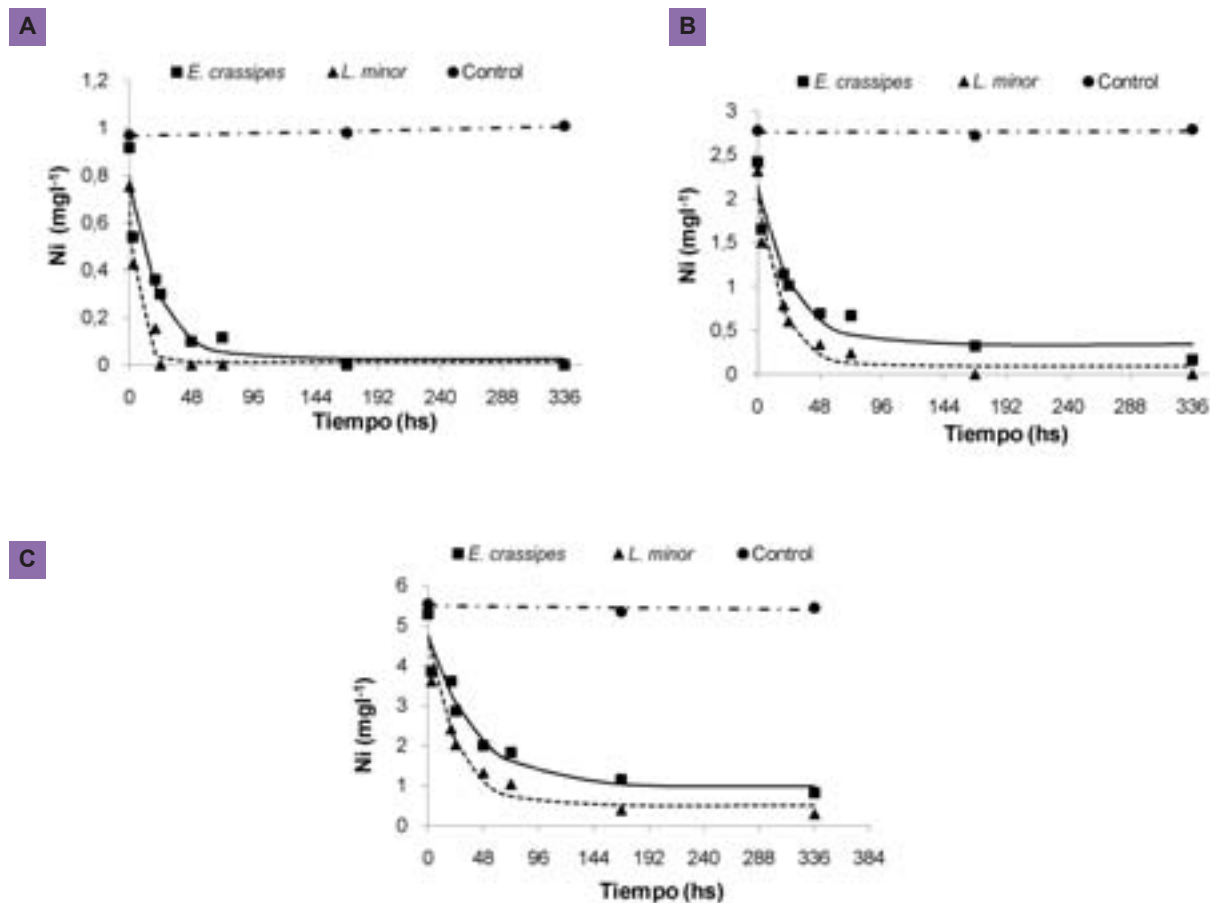


Figura. 1 Variación de Ni en los tratamientos con 1 mg l⁻¹ (a), 3 mg l⁻¹ (b), 6 mg l⁻¹ (c) y sus respectivos controles en función del tiempo, debido a la presencia de *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes*. Fuente: Bres, P.

La concentración de Ni en los controles sin plantas se mantuvo aproximadamente constante durante todo el ensayo. Los valores obtenidos fueron los siguientes: 1,0 ± 0,02 mg l⁻¹, 2,76 ± 0,03 mg l⁻¹ y 5,4 ± 0,11mg l⁻¹ para 1, 3 y 6 mg l⁻¹, respectivamente. En consecuencia, el metal no fue adsorbido en la superficie de los recipientes plásticos y, por lo tanto, la concentración de Ni en la solución se mantuvo estable.

Las figuras 1 a, b y c muestran las curvas de concentración de Ni (1, 3 y 6 mg l⁻¹) obtenidas en función del tiempo para ambas especies y sus controles. Las curvas fueron ajustadas según el modelo exponencial negativo: $y=a+b.e^{(-cx)}$ (R²> 90%).

La concentración de Ni en los controles con plantas (*L. minor* y *E. crassipes* sin contaminantes) estuvo por debajo del límite de detección (<0.2 mg l⁻¹). Sin embargo, en todos los tratamientos llevados a cabo con el contaminante, la concentración de Ni se redujo significativamente en el tiempo para *L. minor* (F (6;15) = 47.77, P<0.001) y *E. crassipes* (F (6;15) = 58.98, P<0.001).

Los porcentajes de remoción fueron del 100%, 100% y 95% en 1, 3 y 6 mg l⁻¹, respectivamente para *L. minor* al final del ensayo. Estos porcentajes fueron similares a los obtenidos por Axtell *et al.* (2003), que estudió la eliminación de Ni en *L. minor* con diferentes concentraciones de Pb y encontró

una tasa de eliminación similar. Los resultados mostraron que esta planta elimina un 80% y 87% de Ni en 2,5 y 5 mg l⁻¹, respectivamente. Estos resultados demostraron la absorción preferencial de Ni en lugar del Pb. Los valores superiores encontrados en este estudio podrían atribuirse a la exposición de esta especie a un solo contaminante, evitando así posibles efectos de antagonismo/sinergismo.

Los porcentajes de remoción fueron del 100%, 93% y 85% en los tratamientos 1, 3 y 6 mg.l⁻¹ respectivamente para *E. crassipes*, al final del ensayo. Hadad *et al.* (2011) expuso a *E. crassipes* a concentraciones de Ni de 1 mg.l⁻¹ por 30 días y obtuvo un 95% de eliminación al final del

Tiempo (h) para remover el 50% de Ni		
Tratamiento	<i>L. minor</i>	<i>E. crassipes</i>
1 mg l ⁻¹	4.6	15.3
3 mg l ⁻¹	12.3	18.0
6 mg l ⁻¹	17.1	28.2

Tabla 1. Tiempo (h) de *L. minor* and *E. crassipes* para remover el 50% de Ni en las tres concentraciones iniciales. Fuente: Bres, P.

<i>L. minor</i>					
Tratamiento	Ni _s (mg)	Ni _p (mg)	P	t	gl
1 mg l ⁻¹	0.527 ± 0.07	0.538 ± 0.020	0.8140	0.2452	4
3 mg l ⁻¹	1.619 ± 0.089	1.620 ± 0.034	0.9954	0.006	4
6 mg l ⁻¹	3.733 ± 0.015	3.609 ± 0.110	0.1242	1.942	4

<i>E. crassipes</i>					
Tratamiento	Ni _s (mg)	Ni _p (mg)	P	t	gl
1 mg l ⁻¹	0.642 ± 0.042	0.960 ± 0.510	0,305	1,364	2
3 mg l ⁻¹	1.692 ± 0.089	1.790 ± 1.371	0,913	1,235	2
6 mg l ⁻¹	3.698 ± 0.135	1.120 ± 0.344	0,0068	12,09	2

Tabla 2. Masa inicial de Ni en solución y en el tejido vegetal al final del experimento para *L. minor* y *E. crassipes*. Fuente: Bres, P.

Ni_s (mg)= miligramos de Ni en solución al comienzo del ensayo.

Ni_p (mg)= miligramos de Ni en el tejido de la planta al final del ensayo.

P= probabilidad.

t= valor del test de student.

gl= grado de libertad

ensayo. Esta alta eliminación de Ni fue consistente con los resultados obtenidos en este experimento.

La tasa de remoción de Ni fue dependiente de la concentración inicial. Cuando la concentración inicial fue baja, la tasa de eliminación del metal fue mayor que para concentraciones más elevadas.

Si bien ambas especies fueron capaces de eliminar Ni de la solución, *L. minor* fue más eficiente ($F(3; 10) = 5.97$, $P < 0.002$) que *E. crassipes* en el tratamiento con 1 mg l⁻¹.

En lo que respecta a los tratamientos con 3 y 6 mg l⁻¹ no se obtuvieron diferencias significativas entre ambas especies ($F(3;10)=3.05$, $P=0.0788$ y $F(3;10)= 3.47$, $P= 0.0585$). En consecuencia, para elevadas concentraciones, la capacidad de eliminación fue similar.

Otros autores han encontrado que *E. crassipes* es más eficiente para eliminar este ión metálico que *L. minor* (Upadhyay *et al.*, 2007). Probablemente, esta diferencia podría deberse a que en nuestro estudio el Ni fue el único metal involucrado, mientras que estos autores trabajaron con aguas residuales municipales que contenían diferentes metales. Es posible que ciertos mecanismos de competitividad y selectividad jueguen un rol importante cuando existen varios contaminantes involucrados.

Cuando se compararon ambas especies en relación al tiempo necesario para obtener una reducción del 50% en la concentración del ión, los datos obtenidos evidenciaron que *L. minor* requirió un menor tiempo en los tres tratamientos (tabla 1). Si bien no se encontraron diferencias significativas con respecto a la capacidad de eliminación entre ambas especies, con 3 y 6 mg l⁻¹, el tiempo necesario para eliminar el 50% de la concentración con *E. crassipes* fue 1.5 veces mayor que el registrado en *L. minor*.

Se determinó además, que ambas especies removieron el 50% del ión metálico dentro de las primeras 24 horas.

Esto fue consistente con los resultados obtenidos por Axtell *et al.* (2003) y Hadad *et al.* (2009), donde la eliminación se produjo muy rápidamente en las primeras 24 horas, siendo 50-90% para *L. minor* y 62% para *E. crassipes*.

La incorporación del metal en el tejido de la planta en ese período de tiempo sugiere que el tiempo de exposición al contaminante podría acortarse. La inducción de síntomas de toxicidad producidos por tiempos de exposición mayores, como la clorosis y el deterioro de las raíces, podrían, por lo tanto, evitarse. Además, la descomposición de tejidos vegetales (hojas y raíces) puede liberar el metal al medio, quedando disponible para otros organismos de la cadena trófica (Burke *et al.*, 2000; Miretzky *et al.*, 2004).

Análisis del tejido de la planta

La concentración de Ni en los controles fue por debajo de los límites de detección (<0.2 mg l⁻¹) en ambas especies, tanto al inicio como al final del ensayo, y por lo tanto, no fue considerado en este estudio.

Los valores de masa inicial de Ni en solución y en el tejido de las plantas al final del experimento, son mostrados en la tabla 2 para *L. minor* y *E. crassipes*.

El análisis estadístico demostró que no hubo diferencias significativas entre la concentración inicial de Ni en la solución y aquella que se encontró en el tejido vegetal de *L. minor* al final de la incubación. Las plantas acumularon Ni en sus tejidos en los tres tratamientos y fueron por tanto responsables de la eliminación de este ión metálico.

Los resultados mostraron que la incorporación del metal fue dependiente de la concentración inicial. Saygideger *et al.* (2005) estudió la adsorción de los iones Cd, Ni y Cu en especies de *L. minor* para evaluar el efecto de la concen-

tración inicial del contaminante. Este estudio demostró que la concentración inicial del metal tiene un papel importante para la transferencia de masa entre las fases acuosa y sólida. El equilibrio de la capacidad de adsorción de la biomasa fue incrementada con el aumento de la concentración inicial del metal.

El análisis del tejido de *E. crassipes* mostró que toda la masa inicial de Ni en solución fue incorporada por la planta en los tratamientos con 1 y 3 mg l⁻¹. Sin embargo, hubo diferencias significativas entre la masa inicial de Ni en la solución y la encontrada en el tejido de la planta al final del experimento para el tratamiento con 6 mg l⁻¹. Hubo una eliminación del 85% de Ni en solución para este tratamiento (fig. 1), sin embargo, la masa de Ni incorporada por la planta fue menor a la esperada. Esto podría deberse a que fue analizada en conjunto la parte aérea y las raíces. La digestión ácida de una pequeña fracción del tejido de *E. crassipes*, formada por estructuras histológicas más diferenciadas que en *L. minor*, podría proporcionar valores poco representativos de la acumulación de Ni en la biomasa total.

Sería recomendable analizar la parte aérea y las raíces por separado en futuros ensayos. Esto permitiría determinar la zona de acumulación de este metal en la planta e identificar los diferentes mecanismos de fitorremediación involucrados (fitoacumulación o rizofiltración, entre otros)

Por otra parte, *E. crassipes* podría requerir una digestión ácida más fuerte para alcanzar una mineralización completa y para reducir la variabilidad encontrada entre las réplicas para cada tratamiento.

CONCLUSIONES

Ambas especies de plantas, *L. minor* y *E. crassipes* son capaces de eliminar el Ni presente en solución. La capacidad de eliminación es mayor durante las primeras 24 horas de exposición al contaminante.

La especie *L. minor* fue más eficiente en remover Ni que *E. crassipes* cuando es expuesta a bajas concentraciones.

Estos resultados demuestran que *L. minor* y *E. crassipes* pueden ser utilizadas para la fitorremediación de aguas contaminadas con metales.

AGRADECIMIENTOS

El estudio fue financiado por la Universidad de Morón y el Fondo para las Américas.

Queremos agradecer al Sr. Luis Díaz por su participación en la preparación del experimento y la recolección de muestras.

BIBLIOGRAFÍA

APHA. 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewaters. Part.3030. American Public Health Association, (ed) Díaz de Santos, Madrid, España.

AXTELL, N.R.; STERNBERG, S.P.K.; CLAUSSEN, K. 2003. Lead and nickel removal using *Microspora* and *Lemna minor*. Bioresource Technol 89, 41-48.

BURKE, D.J.; WEIS, J.S.; WEIS, P. 2000. Release of metal by the leaves of the salt marsh grasses *Spartina alterniflora* and *Phragmites australis*. Estuar Coast Shelf S 51, 153-159.

DEL CAMPO MARÍN, C.M.; ORON, G. 2007. Boron removal by duckweed *Lemna gibba*: A potential method for the remediation of boron-polluted waters. Water Res 41, 4579-4584.

GARDEA-TORRESDEY, J.L.; PERALTA-VIDEA, J.R.; DE LA ROSA, G.; PARSONS, J.G. 2005. Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by X-ray absorption spectroscopy. Coordin Chem Rev 249, 1797-1810.

HADAD, H.R.; MAINE, M.A.; PINCIROLI, M. 2009. Nickel and phosphorous sorption efficiencies, tissue accumulation kinetics and morphological effects on *Eichhornia crassipes*. Ecotoxicology 18, 504-513.

HADAD, H.R.; MAINE, M.A.; MUFARREGE, M.M.; DEL SASTRE, M.V.; DI LUCA, G.A. 2011. Bioaccumulation kinetics and toxic effects of Cr, Ni and Zn on *Eichhornia crassipes*. Journal Hazardous Materials 190, 1016-1022.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. 1950. The water culture method for growing plant without soil. California Agricultural Experiment Station, Berkeley. Circular 347, pp. 32.

MAINE, M.A.; DUARTE, M.V.; SUÑÉ, N.L. 2001. Cadmium uptake by floating macrophytes. Water Res 35, 2629-2634.

MIRETZKY P.; SARALEGUI A.; FERNÁNDEZ CIRELLI A. 2004. Aquatic macrophytes potential for the simultaneous removal of heavy metals (Buenos Aires, Argentina). Chemosphere 57, 997-1005.

MISHRA, V.K.; TRIPATHI B.D. 2008. Concurrent removal and accumulation of heavy metals by the three aquatic macrophytes. Bioresource Technol 99, 7091-7097.

NASU, Y.; KUGIMOTO, M.; TANAKA, O.; TAKIMOTO A. 1983. Comparative studies on the absorption of cadmium and copper in *Lemna paucicostata*. Environ Pollut A 32 (3), 201-209.

RAHMAN, M.A.; HASEGAWA, H.; UEDA, K.; MAKI, T.; OKUMURA, C.; RAHMAN, M.M. 2007. Arsenic accumulation in duckweed (*Spirodela polyrrhiza*): A good option for phytoremediation. Chemosphere. 69, 493-499.

RASKYN, I.; SMITH, R.; SALT, D. 1997. Phytoremediation of metals: using plants to remove pollutant from the environment. Curr Opin Biotechnol 8, 221-226.

RIS INTERNATIONAL, LTD. 2007. Canadian consumer battery baseline study. Final report. 77 p.

RYDH, C.J.; KARLSTROM, M. 2002. Life cycle inventory of recycling portable nickel-cadmium batteries. Resour Conserv Recy 34 (4), 289-309.

SUTHERSAN, S.S. 2002. Phytoremediation. In: Natural and enhanced remediation systems. SUTHERSAN, S.S. (ed) Arcadis Lewis Publishers, Washington DC, pp. 239-268.

SAYGIDEGER, S.; GULNAZ, O.; ISTIFLI, E.S.; YUCEL, N. 2005. Adsorption of Cd (II), Cu (II) and Ni (II) ions by *Lemna minor* L.: Effect of physicochemical environment. Journal of Hazardous Materials 126, 96-104.

UPADHYAY, A.R.; MISHRA, V.K.; PANDEY, S.K.; TRIPATHI, B.D. 2007. Biofiltration of secondary treated municipal wastewater in a tropical city. Ecol Eng 30, 9-15.

WANG, W.; GORSUCH, J.W.; HUGHES, J.S. 1997. Plant for Environmental Studies. CRC, New York, Lewis, pp. 563.

XIAOLEI, J. 1998. Nickel toxicity and mechanisms of nickel resistance in *Scandemus acutus* F. *alternans*. Thesis for the degree of Doctor Philosophy. Department of Botany. University of Toronto. National Library of Canada. Acquisitions and Bibliographic Services. 238 p.

Una herramienta para monitorear sequías en regiones áridas y semiáridas de Patagonia Norte

EASDALE, M.H.^{1*}; LÓPEZ, D.R.²; BIANCHI, E.²⁴; BRUZONE O.³⁴; VILLAGRA S.E.¹; SIFFREDI, G.L.²; GAITÁN J.J.²; UMAÑA F.²; ORICCHIO, P.⁵

RESUMEN

La variabilidad ambiental es una característica de regiones pastoriles áridas y semiáridas, siendo la sequía uno de los principales problemas en sistemas ganaderos extensivos, con implicancias productivas y económicas tanto a escala predial como regional. El monitoreo regional de los procesos de sequía es una herramienta fundamental y necesaria, como complemento de propuestas y manejos adaptativos activos que busquen mitigar los impactos sobre la producción. En el presente artículo proponemos una herramienta para el monitoreo de sequías en zonas áridas y semiáridas, basada en datos provistos por sensores remotos. El objetivo fue desarrollar un sistema de monitoreo basado en un índice espectral, desagregando la heterogeneidad biofísica regional en unidades homogéneas, y relacionándola con los momentos clave de decisiones asociadas al manejo ganadero tradicional, en sistemas de producción ovina de Patagonia Norte. Esta integración permite acercar esta herramienta a la toma de decisiones a escala regional, fundamentalmente para instituciones y organizaciones locales, y colaborar con información en el diseño y desarrollo de políticas vinculadas al manejo ganadero adaptativo. Finalmente, discutimos los alcances de la herramienta y los desafíos futuros, asociados al desarrollo de sistemas de alerta temprana y mitigación de sequías en regiones áridas y semiáridas.

Palabras clave: Alerta temprana, mitigación, Patagonia, sensores remotos, producción ovina, vulnerabilidad.

ABSTRACT

Environmental variability is a constant feature in arid and semiarid rangeland regions, being drought one of the main problems in extensive livestock production, with productive and economic impacts both at farm and regional scales. Regional monitoring of drought processes is a key and necessary tool, as a complement for active adaptive proposals and management, aimed at mitigation on production impacts. In this article, we propose a tool for drought monitoring in arid and semiarid areas, based on remote sensing data. The aim was to develop a monitoring system based on a spectral index, disaggregating regional biophysical heterogeneity into homogeneous units, by linking them to key decision moments associated with traditional livestock management in sheep farming systems from Northern Patagonia. Such integration allows bringing this tool closer to regional decision making, basically for local institutions and organizations, and give support with information for policy design and development related to adaptive livestock management. Finally, we discuss the scope of this tool and future challenges, regarding the development of early warning and drought mitigation systems in arid and semiarid regions.

Keywords: early warning, mitigation, Patagonia, remote sensing, sheep production, vulnerability.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria Bariloche. Modesta Victoria 4450 (8400), Bariloche, Río Negro, Argentina.

¹Área de Desarrollo Rural. ²Área de Recursos Naturales. ³Área Forestal. ⁴Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET). ⁵INTA, Instituto de Clima y Agua.

**Correo electrónico: measdale@bariloche.inta.gov.ar

Recibido 01 de julio de 2011 // Aceptado 23 de noviembre de 2011 // Publicado online 18 de abril de 2012

INTRODUCCIÓN

La variabilidad ambiental es una característica de regiones pastoriles áridas y semiáridas en todo el mundo (Noy-Meir, 1973; Illius y O'Connor, 1999; Schwinning y Sala, 2004), siendo la sequía uno de los principales problemas en sistemas ganaderos extensivos (e.g. Le Houérou, 1996; White *et al.*, 1998; du Pisani *et al.*, 1998; Oba, 2001). Mitigar la sequía en regiones áridas y semiáridas requiere tener disponible adecuada información como primer paso para impulsar monitoreos y manejos adaptativos activos (Berkes *et al.*, 2000; Lindenmayer y Likens, 2009). Sin embargo, la generación de este tipo de información no es simple y necesita la integración de diferentes disciplinas y herramientas, que contribuyan en conjunto al desarrollo de un sistema de monitoreo.

El efecto del evento de sequía de importancia agronómica se encuentra determinado por una reducción significativa en la productividad forrajera, que tiene implicancias sobre la productividad ganadera, y por ende, económicas. Se pueden registrar desde mermas en la cantidad de productos generados (e.g. kg carne.ha⁻¹, kg lana.ha⁻¹), hasta mortandad animal. Bajo esta definición de sequía, es importante: a) generar índices que permitan monitorear la dinámica de la vegetación, b) identificar los momentos del ciclo productivo en los cuales la exposición y sensibilidad es mayor (*sensu* Turner II *et al.*, 2003).

Los principales controles de la dinámica de la vegetación en zonas áridas están relacionados con factores climáticos (Jobbágy *et al.*, 2002; Schwinning y Sala, 2004). En estos ecosistemas, y particularmente en Patagonia, una disminución en las precipitaciones produce mermas en la productividad primaria (e.g. Illius y O'Connor, 1999; Jobbágy *et al.*, 2002; Schwinning y Sala, 2004; Fabricante *et al.* 2009). Asimismo, existen interacciones con la temperatura que en determinadas zonas y en ciertos momentos del año adquieren relevancia (Jobbágy *et al.*, 2002). La sequía es un fenómeno regional y que varía espacialmente, por lo tanto es importante conocer la distribución espacial del evento. En particular, es relevante resaltar zonas críticas para la intervención, y su vínculo con momentos del ciclo productivo en donde dicha información es clave para tomar decisiones con la suficiente anticipación, permitiendo reducir las potenciales pérdidas. En este sentido, los sensores remotos ofrecen algunas posibilidades para avanzar en esta dirección. Una ventaja de la información satelital es que permite contar rápidamente con información a una escala de tiempo compatible con la toma de decisiones en sistemas ganaderos extensivos, abarcando toda una región y sin tener que recurrir a extrapolaciones. Particularmente, el Índice de Vegetación Normalizado (IVN) permite estimar la cantidad de energía radiante absorbida por la vegetación (Ruimy *et al.*, 1994; Gamon *et al.*, 1995), considerado por ende un buen estimador de la productividad primaria neta aérea (PPNA) (Monteith, 1977; Paruelo *et al.*, 1997; Paruelo *et al.*, 2000). Incluso en algunos sitios de Patagonia, se ha estudiado su relación con indicadores de productividad secundaria (i.e. ganadera) como la mortalidad animal y la señalada (Texeira y Paruelo, 2005; Hall y Paruelo, 2006).

Algunas aplicaciones al manejo ganadero en zonas húmedas son alentadoras en cuanto al objetivo de acercar estas herramientas a la toma de decisiones (Grigera *et al.*, 2007).

El IVN integra el efecto de dos de los principales controles climáticos de la vegetación: las precipitaciones y las temperaturas de un lugar (e.g. Jobbágy *et al.* 2002; Fabricante *et al.* 2009). Cambios relativos en el IVN podrían estar reflejando modificaciones (~anomalías) en la actividad fotosintética de la vegetación en su conjunto. Si estos valores relativos son negativos y ocurren durante la estación de crecimiento, constituirían anomalías asociadas a la ocurrencia de un evento de sequía, proporcionando una herramienta para su monitoreo.

En este contexto, la finalidad de este trabajo es proponer una herramienta para el monitoreo de sequías en zonas áridas y semiáridas de Patagonia norte. Para ello, se propone monitorear los cambios relativos en el IVN a escala regional, desagregando la heterogeneidad biofísica en unidades homogéneas de análisis. Esto permite incluir diferencialmente aspectos clave del manejo ganadero tradicional en sistemas de producción ovina de Patagonia Norte, con la intención de acercar esta herramienta a la toma de decisiones a escala regional (i.e. político). Finalmente, se discuten las implicancias, desafíos y futuros pasos en el desarrollo de este tipo de herramientas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para discriminar la heterogeneidad espacial en la provincia de Río Negro, utilizamos la aproximación de regiones ecológicas homogéneas. Cada región ecológica es considerada una unidad homogénea en términos fitogeográficos, de relieve y geológicos (León *et al.*, 1998; Bran *et al.*, 2000). En este artículo y para ejemplificar su utilización, se seleccionaron dos regiones ecológicas contrastantes de la provincia de Río Negro: Monte Austral y Sierras y Mesetas (fig. 1).

La región ecológica del Monte Austral ocupa una superficie de 8.419.775 hectáreas en Río Negro. Presenta un clima árido, con precipitaciones anuales por lo general menores a 200 mm y una temperatura media anual superior a 13 °C (Bran *et al.*, 2000). La vegetación predominante es una estepa arbustiva media con *Larrea* spp., asociada con *Monttea aphylla*, *Prosopis alpataco* y *Atriplex lampa*, y un estrato gramíneo constituido por *Nassella tenuis* (ex *Stipa tenuis*) (Cabrera, 1971). La región ecológica de Sierras y Mesetas ocupa una superficie de 3.538.500 hectáreas. El clima es predominantemente árido y frío, con precipitaciones medias anuales en torno a los 250 mm otoño-invernales, y temperatura anual media de aproximadamente 8 °C. Está conformada por un área de sierras, pedimentos mesetiformes y mesetas basálticas, con alturas de aproximadamente 1.000 m.s.n.m., con predominio de estepas de arbustos bajos con *Mulinum spinosum* y *Senecio* spp. y estrato gramíneo con *Pappostipa speciosa* (ex *Stipa speciosa*), mientras que en los sectores más elevados (>1.200 m.s.n.m.) se encuentran estepas gramíneas

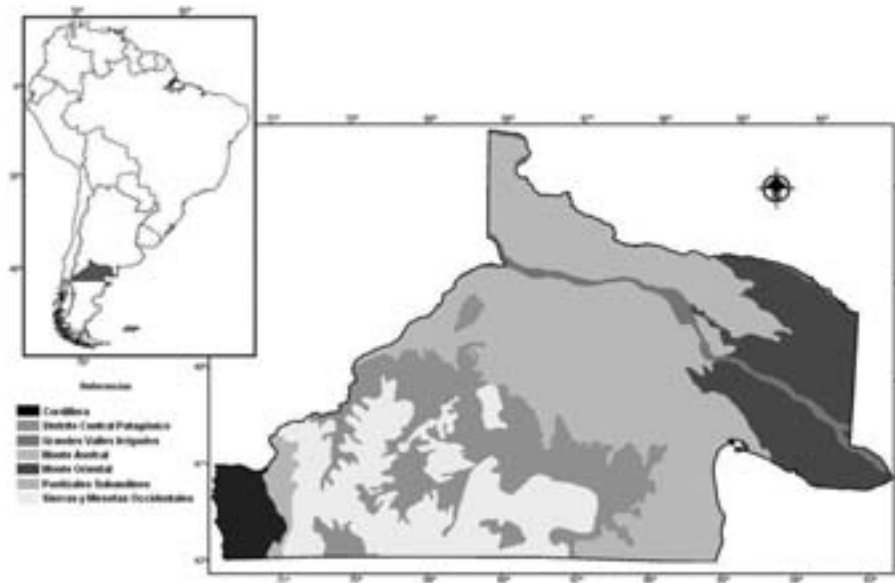


Figura 1. Regiones Ecológicas Homogéneas de la provincia de Río Negro, Argentina. Fuente: Bran *et al.*, 2000.

de *Festuca* spp. Una característica distintiva de esta región es que presenta humedales (mallines) que representan aproximadamente el 3% de la superficie total (Bran *et al.*, 2000). Si bien las regiones difieren en cuanto a características fitogeográficas, topográficas, geológicas e incluso climáticas, en ambas se desarrollan sistemas de producción ovina, con similitudes en cuanto al manejo. En este sentido se identificaron cuatro momentos vinculados a actividades productivas importantes en el manejo tradicional de sistemas ovinos extensivos de Río Negro: servicio, esquila, parto y destete.

Para estimar el IVN se utilizaron imágenes NOAA/AVHRR con una resolución de 1,1 km², incluyendo una serie de julio-1996 a diciembre-2009. En cada imagen se realizaron correcciones por distorsiones atmosféricas, geométricas y de emisividad (rugosidad) de la superficie. Las correcciones atmosféricas y geométricas se realizaron al obtener la imagen, mientras que las de rugosidad se realizaron al calcular el IVN. Para el cálculo del IVN $((ch2 \text{ (infrarrojo)} - ch1 \text{ (rojo)}) / (ch1 + ch2))$ se utilizaron los canales 1 (ch1) y 2 (ch2) de los pasajes correspondientes a horas cercanas al mediodía, y los valores fueron escalados de 0 a 100. Se generaron composiciones decádicas (i.e. una imagen compuesta de 10 días; o sea 3 imágenes mensuales) basada en el máximo valor de IVN (Holben, 1986), para poder tener un mejor control de la calidad de las imágenes a utilizar en los análisis posteriores. De los 522 periodos decádicos en la serie 1996-2009, se descartaron 75 (14,4%) por distintos problemas de calidad (i.e. nubosidad, valores anómalos, no disponibilidad) y algunos meses no pudieron ser incluidos en el análisis. Posteriormente, se utilizaron estas imágenes para obtener una composición mensual basada en el máximo IVN, a partir de las cuales se calcularon los valores relativos. La cantidad de datos disponibles para cada mes quedó conformada de la siguiente manera:

para mayo y junio se dispuso de 9 registros anuales para la serie seleccionada (n=9); abril (n=10); febrero, marzo y julio (n=12); enero, agosto, septiembre y octubre (n=13); noviembre y diciembre (n=14). Finalmente, para la obtención del IVN mensual por región ecológica homogénea y con la finalidad de asegurar que los datos correspondan exclusivamente a sitios con vegetación natural, se eliminaron los píxeles correspondientes a las áreas urbanizadas, cuerpos de agua, y roquedales que se encontraran dentro de los límites de la región bajo análisis.

El valor relativo del Índice de Vegetación Normalizado (IVNr) se obtuvo de acuerdo a la Eq.1 (basado en Peters *et al.*, 2002). Con la serie histórica disponible, se obtuvo para cada mes y para cada píxel un valor promedio y su desvío estándar; donde $IVNr_{ijk}$ es el Índice de Vegetación Normalizado relativo para el píxel i mes j y año k , X_{ijk} es el mes corriente (o focal de análisis) para el píxel i mes j y año k , XP_{ij} el valor promedio para el píxel i durante n años (excluyendo el mes del año corriente o focal), y σ_{ij} es el desvío estándar para el píxel i durante n años (excluyendo el mes del año corriente o focal).

$$IVNr_{ijk} = (X_{ijk} - XP_{ij}) / \sigma_{ij} \quad (\text{eq. 1})$$

La expresión del valor relativo en términos de desvío estándar (anomalía), permite incorporar la variabilidad temporal, como un rango de variabilidad esperable para cada píxel. Esta estandarización permite, a su vez, realizar comparaciones entre píxeles y de esa manera describir la distribución espacial del fenómeno. Con el objetivo de analizar la distribución espacial de las anomalías, el IVNr fue clasificado en 10 clases (mapa regional), basadas en rangos cada 0,5 desvíos estándar (desde $< -2,5$ hasta $> +2,5$ desvíos por

encima y por debajo del promedio, respectivamente). A cada rango se le asignó un color diferente, y fue utilizado como referencia para la asignación de colores a cada píxel. Para ejemplificar su utilización, se presentan los mapas correspondientes a los meses de la estación de crecimiento para 2 años consecutivos (2006 y 2007), contrastantes en términos de las precipitaciones registradas.

RESULTADOS

La dinámica inter-mensual del IVN promedio fue diferente entre regiones (fig. 2). En el Monte Austral, se registran dos picos anuales en los valores medios de IVN, uno asociado

a la primavera (alcanzando el máximo valor medio en octubre) y el otro al otoño (con máximo en los meses de abril-mayo). En la región de Sierras y Mesetas, los valores de IVN promedio se incrementan durante la primavera-verano (con valores máximos en diciembre), para luego descender hasta el próximo ciclo de crecimiento. Dichas evoluciones temporales del IVN, y particularmente los valores máximos, tienen relación con el período del año en el cual ocurren las pariciones, y, por ende con el momento previo en donde se realizan los servicios (fig. 2).

La secuencia de imágenes de dos años consecutivos para la provincia de Río Negro, muestra valores de IVNr positivos en la primavera del año 2006, particularmente

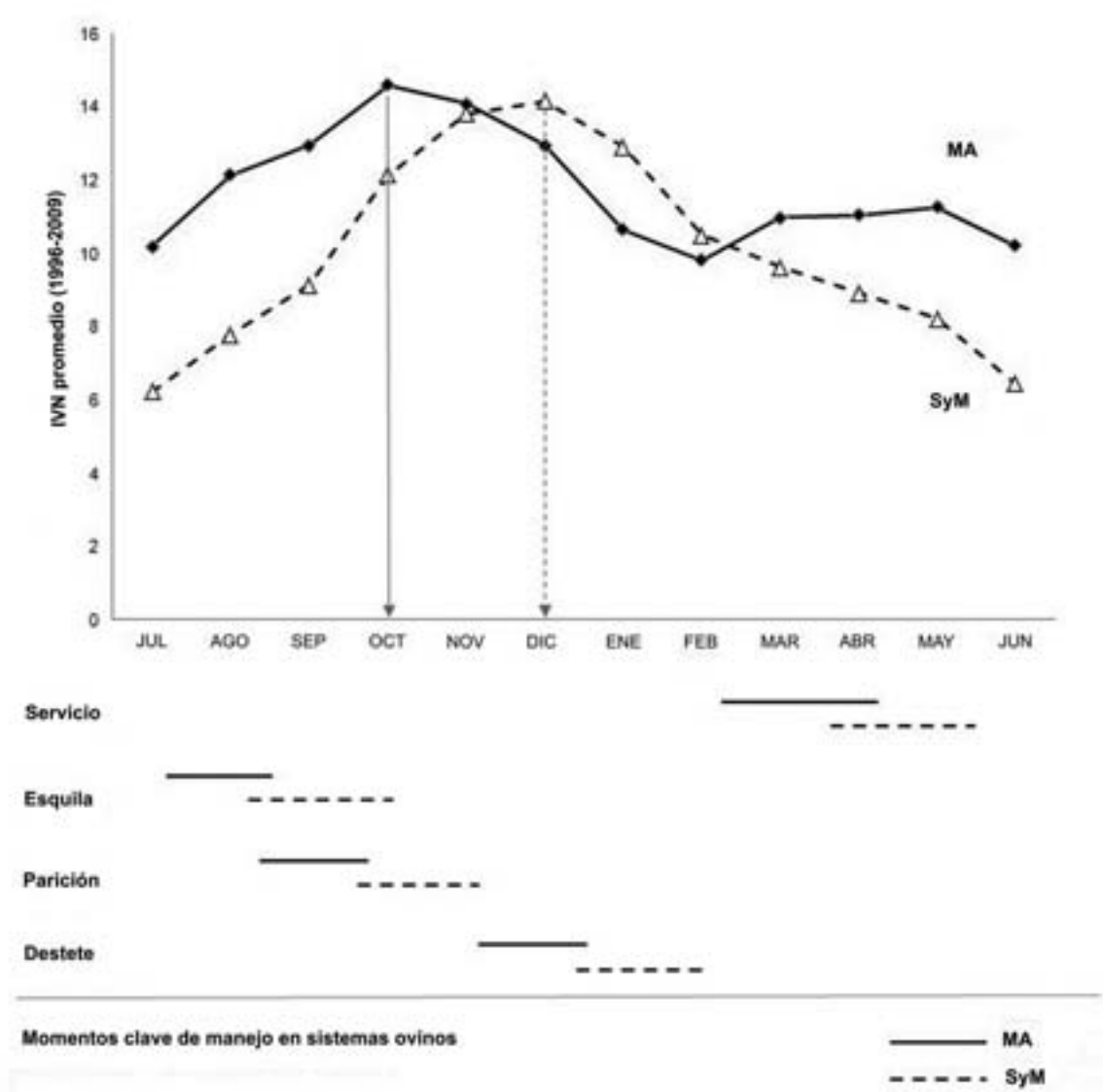


Figura 2. Evolución del Índice de Vegetación Normalizado (IVN) promedio mensual, para las regiones del Monte Austral (MA, línea llena) y Sierras y Mesetas (SyM, línea cortada). Se indican los momentos clave asociados al manejo tradicional en sistemas de producción ovina en Patagonia Norte: Servicio, Esquila, Parición y Destete.

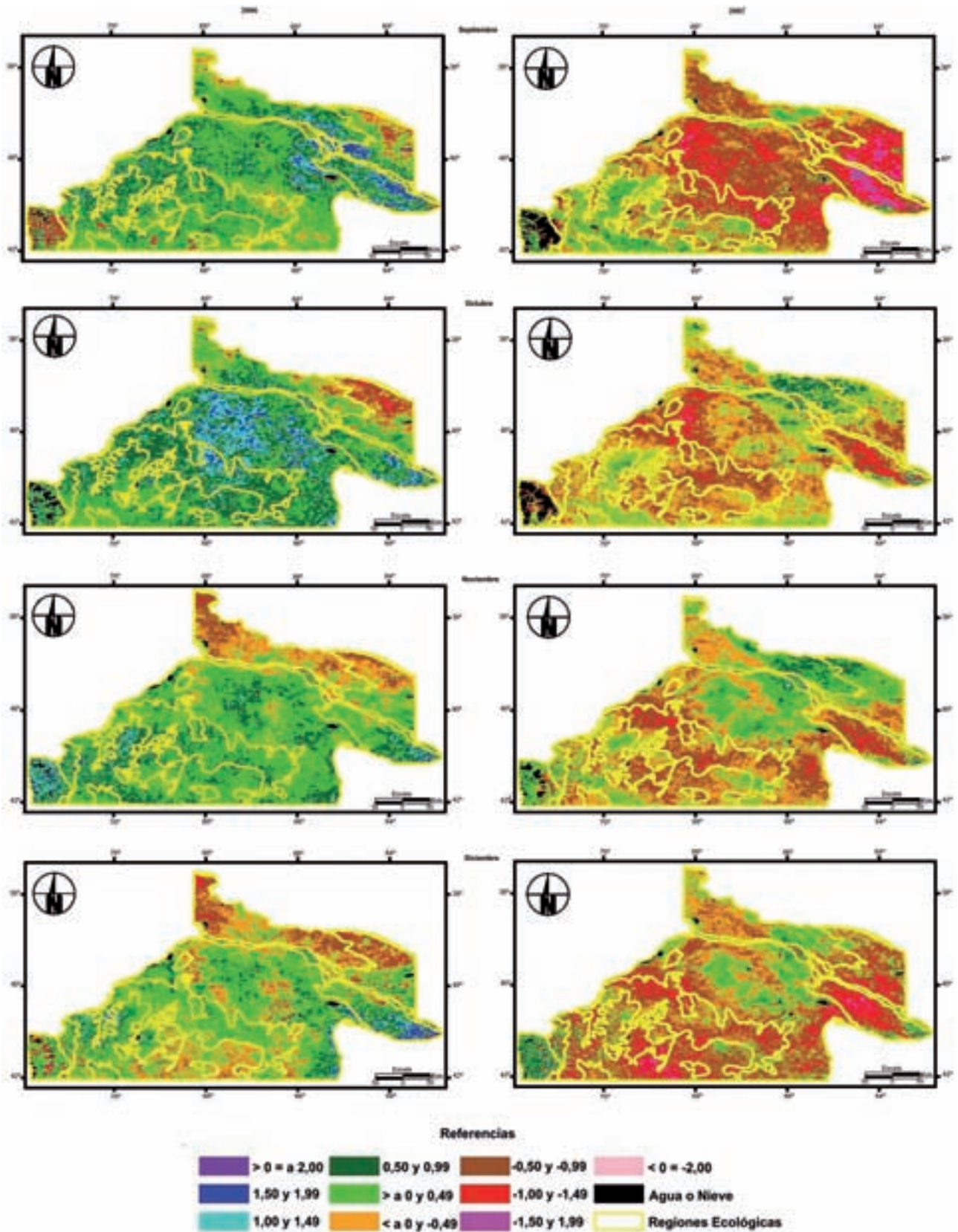


Figura 3. Secuencia de mapas mensuales del Índice de Vegetación Normalizado relativo (IVNr), correspondientes a septiembre, octubre, noviembre y diciembre de los años 2006 y 2007, respectivamente. Se incluyen los límites de regiones ecológicas para la provincia de Río Negro (líneas amarillas).

altos en octubre en el Monte Austral (fig. 3). Los mismos contrastan con los valores negativos de IVNr observados al año siguiente durante septiembre-octubre en el Monte Austral, y en diciembre en Sierras y Mesetas, momentos en los cuales el IVN debería alcanzar sus máximos, respectivamente (fig. 3). Las mismas secuencias permiten hacer espacialmente explícita la incidencia de dichas anomalías a escala regional.

DISCUSIÓN

Con la finalidad de monitorear regionalmente la ocurrencia de sequías, hemos propuesto el monitoreo del IVN relativo, desagregando su comportamiento por región ecológica homogénea, para asociarlo al manejo tradicional en sistemas de producción ovina de Patagonia norte (fig. 2). La evolución del IVN promedio integra en gran medida y para cada región, lo que ocurre principalmente con la precipitación, pero también con la temperatura en cada lugar, (Fabricante *et al.*, 2009). La región de Sierras y Mesetas está influenciada por un clima de tipo mediterráneo (Bran *et al.*, 2000), que concentra las precipitaciones durante la época invernal, por lo que la temperatura influye en el inicio de la estación de crecimiento en primavera (Jobbágy *et al.*, 2002). En el Monte Austral existe una mayor influencia climática del Atlántico (Prohaska, 1956; Labraga y Villalba, 2009), las precipitaciones se distribuyen más a lo largo del año, y la demanda atmosférica es mayor en el verano.

Las diferencias regionales en la dinámica de la vegetación tienen relación con algunas decisiones de manejo tradicional en los sistemas ovinos de Río Negro (fig. 2). Las fechas de servicio en el Monte Austral ocurren hacia fines del verano, para situar las pariciones durante la etapa inicial de crecimiento vegetal en primavera. Esta situación se evidencia también en la disponibilidad para comercializar corderos que tiene esta región a partir de Octubre (Villagra y Giraucho, 2010). En contraposición, los servicios en Sierras y Mesetas ocurren más tardíamente (i.e. otoño) y por ende las pariciones también se sitúan ya avanzada la primavera, en donde la temperatura empieza a ser también mayor. A los fines del monitoreo de las anomalías del IVN, para inferir posibles procesos de sequía que afecten significativamente a los sistemas ganaderos, se sugiere que en el Monte Austral sería importante focalizar el análisis durante el período agosto-octubre (asociado a medidas de manejo vinculadas con las pariciones y el destete) y luego en marzo-abril (asociado al momento del servicio). En Sierras y Mesetas el período focal de análisis se ubicaría entre septiembre y diciembre, vinculado a decisiones asociadas con las pariciones y el destete. Decisiones en torno al servicio correspondiente al ciclo siguiente debieran estar referenciadas al pico de IVN obtenido en diciembre (fig. 2).

La distribución espacial y la magnitud relativa de los eventos de sequía son componentes importantes de un sistema de monitoreo, para guiar la intervención en el territorio (fig. 3). Las imágenes ejemplifican dos años contrastantes para ambas regiones, mostrando valores relativos negativos durante 2007, que conciben con registros

pluviométricos muy inferiores a los promedios históricos e indicadores productivos contrastantes relevados a terreno en distintas zonas de ambas regiones (Villagra y Giraucho, 2010; Easdale y Rosso, 2010). En algunos establecimientos ovinos monitoreados en distintas zonas del Monte Austral se registraron indicadores productivos superiores al promedio durante 2006, mientras que al año siguiente se registraron fuertes caídas en los valores de señalada e incrementos en las mortandades de ovinos adultos, que en algunos casos superaron el 60% (Villagra y Giraucho, 2010). Resultados similares se encontraron en una zona ubicada en el oeste de Sierras y Mesetas, registrándose mortandades generalizadas en distintas especies domésticas y bajas tasas de señalada (Easdale y Rosso, 2010). En esta dirección, algunos trabajos exploraron las relaciones entre índices espectrales y productividad secundaria, utilizando series de datos de mayor longitud temporal (Texeira y Paruelo, 2005; Hall y Paruelo, 2006). Estos estudios y las evidencias empíricas descriptas apoyan la idea de que los índices de vegetación son sensibles para captar cambios relativos en la dinámica de la vegetación en regiones áridas y semiáridas, para ser utilizados como indicadores de cambios vinculados a la productividad ganadera.

Mayores esfuerzos de investigación se requieren para explorar las relaciones entre forzantes climáticos de gran escala, variables meteorológicas e índices espectrales en regiones áridas. Por otro lado, un proceso que merece especial atención es la desertificación, especialmente en Patagonia (del Valle *et al.*, 1998), ya que puede incidir en algunos parámetros de referencia propuestos (e.g. valores promedio históricos del IVN). La importancia en su estudio radica en que altera la respuesta de la vegetación a cambios en las precipitaciones (i.e. Le Houérou, 1984; Verón y Paruelo, 2010). Si bien algunos indicadores han sido sugeridos para avanzar en su comprensión (Le Houérou, 1984; Verón *et al.*, 2006), todavía existen desafíos futuros que adquieren especial relevancia en la escala regional propuesta (Verón *et al.* 2006). Asimismo, el desarrollo de un sistema de alerta temprana y mitigación de sequías requiere la integración a dos escalas interconectadas, *i)* una regional en donde adquieren relevancia decisiones políticas, con apoyo institucional y organizativo; y *ii)* a escala predial, en la cual se toman decisiones de manejo y se aplican tecnologías asociadas a las características propias de cada sistema de producción.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no hubiera podido llevarse adelante sin la colaboración del Instituto de Clima y Agua (INTA Castelar) y del Laboratorio de Teledetección y SIG (INTA-EEA Bariloche). Hacemos un especial reconocimiento a la colaboración brindada, en distintas instancias de este trabajo, por Alejandro González, Paula Lagorio, Leandro García, Santiago Marciani, Celso Giraucho, Donald Bran, Javier Ayesa y Germán Carriac. A Edgardo Tejeda (coordinador provincial de Ley Ovina Río Negro), Tabaré Bassi (Director de Ganadería de Río Negro), al grupo PROPASTIZAL (Ley Ovina

UEP Río Negro) y a Lisandro Blanco por apoyar, contribuir a mejorar y difundir el uso de esta herramienta. Este trabajo fue financiado por INTA-(AEFP 3501) GEF (ARG/07/G35) y Ley Ovina (UEP Río Negro).

BIBLIOGRAFÍA

- BERKES, F.; COLDING, J.; FOLKE, C. 2000. Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management. *Ecological Applications* 10, 1251-1262.
- BRAN, D.; AYESA, J.; LÓPEZ C. 2000. Regiones Ecológicas de Río Negro. *Comunicación Técnica N.º 59* – INTA, EEA Bariloche - Río Negro.
- CABRERA, A. 1971. *Fitogeografía de la República Argentina*. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica 14, 1-42.
- DEL VALLE, H.F.; ELISSALDE, N.O.; GAGLIARDINI, D.A.; MILOVICH J. 1998. Status of desertification in the Patagonian region: Assessment and mapping from satellite imagery. *Arid Soil Research & Rehabilitation* 12, 1-27.
- DU PISANI, L.G.; FOUCHÉ, H.J.; VENTER, J.C. 1998. Assessing rangeland drought in South Africa. *Agricultural Systems* 57, 367-380.
- EASDALE, M.H.; ROSSO, H. 2010. Dealing with drought: social implications of different smallholder survival strategies in semi-arid rangelands of Northern Patagonia, Argentina. *The Rangeland Journal* 32, 247-255.
- EASDALE, M.H. 2010. Evaluación económico-financiera de tecnologías en sistemas de producción ovina, bajo diferente contextos. En: MUELLER, J.; CUETO, M. (Eds.) *Memorias del VIII Curso de Actualización en Producción Ovina*. INTA-EEA Bariloche, pp. 192-210.
- FABRICANTE, I.; OESTERHELD, M.; PARUELO, J.M. 2009. Annual and seasonal variation of NDVI explained by current and previous precipitation across Northern Patagonia. *Journal of Arid Environments* 73, 745-753.
- GAMON, J. A.; FIELD, C. B.; GOULDEN, M.; GRIFFIN, K.; HARTLEY, A.; JOEL, G.; PEÑUELAS, J.; VALENTINI, R. 1995. Relationships between NDVI, Canopy structure, and photosynthetic activity in three Californian vegetation types. *Ecological Applications* 5, 28-41.
- GRIGERA, G.; OESTERHELD M.; PACÍN, F. 2007. Monitoring forage production for farmers' decision making. *Agricultural Systems* 94, 637-648.
- HALL, S.A.; PARUELO, J.M. 2006. Environmental controls on lambing rate in Patagonia (Argentina): A regional approach. *Journal of Arid Environments* 64, 713-735.
- HOLBEN, B. 1986. Characteristics of maximum value composite images from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing* 7, 1417-1434.
- ILLIUS, A.W.; O'CONNOR, T.G. 1999. On the relevance of non-equilibrium concepts to arid and semiarid grazing systems. *Ecological Applications* 9, 798-813.
- JOBBÁGY, E.G.; SALA, O.E.; PARUELO, J.M. 2002. Patterns and controls of primary production in the Patagonian steppe: A remote sensing approach. *Ecology* 82, 307-319.
- LABRAGA, J.C.; VILLALBA, R. 2009. Climate in the Monte desert: Past trends, present conditions, and future projections. *Journal of Arid Environments* 73, 154-163.
- LE HOURÉROU, H.N. 1984. Rain use efficiency: a unifying concept in arid-land ecology. *Journal of Arid Environments* 7, 213-247.
- LE HOURÉROU, H.N. 1996. Climate change, drought and desertification. *Journal of Arid Environments* 34, 133-185.
- LEÓN, R.; BRAN, D.; COLLANTES, M.; PARUELO, J.M.; SORIANO, A. 1998. Grandes Unidades de Vegetación de la Patagonia. *Ecología Austral* 8, 125-144.
- LINDENMAYER, D.B.; LIKENS, G.E. 2009. Adaptive monitoring: a new paradigm for long-term research and monitoring. *Trends in Ecology and Evolution* 24, 482-486.
- MONTEITH, J.L. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 281, 277-294.
- NOY-MEIR, I. 1973. Desert ecosystems: environments and producers. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4, 25-51.
- OBA, G. 2001. The effect of multiple droughts on cattle in Obbu, Northern Kenya. *Journal of Arid Environments* 49, 375-386.
- PARUELO, J.M.; EPSTEIN, H.E.; LAUENROTH, W.K.; BURKE, I.C. 1997. ANPP estimates from NDVI for the Central Grassland region of the United States. *Ecology* 78, 953-958.
- PARUELO, J. M.; OESTERHELD, M.; DI BELLA, C.M.; ARZADUM, M.; LAFONTAINE, J.; CAHUEPÉ, M.; REBELLA, C. 2000. Estimation of primary production of subhumid rangelands from remote sensing data. *Applied Vegetation Science* 3, 189-195.
- PETERS, A.J.; WALTER-SHEA, E.A.; JI, L.; VIÑA, A.; HAYES, M.; SVOBODA, M.D. 2002. Drought monitoring with NDVI-based standardized vegetation index. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 68, 71-75.
- PROHASKA, F.J. 1952. Regímenes estacionales de precipitaciones de Sudamérica y mares vecinos. *Meteoros*, Buenos Aires II, pp. 66-100.
- RUIMY, A.; SAUGIER, B.; DEDIEU, G. 1994. Methodology for the estimation of terrestrial net primary production from remotely sensed data. *Journal of Geophysical Research* 99, 5263-5283.
- SCHWINNING S.; SALA, O.E. 2004. Hierarchy of responses to resource pulses in arid and semi-arid ecosystems. *Oecologia* 141, 211-220.
- TEXEIRA, M.; PARUELO, J.M. 2005. Demography, population dynamics and sustainability of the Patagonian sheep flocks. *Agricultural Systems* 87, 123-146.
- TURNER II, B.L.; KASPERSON, R.E.; MATSON, P.A.; MCCARTHY, J.J.; CORELL, R.W.; CHRISTENSEN, L.; ECKLEY, N.; KASPERSON, J.X.; LUERS, A.; MARTELLO, M.L.; POLSKY, C.; PULSIPHER, A.; SCHILLER, A. 2003. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 100, 8074-8079.
- VERÓN, S.R.; PARUELO, J.M., OESTERHELD M. 2006. Assessing desertification. *Journal of Arid Environments* 66, 751-763.
- VERÓN, S.R.; PARUELO, J.M. 2010. Desertification alters the response of vegetation to changes in precipitation. *Journal of Applied Ecology* 47, 1233-1241.
- VILLAGRA, S.E.; GIRAUDO, C. 2010. Aspectos sistémicos de la producción ovina en la provincia de Río Negro. *Revista Argentina de Producción Animal* 30, 211-224.
- WHITE, D.H.; HOWDEN, S.M.; WALCOTT, J.J.; CANNON, R.M. 1998. A framework for estimating the extent and severity of drought, based on a grazing system in South-eastern Australia. *Agricultural Systems* 57, 259-270.

Variación en el nivel de dormición de la semilla en distintas variedades de la forrajera estival *Panicum virgatum* L.

CHECOVICH, M.L.¹ ; RUIZ, M.A.^{1,2}

RESUMEN

Panicum virgatum L. es una especie C₄ tolerante a condiciones de sequía, considerada como una alternativa al panorama forrajero de la Región Semiárida Pampeana. Sin embargo, las semillas presentan dormición, lo cual ocasiona problemas en el establecimiento. Los objetivos de este trabajo fueron evaluar la duración de la dormición en semillas de 10 variedades de *P. virgatum* producidas localmente, y el efecto de la temperatura de almacenamiento sobre la misma. Se realizaron ensayos de germinación secuenciales en cámara (20-30 °C, fotoperíodo 8 hs.) y no se hizo ningún tratamiento para romper la dormición. Las variedades de *P. virgatum* no respondieron en forma similar en su capacidad germinativa. Pathfinder, Cave-in-Rock, Trailblazer, Alamo, kanlow y Greenville manifestaron un incremento de la capacidad para germinar hasta los 210 poscosecha, lo que puede deberse a la pérdida de dormición. Alamo Pizzo y Caddo disminuyeron su poder germinativo, mientras que Blackwell y Summer no presentaron un patrón definido. Al finalizar los ensayos (210 días poscosecha) algunas variedades alcanzaron el 100% de germinación (Blackwell, Pathfinder, Trailblazer, Kanlow y Caddo), otras entre el 50 y el 70% (Summer, Greenville, Alamo y Alamo Pizzo) y sólo una menos del 50% (Cave-in-Rock). Las temperaturas de almacenamiento más bajas (7 y -20 °C) prolongaron la dormición de las semillas respecto de las almacenadas a temperatura ambiente.

Palabras claves: pasto varilla, germinación, almacenamiento, cultivares.

ABSTRACT

Panicum virgatum L. is a C₄ species tolerant to drought conditions; it is considered as an alternative to forage panorama of the Semi-arid Pampean Region (Argentina). But it has seed dormancy which causes problems in its establishment. The objective of this study was to evaluate the duration of seed dormancy in 10 varieties of *P. virgatum* locally grown, and the effect of storage temperature on the dormancy. Sequential trials were conducted in germination chamber (20-30°C, photoperiod 8 hs.) and not performed any treatment to break dormancy. The varieties of *P. virgatum* did not show a similar response to germination capacity. Pathfinder, Cave-in-Rock, Trailblazer, Alamo, kanlow and Greenville showed an increased ability to germinate until the 210 days post-harvest, this may be due to loss of dormancy. Alamo Pizzo and Caddo decreased their viability, while

¹Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UNLPam, Uruguay 151, 6300 Santa Rosa, La Pampa.

Correo electrónico: mchecovich@intech.gov.ar

²INTA EEA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas", CC 11, 6326 Anguil, La Pampa y Fac. de Ciencias Exactas y Naturales, UNLPam.

Correo electrónico: mruiz@anguil.inta.gov.ar

Blackwell and Summer did not show a definite pattern. At endpoint (210 days post-harvest) some varieties reached 100% germination (Blackwell, Pathfinder, Trailblazer, Kanlow and Caddo), other between 50 and 70% (Summer, Greenville, Alamo and Alamo Pizzo), and only one less than 50% (Cave-in-Rock). The lower storage temperatures (7 and -20°C) prolonged the seed dormancy compared to those stored at room temperature.

Keywords: switchgrass, germination, storage, cultivars.

INTRODUCCIÓN

Panicum virgatum L. es una especie C₄ tolerante a condiciones de sequía, por lo cual se la considera como una alternativa al panorama forrajero de la Región Semiárida Pampeana (Petruzzi *et al.*, 2005). Es una gramínea perenne estival nativa de Norteamérica que ha sido introducida en diferentes partes del mundo como ornamental, forrajera, para conservación de suelos y obtención de biocombustibles (Elbersen *et al.*, 2001; McLaughlin y Kszos, 2005). Uno de los problemas en el proceso de domesticación de esta especie es que, como muchos otros pastos estivales, presenta dormición en las semillas lo cual dificulta la emergencia uniforme y ocasiona problemas en el establecimiento de las pasturas (Aiken y Springer, 1995; Smart y Moser, 1997; Shen *et al.*, 2001).

La dormición es un estado interno de la semilla que impide su germinación aún en condiciones hídricas y térmicas adecuadas (Benech-Arnold *et al.*, 2000). Con un fuerte control genético y ambiental, la dormición fisiológica depende del balance hormonal (Kucera *et al.*, 2005). Un equilibrio dinámico en la producción y degradación del ácido abscísico y las giberelinas influyen en el grado de sensibilidad a distintos factores ambientales que inducen la germinación. Si bien es posible observar una dinámica intra-poblacional y entre poblaciones en los niveles de dormición, este proceso se produce a ritmos diferentes en cada semilla, de modo que no todas las semillas de una población tienen la misma respuesta (Finch-Savage y Leubner-Metzger, 2006). Además, el estado de latencia no es constante, sino que varía en una escala continua, entre un punto donde la dormición es máxima y un punto donde es mínima (Batlla y Benech-Arnold, 2010).

Factores ambientales durante el desarrollo y la maduración de la semilla (tales como luz y temperatura) influyen sobre el balance hormonal y el grado de dormición (Baskin y Baskin, 2004; Finch-Savage y Leubner-Metzger, 2006); como así también las condiciones de almacenaje y su duración (Zarnstorff *et al.*, 1994; Grabowski *et al.*, 2002). Luego de la cosecha, el método más utilizado para romper la dormición suele ser el almacenamiento en seco a temperatura ambiente por varios meses (Finch-Savage y Leubner-Metzger, 2006). Para *P. virgatum* se ha informado que la dormición se rompe luego del almacenamiento durante 2 a 4

años en un ambiente cálido (Wolf y Fiske, 1995). Dado que existe una gran variabilidad genética y que no hay reportes locales, los objetivos de éste trabajo fueron: evaluar en diferentes cultivares de *P. virgatum* producidos en la Región Semiárida Pampeana la dinámica de la dormición y el efecto de la temperatura de almacenamiento sobre la misma.

MATERIALES Y MÉTODOS

Determinación del período de dormición poscosecha

La dinámica temporal de la dormición se estudió a través de la variación en la capacidad de germinar de las semillas en condiciones óptimas para la especie. Las semillas se cosecharon entre los meses de abril y mayo de 2010, a partir de parcelas de regeneración con 50 plantas cada una, separadas entre sí por 50 cm. Establecidas en el campo experimental de INTA EEA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas", se estudiaron las variedades de *P. virgatum* Greenville, Blackwell, Pathfinder, Cave-in-Rock, Trailblazer, Alamo, selección Alamo Pizzo, Kanlow, Summer y Caddo, originarias de EEUU y conservadas en el Banco de Germoplasma de esa Estación Experimental.

Las semillas fueron cosechadas manualmente, trilladas y ventiladas con un soplador de semillas para eliminar las vanas. De la fracción de semilla limpia se separó, mediante cuarteo, la cantidad necesaria para realizar los ensayos de viabilidad y germinación en cada fecha; estas semillas se almacenaron en sobres de papel y en un único recipiente de vidrio con sílica gel para bajar la humedad. Previo a los ensayos de germinación, se realizó la prueba de tetrazolio para determinar el porcentaje de semillas viables (ISTA, 2007 b), tomándose para ello 4 submuestras de 50 semillas; para lo cual se mezcló y distribuyó la semilla sobre la mesada, luego se dividió en cuatro partes, de las cuales se extrajeron los 50 diseminulos. Luego del tratamiento, las semillas se clasificaron como: viables (embrión teñido en sus partes vitales), y no viables (embrión sin teñir, embrión inmaduro, o con sus partes vitales comprometidas), los resultados se expresaron como porcentaje.

Los ensayos de germinación se iniciaron a los 30 días de la cosecha (d.p.c.) y posteriormente cada 60 días hasta alcanzar los meses de siembra en la región (octubre, noviembre). Esto implica cuatro fechas de extracción: 30,

90, 150 y 210 d.p.c. Se colocaron a germinar diseminulos (técnicamente llamados semillas), constituidos por los cariopsis y las glumelas. En todas las fechas, semillas de cada variedad se colocaron a germinar en cajas de Petri (4) a razón de 50 semillas por caja. El sustrato empleado fue papel de filtro embebido en 10 ml de agua destilada y no se realizó ningún tratamiento para romper la dormición. Para evitar que el papel se seque durante el ensayo, se repuso agua semanalmente. Las semillas se incubaron, en cámara de germinación a temperatura alternada 20-30 °C con fotoperíodo de 8 horas durante 28 días (ISTA, 2007 a). Al final, se contó el número de semillas germinadas según el criterio de emergencia de radícula y se determinó el poder germinativo (PG) expresándolo como porcentaje.

cia entre las muestras de las sucesivas fechas. Se realizó ANOVA según un diseño factorial completamente aleatorizado Variedad x Fecha con cuatro repeticiones para determinar el período de dormición poscosecha (objetivo 1); y Variedad x Temperatura de almacenamiento x Fecha con cuatro repeticiones para conocer el efecto de la temperatura de almacenamiento (objetivo 2). Previamente se comprobó la normalidad de las variables utilizando el test de Shapiro-Wilks y la homocedasticidad de las varianzas con el test de Levene. En caso de ser necesario, los datos se transforman según lo recomendado por la bibliografía (Zar, 1996). Para comparar las medias se utilizó la prueba diferencia mínima significativa (DMS; $p < 0,05$).

Efecto de la temperatura de almacenamiento sobre la dormición

Las cuatro variedades con menor germinación a los 30 d.p.c. (Greenville, Blackwell, Pathfinder y Cave-in-Rock) fueron seleccionadas para estudiar el efecto de la temperatura de almacenamiento sobre la dormición. Las semillas se procesaron como se indicó anteriormente y se almacenaron a tres temperaturas distintas: -20 °C, 7 °C y temperatura ambiente (rango: 12 a 25 °C). Posteriormente, se realizaron ensayos cada 60 días siguiendo la metodología anterior.

Análisis de datos

Los datos se analizaron con el programa estadístico Infostat (2002). Para cada cultivar se asumió independen-

RESULTADOS

Determinación del período de dormición poscosecha

Se encontró interacción significativa entre Variedad x Fecha ($p < 0,001$) sobre el poder germinativo de las semillas. La interacción indica que las variedades de *P. virgatum* no respondieron en forma similar en su capacidad germinativa durante el período estudiado (30, 90, 150 y 210 d.p.c.). Se realizaron comparaciones de las distintas variedades en cada fecha; al mes de la cosecha Caddo presentó elevada capacidad de germinación (84%) y difirió significativamente de las demás (DMS, $p < 0,05$); en tanto que las variedades de menor germinación fueron Blackwell, Pathfinder y Cave-in-Rock, todas ellas con menos del 20% de PG. En las sucesivas fechas Caddo y Kanlow fueron las de mayor germinación diferenciándose significativamente de las demás

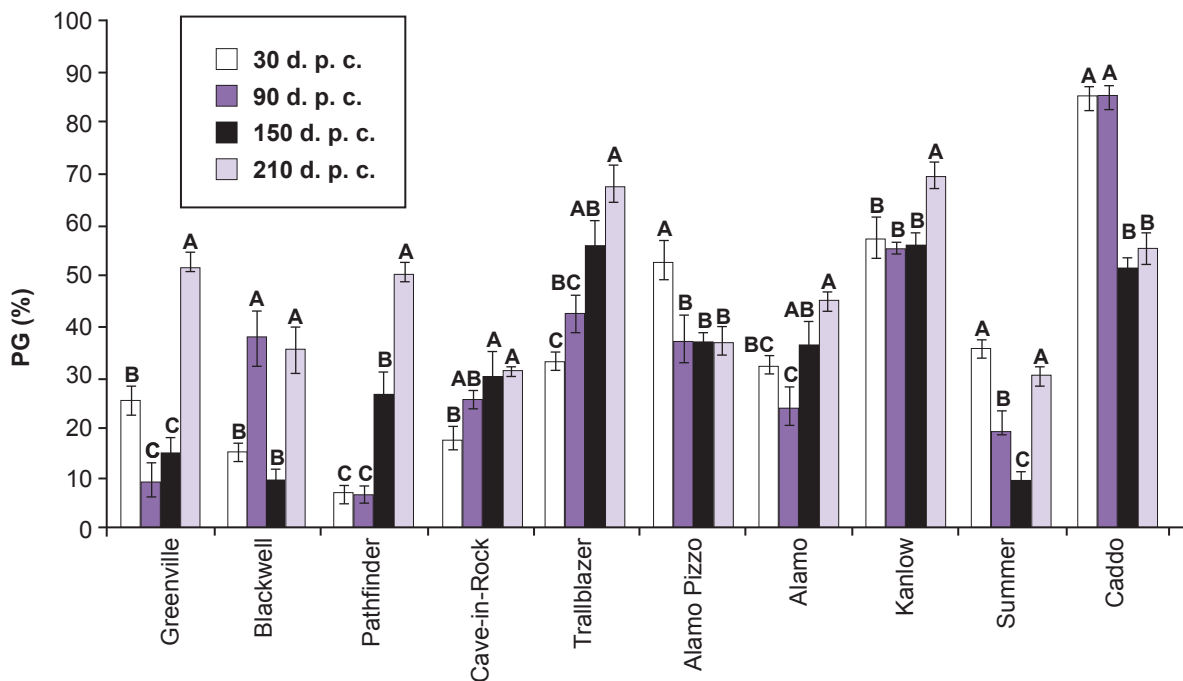


Figura 1. Poder germinativo (PG) en 10 variedades de *Panicum virgatum* a los 30, 90, 150 y 210 días poscosecha (d.p.c.). Las letras indican diferencias significativas (DMS; $p < 0,05$) entre fechas dentro de un mismo cultivar.

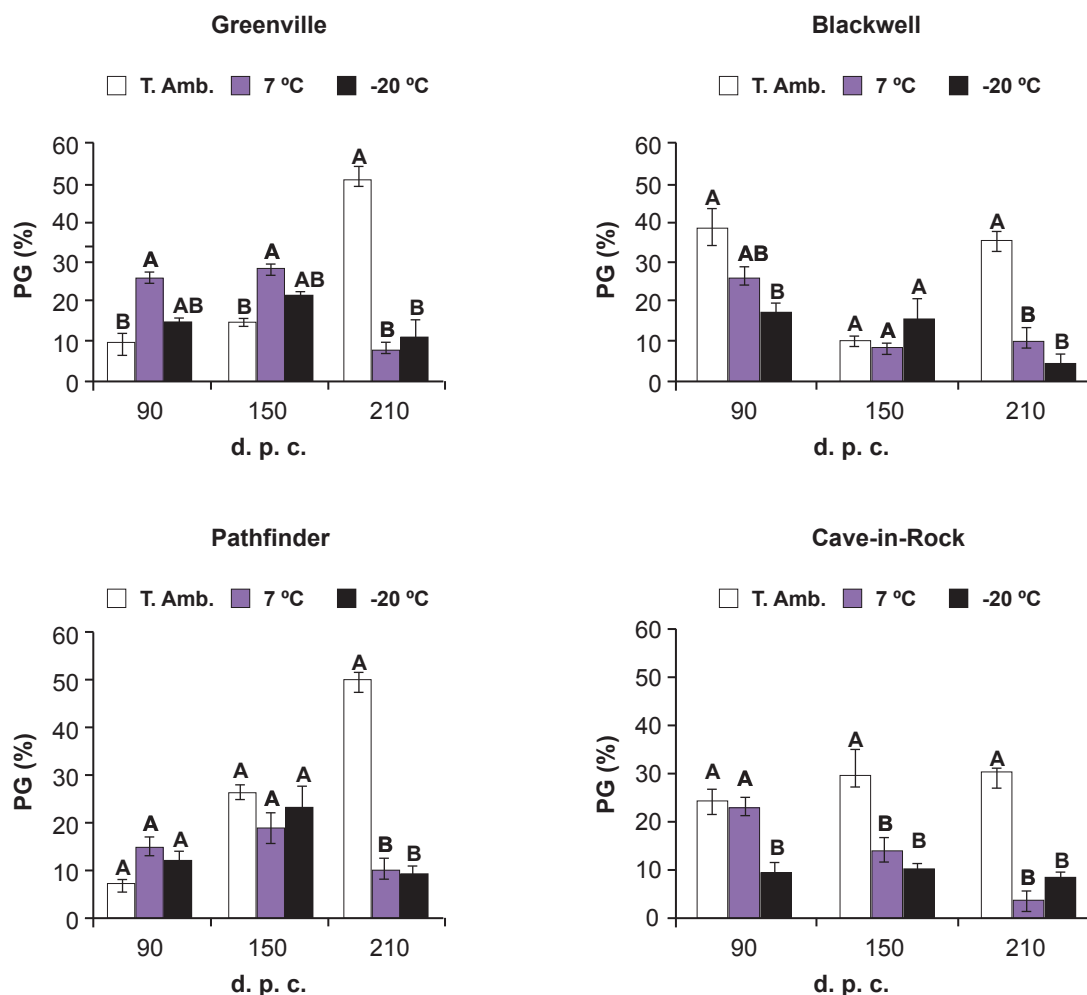


Figura 2. Poder germinativo (PG) en 4 variedades de *Panicum virgatum* cuyas semillas fueron almacenadas a temperatura ambiente, 7 °C y -20 °C. Las letras indican diferencias significativas (DMS; $p < 0,05$) en una misma fecha entre distintas temperaturas de almacenamiento. d.p.c.= días poscosecha.

(DMS, $p < 0,05$). A ellas se sumó Trailblazer a partir de los 150 d.p.c. Las variedades Pathfinder, Cave-in-Rock, Trailblazer, Alamo, Kanlow y Greenville manifestaron un incremento ($p < 0,05$) de la capacidad germinativa hasta los 210 d.p.c; Alamo Pizzo y Caddo disminuyeron el PG después de la primera fecha; en tanto que Blackwell y Summer no presentaron un patrón definido (figura 1).

Al relacionar los valores máximos de poder germinativo con el análisis de tetrazolio se determinó el porcentaje de semillas viables que germinó bajo las condiciones óptimas para la especie. Los resultados obtenidos fueron del 100% para Blackwell, Trailblazer y Caddo. En el resto de las variedades los valores fueron inferiores: Kanlow (94%), Pathfinder (93%), Alamo (71%), Greenville (66%), Summer (61%), Alamo Pizzo (58%) y Cave-in-Rock (43%).

Efecto de la temperatura de almacenamiento sobre la dormición

Se encontró interacción significativa Temperatura de almacenamiento x Fecha x Variedad ($p < 0,001$). Se realizó

un análisis por variedad: en Blackwell, Pathfinder, Cave-in-Rock y Greenville se encontró interacción Fecha x Temperatura de almacenamiento significativa ($p = 0,004$, $p = 0,003$, $p = 0,005$, $p = 0,002$ respectivamente). En Greenville, la semilla almacenada a temperatura ambiente incrementó la capacidad germinativa a los 210 d.p.c., con un 77% PG, diferenciándose significativamente de las dos fechas anteriores, y de las temperaturas de almacenamiento más bajas, las cuales no llegaron al 30% de germinación (figura 2). En Blackwell, el PG fue bajo en todas las condiciones de almacenamiento, llegando a un máximo de 37% a temperatura ambiente, a temperaturas más bajas en ninguna de las fechas superó el 25%. En Pathfinder el PG a los 210 d.p.c a temperatura ambiente llegó al 50% y en el resto de las fechas no hubo diferencias producto de la temperatura de almacenamiento con un promedio de 18% de PG. Cave-in-Rock mostró un PG con el siguiente orden: temperatura ambiente > 7 °C > -20 °C ($p < 0,05$); el PG máximo que alcanzó a temperatura ambiente fue del 30% a los 210 d.p.c, el cual no se diferenció significativamente de las fechas anteriores.

DISCUSIÓN

En lo que respecta a la duración de la dormición, se ha indicado que algunos cultivares de *P. virgatum* presentan más del 95% de sus semillas con dormición al momento de la cosecha y pueden necesitar hasta dos años para perderla (Wolf y Fiske, 1995; Shen *et al.*, 2001). En el presente estudio, las semillas cosechadas en la región semiárida central (Anguil, La Pampa) presentaron niveles variables de dormición, Caddo a los 30 d.p.c. ya no presentó dormición, mientras que la mayoría de las variedades sí, y continuaron incrementando su poder germinativo durante el transcurso del año, lo que impide hacer una generalización respecto del comportamiento de las mismas. Respecto a la disminución del poder germinativo de Caddo en las últimas fechas, puede haberse debido a un deterioro de la semilla, o bien a una reinducción de dormición (Benech-Arnold *et al.*, 2000), lo cual deberá ser corroborado en futuros trabajos.

Igualmente, los valores de germinación alcanzados mostraron un rango amplio entre cultivares (del 30 al 80%), siendo el de mayor germinación Caddo, seguido por Kanlow y Trailblazer. Wolf (1995) sugiere para plantaciones convencionales de *P. virgatum* en EE.UU. sembrar 4,5 Kg de semilla pura por hectárea, si el PG es al menos del 40%. En nuestros ensayos, Blackwell, Cave-in-Rock y Summer tuvieron valores de germinación inferiores al 40% por lo que se puede recomendar para estas variedades el aumento de la densidad de siembra o la realización de tratamientos para romper la dormición. En la Región Semiárida Pampeña Petrucci (2005) obtuvo en la variedad Alamo una germinación máxima del 70% (a los 10 meses de la cosecha), pero los valores oscilan dependiendo del momento de cosecha. Dicho cultivar en nuestro trabajo no superó el 50% de PG.

Las condiciones ambientales durante el almacenamiento (humedad y temperatura) influyen en la liberación de la dormición (Finch-Savage and Leubner-Metzger, 2006). En este trabajo, en general se observó que las temperaturas más bajas prolongaron la dormición, lo cual fue evidente a los 210 d.p.c. Así, por ejemplo, en Cave-in-Rock las temperaturas de almacenamiento más bajas (7 y -20 °C) prolongaron la dormición más que la temperatura ambiente. Sin embargo, en otras variedades, los resultados habían sido contradictorios, o no se manifestaron diferencias hasta la última fecha.

En el trabajo realizado por Grabowski (2002) la variedad Alamo, mostró poca respuesta al ambiente de almacenaje debido a su reducido nivel inicial de dormición. En cambio, la colección 746 presentó semillas con dormición aún a los 11 meses de almacenaje en todos los ambientes, siendo los niveles de dormición mayores a 7 °C que a temperatura ambiente. En el estudio llevado a cabo por Zarnstorff en 1994, las semillas de *P. virgatum* de Blackwell y Cave-in-Rock almacenadas a 8 °C presentaron mayor dormición que a 23 °C. En esta última temperatura la mayoría de las semillas perdieron la dormición a los 90 días. Resultados similares se encontraron en nuestro trabajo con ambas variedades.

Desde el punto de vista práctico, se ha sugerido que las siembras tempranas de *P. virgatum* pueden reducir la dormición porque exponen las semillas al frío húmedo produciéndose una superación de dicho estado (Wolf y Fiske, 1995; Smart y Moser, 1997); esta podría ser una técnica útil para aquellos cultivares con mayor grado de dormición. Sin embargo, esta condición no se tuvo en cuenta en nuestros ensayos, ya que se prefirió estudiar las condiciones de conservación a temperaturas bajas en seco porque son las utilizadas en los bancos de germoplasma.

El conocimiento de la naturaleza, nivel de dormición de las semillas como así también los tratamientos que permiten romperla son de fundamental importancia para esclarecer problemas vinculados a la implantación de la especie (Aiken y Springer, 1995; Smart y Moser, 1997; Shen *et al.*, 2001; Baskin y Baskin, 2004; Kucera *et al.*, 2005). Por ejemplo, 4 ciclos de selección para bajos niveles de dormición ha llevado a aumentar de 2 a 7 veces el éxito en la germinación de 14 accesiones de Alamo (McLaughlin y Kszos, 2005). La realización de más trabajos a campo junto con ensayos de germinación de laboratorio son necesarios para facilitar la difusión de esta especie en la Región Semiárida Pampeana.

CONCLUSIONES

Las variedades de *P. virgatum* no respondieron en forma similar en su capacidad germinativa durante el período poscosecha, igualmente, los valores de germinación fueron variables. Al finalizar los ensayos (210 d.p.c.) teniendo en cuenta el análisis con tetrazolio algunas variedades alcanzaron el 100% de germinación de las semillas viables; en tanto que otras presentaron valores relativos de germinación, entre el 50 y el 70% y solo una, valores inferiores al 50%. Pathfinder, Cave-in-Rock, Trailblazer, Alamo, Kanlow y Greenville manifestaron un incremento de la capacidad para germinar hasta los 210 d.p.c., lo que puede interpretarse debido a la pérdida gradual de dormición. La selección Alamo Pizzo y Caddo disminuyeron su poder germinativo; Blackwell y Summer no presentaron un patrón definido. Las temperaturas de almacenamiento más bajas (7 y -20 °C) prolongaron la dormición de las semillas respecto de las almacenadas a temperatura ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- AIKEN, G.E.; SPRINGER, T.L. 1995. Seed size distribution, germination, and emergence of 6 switchgrass cultivars. *Journal of Range Management*, 48(5), 455-458.
- BASKIN, J.M., BASKIN, C.C. 2004. A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research*. 14, 1-16.
- BATLLA, D.; BENECH-ARNOLD, R.L. 2010. Predicting changes in dormancy level in natural seed soil banks. *Plant Molecular Biology*, 73, 3-13.
- BENECH-ARNOLD, R.L.; SÁNCHEZ, R.A.; FORCELLA, F.; KRUK, B.C.; GHERSA, C.M. 2000. Environmental control of dormancy in weed seed banks in soil. *Field Crops Research* 67, 105-122.

- ELBERSEN, H.W.; CHRISTIAN, D.G.; YATES, N.E.; BASSAM, N. E.; SAUERBECK, G. 2001. Part. 2 Switchgrass in NW Europe. In: Switchgrass (*Panicum virgatum* L.) as an alternative energy crop in Europe. Initiation of a productivity network. Final Report for the period from 01-04-1998 to 30-09-2001. FAIR 5-CT97-3701, 5-12. (www.switchgrass.nl verificado: 30 de diciembre de 2010).
- FINCH-SAVAGE, W.E.; LEUBNER-METZGER, G. 2006. Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist* 171, 501-523.
- GRABOWSKI, J.; DOUGLAS, J.; LANG, D.; MEINTS, P.; WATSON, C. 2002. Response of two switchgrass (*Panicum virgatum* L.) ecotypes to seed storage environment, storage duration, and prechilling. Jamie L. Whitten Plant Materials Center Coffeetown, MS Technical Report 16(3), 15-24.
- INFOSTAT. 2002. Infostat/Estudiantil, versión 2.0. Grupo Infostat/FCA. Universidad Nacional de Córdoba. Ed. Brujas, Córdoba, Argentina.
- ISTA. 2007 a. International Rules for Seed Testing. ISTA Switzerland. Annexe to chapter 5: Germination 5A-28.
- ISTA. 2007 b. International Rules for Seed Testing. ISTA Switzerland. Annexe to chapter 6: Tetrazolium Test 6-15.
- KUCERA, B., COHN M.A., LEUBNER-METZGER, G. 2005. Plant hormone interactions during seed dormancy release and germination. *Seed Science Research* 15, 281-307.
- MCLAUGHLIN, S.B.; KSZOS, L.A. 2005. Development of switchgrass (*Panicum virgatum*) as a bioenergy feedstock in the United States. *Biomass and Bioenergy* 28, 515-535.
- PETRUZZI, H.J.; CASTRO, M.; GONZALES, H.; RUIZ, M.A.; STRITZLER, N.P. 2005. Determinación de fecha óptima de cosecha de *Panicum virgatum*, en investigación en producción animal. *Boletín de Divulgación Técnica* 88, 28-32.
- SHEN, Z.; PARRISH, D.J.; WOLF, D.D.; WELBAUM, G.E. 2001. Stratification in switchgrass seeds is reversed and hastened by drying. *Crop Science* 41, 1546-1551.
- SMART, A.J.; MOSER, L.E. 1997. Morphological development of switchgrass as affected by planting date. *Agronomy Journal*, 89: 958-962.
- WOLF, D.D.; FISKE, D.A. 1995. Planting and managing switchgrass for forage, wildlife, and conservation. Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia Cooperative Extension Publication 418-013.
- ZARNSTORFF, M.E.; KEYS, R.D.; CHAMBLEE, D.S. 1994. Growth regulator and seed storage effects on switchgrass germination. *Agronomy Journal*, 86, 667-672.
- ZAR, J. H. 1996. *Biostatistical analysis*. Ed. Prentice-Hall, USA, 662 pp.

Evaluación del efecto de la restauración agro-hidrológica mediante la aplicación del modelo hidrológico GeoQ

RODRÍGUEZ VAGARÍA, A.¹; GASPARI, F.¹; SENISTERRA, G.¹; DELGADO, M.I.^{1,2}; BESTEIRO, S.².

RESUMEN

La restauración agro-hidrológica engloba, en un plan unificado de acción, la problemática común a suelos, agua y vegetación de las cuencas hidrográficas, conduciendo a un auténtico proceso de ordenación de los recursos naturales. Los efectos de la restauración agro-hidrológica se pueden evaluar mediante modelización matemática con la herramienta GeoQ. Ésta permite estimar la respuesta hidrológica según se asocie a posibles cambios producidos por medidas de conservación de suelo. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la restauración agro-hidrológica en el área serrana de la Cuenca del Arroyo Pillahuincó Grande mediante la aplicación del modelo hidrológico GeoQ. Este modelo generó como resultado final un mapa de distribución geoespacial de la lámina de escorrentía, basado en el método de Número de Curva a partir de tres archivos vectoriales (límite de cuenca hidrográfica, zonificación del suelo según grupos hidrológicos y la distribución de la vegetación y/o uso del suelo) y un archivo de atributos de valor con el dato de la tormenta a modelar. GeoQ expresó para la situación actual, láminas de escorrentía leves (menores a 10mm) abarcando un 91,9% de la cuenca, y láminas medias (entre 10 y 20 mm) con una superficie del 8,1%. La situación simulada expresó que el 99,9% de la cuenca generó láminas de escorrentía leves, implicando un aumento del 8% de superficie respecto a la condición actual. El presente trabajo permitió establecer el potencial efecto sobre el escurrimiento superficial de las medidas de restauración agro-hidrológica propuestas, para la cuenca serrana del Arroyo Pillahuincó Grande, tomando como referencia la situación actual.

Palabras clave: restauración agro-hidrológica, GeoQ, Cuenca serrana.

ABSTRACT

Agrohydrologic restoration involves, in a unified plan of action, the problematic concerning to soil, water and vegetation of the watersheds, guiding to an authentic process of management for natural resources. The effects of agrohydrologic restoration can be evaluated by mathematical modelization with the GeoQ tool, which allows estimating the hydrologic behavior associated to changes in the applied conservation measures. The aim of this work was to evaluate the effect of the agrohydrologic restoration in the hilly area of the watershed of the Pillahuinco Grande Creek, applying the hydrologic model GeoQ. This model generated a final map of geospatial distribution of runoff, based on the Curve Number method, using three vector files (limit of watershed, hydrologic groups of soils, and land use) and an attribute value file with the information of the storm to be modeled. GeoQ expressed for the present situation, low levels of runoff (lower than 10 mm) covering the 91.9 % of the watershed, and an intermediate level (between 10 and 20 mm) in the rest of the watershed. The

¹Curso de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Facultad de Cs. Agrarias y Forestales, UNLP. Diagonal 113 N.º 469. La Plata, Buenos Aires. Correo electrónico: cuencas@agro.unlp.edu.ar

²Becario de Postgrado. CONICET.

simulated situation expressed that 99.9 % of the watershed generated low levels of runoff, with an increment of 8 % of surface compared with the present situation. This work allowed us to establish the potential effect of the proposed agrohydrologic restoration measures over superficial runoff, for the hilly watershed of the Pillahuinco Grande Creek, considering the present situation as the reference level.

Keywords: agrohydrologic restoration, GeoQ, hilly watershed.

INTRODUCCIÓN

El manejo inadecuado de los recursos naturales origina problemas que afectan seriamente la capacidad productiva de los sistemas agropecuarios y finalmente repercuten a mediano y largo plazo en la calidad de vida de los habitantes.

La experiencia de gran cantidad de personas en todo el mundo, que desde hace años ha trabajado en encontrar soluciones a estos inconvenientes, ha demostrado que el enfoque más preciso para comprender y resolver dichas dificultades es tomando como unidad de gestión el "sistema cuenca" (García Nájera, 1962; Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990).

La cuenca hidrográfica es una unidad territorial formada por un río con sus afluentes y por un área colectora de las aguas. En la cuenca están contenidos los recursos naturales básicos para las múltiples actividades humanas, como agua, suelo, vegetación y fauna. Todos mantienen una continua y particular interacción entre ellos y con los aprovechamientos y los desarrollos productivos del hombre (FAO, 1988).

Históricamente, la región pampeana maneja los excesos hídricos a través de la implementación de obras de saneamiento y/o canalización, éstas comprenden el dragado de canales, ríos y arroyos, la construcción de canales que desvían los cursos de agua o drenan el agua de áreas anegables, y una red de canales secundarios y prediales construidos por propietarios con el fin de evacuar el agua de terrenos inundables hacia la red de drenaje artificial o natural existente. En relación a este tipo de prácticas, F. Ameghino (1884), escribió "(...)he permanecido frío y pensativo, reflexionando sobre las ventajas y desventajas que reportarían los canales de desagüe y me he confirmado más en mi opinión que si ellos no son el complemento de obras más eficaces y de mayor consideración, reportarán probablemente más perjuicios que beneficios".

Los recursos de los que dispone el hombre para paliar la degradación ambiental se pueden llevar a cabo por medio de proyectos de restauración agro-hidrográfica en cuencas hidrográficas. El término "agro-hidroológico" se interpreta como un vocablo aglutinador de todas las acciones a realizar, tanto de carácter forestal como las prácticas agrícolas, habituales en las superficies vertientes de la cuenca, así

como las medidas en los cauces de evacuación de los flujos de avenida (Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990). La restauración agro-hidrográfica trata de englobar, en un plan unificado de acción, la problemática común a suelos, agua y vegetación de las cuencas conduciendo a un auténtico proceso de ordenación.

Los objetivos generales de la ordenación agro-hidrográfica de una cuenca hidrográfica y de su posterior restauración hidro-lógico-forestal se centran en el uso racional de los recursos que dispone, fundamentalmente, el suelo y el agua (Mintegui Aguirre y Robredo Sánchez, 1994).

Las actuaciones en la cuenca hidrográfica pueden sintetizarse en dos líneas, totalmente compatibles y, en cierta medida, complementarias. Estas son, la utilización racional de las áreas de cultivo (que cubren las zonas de menores pendientes y suelos más fértiles) y el establecimiento de una cubierta vegetal protectora en el resto del territorio que puede adquirir distintas formas tales como praderas, landas, áreas de matorral o monte bajo y finalmente zonas de bosque, bien sean de repoblación o naturales (Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990).

Las prácticas de restauración agro-hidrográfica poseen una fuerte vinculación con la conservación y recuperación de suelos. Bajo este ámbito, cualquier proyecto desarrollado en la Provincia de Buenos Aires, se enmarca en la Ley de fomento de la conservación de suelos (N.º 9.867/82) del Gobierno de la Provincia de Buenos Aires (1982).

Para el estudio de la implementación y restauración agro-hidrográfica se seleccionó la cuenca alta del Arroyo Pillahuinco Grande (25.132 ha), ubicada en el partido de Coronel Pringles, provincia de Buenos Aires (figura 1). Las características particulares de suelo, vegetación y topografía, ligados al uso del territorio poseen una gran influencia sobre los caudales que circulan por el cauce, ya que determinan que gran parte de la precipitación pluvial se transforme en escorrentía. Como resultado de ello, se producen grandes volúmenes de escorrentía superficial, asociados a bajos tiempos de concentración, que originan caudales pico de gran magnitud (Gaspari y Senisterra, 2006; Gaspari *et al.*, 2007). En el corto plazo, estos excesos generan inundaciones en la parte media y baja de la cuenca. En el largo plazo se produce la disminución del potencial productivo, tanto de la cabecera, por erosión hídrica superficial,

como de las partes bajas por desbordes del cauce y depósitos de sedimentos.

Los efectos de la restauración agro-hidrológica a nivel geoespacial, permiten ser evaluados mediante la modelización matemática con la herramienta de procesamiento digital de información georeferenciada GeoQ. Éste genera mapas intermedios permanentes, necesarios como archivos de entrada durante las múltiples secuencias para la obtención de la zonificación de la escorrentía superficial en la cuenca. La secuencia del procesamiento, bajo el entorno gráfico de pasos múltiples incluye conversión de archivos vectoriales a raster, asignación automática de valores, operaciones matemáticas entre mapas y reclasificación de categorías para el procedimiento interconectado dinámico. La herramienta GeoQ se puede utilizar para gestionar y manejar cuencas hidrográficas y proyectos ambientales, sociales e hidrológicos; para estimar descargas, y para predecir la respuesta según se asocie a posibles cambios, por ejemplo, medidas de conservación de suelo que induce a modificaciones sobre la topografía, cubierta vegetal, grado de ocupación del terreno y/o desarrollo de una urbanización. (Rodríguez Vagaría y Gaspari, 2010).

El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la restauración agro-hidrológica en el área serrana de la Cuenca del Arroyo Pillahuincó Grande mediante la aplicación del modelo hidrológico GeoQ y evaluar la potencialidad de dicha herramienta.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología se basó en evaluar el efecto de la aplicación de medidas de restauración agro-hidrológicas en la cuenca alta del Arroyo Pillahuincó Grande, en la zona se-

rrana de la provincia de Buenos Aires, Argentina, por medio de la cuantificación de la escorrentía superficial.

Según Mark y Marek (2009), las pérdidas por infiltración-escorrentía dependen fundamentalmente de las características de suelo y del uso de la tierra representada por la cobertura vegetal. Para ello, el método utiliza la combinación de las condiciones de suelo y uso para asignar factores de escorrentía conocidos como Número de Curva (NC).

La zonificación y la comparación de la lámina de escorrentía actual y la simulada por la aplicación de medidas de restauración, se realizó en entorno SIG (Sistema de Información Geográfica) a través del modelador de procesamiento GeoQ para Idrisi Andes®. GeoQ genera como resultado final un mapa de distribución geoespacial de la lámina de escorrentía, en milímetros, basado en el método de NC (Rodríguez Vagaría y Gaspari, 2010). El uso del método de número de curva todavía es apropiado para aplicaciones que simulan caudales y procesos de generación modelados con datos de fuente no puntual. El modelado hidrológico espacialmente distribuido tiene un alto potencial en el logro de este objetivo (Garen & Moore, 2007).

El NC, elaborado por el Soil Conservation Service (SCS) de los Estados Unidos (1964), es un método empírico para el cálculo de la transformación de lluvia-escorrentía, que surgió de la observación del fenómeno hidrológico en distintos tipos de suelo y para distintas condiciones de humedad antecedente (Chow *et al.*, 1994; López Cadenas de Llano, 1998; Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990). El método se basa en que las combinaciones suelo-vegetación de características semejantes, responderán de manera análoga bajo el efecto de una tormenta de intensidad variable. A mayor valor de NC, las condiciones de escurrimiento son más críticas (Gaspari *et al.*, 2009).

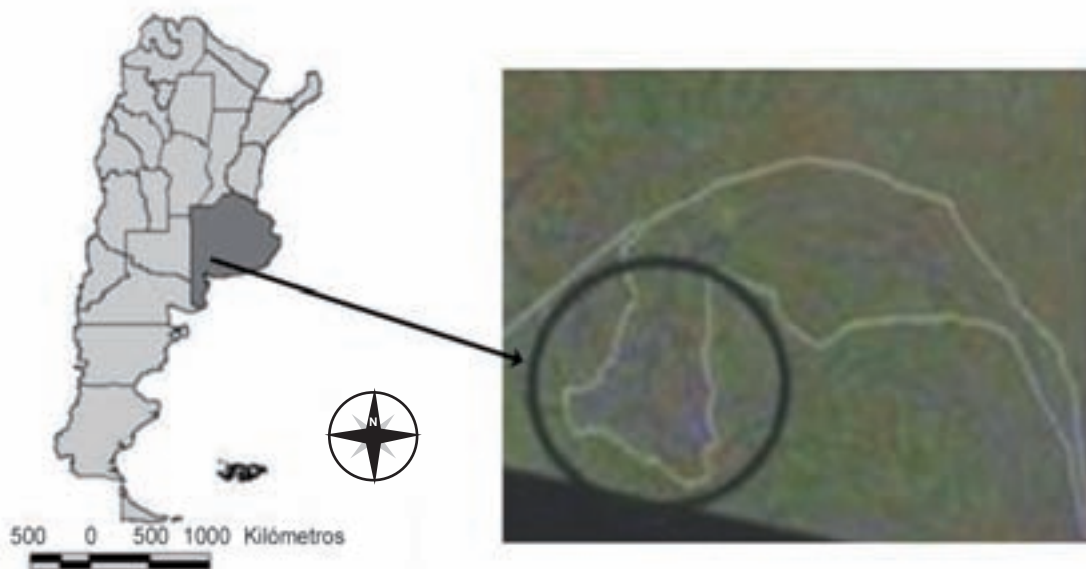


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio. Provincia de Buenos Aires.

La escorrentía (Q) se calcula a partir de la fórmula 1.

$$Q = \frac{(P - 0,2 S)^2}{P + 0,8 S}$$

Fórmula 1. Lámina de escorrentía Q (mm)

Donde el valor S representa la retención máxima en mm de la precipitación absorbida (P), obtenido a partir del valor del NC tabulado por el SCS (1964), aplicando la fórmula 2.

$$S = 254 \left(\frac{100}{NC} - 1 \right)$$

Fórmula 2. Retención potencial máxima (S) según el método del NC del SCS.

En el presente estudio se utilizaron NC adaptados según uso y cobertura vegetal de diferentes autores (Chow *et al.*, 1994; López Cadenas de Llano, 1998; Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990; Gaspari *et al.*, 2009; Mark y Marek, 2009; Rodríguez Vagaría y Gaspari, 2010). La humedad antecedente del suelo considerada en este trabajo fue la correspondiente a la condición II.

El procesamiento geoespacial para el cálculo de la escorrentía a través de GeoQ, requirió de tres archivos vectoriales de tipo polígono (límite de cuenca hidrográfica, zonificación del suelo según grupos hidrológicos y la distribución de la vegetación y/o uso del suelo) y un archivo de atributos de valor con el dato de la tormenta a modelar.

Esta cartografía de datos de vegetación y uso del suelo surgió de un relevamiento *in situ* con apoyo de imágenes satelitales Landsat 5 TM (enero de 2007) e imágenes de alta resolución provistas por el servidor Google Earth ® y

un Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Los datos fueron procesados y clasificados en categorías según diferentes autores. El mapa de suelos definió los grupos hidrológicos (GH) de la cuenca. A partir de la cartografía de vegetación y uso del suelo combinado con GH, se establecieron los NC en las diferentes zonas de la cuenca.

La tormenta modal utilizada para la zonificación de la escorrentía está representada por una lámina total de 37,1 mm con un período de retorno de un año obtenida de datos pluviográficos medidos en la Estación Meteorológica Nacional de Coronel Pringles en el período 1911 a 2006.

A partir del análisis de la respuesta hidrológica en la condición ambiental actual con GeoQ, se asignaron medidas de restauración agro-hidrológicas, coherentes con el tipo de producción y tendencias a disminuir la escorrentía potencial superficial (Mapa de vegetación y usos del suelo propuesto). Con esta cartografía se modelizó nuevamente con GeoQ obteniendo el potencial escurrimiento superficial en la cuenca para la condición restaurada.

La propuesta agro-hidrológica obtenida a partir de la asignación de nuevos usos del suelo se basó en una combinación multicriterio geoespacial. Sobre esta base, se creó una tabla de triple entrada (tabla 1), estableciendo medidas de restauración agro-hidrológicas diferentes para cada combinación.

La vegetación y uso del suelo actual se utilizó bajo dos criterios: respetar los límites de producción agrícola, proponiendo métodos de labranza conservacionista sin modificar el tipo de cobertura en aquellos casos que las pendientes menores del 3% y determinar áreas con coberturas que favorecen la intercepción, como ser bosques y pajonales serranos a fin de mantenerlas.

Las propuestas intentan conservar la biodiversidad natural del ambiente, preservando el pastizal serrano con la

VUActual		Rango de pendiente (%)					
		0 - 0,5	0,5 - 3	3 - 5	5 - 15	15 - 30	> 30
GH B	PP	PP					BB
	MC>75%	MC>75%					
	BB	BB					
	CTB						BB
	RB	RB	CB			CTB	BB
GH C	PP	PP				BB	
	MC>75%	MC>75%					
	BB	BB					
	CTB						BB
	RB	RB	CB		CTB	BB	

Tabla 1. Usos propuestos en función de Pendiente, GH, y Vegetación y uso del suelo actual (VUActual).

Referencias: PP: Prados permanentes; MC>75%: Matorral, mezcla matorral y maleza con cubierta >75%; BB: Bosques; CB: Cultivo alineado (en curvas de nivel); RB: Cultivos alineados (sin curvas de nivel); CTB: Cultivos alineados en terraza.

mayor superficie posible (PP) y las zonas con matorral con mezcla de malezas (MC>75%). Sólo se plantea su reemplazo en aquellos casos donde las altas pendientes y los tipos de suelos generan condiciones de escurrimiento excesivamente altas.

Sobre la base de los criterios citados, las medidas de restauración propuestas se describen a continuación:

En áreas con altas pendientes, donde el ganado bovino tiene acceso limitado, y potenciales de escurrimiento alto, se propone la implantación de especies forestales formando bosques protectores, es decir, masas forestales (BB) con el fin único de favorecer la intercepción de la lluvia y disminuir el escurrimiento superficial.

En suelos destinados a algún tipo de cultivo, las medidas propuestas fueron dos: en pendientes suaves o moderadas, las labores realizadas deben practicarse siguiendo las curvas de nivel (CB); cuando las pendientes sean mayores, se sugiere el uso de terrazas para realizar el cultivo de dichas áreas (CTB). En áreas con pendiente menores al 3% y dependiendo del GH, se mantiene el cultivo alineado sin implementación de medidas conservacionistas (RB).

Esta combinación representó el potencial de escurrimiento, donde mayores pendientes, suelos de textura más fina o con limitaciones a la infiltración y vegetaciones poco densas poseen escurrimientos potenciales altos (tabla 1). Los colores representados en dicha tabla, se corresponden con la leyenda de la cartografía.

RESULTADOS

Se realizó la recolección de datos de cobertura vegetal en 25 puntos, identificados y georreferenciados previamente en una imagen satelital del área (figura 2). Se identificaron especies forestales, cultivos anuales y verdes con labranza convencional o en curvas de nivel, pajonales y pastizales naturales. Las especies forestales identificadas fueron: Acacia blanca, Eucaliptos, Sauces y Pinos. Dentro de los cultivos y verdes se encontraron: Maíz, Girasol, Soja, Trigo y Avena. El pastizal serrano se representa por los géneros *Stipa*, *Piptochaetium*, *Festuca* y *Briza* (Frangi y Bottino, 1994). El pajonal serrano se compone exclusivamente de Paja colorada (*Paspalum quadrifarium*), ubicado en barrancas bajas muy húmedas, de los bordes de cursos de agua serranos, a veces formando una franja marginal estrecha, paralela al cauce. En otros casos ocupa superficies extensas, sobre suelos en general profundos, húmedos ligados a vertientes en concavidades y pendientes serranas suaves (3 a 11%), y abanicos aluviales.

En función de los datos relevados se confeccionaron cinco clases de vegetación y usos del suelo adaptadas a las categorías utilizadas por GeoQ en la generación del NC actual. A continuación, se expone la descripción de cada categoría:

- Bosques (BB): Incluye áreas con especies forestales, principalmente formando montes de reparo o cortinas rompe viento.

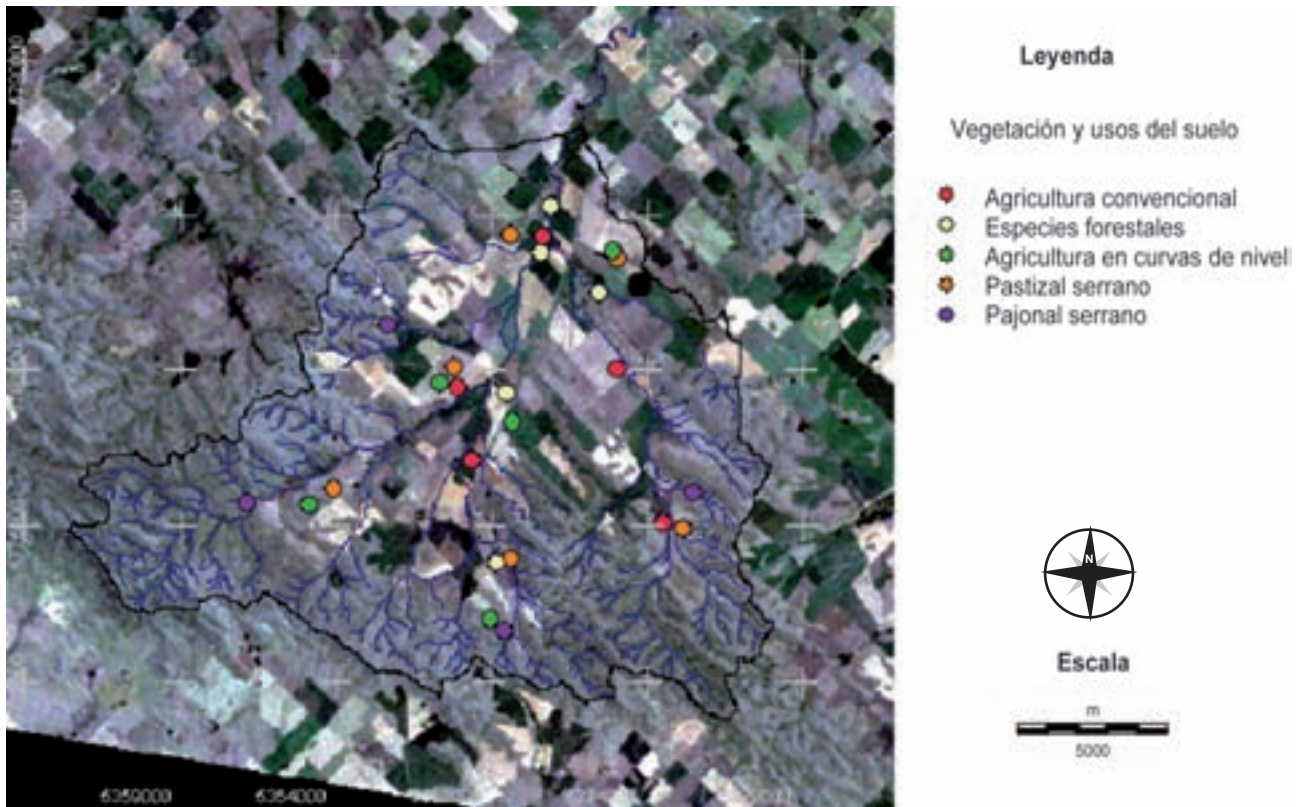


Figura 2. Distribución de puntos de muestreo de cobertura vegetal.

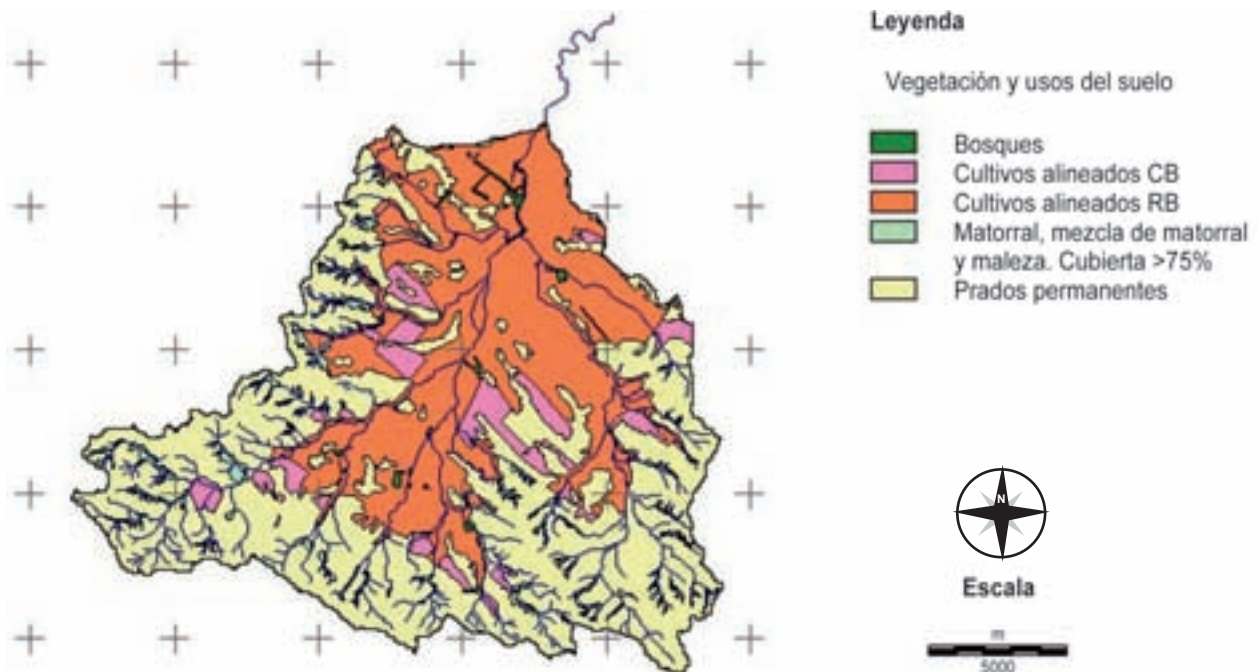


Figura 3. Mapa de vegetación y usos del suelo.

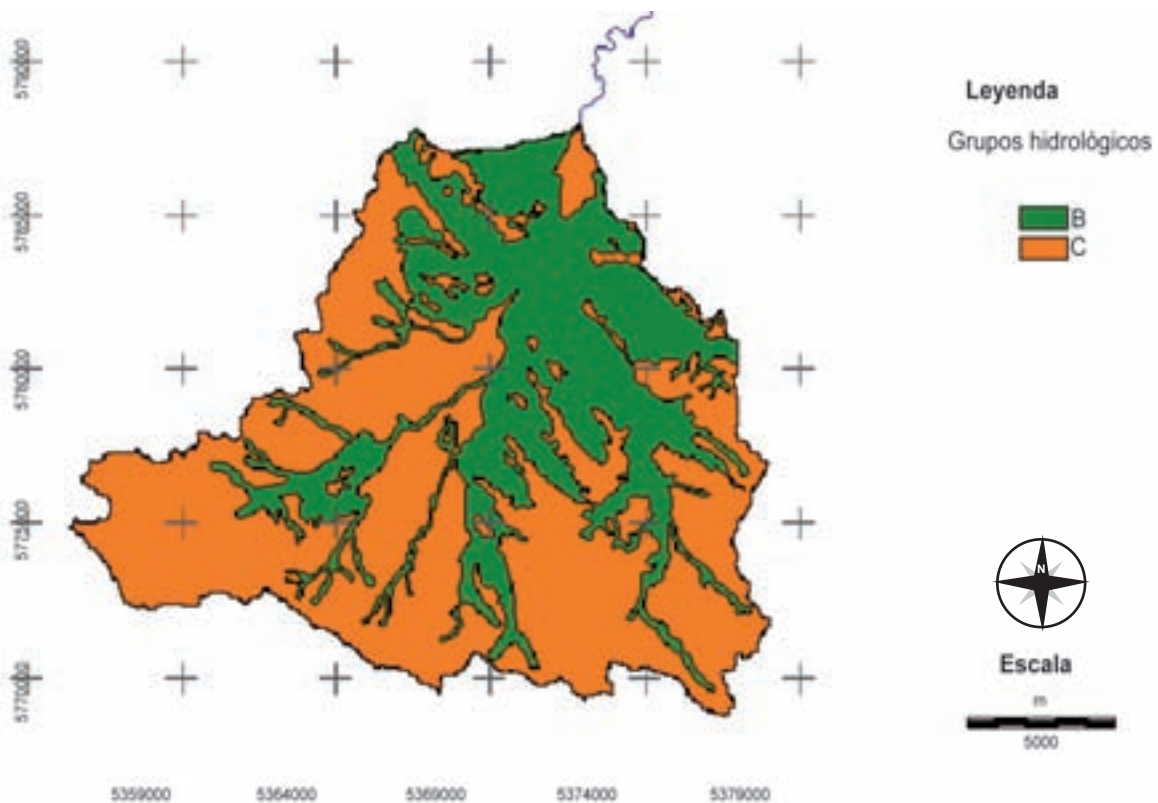


Figura 4. Mapa de grupos hidrológicos.

- Cultivos alineados (RB): Conformado por cultivos anuales de grano fino y grueso, o verdeos de verano e invierno con labranza convencional o en siembra directa.
- Cultivos alineados (CB): Representados por cultivos anuales de grano fino y grueso o verdeos de verano e invierno con labranza en curvas de nivel.

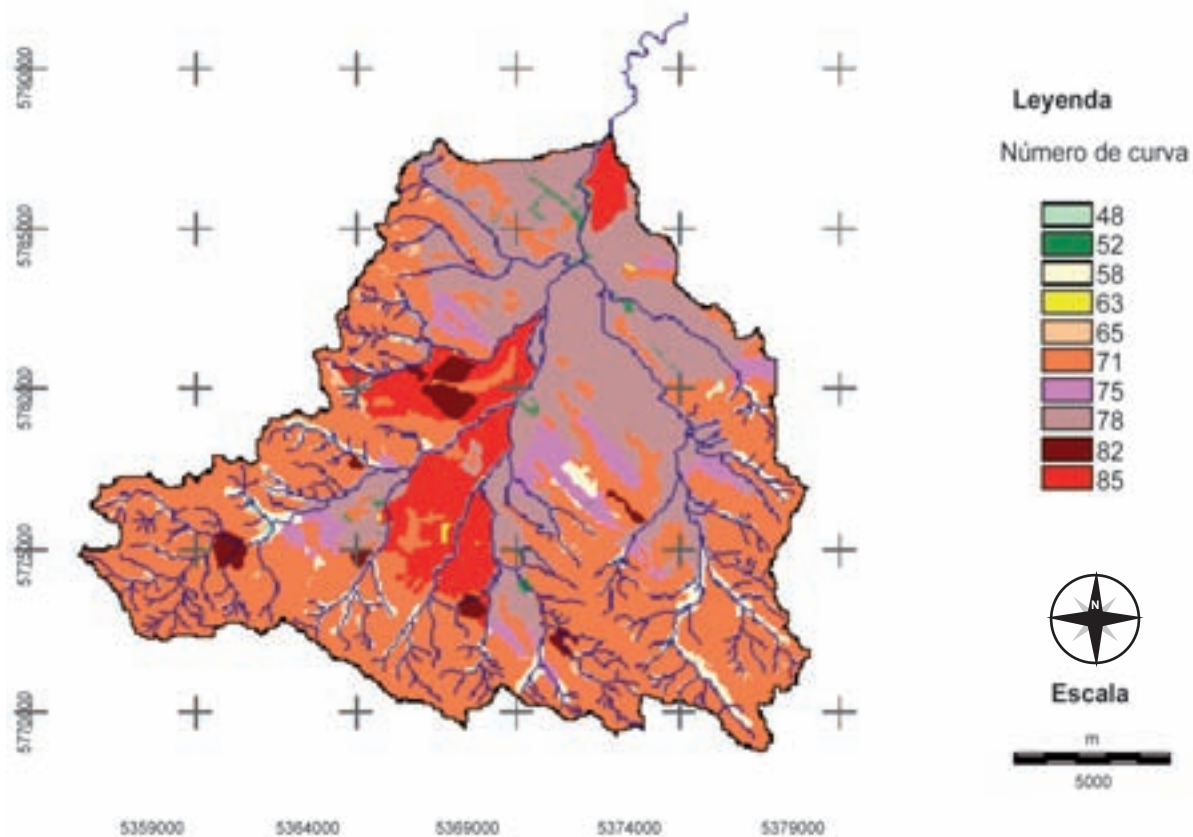


Figura 5. Mapa de número de curva.

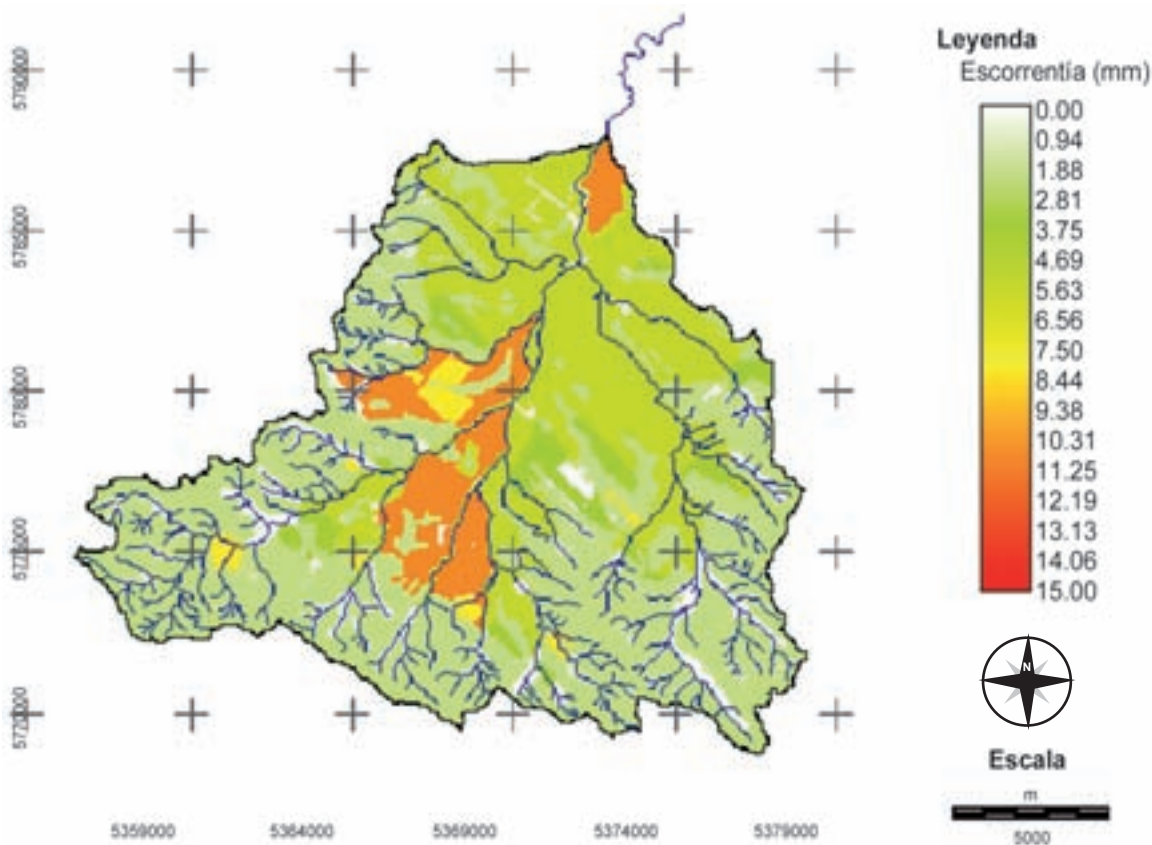


Figura 6. Zonificación de la lámina de escorrentía (mm).

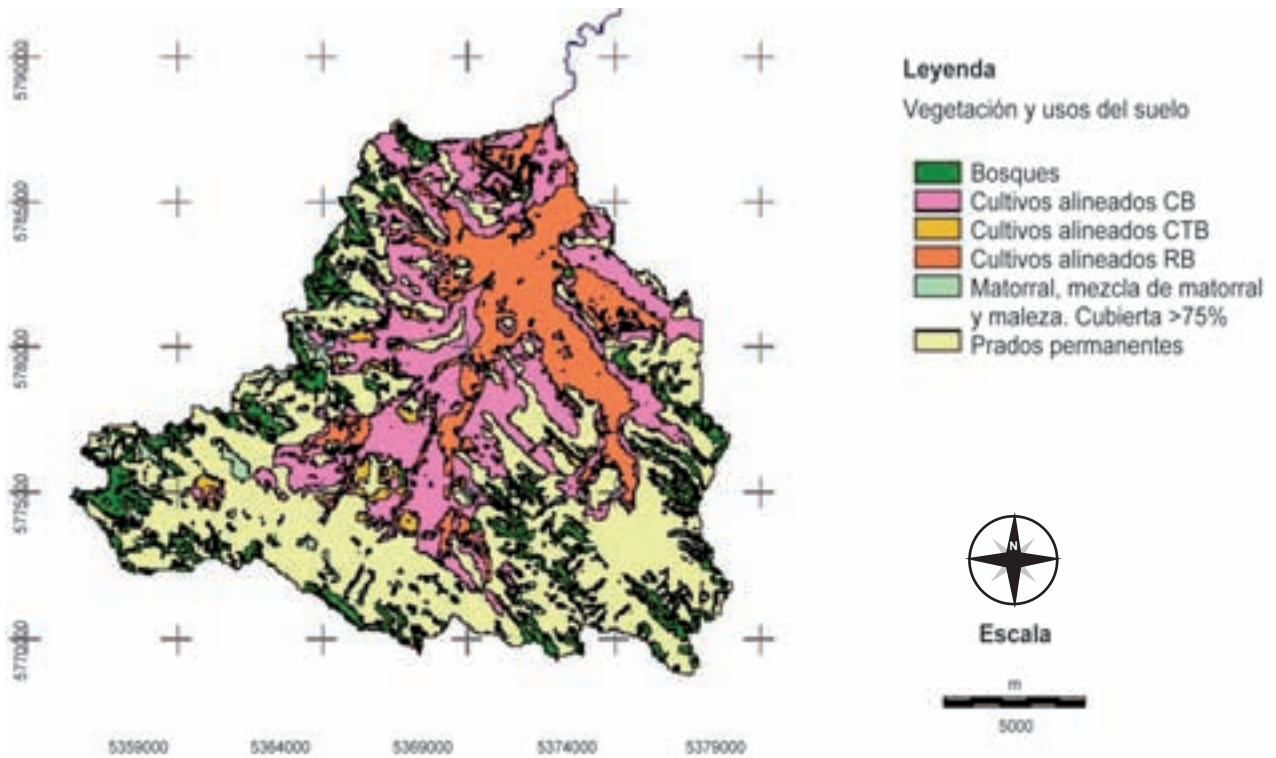


Figura 7. Mapa de vegetación y usos del suelo propuesto.

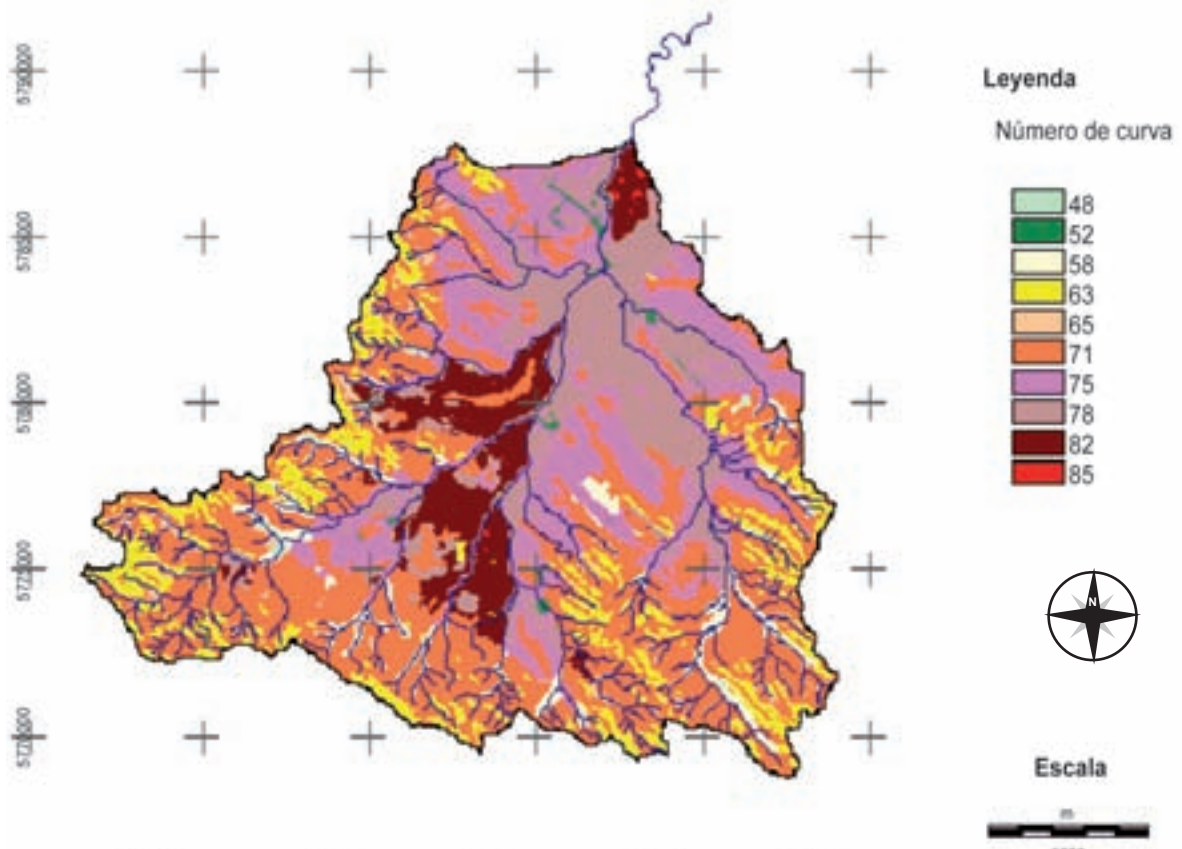


Figura 8. Mapa de número de curva para la condición restaurada.

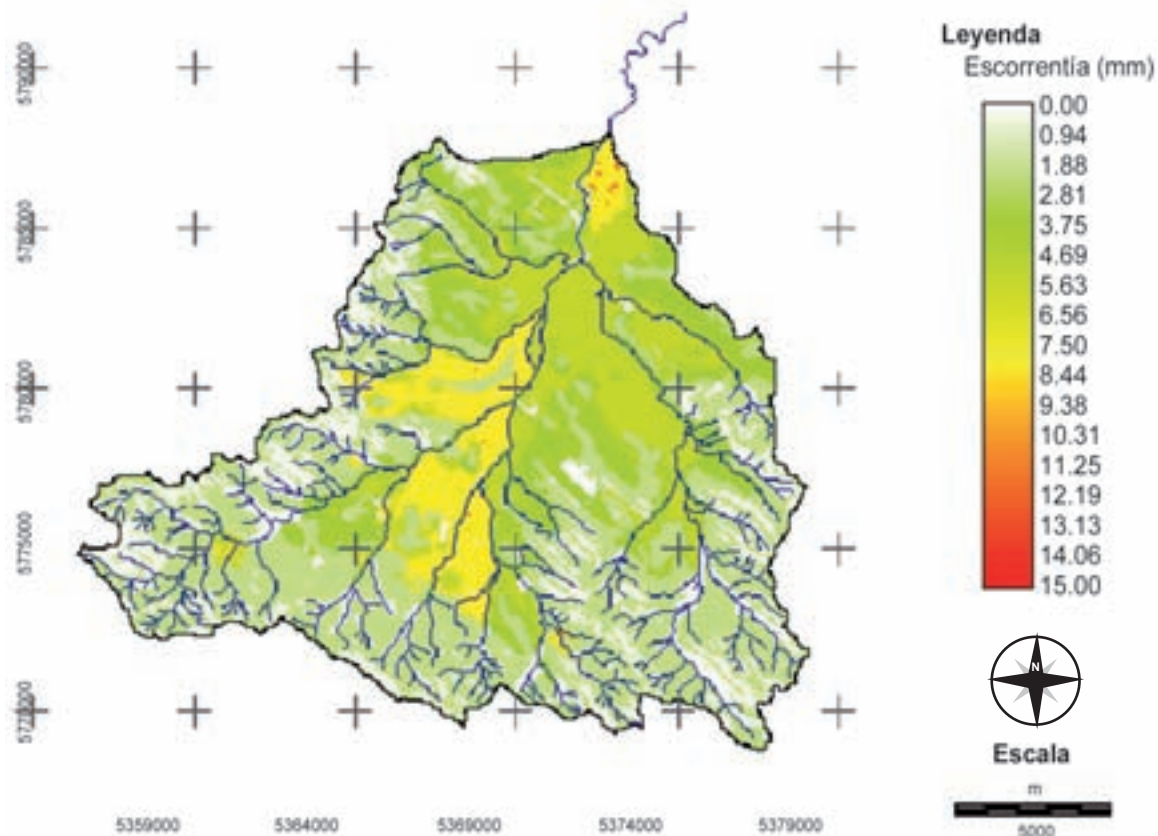


Figura 9. Zonificación de la lámina de escorrentía propuesta.

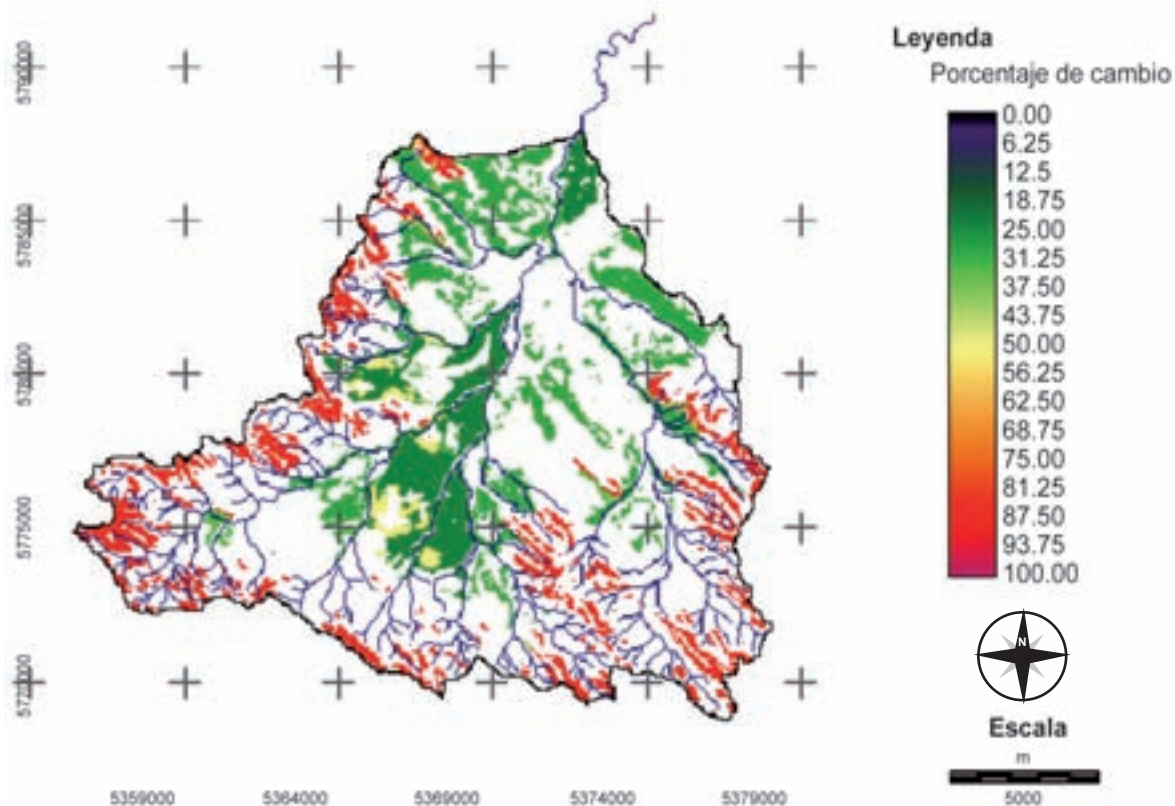


Figura 10. Zonificación de diferencias porcentuales de lámina de escorrentía.

- Matorral, mezcla matorral y maleza Cubierta >75% (MC>75%): Incluye las especies del pajonal serrano.
- Prados permanentes (PP): Constituida por las especies del pastizal serrano.

La vegetación y uso del suelo predominante se encuentra constituida por prados permanentes, abarcando el 54% de la cuenca; los cultivos alineados bajo labranza convencional o siembra directa en buenas condiciones hidrológicas constituyen la segunda categoría de importancia con un 36% de ocupación; los cultivos alineados bajo labranza conservacionista son una práctica poco difundida, constituyendo el 6% de la superficie total; el Matorral, mezcla matorral y maleza cubierta >75% ocupa el 3% del área total de la cuenca; los Bosques en buenas condiciones representan sólo el 1% de la cobertura presente en la cuenca (figura 3).

La reclasificación del mapa de complejos de suelos según los grupos hidrológicos asignados representa el mapa de GH en la cuenca. Se identificaron dos grupos hidrológicos: el Grupo B (suelos en su mayor parte arenosos, poco profundos) y el Grupo C (suelos con abundante cantidad de arcilla y coloides). El grupo B constituye el 36% de la superficie de la cuenca, siendo el 64% restante correspondiente al grupo C (figura 4).

El mapa de número de curva de la cuenca (figura 5) fue obtenido automáticamente con el modelo GeoQ, generando 10 valores de NC, con un mínimo de 48 y un máximo de 85. Los valores con mayor grado de ocupación fueron de 71 y 78 con un 51,3 y 27,4%, respectivamente, seguidos por 85 con un 8,1%.

Los resultados alcanzados con GeoQ, para la tormenta modelada ocuparon el 91,9% para láminas de escorrentía leves (menores a 10mm). Las láminas de escorrentía medias (entre 10 y 20mm) ocuparon una superficie del 8,1% (figura 6).

La figura 7 representa el mapa de vegetación y usos del suelo asignados según la tabla 1. El nuevo escenario propuesto modificó la ocupación territorial.

Los prados permanentes (PP) siguen constituyendo la categoría de mayor importancia, a pesar de haber disminuido su ocupación, pasando de un 54% para la condición actual a un 45% para la situación propuesta.

Los cultivos alineados bajo labranza convencional o siembra directa (RB) en buenas condiciones hidrológicas, constituían el 36% de la cuenca. La nueva situación restringe este uso al 15% desplazado por cultivos alineados bajo labranza conservacionista (CB), la cual ocupaba sólo el 6% de la cuenca, adquiriendo un valor de 25% para la condición restaurada.

Los Bosques (BB) en buenas condiciones representan el 1% de la cobertura presente en la cuenca, la nueva situación propone aumentar su superficie hasta alcanzar un 10% del área total de la cuenca.

Por otro lado la propuesta plantea la utilización de cultivo en terrazas (CTB), la cual no se encuentra presente en la

actualidad, abarcando una superficie relativamente pequeña con un 2% de ocupación.

El Matorral, mezcla matorral y maleza cubierta >75% (MC >75%) no varió respecto de la situación actual, ocupando el 3% del área total de la cuenca.

El mapa de número de curva de la cuenca para la condición restaurada (figura 8) fue obtenido automáticamente a través de GeoQ. Los NC obtenidos difieren en su distribución espacial y el grado de ocupación territorial con respecto a la condición actual.

Para la tormenta modelada, el GeoQ expresó que el 99,9% de la cuenca genera láminas de escorrentía leves (menor a 10mm) implicando un aumento del 8% de superficie respecto a la condición actual. El rango entre 10 y 20mm representa láminas de escorrentía medias, ocupando la superficie restante de la cuenca un 0,1% (figura 9).

La comparación de la zonificación del escurrimiento se realizó a través de la obtención de un mapa que representa las diferencias porcentuales entre lámina escurrida en la condición actual, y la condición propuesta para la tormenta seleccionada.

Para una tormenta con un tiempo de retorno de 1 año, la distribución espacial de las diferencias porcentuales se muestra en la figura 10, que se describen a continuación para cada cambio de uso del suelo, a través de una escala cuantitativa de colores, indicando con rojo las áreas de mayor variación porcentual y en color blanco las áreas sin cambios.

Los Bosques protectores provenientes de pastizal serrano tuvieron la mayor diferencia porcentual, reduciendo su lámina un 85,1%.

Se redujo un 49,5% la lámina escurrida debido al cambio de cultivos bajo labranza convencional a labranza en terrazas.

El cambio de cultivo en curvas de nivel a labranza en terrazas redujo un 33,4% la lámina de escorrentía.

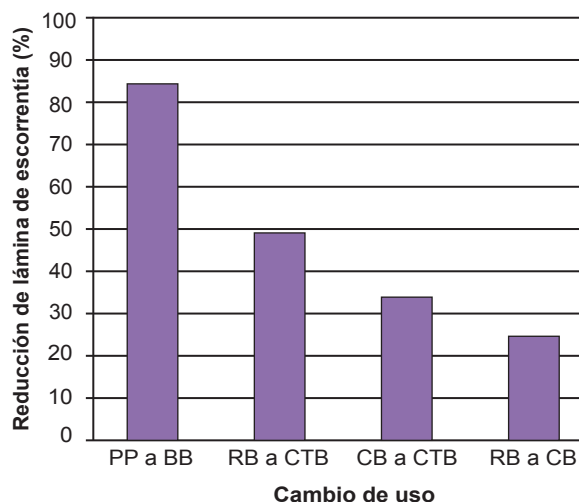


Gráfico 1. Lámina escurrida según el uso del suelo propuesto (mm).

La labranza en curvas de nivel provenientes de labranza convencional obtuvo un 24,1% de diferencia.

Los valores de diferencias porcentuales de lámina escurrida obtenidos por el cambio de uso del suelo para la tormenta se observa en el gráfico 1.

Las mayores diferencias se presentan en el cambio de pastizal serrano a bosques protectores. El uso que posee menor diferencia es el cultivo en curvas de nivel, proveniente de cultivo bajo labranza convencional.

CONCLUSIONES

La realización del presente trabajo permitió establecer el potencial efecto sobre el escurrimiento superficial de las medidas de restauración agro-hidrológica propuestas, para la cuenca serrana del Arroyo Pillahuincó Grande.

La utilización de SIG permitió establecer medidas de restauración agro-hidrológica, haciendo una evaluación multicriterio de las condiciones presentes en la cuenca, proponiendo medidas coherentes con el tipo de producción actual que tiendan a disminuir la escorrentía superficial. El modelo GeoQ permitió zonificar geoespacialmente la lámina de escorrentía, para la condición actual y para las medidas propuestas, ante un evento de precipitación con un período de retorno de 1 año.

Este estudio permitió valorar que la implantación de especies forestales formando bosques protectores en áreas con altas pendientes, disminuye el escurrimiento superficial con la consecuente regulación del caudal de avenida y la disminución de las pérdidas de suelo. Por otro lado, se incrementa el valor escénico, generando posibles áreas de recreación con un alto potencial de desarrollo de actividades ligadas al agroturismo.

BIBLIOGRAFÍA

AMEGHINO, F.1884. Las secas y las inundaciones en la provincia de Buenos Aires. Capítulo 2. Ed. Secretaria de política Ambiental. 19 pp.

CHOW, V.T.; MAIDMENT, D.; MAYS, L. 1994. Hidrología Aplicada. Ed. Mc Graw Hill Interamericana S.A., Bogotá, 2000. 584 pp.

FAO. 1988. Manejo integrado de cuencas hidrográficas en América Latina. Santiago de Chile. Pp 36.

FRANGI, J.; BOTTINO, O. 1994. Comunidades vegetales de la Sierra de la Ventana, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Pág. 93-133.

GARCÍA NÁJERA, J. M. 1962. Principios de hidráulica torrencial. Ed. Min. Agric. Madrid. 350 pp.

GAREN, D.C.; MOORE, D.S. 2007. Curve number hydrology in water quality modeling: uses, abuses, and future directions. curve number hydrology in water quality modeling: uses, abuses, and future directions. JAWRA Journal of the American Water Resources Association. Volume 41, Issue 2, pages 377–388.

GASPARI, F.J.; SENISTERRA, G.E. 2006 Zonificación del número de la curva (CN) en la Cuenca del Arroyo Pillahuincó Grande. Coronel Pringles. Tercer congreso de la ciencia cartográfica. 26 al 29 junio de 2006. Buenos Aires. Argentina.

GASPARI, F.J.; SENISTERRA, G.E.; MARLATS, R.M. 2007. Relación precipitación–escorrentía y número de curva bajo diferentes condiciones de uso del suelo aplicada a una cuenca modal del Sistema Serrano de la Ventana. Argentina. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Pág. 21-28 p. Tomo XXXIX. N.º1. ISSN 0370- 4661

GASPARI, F.J., SENISTERRA, G.E.; DELGADO, M.I.; RODRÍGUEZ VAGARIA, A.M.; BESTEIRO, A.I. 2009. Manual de manejo integral de cuencas hidrográficas. Ed Gaspari. La Plata. 321 pp.

GOBIERNO DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES. 1982. Decreto Ley 9867/82. Ley de fomento de la conservación de suelos. (<http://www.gob.gba.gov.ar/legislacion/legislacion/l-9867.html> verificado: 29 de noviembre de 2010).

LÓPEZ CADENAS DE LLANO, F. 1998. Restauración hidrológica forestal de cuencas y control de la erosión. Ed. TRAGSA. Madrid. 945 pp.

MARK, A.; MAREK, P.E. 2009. Hydraulic Design Manual, by Texas Department of Transportation (TxDOT). Published by the Design Division (DES). (http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/hyd/manual_notice.htm verificado: 1 de octubre de 2011).

MINTEGUI AGUIRRE J.A.; LÓPEZ UNZÚ, J. 1990. La ordenación agrohidrológica en la planificación. Ed. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. 308 pp.

MINTEGUI AGUIRRE, J.A.; ROBREDO SÁNCHEZ, J.C. 1994. Caracterización de las cuencas hidrográficas, objeto de restauración hidrológico-forestal, mediante modelos hidrológicos. Ingeniería del Agua. Vol. 1 Num. 2. 114 pp.

RODRÍGUEZ VAGARÍA, A.; GASPARI, F. 2010. GeoQ: herramienta para la determinación del número de curva y escorrentía bajo entorno SIG Idrisi Andes®. GeoFocus (Informes y comentarios), N.º 10, p.11-26. ISSN: 1578-5157.

SCS. Soil Conservation Service. 1964. Hydrology. Part1. Watershed Planning. Section4. Cahpter 10. Estimation of direct runoff from storm rainfall. SCS National Engineering Handbook. US Departmente of Agriculture. EEUU. 26 pp.

Cartografía de susceptibilidad hídrica en el delta del río Paraná

SEPULCRI, M.G.¹; PIZARRO, M.J.¹; FLAMENCO, E.¹; HERRERA, M.¹; BORUS, J.²; GIORDANO, L.²

RESUMEN

El delta del río Paraná es un ecosistema de alta fragilidad ambiental y muy susceptible a las inundaciones. A su vez, se caracteriza por tener una importante actividad económica, social y productiva. Disponer de una cartografía de susceptibilidad hídrica en la región es una herramienta útil para la toma de decisiones en los sectores agropecuario y forestal. Además de los pronósticos de caudales, es importante contar con una estimación de la distribución espacial de los derrames según el escenario hidrológico previsto que puede fluctuar entre muy seco (aguas muy bajas) y muy húmedo (aguas muy altas). Mediante el procesamiento y clasificación de imágenes satelitales de alta resolución correspondientes a la serie temporal 1980-2010 se generó un mapa de susceptibilidad hídrica en el tramo medio del delta Paranaense. El empleo de esta información superpuesta con las cartas topográficas de la zona permitirá al productor agropecuario, a través de la ubicación por coordenadas geográficas, tener conocimiento del grado de afectación por el agua que tendrá un área determinada.

Palabras clave: imágenes satelitales, escenarios hídricos, distribución espacial, pronóstico.

ABSTRACT

The Paraná River delta plays a key role in the economies, water resources, agriculture and social field of the region. A water susceptibility mapping of the region could be a useful tool for the decision making in the agriculture and forestry fields. In addition to the flow forecasts, an estimation of the spatial distribution of the flooding areas according to the predicted hydrologic scenario is very important. The hydrologic scenarios range from very dry (very low water) to very humid (very high water). A water susceptibility map for the mid Paraná River delta was generated using high resolution images from 1980 to 2010 time series, which were processed and classified. This resulting information can be overlapped with the topographic maps of the region and through the geographic coordinate location a field producer or another entity could be aware of the degree of damage by water that a certain area could suffer.

Keywords: satellite images, hydrological scenarios, spatial distribution, forecast.

¹Instituto de Clima y Agua. CIRN INTA Castelar. Las Cabañas y Los Reseros s/n (1712), Castelar, Buenos Aires, Argentina. Correo: gsepulcri@cni.inta.gov.ar

²Instituto Nacional del Agua. Au. Ezeiza-Cañuelas, tramo Jorge Newbery Km 1,62 (1804), Ezeiza, Buenos Aires, Argentina.

INTRODUCCIÓN

La cuenca del Plata juega un rol relevante en la economía, recursos hídricos y la agricultura de la región (Su *et al.*, 2008). El valle aluvial del río Paraná, en sus tramos medio e inferior con frecuencia es afectado por inundaciones con daños considerables tanto a nivel social como económico y productivo (Anderson *et al.*, 1993; Camilloni, 2005). Para realizar un manejo eficiente de las cuencas hidrológicas es necesario conocer primero cómo es la dinámica hídrica de estos sistemas. La descarga o caudal del río ha sido siempre la variable más discutida (Berbery and Barros, 2002) y depende de varios factores como la variabilidad climática (precipitación, evapotranspiración), la topografía, el tipo de suelo, el uso del suelo y las actividades del hombre.

Debido a la compleja génesis de esta llanura podemos encontrar, además de los cauces principales, cauces secundarios, temporarios, diferentes tipos de lagunas y albardones que permiten generar ambientes lóticos, lénticos y terrestres que le confieren al valle una gran heterogeneidad ambiental (Iriondo, 1972; Francheschi *et al.*, 1979) y edáfica (Passeggi, 2000). El régimen hídrico de estas islas está condicionado por el régimen del río y por el de las precipitaciones locales. El patrón pulsátil de inundación (Neiff, 1996; Aceñolaza *et al.*, 2003) produce impacto sobre las características geomorfológicas y biológicas de las islas, sumándole a la heterogeneidad geomorfológica, temporalidad ecológica, lo cual se refleja en la vegetación.

Existen pronósticos estacionales de caudales en el corto y mediano plazo (5-10 días y 6 meses respectivamente), que ayudan a la toma de decisiones por parte de los productores y funcionarios públicos como así también de los habitantes de la zona. Es importante tener pronósticos confiables como así también brindar información sobre la distribución espacial de las aguas bajo distintos escenarios hidrológicos los que, conforme al pronóstico hidrológico estacional (Flamenco, 1998), pueden clasificarse como de aguas muy altas, altas, normal, bajas y muy bajas. Para llegar a obtener mapas de áreas afectadas por agua se requiere indefectiblemente disponer de pronósticos estacionales de caudales en la zona de estudio, de modo de poder evaluar la susceptibilidad hidrológica del área. El concepto de susceptibilidad se refiere a la mayor o menor predisposición a que un evento suceda u ocurra sobre un determinado espacio geográfico. Las áreas que más rápidamente quedan bajo agua ante la ocurrencia de un evento son las de mayor susceptibilidad hídrica. La susceptibilidad a inundaciones es la probabilidad de que una inundación ocurra en un área en base a las condiciones locales del terreno (Soldano, 2009). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue producir una cartografía de susceptibilidad hídrica para un sector del delta Paranaense utilizando imágenes satelitales de alta resolución y contribuir con información de utilidad para el sector agropecuario y forestal, debido a su importancia en la región. Esta cartografía constituirá una herramienta para el productor agropecuario, que será de fácil acceso y contribuirá en la toma de decisiones ante la ocurrencia de eventos importantes como sequía o inundación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área y período de estudio

En la porción inferior de la cuenca del Río Paraná se extiende la Región del Delta, situada entre las latitudes 32° 5' S, al sur de la ciudad de Diamante (Entre Ríos) y 34° 29' S, próxima a la ciudad de Buenos Aires (figura 1). Con una longitud de aproximadamente 320 km, la superficie cubre un total de 17.500 km² (Bonfils, 1962; Canevari *et al.*, 1999) dentro de la cual se hallan zonas actualmente sujetas a procesos fluviales y áreas anegables sin influencia fluvial, situadas al sur de la provincia de Entre Ríos (Malvárez, 1999).

Varios autores han subdividido a esta región basándose en distintos criterios, como es el caso de Iriondo (2004) quien bajo la denominación de "Complejo Litoral" subdividió al área en 10 unidades geomorfológicas. Otro ejemplo es el de Malvárez (1999) quien se basó en el análisis conjunto de patrones de paisaje, régimen hidrológico y tipo de vegetación. Considerando que esta última zonificación es más acorde a los fines de este estudio, encontramos en la figura 1 demarcadas las 11 unidades de paisaje resultantes del trabajo mencionado.

El área de estudio definida para este trabajo se presenta en la figura 1 y con respecto a las unidades de paisaje definidas por Malvárez, abarca la totalidad de algunas de ellas (B, C1, D, E, G) y fracciones en el caso de otras (A, C2, C3, F, H e I). En general, la mayoría de estas áreas comprenden distintos tipos de bosques, praderas, sabanas de litoral, arbustales, isletas de bosques y lagunas de llanura.

La información de caudales mensuales y alturas hidrométricas del río Paraná fue provista por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación. En la etapa inicial de esta investigación se definieron los escenarios hídricos y, para cada uno de ellos, se seleccionaron las fechas posibles a analizar. Para tal fin, se trabajó con la serie histórica de caudales medios mensuales del río Paraná en Corrientes, período 1904/05–2008/09, información hidrológica amplia y confiable (serie de caudales medios mensuales de más de 100 años). La estación hidrométrica ubicada en la localidad de Corrientes presenta la mayor historia de aforos líquidos en el río Paraná desde Posadas hasta su desembocadura. Asimismo, uno de los coautores afirma sobre la confiabilidad de estos datos debido a que se ha revisado la curva de descarga de dicha sección en el marco del Proyecto Paraná Medio de Agua y Energía Eléctrica, Sociedad del Estado (AyEE, SE). Por otra parte, dentro del mismo Proyecto se ha evaluado la curva de doble masa o acumulación de volúmenes anuales (período 1905-2002) pertenecientes a la estación Timbúes, ubicada aguas arriba de Rosario. En este caso se demostró una diferencia negativa de aproximadamente un 10% con respecto a los datos de Corrientes, lo que convierte a esta serie de datos como poco consistente. Por lo tanto, para la caracterización del régimen hídrico fue conveniente entonces utilizar la información de caudales anuales provenientes de la estación Corrientes que es la única sección donde se han desarrollado los dos modelos estacionales (semestrales) de pro-

nóstico que son el insumo principal para luego proceder a la elección de la cartografía de susceptibilidad hídrica. Del mismo modo, en función del análisis en Corrientes, se identificaron en el puerto de San Pedro (situado en el delta del río Paraná) períodos correspondientes a cada año hidrológico más acotados, considerando en este caso alturas hidrométricas (tabla 1), con el objetivo de ajustar los períodos o las fechas para la búsqueda de las correspondientes imágenes satelitales.

Para cada año se calculó el caudal medio del año hidrológico (septiembre-agosto) y se aplicaron sobre dicha serie temporal funciones de distribución (Pearson, Log-Pearson y Gumbel). La función de mejor ajuste fue la de Gumbel. Sobre la base de estos resultados, se establecieron los umbrales para la clasificación del régimen hídrico del río Paraná cuyos valores y categorías se detallan en la tabla 2. A partir de la caracterización del régimen hídrico, se seleccionaron años hidrológicos para cada categoría desde el año 1980, donde se comienza a disponer de imágenes satelitales.

Por otra parte, el año hidrológico se dividió en dos períodos (abril-septiembre y octubre-marzo) en base al régimen de lluvias y la probabilidad de ocurrencia de un evento inundación. En términos generales, durante la temporada de primavera-verano el régimen de lluvias es más importante y, en consecuencia, las crecidas ocurren frecuentemente durante este período. En la temporada otoño-invierno, el estado de aguas suele ser de estiaje. No obstante, existe la probabilidad de que ocurran situaciones atípicas donde las lluvias se produzcan durante el invierno y como consecuencia ocurran inundaciones, tal como sucedió en los años 1983 y 1992. Otro aspecto importante a mencionar es que debido a que la serie de datos de caudales seleccionada corresponde al puerto de Corrientes y que éste no se halla dentro del área de estudio, se debe tener en cuenta la existencia de un retraso de 30 a 60 días entre la ocurrencia de una onda de crecida registrada en dicho puerto y el puerto de Rosario.

En la tabla 3 se detallan la cantidad de imágenes disponibles para cada sub período dentro del año hidrológico y para cada tipo de escenario hídrico (seco, normal y húmedo).

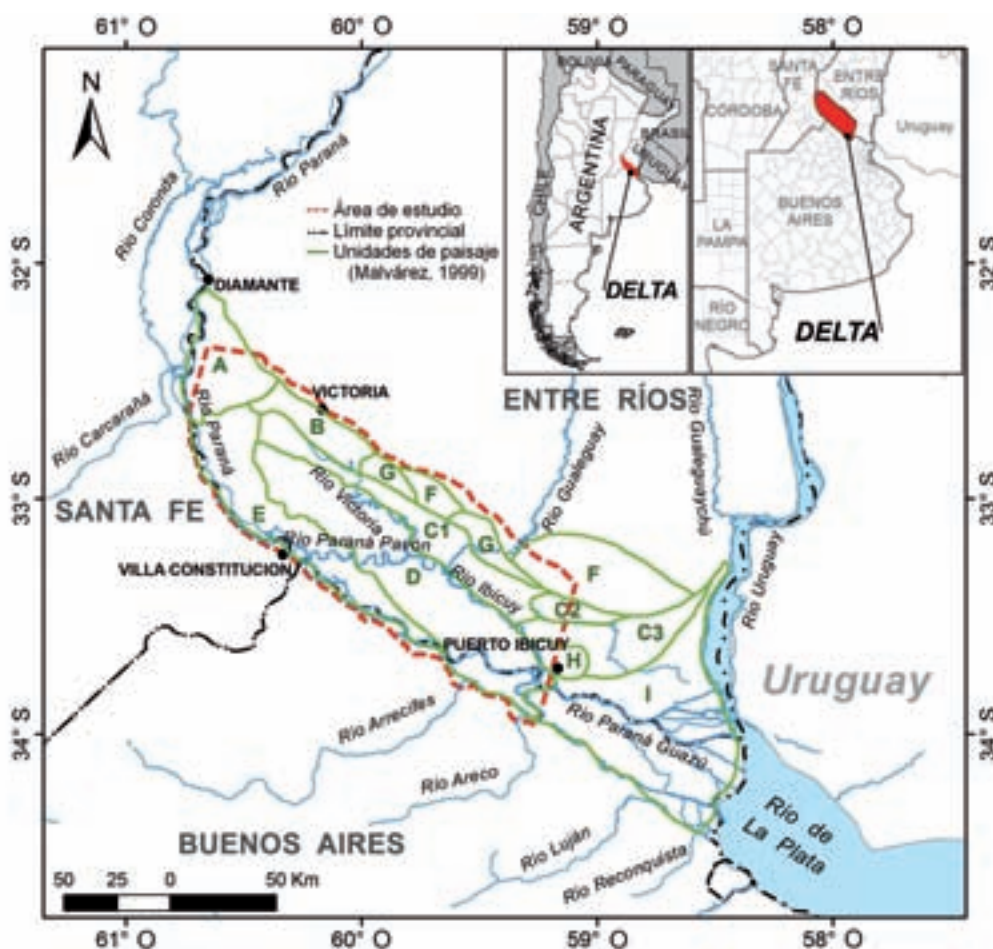


Figura 1. Delta del Río Paraná (Argentina). Área de estudio y unidades de paisaje propuestas por Malvárez (1999).

Fechas a analizar según sitio				
Estado	Año	Caudal medio anual (m3.s-1)	Corrientes	San Pedro
Seco	1999/2000	13500	todos los meses	dic 1999 a feb 2000
	2008/2009	13800	todos los meses	enero a mayo 2009
Normal	1995/1996	16300	todos los meses	nov 1995, feb, marzo, mayo, junio 1996
	2002/2003	15600	todos los meses	octubre 2002 a junio 2003
	2004/2005	16100	todos los meses	nov 2004 a mayo 2005
Húmedo	1991/1992	22100	todos los meses	abril 1992 a mayo 1993
	1992/1993	21300	sept 1992 a abril 1993	
	1997/1998	27300	todos los meses	nov 1997 a nov 1998
	1998/1999	21300	sept a dic 1998	
	2006/2007	18700	dic 2006 a abril 2007	marzo a junio 2007

Tabla 1. Fechas seleccionadas para analizar imágenes según información obtenida en los puertos de Corrientes y de San Pedro.

Probabilidad excedencia (%)	Caudal medio anual (año hidrológico) 1904/05 - 2008/09	Régimen hídrico
20	20100	Muy húmedo
40	17400	Húmedo
60	15500	Normal
80	13600	Seco
		Muy Seco
Mediana	16400	
Media	17000	

Tabla 2. Régimen hídrico del caudal medio (año hidrológico) para el delta del río Paraná.

Información satelital

Sobre la base de los períodos detallados en la tabla 1 para el puerto de San Pedro, se seleccionaron las imágenes satelitales para el área de estudio, que en total fueron 56. Las imágenes empleadas fueron adquiridas por el sensor Thematic Mapper (TM 5) del satélite Landsat y fueron provistas por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales (CONAE), el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) y por el U. S. Geological Survey (USGS). La elección de la fuente de imágenes estuvo basada en la resolución espacial y espectral de las mismas, siendo la primera de 30 metros, lo cual permite tener una visualización a nivel de lote. Con respecto a la resolución espectral, estas imágenes están compuestas por 6 bandas que dentro del espectro electromagnético se hallan en el rango visible (3 bandas): infrarrojo cercano (una banda) e infrarrojo medio (dos bandas). La resolución temporal de estas imágenes es de 16 días. De las pasadas del satélite Landsat se tomó la correspondiente al path/row 226-083 que captura principalmente el tramo medio del delta (desde Villa Constitución hasta el puerto de Ibicuy). Cada path/row

Escenarios hidrológicos		
Seco	Normal	Húmedo
26/01/2000	27/03/1996	17/04/1992
10/01/2009	23/02/2003	23/08/1992
02/05/2009	26/05/2003	02/04/1998
	04/03/2005	05/06/1998
	05/04/2005	09/09/1998
		29/05/2007
		12/01/2010

Tabla 3. Cantidad de imágenes disponibles para cada subperíodo abril-septiembre (abr-sept) y octubre-marzo (oct-marzo) dentro de cada año hidrológico analizado, según escenario hídrico.

cubre una superficie de 185 x 185 Km. Del total de fechas disponibles, se seleccionaron aquellas que no presentaran nubes o su porcentaje fuera mínimo. Asimismo, hubo fechas para las cuales no se dispuso de imágenes. Las fechas con imágenes disponibles se detallan en la tabla 4.

Cantidad de imágenes		
Escenario	Abr-Sept	Oct-Marzo
Húmedo	6	1
Normal	2	3
Seco	1	2

Tabla 4. Fechas con imágenes disponibles para cada escenario hidrológico.

A cada una de las imágenes satelitales se les realizó una corrección geométrica para darles proyección geográfica. En este caso se utilizó Transversal Mercator Faja 5 con Datum WGS84. Por otra parte, se realizó una calibración radiométrica y corrección atmosférica. En cuanto a ésta última, se utilizó la técnica "Dark Object Substraction" (DOS),

la cual asigna al valor mínimo de cada banda la propiedad de cuerpo negro, igualando su reflectividad a cero. Posteriormente, este valor se resta a cada píxel de cada banda. Para realizar este procedimiento se utilizó el software ENVI® y su función Dark Substract.

A continuación, para cada una de las imágenes coincidentes con las fechas seleccionadas, se calcularon índices normalizados de vegetación (NSVI), suelo (NDSI) y agua (NDWI) utilizando información espectral en las longitudes de onda del visible (VIS): rojo (R) y verde (V), infrarrojo cercano (IR) e infrarrojo medio (SWIR) (tabla 5). A partir del cálculo de estos índices, se realizó un compuesto de tres bandas en falso color compuesto, filtrando por el rojo al NDSI, por el verde al NDVI y finalmente por el azul al NDWI, según lo propuesto por Takeuchi y Yasuoka (2005). Estos autores denominaron al compuesto como NDXI, obteniéndose como resultado un mapa temático donde las superficies con agua aparecen con predominio de color azul, la vegetación con predominio de color verde, mientras que el suelo desnudo, la vegetación seca y las áreas urbanas oscilan entre el rojo y amarillo generando tonalidades anaranjadas. Esta misma metodología fue aplicada por Rodríguez *et al.* (2009, 2010) para evaluar coberturas de suelo y las zonas inundadas en la Pampa húmeda, y por Edrosa *et al.* (2009) para generar una cartografía de susceptibilidad a inundaciones en las islas del delta superior y medio del río Paraná.

	Fórmula	Bandas Landsat
NDVI	$(IR-R)/(IR+R)$	3 (VIS, R); 4 (IR)
NDSI	$(SWIR-IR)/(SWIR+IR)$	5 (SWIR); 4 (IR)
NDWI	$(VIS-SWIR)/(VIS+SWIR)$	2 (VIS, V); 7 (SWIR)

Tabla 5. Fórmulas y bandas espectrales correspondientes a las imágenes Landsat utilizadas para el cálculo de los índices de vegetación (NDVI), suelo (NDSI) y agua (NDWI).

Cada imagen resultante se obtuvo bajo dos formatos: byte y punto flotante. La primera para ser posteriormente clasificada y la segunda para ayudar en la separación de clases a partir de la interpretación de los histogramas. Cada imagen en formato byte fue clasificada según la metodología ISODATA estableciendo un criterio de 30 clases como máximo. Los algoritmos de clasificación permiten agrupar píxeles en base a sus similitudes espectrales, que permiten encontrar un correlato entre las características de la región y alguno de los elementos de paisaje a identificar. Los algoritmos no supervisados permiten encontrar clases sin conocimiento previo de su existencia. Una vez corrida la clasificación no supervisada, se procedió a clasificar cada píxel de cada imagen en dos posibles categorías: agua y no agua, asignando valores de 1 y 0 respectivamente, basándose en los valores de los índices (NDVI, NDSI y NDWI) y en sus distribuciones de frecuencias.

Posteriormente, cada una de las imágenes se transformó a máscara de agua con el objetivo de visualizar indepen-

dientemente cada escenario hídrico en un sistema de información geográfico (SIG). Por otra parte, con el conjunto de imágenes procesadas se estableció la frecuencia con que cada píxel estuvo ocupado por agua en todos los períodos evaluados (seco, normal y húmedo). Para ello, se agruparon las imágenes según el escenario hídrico, siendo un total de 7 imágenes para el período húmedo, 5 para el normal y 3 para el seco. A continuación, se sumaron las tres imágenes obteniendo la frecuencia (de 0 a 1) con que cada píxel estuvo ocupado por agua. Los píxeles con una frecuencia cercana a 1 indican que esas zonas, independientemente del escenario, estuvieron ocupadas por agua. Por lo tanto, corresponden a cursos de agua permanentes. Luego se establecieron rangos para clasificar las frecuencias con que cada píxel estuvo ocupado por agua en muy seco, seco, normal, húmedo y muy húmedo.

RESULTADOS

A partir de la clasificación no supervisada de las imágenes, se determinaron las clases agua y no agua y se asignaron valores de 1 y 0, respectivamente, en base a los criterios citados a continuación. En general, para la clase agua el valor medio de NDWI es de 0.22. Sin embargo, los cursos de agua permanentes presentan valores de este índice que oscilan entre 0.6 y 0.8 (Rodríguez *et al.*, 2009). En general, los valores de NDSI aportan muy poco a la diferenciación de clases ya que sus valores son generalmente negativos y próximos a cero. El índice de vegetación (NDVI), presenta un valor medio de 0.4 para la vegetación, mientras que para la clase agua suelen ser negativos o muy bajos (próximos a cero). En este caso, suelen presentar un correlato negativo con el NDWI. Por lo tanto, se puede considerar que aquellas clases cuyas distribuciones de frecuencia de NDWI caracterizadas por valores en su mayoría positivos y distribuciones de NDVI fuertemente negativas son agua. Sin embargo, en el caso de las zonas ribereñas, los valores de NDVI aumentan como consecuencia de la vegetación presente. En este caso, si la distribución de valores de NDWI muestra valores positivos en un 60% o más sumado a valores de NDVI positivos y bajos, esta clase es considerada como agua.

Como resultado, se obtuvieron máscaras de agua para cada una de las escenas analizadas. De esta manera, fue posible visualizar la superficie ocupada por agua en las distintas fechas. A modo de ejemplo, la figura 2 muestra dos escenarios hídricos opuestos: muy húmedo y muy seco, y la distribución espacial de las áreas con agua en cada uno.

Por otra parte, se estableció la frecuencia con que cada píxel estuvo ocupado por agua en todo el período de estudio. Como resultado se obtuvo una imagen cuyos valores por píxel fluctuaron entre 0 y 1. Para visualizarlo en un mapa con la distribución espacial del agua según cada escenario hidrológico, se clasificaron las frecuencias en rangos que variaron desde el estado muy seco hasta el muy húmedo en una escala colorimétrica, obteniendo el mapa de susceptibilidad hídrica (figura 3). Para ello se empleó la metodología estadística conocida como "natural breaks" o

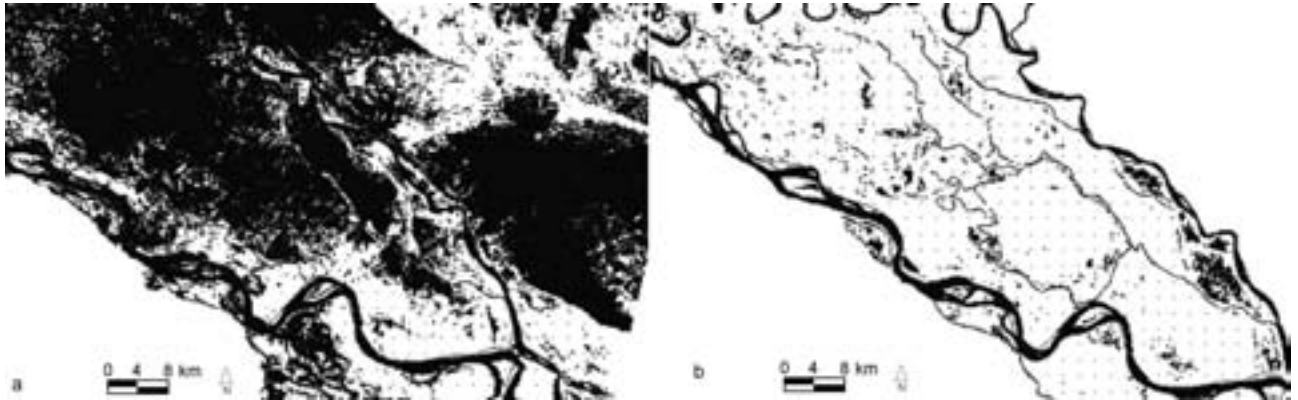


Figura 2. Máscaras de agua correspondientes a dos escenarios hídricos opuestos: **a.** 29 de mayo de 2007 (clasificado como muy húmedo) y **b.** 10 de enero de 2009 (clasificado como muy seco).

algoritmo de Jenks que calcula las diferencias entre los valores de los píxeles ordenados de forma creciente, proponiendo un límite o punto de quiebre para separar en rangos de modo que las diferencias entre grupos se maximicen y se minimicen dentro de cada grupo (Jenks, 1967). Este algoritmo trabaja con cinco clases, de manera que coincide con la cantidad de rangos de frecuencias o escenarios que se definieron en este trabajo (muy seco, seco, normal, húmedo y muy húmedo). Los límites (en número de píxeles ocupados por agua dentro de cada rango) a partir de los cuales se definió cada escenario figuran en la tabla 6.

Nótese que en la figura 3 se aprecia el estado de aguas para cada uno de los escenarios hidrológicos los cuales, a medida que avanzan en el estado hacia mayor humedad, se van sumando las superficies ocupadas por agua. En el

caso del período muy seco, por ejemplo, se observa que solamente están ocupados por agua los píxeles correspondientes a los cursos de agua permanente (color rojo). Así, cada color nuevo que aparece en la figura incluye la superficie ocupada por el agua del estado anterior.

Asimismo, este mapa de susceptibilidad se superpuso con información proveniente de cartas topográficas georeferenciadas de la zona. De esta manera, fue posible localizar establecimientos en particular por sus coordenadas geográficas de latitud y longitud y observarlo simultáneamente sobre la carta y el mapa de susceptibilidad hídrica (figura 4). Esto permitió visualizar el nivel de riesgo presente en un establecimiento determinado ante la presencia de cualquiera de los escenarios descriptos.

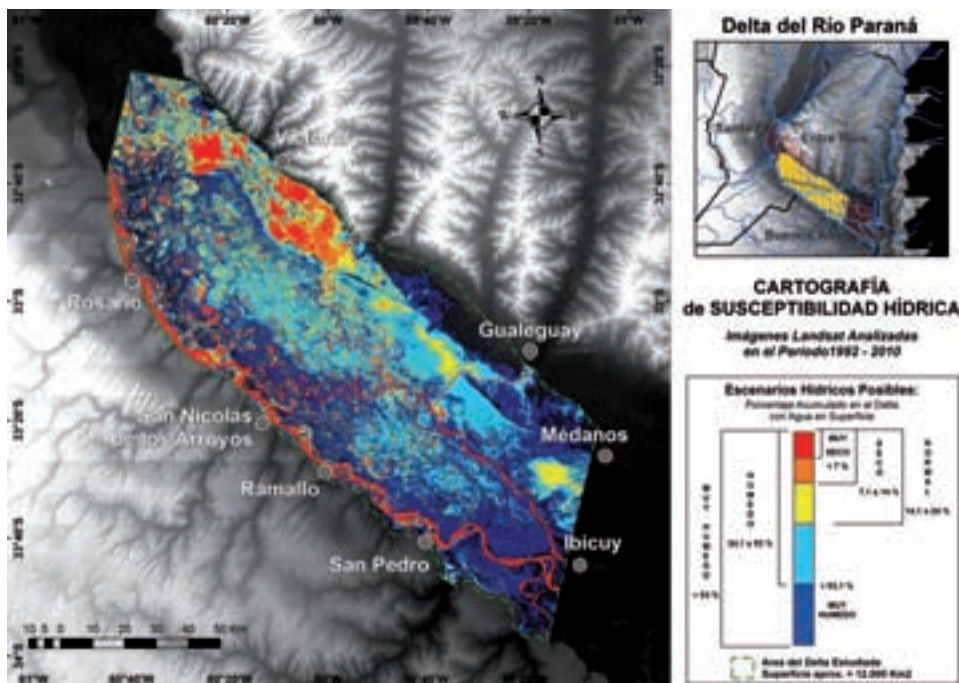


Figura 3. Cartografía de susceptibilidad a inundación y sequía del delta del Río Paraná. Escenarios Hídricos Probables: Muy Seco, Seco, Normal, Húmedo y Muy Húmedo.

Escenarios	Píxeles con agua	Superficie (km ²)	%
Muy Seco	0 a 939803	< 845,82	< 7
Seco	939804 a 1848900	845,83 a 1664,01	7,1 a 14
Normal	1848901 a 3244315	1664,02 a 2919,88	14,1 a 24
Húmedo	3244316 a 7063083	2919,88 a 6356,77	24,1 a 53
Muy Húmedo	7063084 a 11564581	> 6356,77	> 53,1

Tabla 6. Cantidad de píxeles con agua, superficie que representan y porcentaje de la imagen total que surgieron a partir de la metodología de "Natural breaks" para la definición de cada escenario hidrológico.



Figura 4. Ejemplo de localización espacial sobre una Carta Topográfica digital georreferenciada superpuesta con el escenario hídrico probable correspondiente al escenario húmedo.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El mapa de susceptibilidad hídrica resultante permite dar una idea de la distribución espacial de píxeles ocupados por el agua para cada escenario hidrológico. Por medio de esta información combinada con los resultados de pronósticos estacionales de caudales, se pretende brindar una cierta probabilidad de la distribución espacial del agua. Asimismo, la superposición del mapa de susceptibilidad hídrica con las cartas topográficas georeferenciadas de la zona, brinda la posibilidad de estimar el grado de susceptibilidad a inundación y/o sequía probable para cualquier localización geográfica dentro del sector estudiado.

Por otra parte, es importante destacar que para este estudio la cantidad de imágenes disponibles para el período

seco fue muy baja y consecuentemente su bondad para representar la cartografía de susceptibilidad hídrica. A esto se suma que el escenario hídrico seco es el más difícil de analizar, ya que es muy dependiente de la situación antecedente y muy sensible a las lluvias locales. Asimismo, dentro del escenario húmedo correspondiente con el sub período octubre-marzo se dispuso de una sola imagen (tabla 4). Esto indica que habría que continuar con la investigación y aportar imágenes actuales para ampliar la serie histórica y obtener una mejor representación de la cartografía de susceptibilidad hídrica. A su vez, las imágenes que se vayan incorporando permitirían realizar una validación de la misma. Esta investigación no incluyó en su metodología la validación de la cartografía de susceptibilidad generada debido a que sobre los 19 años analizados fue posible

utilizar sólo 15 imágenes que abarcaron solamente 8 eventos. De esta manera, no fue conveniente separar un grupo de imágenes para la etapa de validación. No obstante, de aquí en adelante para los escenarios hídricos planteados se seleccionarán imágenes cada seis meses que ayudarán a evaluar la confiabilidad de esta cartografía hídrica.

Finalmente, se menciona que por medio de esta sencilla herramienta el productor puede combinar la información de una carta topográfica con el mapa de susceptibilidad hídrica a través de las coordenadas geográficas del campo. De esta manera podrá conocer en forma directa en qué medida su campo podría ser afectado por el agua según el escenario hidrológico elegido de acuerdo al pronóstico estacional. Esta información es de gran utilidad para la toma de decisiones ya sea para realizar un ordenamiento territorial, planificar el ecoturismo, o las prácticas agrícolas, ganaderas y forestales.

BIBLIOGRAFÍA

- ACEÑOLAZA, P.H.; POVEDANO, A.; MANZANO, J.; DE DIOS MUÑOZ, J.; ARETA; RONCHI VIRGOLINI, A.L. (2003) Biodiversidad del Parque Nacional Pre-Delta. *Serie Miscelánea*. INSUGEO 12, 169-184.
- ANDERSON, R.J.; RIBEIRO DOS SANTOS, N.D.; DIAZ, H.F. (1993) An analysis of flooding in the Paraná/Paraguay River basin. World Bank, Latin America Tech. Dept., Environment Division, LATEN Dissemination Note 5, 19 pp.
- BERBERY, E.H.; BARROS, V.R. (2002) The Hydrologic Cycle of the La Plata Basin in South America. *Journal of Hydrometeorology* 3 (6), 630-645.
- BONFILS, C.G. (1962) Los suelos del Delta del río Paraná. Factores generadores, clasificación y uso. *Revista de Investigaciones Agrícolas*. XVI (3), 257-370.
- CAMILLONI, I.A. (2005) Extreme flood events in the Uruguay River of South America. *VAMOS Newsletter*, No. 2, International CLIVAR Project Office, Southampton, United Kingdom, pp 23-25.
- CANEVARI, P.; BLANCO, D.E.; BUCHER, E.; CASTRO, G.; DAVIDSON, I. (1999) Los humedales de la Argentina. Clasificación, situación actual, conservación y legislación. *Wetlands International* – Publicación N.º 46.
- EDROSA, R.; SOLDANO, A.; SERAFINI, M.C. (2009) Generación de cartografía sobre susceptibilidad a inundaciones en las Islas del Delta Superior y Medio del río Paraná. Mapping: Map and Sig consulting 131, 75-78.
- FLAMENCO, E.A. (1998) Pronóstico de inundaciones en el río Paraná en Corrientes, basado en el fenómeno ENSO. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines* 27 (3), 807-818.
- FRANCHESCHI E. A.; LEWIS J. P. (1979) Notas sobre la vegetación del valle santafecino del Río Paraná (R. Argentina). *ECO-SUR* 6, 55-82.
- IRIONDO, M. (1972). Mapa geomorfológico de la llanura aluvial del Río Paraná desde Helvecia hasta San Nicolás, República Argentina. *Revista Asociación Geológica Argentina* 27, 155-160.
- Iriondo, M., 2004. The littoral complex at the Paraná mouth. *Quaternary International* 114, 143-154.
- Jenks, G.F. (1967) The Data Model Concept in Statistical Mapping. *International Yearbook of Cartography* 7, 186-190.
- MALVÁREZ, A.I. (1999) El Delta del Río Paraná como mosaico de humedales. En A.I. MALVÁREZ (ed.). *Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica*. Oficina Regional de Ciencia y Técnica para América Latina y el Caribe (ORCyT) MAB/UNESCO. Montevideo, Uruguay. pp 35-54.
- NEIFF, J.J. (1996) Large rivers of South América: toward the new approach. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* 26, 167-180.
- PASSEGGI, E. (2000) Caracterización sedimentológica del material parental de los suelos asociados a los depósitos de cauce del tramo medio del Río Paraná. Tesis doctoral. Universidad Católica de Santa Fe. 216 pp.
- RODRÍGUEZ, D.M.; BOLZI, S.C.; VELASCO, I. (2010) Evaluación de zonas inundadas en la Pampa húmeda con datos del sensor MODIS/Terra. XIV Simposio Internacional Selper. 8-12 de noviembre de 2010. Guanajuato, México.
- RODRÍGUEZ, D.M.; VELASCO, I.; MARINO M. (2009) Clasificación de coberturas de suelo mediante el uso de índices e imágenes satelitales de distintos sensores. X Congreso Argentino de Meteorología - CONGEMET X. 5-9 de octubre. Bs. As., Argentina.
- SOLDANO, A. (2009) Inundaciones: ¿Qué es susceptibilidad? Conceptos sobre riesgo. Síntesis temática realizada para el Foro Virtual de la RIMD creado para la Capacitación en Teledetección Aplicada a la Reducción del Riesgo por Inundaciones. 16 al 20 de marzo, Falda del Carmen, Córdoba, Argentina.
- SU, F.; HONG, Y.; LETTENMAIER, D.P. (2008) Evaluation of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) and its Utility in Hydrologic Prediction in the La Plata Basin. *Journal of Hydrometeorology* 9, 622-640.
- TAKEUCHI, W.; YASUOKA, Y. (2005) Development of normalized vegetation, soil and water indices derived from satellite remote sensing data. *Journal of the Japan Society of Photogrammetry and Remote Sensing* 43 (6), 7-19.

Calidad nutritiva de láminas de dos cultivares de festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb)

INSUA, J.R.¹; AGNUSDEI, M.G.²; DI MARCO, O.N.¹

RESUMEN

Se evaluó la calidad nutritiva de dos cultivares de festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb) durante un rebrote estival (temperatura media: 21 ± 2.8 °C), en relación a la morfogénesis de dos cultivares (Tradicional: El Palenque Plus^{INTA} y Hojas flexibles: Grasslands Advance^{Gentos}). El diseño fue completamente aleatorizado ($n=3$) en 250 macetas/cultivar al aire libre, sin limitantes hídricas ni de N y P. Se realizaron 8 cosechas destructivas de 300 macollos vegetativos/cosecha en un período 14 semanas. La frecuencia se ajustó al estado ontogénico de las hojas para obtener láminas en 6 estados de similar edad térmica (desde el inicio de crecimiento a la senescencia completa) de 3 generaciones consecutivas de hojas (G1, G2 y G3). Las variables de morfogénesis se midieron en 15 macollos marcados por cultivar. La edad, Vida Media Foliar (VMF) e Intervalo de Aparición de Hoja (IAH) se expresaron en Grados Días de Crecimiento (GDC: $\sum \text{Tem}^{1/2} - 4$ °C). En las hojas se midió la longitud de las láminas y vainas; y en las láminas el contenido de Fibra Detergente Neutro (FDN) y la digestibilidad *in vitro* de la FDN (DFDN) y de la MS (DAMS) por incubación a 24 horas en digestor Daisy¹. Las variables de morfogénesis se evaluaron como medidas repetidas en el tiempo; y para las de calidad se ajustaron funciones lineales con la edad y el largo foliar, y se compararon mediante análisis de variables dummy. Los cultivares no se diferenciaron en morfogénesis, con excepción de la VMF y el Número de Hojas Vivas por macollo (NHV) que fueron menores para Advance. La DFDN de ambos cultivares disminuyó linealmente con la edad y con el aumento del largo foliar entre hojas sucesivas de rebrote, con mayor tasa en Advance. Pero el contenido de FDN no se diferenció entre cultivares, sino que se mantuvo constante durante la vida foliar ($54,5 \pm 3,2\%$) y aumentó durante la senescencia ($64,9 \pm 0,8\%$). Los cultivares no se diferenciaron en calidad al mismo estado ontogénico, lo cual indica que Advance, por tener menor VMF, requiere defoliaciones más frecuentes que El Palenque Plus para controlar los cambios de calidad en el tiempo.

Palabras clave: calidad de láminas, FDN, digestibilidad FDN, morfogénesis foliar, defoliación.

ABSTRACT

Leaf nutritive quality was evaluated in two tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb) cultivars, during a summer regrowth (average daily temperature: 21 ± 2.8 °C), in relation to morphogenesis parameters. Cultivars were El Palenque Plus^{INTA} (traditional) and Grasslands Advance^{Gentos} (soft leaf type). The experiment was conducted in pots (250/cultivar) arranged in a completely randomised design ($n=3$) under natural climate conditions, without limitation of water, N and P. Swards were sampled 8 times (~300 tillers/harvest) over a period of 14 weeks,

¹Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata.

²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, EEA Balcarce. E-mail: odimarco@balcarce.inta.gov.ar

to obtain leaves in 6 ontogenetic stages of similar age (from growing to complete senescence) corresponding to the 3 first sequentially appearing leaf generations (G1, G2, G3). Morphogenesis traits were measured in 15 marked tillers/cultivar. Leaf age, leaf lifespan (LLS) and leaf appearance interval (LAI) were expressed in growing degree days (GDD: Σ average temperature - 4.0 °C). Leaf blades and sheaths were measured and leaf blade NDF and the *in vitro* digestibility (NDFD and DMD, incubation at 24 h Daisy^{II} digester) were determined. The morphogenesis traits were evaluated using repeated measures data analysis. Quality traits were analyzed by lineal function and dummy variables. The mean values of cultivars in each ontogenetic state were compared by ANOVA (Tukey, $p < 0.05$). Cultivar did not differ in morphogenesis traits, with the exception of LLS and number of leaving leaves (NLL), which were lower in Advance. The NDFD declined with leaf age and length in both cultivars, with higher rate in Advance due to its shorter LLS. However, cultivars did not differ in NDF content, which remained stable throughout the leaf lifespan (54.5 \pm 3%) and increased during senescence (64.9 \pm 0.8%). Cultivars did not differ in NDFD at similar ontogenetic stages, which indicates that Advance require more frequent defoliations than El Palenque to control changes of quality over time.

Keywords: Tall fescue, cultivars, leaf quality, NDF, DNDF, morphogenesis, defoliation.

INTRODUCCIÓN

Los cultivares de hojas flexibles de festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb) fueron desarrollados para mejorar la palatabilidad, el consumo y la producción animal (Hopkins *et al.*, 2009). Hay experimentos que muestran que con ellos se pueden alcanzar producciones de leche comparables a raigrás perenne (Milne *et al.*, 1997; Chapman *et al.*, 2007). No obstante, el resultado productivo está asociado al manejo de la defoliación (Milne, 2001) que, al igual que en raigrás perenne (Fulkerson y Slack, 1994), depende de la sincronización entre la frecuencia de defoliación y la dinámica del recambio de hojas (Donaghy *et al.*, 2008).

La biomasa se acumula en ciclos sucesivos de recambio foliar. En éstos, las hojas van cambiando de edad y aumentando de longitud progresivamente, lo cual ocasiona pérdida de calidad del forraje (Wilson, 1976; Duru y Ducroq, 2002; Groot y Neuteboom, 1997). El aumento del largo foliar y la consecuente pérdida de calidad durante el rebrote se atribuye al incremento progresivo de la longitud de las vainas (Duru y Ducroq, 2002). Por lo tanto, la reducción de la altura de las vainas con el manejo de la defoliación disminuye la longitud de las láminas y aumenta la calidad nutritiva del forraje (Duru y Ducroq, 2002; Di Marco y Agnusdei, 2010).

La Vida Media Foliar (VMF), que es el período entre la emergencia de la hoja hasta que comienza la senescencia, es un parámetro de gran utilidad para sincronizar la frecuencia de defoliación con la dinámica del recambio de hojas (Lemaire y Chapman, 1996). Durante la VMF se acumula un Número de Hojas Vivas por macollo (NHV) que depende del cociente entre la VMF y el Intervalo de Aparición de Hojas (IAH) de la especie. Por ejemplo, raigrás puede acumular hasta 3 hojas vivas por macollo sin que se acumule material senescente (Fulkerson y Slack, 1994) porque tiene una VMF de 330 Grados Días de Crecimiento (GDC en °Cd) y un IAH de 110 GDC (330/110=3). Por lo

tanto, las variables de morfogénesis mencionadas, o el número de hojas por macollo, son de gran utilidad para interpretar los cambios de calidad y pérdidas por senescencia durante la acumulación de biomasa.

El objetivo del presente trabajo es evaluar la calidad nutritiva de láminas individuales de dos cultivares de *Festuca arundinacea* (tradicional y de hojas flexibles) en relación a la morfogénesis de los cultivares. El estudio se realizó en hojas individuales, en seis estados ontogénicos de similar edad térmica, que abarcó desde el inicio del crecimiento hasta la senescencia completa de las primeras tres generaciones de hojas consecutivas de un ciclo de rebrote. Este protocolo experimental permite analizar la calidad de las láminas de ambos cultivares en estados ontogénicos comparables y evaluar, además, si el largo foliar tiene un efecto adicional a la edad foliar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluó la calidad nutritiva de dos cultivares de festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb.), un cultivar tradicional (El Palenque Plus^{INTA}) y otro de hojas flexibles (Grasslands Advance^{Gentos}). El ensayo se llevó a cabo en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) del INTA en Balcarce (sudeste Bonaerense, 37° 45' S; 58° 18' W) durante el verano de 2009/10.

Los cultivares se sembraron (4/08/09) en 250 macetas/cultivar (20 x 40 cm), con sustrato extraído del horizonte A de un suelo Argiudol típico, en un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA, n=3). El ensayo fue al aire libre sin limitantes hídricas ni nutricionales para simular un ambiente no restrictivo para el crecimiento. Se aplicó riego por aspersión diariamente hasta capacidad de campo, y se realizó una fertilización inicial con Nitrato de Amonio Calcáreo (150 kg N ha⁻¹) y Fosfato Diamónico (50 kg P ha⁻¹), más fertilizaciones semanales de Nitrato de Amonio Calcáreo (35 kg

N ha⁻¹) durante todo el ensayo. Previo al inicio del período experimental se realizaron 3 cortes para favorecer el aumento de la densidad de plantas y homogenizar la edad de macollos para formar micropasturas densas y foliosas.

Previo al muestreo se realizó un corte de homogenización y sincronización del crecimiento a 5 cm de altura (8/12/09). Se registró la temperatura diaria, la cual fue de 21±2,8 °C para todo el período experimental. El tiempo se expresó como GDC, que se calculó como la acumulación de la temperatura media diaria por encima de una temperatura base de 4 °C. Se registró el IAH, la tasa de elongación foliar (TEF), la VMF y el NHV por macollo, con una frecuencia de tres veces por semana en 15 macollos por cultivar. La VMF se midió como los GDC acumulados transcurridos entre la aparición de la lámina visible y el comienzo de la senescencia.

Al mismo tiempo, se realizaron 8 cosechas destructivas durante 14 semanas, en las que se obtuvieron ~ 300 macollos vegetativos/unidad experimental. La frecuencia de cosecha se ajustó al estado de desarrollo de las hojas para obtener la evolución de las 3 primeras generaciones de hojas que aparecieron secuencialmente durante el rebrote (G1, G2 y G3) en los siguientes 6 estados ontogénicos: crecimiento, expandida, adulta, pre-senescente, 50% de senescencia y 100% de senescencia.

Los macollos se cortaron a nivel de la base y se congelaron inmediatamente en N líquido. Luego, se almacenaron en freezer (-20 °C) hasta su posterior separación y procesado. A continuación, se descongelaron y se mantuvieron en bandejas sobre hielo durante la separación de la lámina y vaina, por generación (G1, G2 y G3) en 6 categorías de edad. Las generaciones posteriores a la G3 que aparecie-

ron durante este período no fueron estudiadas y se descartaron.

Las láminas y vainas se midieron y pesaron por separado. Las láminas se liofilizaron y molieron con un molino tipo Cyclotec con malla de 1 mm. Luego se determinó el contenido (en %) de FDN (Van Soest *et al.*, 1991) y la digestibilidad de la FDN (DFDN) y verdadera de la materia seca (DVMS) por incubación *in vitro* de 250 mg de muestra a 24 h de incubación en el equipo Daisy^{II}. La DVMS se convirtió a digestibilidad aparente (DAMS) restando el factor metabólico 11,9 propuesto por Van Soest (1994).

Los datos se analizaron con un modelo estadístico lineal para un diseño DCA con 3 repeticiones. Las variables de morfogénesis se analizaron como mediciones repetidas en el tiempo tomando en cuenta a los macollos marcados como sujetos de estudio y al cultivar como factor de tratamiento. Para las variables de calidad se evaluaron los cultivares y las generaciones de las láminas realizando ajustes de funciones lineales con los GDC y comparaciones mediante análisis de variables dummy. Los datos se analizaron con los PROC REG y PROC GLM de la versión 8 del paquete estadístico SAS (SAS, 2001). Se efectuó un análisis de la varianza para un DCA de las variables de interés y se compararon las medias utilizando la prueba de Tukey (p<0,05).

RESULTADOS

Variables de morfogénesis

Advance presentó menor VMF y NHV que El Palenque Plus, sin diferenciarse en TEF, IAH ni largo foliar. El largo

Parámetros	Advance	El Palenque Plus	EE
VMF(°Cd)	490 b	632 a	60
NHV (hojas macollo ⁻¹)	2,5 b	3,3 a	0,2
TEF (mm día ⁻¹ macollo ⁻¹)	18 a	16 a	1,8
IAH (°Cd)	168 a	190 a	38
Largo lámina (mm)			
G1	142 c	136 c	7
G2	255 b	222 b	7
G3	354 a	360 a	7
Largo vaina (mm)			
G1	41 c	37 c	7
G2	73 b	64 b	14
G3	99 a	102 a	12

Tabla 1. Variables de morfogénesis de "Advance" (A) y "El Palenque Plus" (EP). Letras diferentes significan diferencias significativas (p<0,05). EE: Error estándar de la media (n=3).

de lámina y vaina fue similar entre cultivares y aumentó entre generaciones de hojas sucesivas del rebrote (tabla 1).

Calidad de láminas al mismo estado ontogénico

Los cultivares no se diferenciaron en calidad de las láminas (DAMS, FDN y DFDN) al mismo estado ontogénico (tabla 2). La DAMS y la DFDN disminuyeron con el progreso de la ontogenia foliar ($p < 0,0001$) y estuvieron altamente relacionados entre sí ($y = 0,68x (\pm 0,02) + 26,4 (\pm 0,68)$, $R^2 = 0,95$, $p < 0,0001$). El contenido de FDN no varió durante la VMF, pero aumentó durante el proceso de senescencia. Dicho parámetro mostró moderada relación con la DAMS ($y = -1,91x (\pm 0,17) + 162 (\pm 9,8)$, $R^2 = 0,54$, $p < 0,0001$) y pobre asociación con la DFDN ($y = 2,2x (\pm 0,3) - 163 (\pm 17)$, $R^2 = 0,33$, $p < 0,0001$).

Efecto de la edad foliar sobre la calidad de las láminas

El contenido de FDN se mantuvo constante durante la VMF en un valor promedio de $54,5 \pm 3,2\%$ para ambos cul-

tivares, sin diferencias entre ellos ($p > 0,05$). Sin embargo, durante la senescencia, la FDN aumentó hasta un promedio de $64,9 \pm 0,8\%$ (figura 1a). En cambio, la DFDN disminuyó durante la VMF y senescencia en ambos cultivares (figura 1b). La tasa de pérdida durante la VMF fue mayor en Advance (paralelismo $p < 0,001$), pero no se diferenció entre cultivares durante la senescencia (paralelismo $p > 0,05$). La disminución de DFDN con la edad foliar entre generaciones de hojas sucesivas de rebrote fue similar dentro de cada cultivar (paralelismo Advance: $p > 0,05$; El Palenque Plus: $p > 0,05$), pero las ordenadas difirieron (Advance: G1: 74,6, G2: 67,2, G3: 63,9, $p < 0,05$; El Palenque Plus: G1: 69,1, G2: 62,2, G3: 57,1, $p < 0,05$).

Efecto del largo foliar sobre la calidad de las láminas

En hojas adultas (desde hoja expandida hasta el final de la VMF) el contenido de FDN no fue afectado por el aumento del largo de lámina ($54,5 \pm 3,2\%$) entre generaciones, pero la DFDN disminuyó a una tasa de aproximadamente

Estado	FDN (%)			DFDN (%)			DAMS (%)		
	A	EP	EE	A	EP	EE	A	EP	EE
Crecimiento	53,2	55,7	0,8	65,7	64,0	1,7	69,8	68,1	0,8
Expandida	54,1	55,4	1,0	57,4	54,3	1,1	65,1	62,7	0,8
Adulta	53,5	54,8	1,1	46,1	47,3	1,6	59,3	59,2	0,8
Pre Senescente	53,6	55,6	1,1	34,0	38,8	1,6	52,8	54,2	0,8
50% Senescente	58,9	58,6	1,0	26,5	29,0	1,3	44,9	46,4	0,7
100% Senescente	63,6	66,2	0,8	8,3	12,8	1,2	30,0	30,9	0,4

Tabla 2. Contenido y digestibilidad de la FDN (DFDN) y de la MS (DAMS) de láminas en diferentes estados ontogénicos de "Advance" (A) y "El Palenque Plus" (EP). EE: Error estándar de la media (n=3).

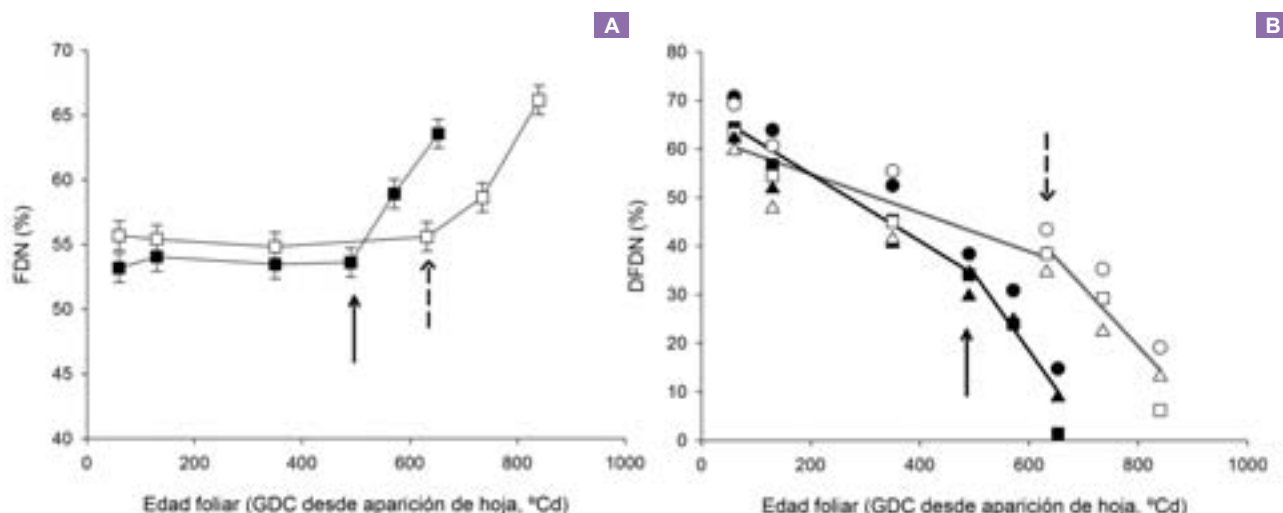


Figura 1. Contenido (A) y digestibilidad de la FDN (DFDN, b) de láminas de "Advance" (negro) y "El Palenque Plus" (blanco) en la relación a la edad foliar. Flechas muestran el comienzo de la senescencia. En B: G1, ●○; G2, ■□; G3, ▲△.

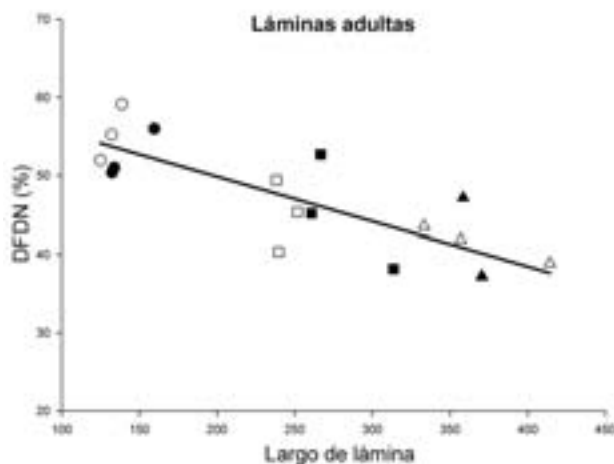


Figura 2. Efecto del largo de lámina sobre la digestibilidad de la FDN (DFDN) para "Advance" (negro) y "El Palenque Plus" (blanco) en hojas adultas. G1, ●○; G2, ■□; G3, ▲△.
 $Y = -0,57x(\pm 0,1) + 61,2(\pm 2,7)$, $R^2 = 0,67$; $p < 0,0001$.

0,6 por cada 10 mm de aumento en longitud de lámina (figura 2), sin diferencias entre cultivares (coincidencia $p > 0,05$).

DISCUSIÓN

Morfogénesis de los cultivares

La menor VMF de Advance en comparación con El Palenque Plus (490 vs 630 GDC) explicó su menor NHV (2,5 vs 3,3 NHV, respectivamente), ya que el NHV surge del cociente entre la VMF y el IAH (Lemaire y Agnusdei, 2000). En ambos cultivares la VMF estuvo en el rango de los 500-600 GDC citados para festuca alta (Gao y Wilman, 1994; Lemaire y Chapman, 1996), que corresponde a una especie de moderada tasa de recambio foliar en comparación a raigrás perenne que tiene una VMF de 330 y se clasifica como una especie de alta tasa de recambio foliar (Davies, 1988).

Calidad de las láminas durante la ontogenia

Durante la VMF (desde emergencia hasta pre-senescencia) la DAMS disminuyó de aproximadamente 70 a 50%, llegando a 30% en la lámina 100% senescente (tabla 2). Las variaciones de este parámetro estuvieron altamente asociadas a las variaciones en la DFDN ($R^2 = 95\%$), y en menor medida al contenido de FDN ($R^2 = 54\%$). A pesar de dichas variaciones, los cultivares no se diferenciaron al mismo estado ontogénico (tabla 2). La DFDN disminuyó con el paso del tiempo durante la VMF y el contenido de FDN se mantuvo sin cambios, lo cual indica que ambas variables son independientes. Por esta razón es importante tener en cuenta la DFDN para una mejor interpretación de los cambios de calidad del forraje que corrientemente se asocian al aumento del contenido de FDN.

Edad foliar y calidad de las láminas

El contenido de FDN de las láminas verdes (durante la VMF) se mantuvo constante en un promedio de $54,5 \pm 3,2$

para ambos cultivares (figura 1a), valor similar al encontrado por Buxton y Redfearn (1997) en festuca alta. La constancia de la FDN durante la vida foliar concuerda con lo observado en otras especies (Di Marco y Agnusdei, 2010; Avila *et al.*, 2010; Agnusdei *et al.*, 2009). Esto se debe a que la FDN se forma en la zona de crecimiento ubicada en la base de la lámina dentro del tubo de vainas (Schnyder *et al.*, 1987; Maurice *et al.*, 1997). En cambio, el aumento de la FDN durante la senescencia se explica por la exportación del contenido celular hacia las hojas en crecimiento (Robson y Deacon, 1978).

La DFDN disminuyó progresivamente de 65% hasta 36% durante la VMF, es decir, desde la emergencia hasta la pre-senescencia sin diferencias entre cultivares al mismo estado ontogénico (tabla 2). Sin embargo, los estados ontogénicos de Advance transcurrieron más rápido por tener menor VMF (-20%). Esto significa que el mencionado cultivar envejeció más rápido y, por lo tanto, tuvo mayor tasa de pérdida de DFDN que en El Palenque Plus (figura 1b). Esto sugiere que los procesos físicos (Wilson y Mertens, 1995) y químicos (Akin, 1989; Jung y Allen, 1995; Buxton y Redfearn, 1997) que vuelven la pared celular menos digestible, sucedieron más aceleradamente en el cultivar con recambio foliar más rápido. Por otro lado, la marcada caída de DFDN durante la senescencia fue debida al aumento de la fracción seca de la lámina.

Largo foliar y calidad de las láminas

Las hojas de las generaciones sucesivas aumentaron de longitud y tuvieron menor DFDN. Groot y Neuteboom (1997) y Duru y Ducroq (2002) sostienen que la menor DFDN de las hojas más largas está asociada al incremento de longitud del tubo de vainas, que determina mayor edad de la hoja al momento de emerger por fuera de éste. Los resultados del presente trabajo indican que se pierden 0,6 puntos de DFDN por cada 10 mm de incremento en longitud (figura 2), sin cambios en el contenido de FDN. Resultados similares fueron obtenidos en otras especies C_3 y C_4 (Di Marco y Agnusdei, 2010; Avila *et al.*, 2010; Agnusdei *et al.*, 2009).

CONCLUSIONES

Los resultados confirman que la calidad de los dos cultivares de festuca alta en estudio no permanece estática durante el estado vegetativo. La digestibilidad de las láminas disminuye con la edad de la hoja y con el aumento del largo foliar entre generaciones de hojas sucesivas que conforman un ciclo de rebrote. La pérdida de calidad de las láminas se debe a la disminución de la DFDN. El contenido de FDN solamente aumenta durante el proceso de senescencia de las láminas, pero se mantiene estable en las láminas hasta el final de su ciclo de vida. Al mismo estado ontogénico los cultivares presentan similar calidad. Sin embargo, el cultivar Advance tiene menor VMF (490 vs 632 GDC), lo que significa que envejece más rápido y, por lo tanto, pierde digestibilidad a mayor tasa. A una tem-

peratura media de 20 °C las láminas del cultivar Advance cumpliría su ciclo de vida, o de acumulación de biomasa, 9 días antes que El Palenque Plus, por lo tanto, requiere defoliaciones más frecuentes para mantener una calidad equiparable a la del cultivar tradicional.

BIBLIOGRAFÍA

- AGNUSDEI, M.G., NENNING, F.R., DI MARCO, O.N. y AELLO, M.S. 2009. Variaciones de calidad nutritiva durante el crecimiento vegetativo de gramíneas megatérmicas de diferente porte y longitud foliar (*Chloris gayana* y *Digitaria decumbens*). Rev. Arg. Prod. Anim. 29: 13-25. AKIN, D.E. 1989. Histological and physical factors affecting digestibility at forages. Agron. J. 1:17-25.
- AVILA, R.E.; DI MARCO, O.N.; AGNUSDEI, M.G.; MAYORAL, C. 2010. Digestibilidad de la fibra y materia seca de dos gramíneas megatérmicas (*Chloris gayana* y *Cenchrus ciliaris*) de diferente porte. Relación con la edad y largo foliar. Rev. Arg. Prod. Anim. 30: 1-13.
- BUXTON, D.R.; REDFEARN, D.D. 1997. Plant Limitations to Fiber Digestion and Utilization. J Nutr. 127 (5): 814S-818S.
- CHAPMAN, D. F.; THARMARAJ, J.; NIE, N. 2007. Milk-production potential of different sward types in a temperate southern Australian environment. Grass Forage Sci. 63, 221-233.
- DAVIES, A. 1988. The regrowth of the grass sward. En: JONES M.B.; LAZENBY, A. (Eds.) The Grass Crop: The Physiological Basis of Production. Chapman and Hall, London. pp. 129-169.
- DI MARCO, O.N.; AGNUSDEI, M.G. 2010. Plant Morphogenetical plasticity in response to sward height can modify fibre digestibility in C₃ (*Thinopyrum ponticum*) and C₄ grass species (*Chloris gayana*). En: MACHADO, C.F. (Eds.) An overview of research on pastoral-based systems in the southern part of south America. Tandil. Editorial Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. pp 18-27.
- DONAGHY, D.J.; TURNER, L.R.; ADAMCZEWSKI, K.A. 2008. Effect of defoliation management on water-soluble carbohydrate energy reserves, dry matter yields, and herbage quality of Tall Fescue. Agron. J. 100:122-127.
- DURU, M.; DUCROCQ, H. 2002. A model of lamina digestibility of orchardgrass as influenced by nitrogen and defoliation. Crop Sci. 42: 214 – 223.
- FULKERSON, W.J.; SLACK, K. 1994. Leaf number as a criterion for determining defoliation time for *Lolium perenne* 1. Effect of water-soluble carbohydrates and senescence. Grass Forage Sci. 49: 373-377.
- GAO, Y.; WILMAN, D. 1994. Leaf development in eight related grasses. J. Agric. Sci. 123, 41-46.
- GROOT, J.C.; NEUTEBOOM, J.H. 1997. Composition and digestibility during ageing of Italian ryegrass leaves of consecutive insertion the same levels. J. Sci. Food Agric. 75: 227-236.
- HOPKINS, A.A.; SAHA, M.C.; WANG, Z.Y. 2009. Breeding, genetics, and cultivars. En: FRIBOURG, H.A.; HANNAWAY, D.B.; WEST, C.P. (Eds.). Tall fescue for the Twenty-first Century. Agron. Monogr. 53. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI. pp.339-366.
- JUNG, H.J.; ALLEN, M.S. 1995. Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. J. Anim. Sci. 73: 2774-2790.
- LEMAIRE, G.; CHAPMAN, D. 1996. Tissue flows in grazed plant communities. En: HODGSON, J.; ILLIUS, A.W. (Eds.) The ecology and management of grazing system. CAB International. pp. 3-36.
- LEMAIRE, G.; AGNUSDEI, M. 2000. Leaf tissue turnover and efficiency of herbage utilization. En: LEMAIER, G.; HODGSON, J.; de MORAES, A.; CARVALHO, P.C. de F.; NABINGER, C. (Eds.) Grassland ecophysiology and grazing ecology. CAB International. pp. 265-287.
- MAURICE, I.; GASTAL, F.; DURAND, J.L. 1997. Generation of form and associated mass deposition during leaf development in grasses: a kinematic approach for non-steady growth. Ann. Bot. 80: 673-683.
- MILNE, G.D. 2001. Tall fescue - dramatic changes. En: Proceedings of the Grassland Society of Victoria 42nd Annual Conference. pp.60-69.
- MILNE, G.D.; SHAW, R.; POWELL, R.; PIRIE, B.; PIRIE, J. 1997. Tall fescue use on dairy farms. Proceedings of the New Zealand Grassland Association 59: 163-167.
- ROBSON M.J.; DEACON, M.J. 1978 Nitrogen deficiency in small closed communities of S24 ryegrass. II. Changes in the weight and chemical composition of single leaves during their growth and death. Ann. Bot. 42, 1199-1213.
- SAS. 2001. SAS/STAT® User's guide (Release 8.0). SAS Inst. Inc., Cary, NC.
- SCHNYDER, H.; NELSON, C.J.; COUTTS, J.H. 1987. Assessment of spatial distribution of growth in the elongation zone of grass leaf blades. Plant Physiol. 85, 290-293.
- VAN SOEST, P.J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. Cornell University Press, Ithaca, NY. 476 p.
- VAN SOEST P., ROBERTSON, J.; LEWIS, B. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dietary Sci. 74: 3583 -3597.
- WILSON, J.R. 1976. Variation of leaf characteristics with level of insertion on a grass tiller. I. Development rate, chemical composition and quality and dry matter digestibility. Aust. J. Agric. Res. 27: 343-354.
- WILSON, J.R.; MERTENS, D.R. 1995. Cell wall accessibility and cell structure limitations to microbial digestion of forage. Crop Sci. 35:251-259.

Dinámica del nitrógeno mineral y la biota edáfica durante la descomposición de enmiendas orgánicas en un ambiente semiárido

MEYER, J.¹; FRIGERIO, K.¹; CORTES, M.¹

RESUMEN

El uso de leguminosas como abonos verdes, puede proveer una cantidad importante de nitrógeno para el cultivo posterior, dependiendo de la velocidad de descomposición de los residuos. La necesidad de siembra directa (SD) en los suelos frágiles no permite el enterramiento de los residuos, dificultando su descomposición y la liberación de nitrógeno inorgánico (Ni). En este trabajo se estudió la relación entre descomposición de abonos verdes de vicia con y sin adición de estiércol, la liberación de Ni y la dinámica de las poblaciones microbianas asociadas a estos procesos en el semiárido de la provincia de San Luis, Argentina. En macetas con suelo de la región se incubó suelo solo, dos dosis de vicia y dos dosis de vicia+estiércol durante un año en condiciones reales de temperatura y humedad. Bolsas conteniendo residuos de planta entera de vicia con y sin estiércol fueron ubicadas en superficie (simulando SD) y a 10 cm de profundidad (simulando una labranza mínima) en el suelo de las macetas. Se tomaron muestras de suelo para medir Ni (Nitratos y Amonio) y grupos funcionales microbianos (amonificantes, nitrificantes y celulolíticos). Al mismo tiempo, se retiraron bolsas para medir la velocidad de descomposición del residuo. El contenido de amonio en el suelo aumentó en 6,7 (D1), 28 (D2), 7,3 (D3) y 26 (D4) mg/Kg en un año; por otra parte, el contenido de nitratos aumentó 17 (D1), 32 (D2), 23 (D3) y 41 (D4) mg/Kg. El aumento en el contenido de Ni coincidió con la evolución de las poblaciones de microorganismos amonificantes y nitrificantes. La descomposición en los residuos enterrados ($p < 0,05$) fue un 20% superior que en los residuos en superficie. Los resultados muestran cómo las sucesiones microbianas en la descomposición tienen una fuerte influencia en la disponibilidad de nutrientes en el suelo. La vicia libera una importante cantidad de Ni en el primer año (aún en presencia del estiércol que influye en los equilibrios de mineralización inmovilización por su alta relación C/N), pero para su mayor disponibilidad es recomendable realizar una labranza mínima.

Palabras claves: leguminosas, descomposición, actividad microbiana, amonio.

ABSTRACT

The use of legumes as green manure depends on its decomposition rate and nitrogen release. The use of no tillage practice, required in fragile soils, might diminish both by not allowing a direct contact between the soil microorganisms and the residues. We studied the relationship between vetch decomposition, with and without the addition of cow manure, microbial community dynamics and Inorganic Nitrogen release in a semiarid soil of San Luis, Argentina. We incubated soils during one year, without any addition, with two different amounts of vetch with and without manure added. We also placed plastic bags containing vetch residues with and without

¹INTA EEA San Luis Ruta 7 y 8 Villa Mercedes. E-mail: jmeyer@sanluis.inta.gov.ar

manure, for a common decomposition study. We placed the bags in the surface and at 10 cm depth, simulating the location of residues in the two agronomic labors commonly used in the region. We took samples every three months and measured Inorganic Nitrogen, as Nitrate and Ammonium and microbial functional groups. We also withdrew and weighted bags for the decomposition study. Ammonium content in the pot soil increased from 6.7 (D1), 28 (D2), 7.3 (D3) and 26 (D4) mg/Kg in one year; the content of Nitrate increased in 17 (D1), 32 (D2), 23 (D3) and 41 (D4) mg/Kg. The increase in the inorganic Nitrogen corresponded with the evolution of ammonifiers and nitrifiers populations, confirming the strong influence of microbial succession over nutrient release in residue decomposition. Decomposition was a 20% faster in the residues placed at 20cm depth than the one on top of soil. Vetch residues liberate an important amount of Inorganic Nitrogen in the first year (even in the presence of manure and its influence over the C/N relationship and the equilibriums mineralization-immobilization). It is recommendable a minimal tillage for a better and faster residue decomposition and nutrient liberation.

Keywords: legumes, decomposition, microbial activity, ammonium.

INTRODUCCIÓN

Los cultivos en las regiones semiáridas son propensos al estrés hídrico que puede ser aliviado mediante la mejora de las prácticas culturales. Una alternativa para mejorar la eficiencia del uso del agua es la incorporación de cultivos de cobertura y abonos verdes.

Los suelos de la región en su mayoría son entisoles, con un régimen de humedad ústico. El uso de leguminosas como la vicia (*Vicia* sp.), con elevados tenores de proteína vegetal, podría proveer una cantidad importante de nitrógeno para el cultivo posterior, dependiendo de la velocidad de descomposición de los residuos. Si a la utilización de leguminosas se le suma estiércol, el cual actúa favoreciendo la agregación y la estabilidad de la estructura del suelo, los resultados se verán potenciados. De acuerdo a Minoldo *et al.* (2004), el plazo de recupero de la inversión en abonos verdes es inmediato, además de los beneficios que aportan al suelo. Si bien estos procesos de descomposición han sido estudiados, se ha prestado poca atención a la sucesión microbiana a lo largo del proceso de descomposición y su correlación con los cambios en la composición de residuos en las regiones áridas y semiáridas (Torres *et al.*, 2004). Es ampliamente aceptado que las comunidades microbianas descomponen los residuos en respuesta a los cambios en las características químicas del mismo. La fase inicial de descomposición posee una tasa rápida caracterizada por la descomposición de los compuestos solubles, seguida por una fase lenta durante la cual son degradados moléculas complejas tales como los polisacáridos de la pared celular (Paul y Clark, 1996). La fase inicial de la comunidad microbiana se origina por las bacterias predominantes del material vegetal, la fase lenta está dominada por las autóctonas del suelo (Torres *et al.*, 2004). La influencia del clima sobre la sucesión microbiana es otro aspecto poco conocido de la dinámica de descomposición, particularmente en la región semiárida donde la disponibilidad de agua es un factor limitante en la actividad microbiana. Una proporción significativa de los estudios sobre la sucesión microbiana

en las regiones semiáridas se han llevado a cabo en climas mediterráneos, que se caracterizan por una alta concentración de las precipitaciones en invierno, lo que permite la iniciación inmediata de la descomposición de los residuos (Gallardo y Merino, 1993). Menos información está disponible en los suelos en las regiones que se caracteriza por veranos lluviosos e inviernos secos (Torres *et al.*, 2004), condiciones predominantes en el semiárido de San Luis, donde las lluvias se concentran en los meses de verano (Noviembre-Marzo).

En este trabajo se reporta el análisis durante un año de la dinámica de descomposición y la relación entre las sucesiones microbianas y los nutrientes del suelo en condiciones reales de humedad y temperatura en el semiárido argentino. Los objetivos fueron evaluar la liberación de N, los cambios en los grupos funcionales y la descomposición de residuos en diferentes combinaciones de cantidad de residuos, niveles de fertilización con estiércol e incorporación al suelo de *Vicia* sp. para la región semiárida de San Luis.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el campo experimental de la EEA INTA San Luis (Lat: 33°40'38" S Long: 65°22'2" W), desde diciembre de 2008 hasta diciembre de 2009. Los suelos donde se realizó el ensayo pertenecen a la serie Cramer, clasificados taxonómicamente como Ustipsamente típico, son poco desarrollados (A-AC-C) de textura arenosa franca y débilmente estructurados. Al metro se pueden encontrar carbonatos libres, sin impedimentos físicos en profundidad. Son suelos sódicos, los pH desde superficie son mayores a 7,4 y pobres en materia orgánica, la cual no supera al 1% en el horizonte superficial. El régimen de temperatura indica que la región posee un clima templado con características de marcada continentalidad con una temperatura media anual de 16 °C, registrándose las mayores amplitudes térmicas medias del país. Las precipitaciones son estivales, rondando los 600 mm. anuales con un balance

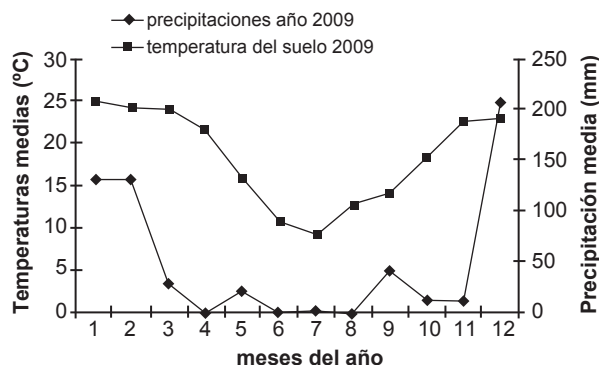


Figura 1. Temperatura promedio del suelo a 0-20 cm (°C) y precipitaciones (mm) mensuales durante el año 2009. Figura elaborada para la presente edición.

hídrico negativo durante todo el año, siendo más marcado durante el verano (Thornthwaite y Mather, 1957) (figura 1). Las heladas son de regular intensidad ocurriendo desde mayo hasta fines de septiembre.

Para evaluar el contenido de Ni en el suelo, la velocidad de descomposición de los residuos y las sucesiones microbianas, se diseñó un experimento en macetas con 20 kg de suelo de la región cada una en condiciones reales de humedad y temperatura. Para evaluar el efecto de los niveles de composición de residuos se incorporaron a las macetas 30 g (D1) y 60 g (D2) de residuos de planta entera seca de vicia en prefloración, equivalentes a 1500 y 3000 kg ha⁻¹ respectivamente, 30 g vicia + 200 g estiércol de cabra (D3) y 60 g de vicia + 200 g estiércol (D4). Además, la velocidad de descomposición se estudió en dos profundidades: a) superficial y b) enterrados (10 cm). Para ello se colocaron bolsas de plástico de malla de 1 mm conteniendo 10 g de residuos de vicia (en los tratamientos D1 y D2) y 5 g de vicia + 5 g de estiércol (en los tratamientos D3 y D4). El número de repeticiones por tratamiento fue de 3 macetas.

A los 30, 90, 120, 180 y 360 días se tomó una muestra (100 g aproximadamente) compuesta por 3 submuestras de suelo de los primeros 10 cm de cada maceta. Se calculó el Ni disponible, como la suma de nitrato (Sawicki y Scaringelli 1971) y amonio (Rosuun y Villarruz 1963) en el extracto de sulfato de potasio 1N. En las mismas fechas se retiraron, lavaron y pesaron las bolsas (1 de superficie y 1 enterrada de cada maceta) y se calculó el % de descomposición (Anderson y Ingram 1996). De las mismas muestras utilizadas para los análisis químicos, se determinaron los diferentes grupos funcionales: amonificantes, nitrificantes y celulolíticos. El método utilizado fue el de número más probable (NMP), en el cual se utilizaron sales minerales en medio basal con sustrato selectivo (Lorch *et al.*, 1995). Los tratamientos se realizaron por triplicado. Para cada variable se realizó un Análisis de la Varianza (ANOVA) por fecha registrada. El método de comparación de medias por Tukey con un $p < 0,05$. El software empleado fue Infostat 2008/P (Grupo Facultad Cs Agropecuarias, UNC).

RESULTADOS

Nitrógeno

Para la cantidad de Ni disponible en el suelo se observaron diferencias entre los niveles de composición de residuos en todas las fechas, sin embargo la alta variabilidad en las observaciones permitió encontrar diferencias significativas ($p < 0,05$) sólo en la última fecha. Los tratamientos que resultaron diferentes significativamente fueron los suelos que recibieron dosis de abono con respecto al testigo. Además, D1 se diferencia estadísticamente de D2, D3 y D4. Estos tres tratamientos fueron los que presentaron los mayores aportes de Ni al suelo (figura 2). El contenido de nitratos tuvo un mayor incremento en los tratamientos con vicia+estiércol (D3 y D4) que en los de vicia sola (D1 y D2). A pesar de que todos los tratamientos presentaron mayor contenido de nitratos que el control, la única diferencia significativa se dio entre D4 y el testigo. Tampoco se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre D1, D2 y D3 (figura 2). Con respecto al contenido de amonio, y para la última fecha, D2 y D4 resultaron estadísticamente diferentes con valores más altos que el resto de los tratamientos y el testigo.

Descomposición

La velocidad de descomposición fue mayor en los residuos enterrados en todas las fechas, en especial en las primeras tres fechas. Un año después de la incorporación todavía existían diferencias marcadas entre superficial y enterrados ($p < 0,05$) (figura 3).

En cuanto al efecto de composición de residuos, no se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en ninguna de las fechas evaluadas (figura 4).

Sucesión microbiana

Todos los grupos microbianos estudiados estuvieron presentes, con un predominio de microorganismos amonificantes. Se observó que la flora microbiana se mantuvo estable en la época seca del año (otoño-invierno). La flora amonificante aumentó rápidamente hasta la segunda fecha y luego decreció progresivamente en los tratamientos con vicia; en los tratamientos vicia+estiércol decreció progresivamente desde el momento de la aplicación del residuo. El contenido de amonio en el suelo aumentó desde el inicio hasta el final de las mediciones en los tratamientos que recibieron mayor cantidades de vicia (D2 y D4). Los tratamientos con menor aporte de vicia (D2 y D3) no se diferenciaron del control. Los microorganismos celulolíticos decrecieron bruscamente desde la fecha inicial, manteniéndose estables durante otoño-invierno, teniendo un pico de crecimiento en primavera-verano en todos los tratamientos. La flora nitrificadora disminuyó rápidamente hasta la segunda fecha y luego se mantuvo constante. En cambio la flora nitradora aumentó rápidamente hasta la segunda fecha y luego se estabilizó en todos los tratamientos siendo todos los tratamientos que recibieron enmiendas (abono) mayores al control (figura 5).

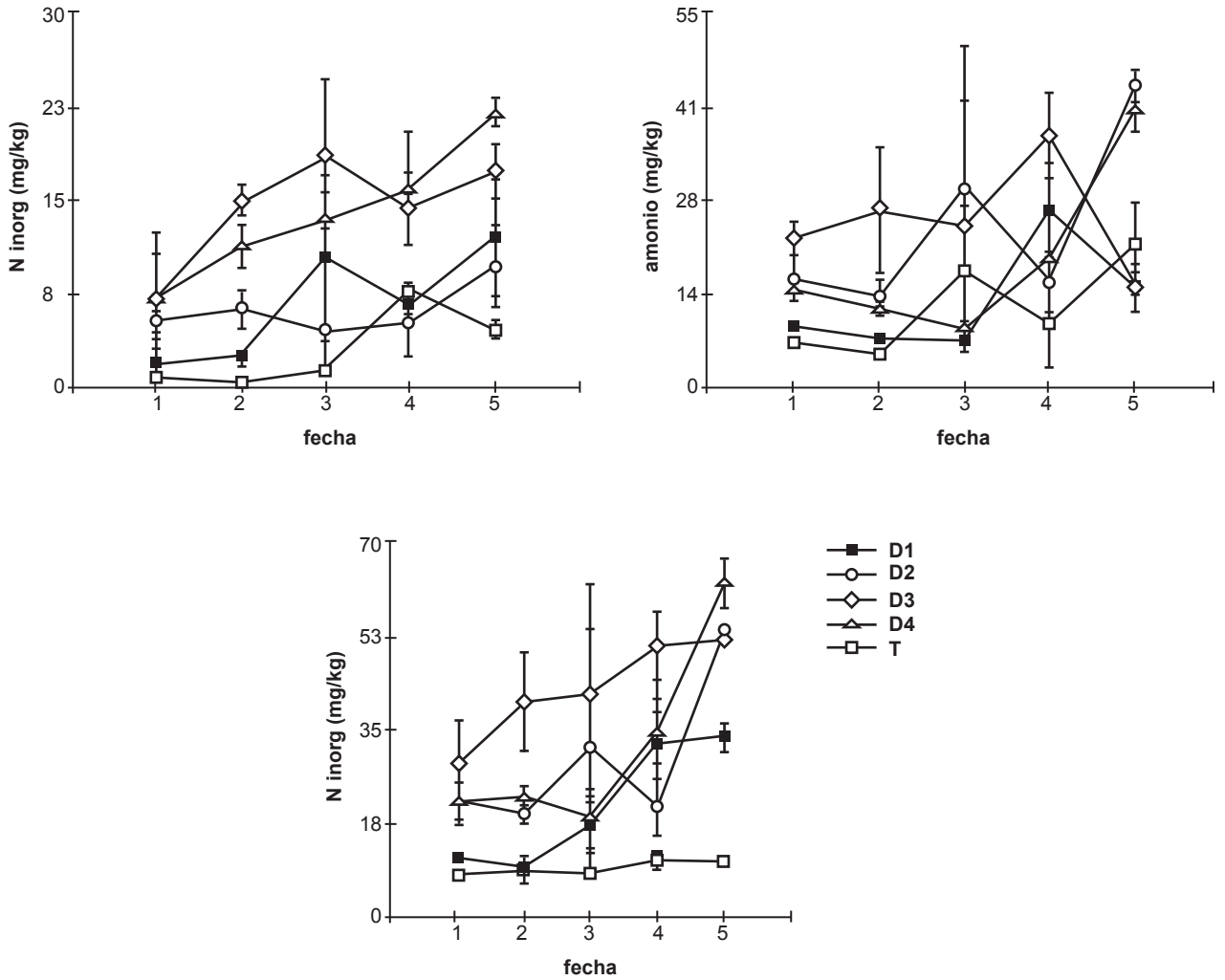


Figura 2. Concentración de nitrógeno inorgánico (Ni), Amonio, Nitratos en suelos testigo (T) y con adición de vicia en dosis equivalentes a 1500 (D1) y 3000 kg ha⁻¹ (D2) y de vicia + estiércol (D3 y D4) en función del tiempo (30, 90, 120, 180, 360 días). Medias y Error estándar. Figura elaborada para la presente edición.

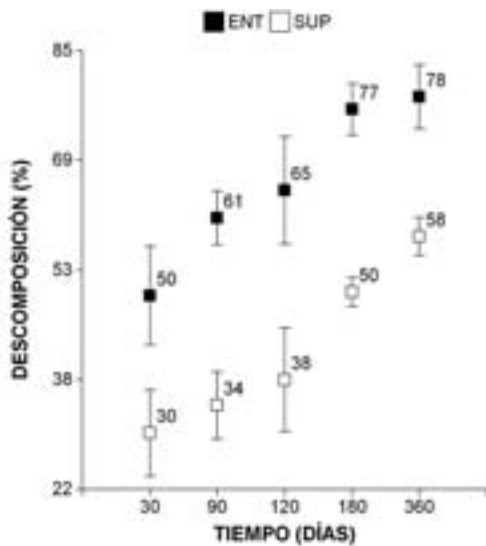


Figura 3. Descomposición (%) en función del tiempo (30, 90, 120, 180, 360 días) a dos profundidades: 0 cm (SUP) y 10 cm (ENT). Media y error estándar. Figura elaborada para la presente edición.

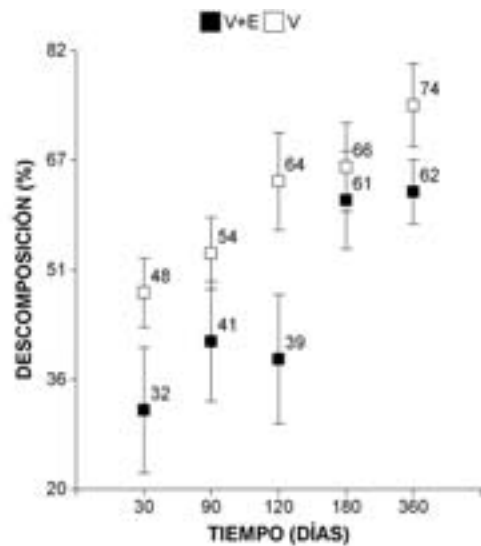


Figura 4. Descomposición (%) en función del tiempo (30, 90, 120, 180, 360 días) de los tratamientos de vicia (V) y de vicia + estiércol (V+E). Media y error estándar. Figura elaborada para la presente edición.

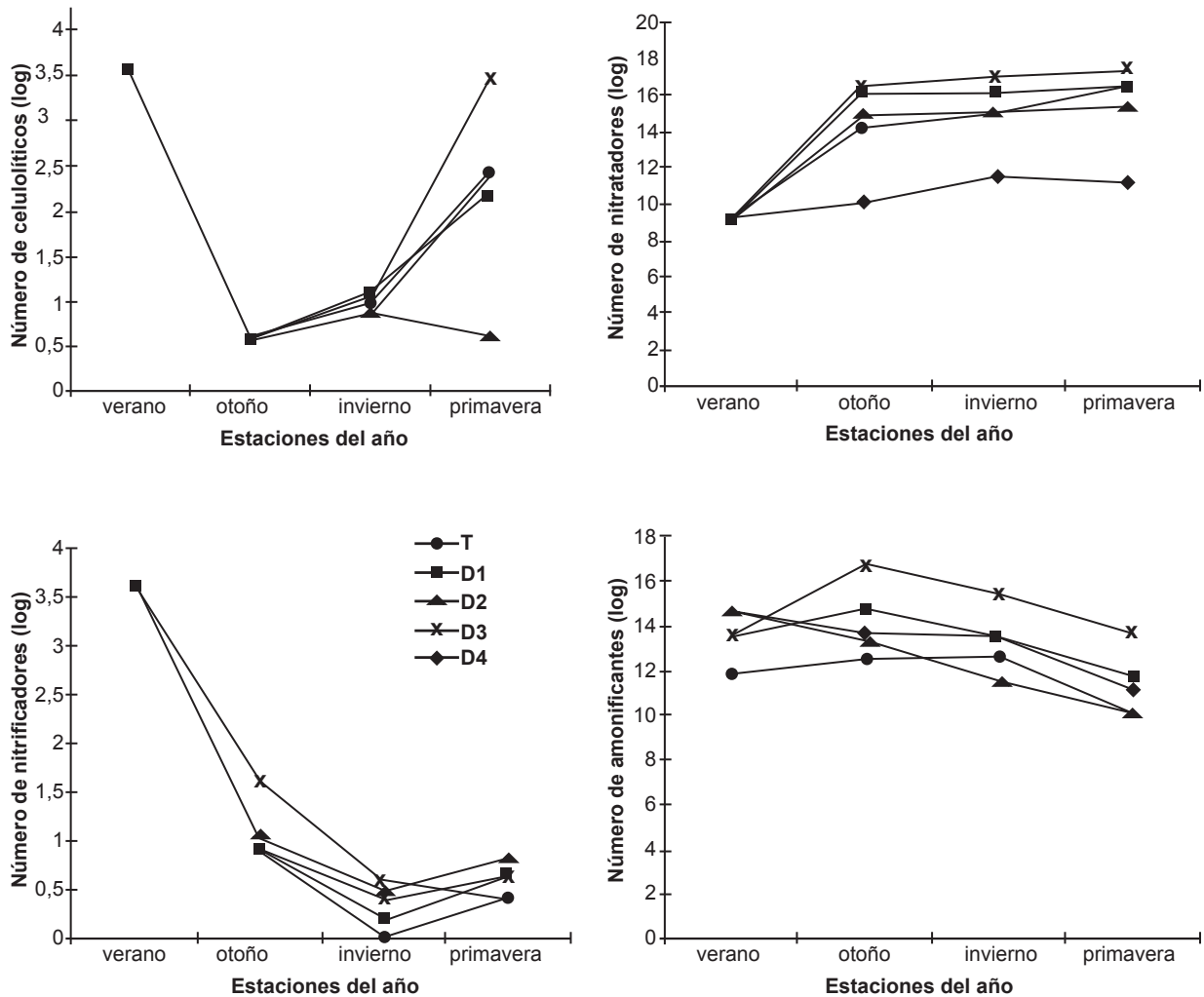


Figura 5 Evolución de la flora nitratadora, celulolítica, nitrificadora y amonificante en suelos testigo (T) con adición de vicia en dosis equivalentes a 1500 (D1) y 3000 kg ha⁻¹ (D2) y de vicia + estiércol (D3 y D4) en función del tiempo (verano, otoño, invierno, primavera). Figura elaborada para la presente edición.

Se encontró una significativa correlación entre nitratadores y nitrificantes ($r^2 = -0,75$), lo que podría explicarse por la relación trófica asociada con la liberación de amonio.

DISCUSIÓN

Nitrógeno

Los suelos de la región (en su mayoría con Nitrógeno total menor a 0,1%) presentan picos de liberación de Ni asociados a humedad y temperatura menores a 10 mg kg⁻¹. En este trabajo se encontraron que las concentraciones de Ni tienden a estabilizarse en el tiempo y comienzan a notarse diferencias significativas a los 360 días de comenzado el estudio, datos similares fueron reportados por Aita *et al.* (2004). Un año después y con la dosis de 3000 kg ha⁻¹ de vicia adicionada, la cantidad de Ni presente en el suelo alcanza a 53,7 mg kg⁻¹. Teniendo en cuenta que en Argentina se obtienen rendimientos máximos de maíz con dosis de 150 kg ha⁻¹ de urea y con eficiencias en el uso de la misma muy bajas (30 al 50% del N aplicado) (Barbieri

et al., 2003), el aporte de 50 mg kg⁻¹ de Ni puede tener un impacto importante en el cultivo posterior (Barraco y Díaz-Zorita, 2005). Minoldo *et al.* (2004) encontraron casi 1 mg.ha⁻¹ de diferencia en rendimiento de trigo en una secuencia vicia+avena-trigo con respecto a trigo-trigo. Sin embargo Aita y Giacomini (2003), observaron que en los primeros meses, las cantidades de Ni liberado no alcanzan a satisfacer los requerimientos del cultivo para las dosis consideradas. Por lo tanto, los beneficios más importantes sobre la fertilidad nitrogenada se obtendrían recién en el cultivo del año posterior.

Descomposición

La descomposición de residuos en las regiones semiáridas se caracteriza por una alta tasa de descomposición y un patrón invertido de términos de la velocidad de cada fase de descomposición, ambas características dependen en gran medida del clima local y la composición química del residuo (Torres *et al.*, 2004). Concordando con Aita y

Giacomini (2003), la tasa de descomposición de los residuos fue más baja cuando los residuos fueron dejados en superficie ($k=0,86$) que cuando los mismos se incorporaron ($k=1,51$), quedando sólo el 42% y el 22% del material original después de 1 año respectivamente. Esto indica que la liberación de N en sistemas bajo SD sería más lenta que en los sistemas convencionales, lo cual presenta ventajas y desventajas. Por un lado la liberación gradual disminuye las pérdidas de N y, por otro, la lenta incorporación de los residuos los hace más vulnerables a ser removidos por los fuertes vientos de la región que ocurren durante el período primavera-verano. Respecto a la composición del residuo se observó que la tasa de descomposición fue más alta en los residuos de vicia sola ($k=1,35$) que en los de vicia+estiércol ($k=0,97$), quedando el 24% y 38% del material original después de 1 año, respectivamente, siendo ambas tasas altas para la zona. La rápida fase inicial de descomposición de los residuos se debe a las lluvias y a las altas temperaturas durante el verano, lo contrario se observa en la segunda fase, donde la falta de lluvias y de bajas temperaturas durante el invierno seco limita la descomposición del material.

Sucesión microbiana

La descomposición de los residuos tuvo una sucesión bien definida de organismos microbianos, distribución similar a la descrita por Douglas y Rickman (1992) quienes encontraron que los residuos incorporados presentaron dos fases de descomposición. La fase inicial se caracteriza por un pionero, de rápido crecimiento microbiano, que es la comunidad que metaboliza fuentes de C y N fácilmente degradables. Esta comunidad incluye a los amonificantes los cuales están típicamente presentes en el superficie de los residuos (Torres *et al.*, 2004). La segunda etapa fue la más lenta y estuvo regulada por la descomposición de la lignina. Los autores consideran que los residuos ubicados en superficie presentaron una tasa de descomposición parecida a la fase 2 de los residuos incorporados. Se observa que la flora celulolítica y nitrificante disminuyeron drásticamente luego de la primera fecha, esta disminución pudo deberse a que los microorganismos que estaban presentes sobre la superficie del residuo no se adaptaron al ambiente que les ofreció el suelo. Webley y Jones (1971) encontraron que en condiciones naturales los microorganismos presentes en las plantas una vez que llegan al suelo, con la excepción de las esporas, no pueden sobrevivir y, si lo hacen, es por muy poco tiempo.

CONCLUSIÓN

El uso de Vicia en la región semiárida como abono verde es promisorio. Las labranzas mínimas favorecen la descomposición de los residuos posibilitando la liberación de cantidades de N importantes para el cultivo. Se confirma la relación existente entre las sucesiones microbianas y la liberación de nutrientes al suelo.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue posible gracias al personal de la Estación Experimental INTA San Luis, quienes colaboraron tanto en el trabajo de campo como de laboratorio.

BIBLIOGRAFÍA

- AITA, C.; GIACOMINI, S.J.; HÜBNER, A.P.; CHIAPINOTTO, I.C.; FRIES, M.R. 2004. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. i - dinâmica do nitrogênio no solo (1). R. Bras. Ci. Solo, 28:739-749.
- AITA, C.; GIACOMINI, S.J. 2003. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas (1). R. Bras. Ci. Solo, 27:601-612.
- ANDERSON, J.N.; INGRAM, J.S.I. 1996. Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods. Wallingford, CAB International. 171p.
- BARBIERI, P.A.; ECHEVERRIA, H.E.; SAINZ ROZAS, H.R. 2003. Respuesta del cultivo de maíz bajo siembra directa a la fuente y al método de aplicación de nitrógeno. Ciencia del Suelo. 21 (1): 18 -23.
- BARRACO, M.; DÍAZ-ZORITA, M. 2005. Momento de fertilización nitrogenada de cultivos de maíz en Hapludoles Típicos. Ciencia del Suelo 23 (2): 197-203.
- DI RIENZO J.A.; CASANOVES F.; BALZARINI M.G.; GONZALEZ L.; TABLADA M.; ROBLEDO C.W. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- DOUGLAS, J.C.L.; RICKMAN, R.W. 1992. Soil Sci Soc Am J 52:112-117
- GALLARDO, A., MERINO, J., 1993. Leaf decomposition in two Mediterranean ecosystems of Southwest Spain: influence of substrate quality. Ecology 74, 152-161.
- MINOLDO, G.; GALANTINI, J.; KRUGER, H.; VENANZI, S.; IGLESIAS, J.; ROSELL, R. 2004. Efecto de las rotaciones con leguminosas y la fertilización sobre el rendimiento y calidad de trigo. Actas VI Congreso Nacional de Trigo y IV simposio Nacional de cereales de siembra otoñal invernal (en CD). Bahía Blanca, Bs. As., Argentina.
- PAUL, E.A.; CLARK, F.E. 1996. Soil Microbial and Biochemistry Academic Press, San Diego.
- ROSSUM, J.R.; VILLARRUZ, P.A. 1963. Determination of ammonia by the indophenol method. S. Amer. Water Works Assay. 55-657.
- SAWICKI, C.R.; SCARINGELLI, F.P. 1971. Colorimetric determinations of nitrate alter hydrazine reduction to nitrite. Microchem. J. 16: 657.
- THORNTHWAITE, C. W. Y MATHER, J. R. 1957. Instructions and tables for computing potencial evapotranspiration and the water balance. C. W. Thornthwaite Associates, Laboratory of Climatology, Elmer, N. J., USA.
- TORRES, P.A.; ABRIL, A.B.; BUCHER, E.H. 2004. Microbial succession in litter decomposition in the semi-arid Chaco Woodland. Soil Biology & Biochemistry 37: 49-54.
- WEBLEY, D.M.; JONES, D. 1971. Soil Biochemistry. Vol 2. Edited by McLaren DA, Skujins J. Ed. Marcel Dekker, INC., vol. 2. New York pp 446-479.

Variabilidad de la viabilidad y vigor de lotes de semillas de soja con presencia de simientes verdes pertenecientes a cultivares de distintos grupos de maduración producidos en dos fechas de siembra

Gallo, C.; Enrico, J.M.; Craviotto, R.; Arango, M.

Nitrato en pecíolo e índice verde en estratos del canopeo del cultivo de papa

Martínez J.P.; Giletto, C.M.; Echeverría, H.E.

Estimación de la digestibilidad in vitro mediante la técnica propuesta por Theodorou et al. (1994)

Bocanegra, D.; Rochinotti, D.

Capacidad de las macrofitas *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes* para eliminar el níquel

Bres, P.; Crespo, D.; Rizzo, P.; La Rossa, R.

Una herramienta para monitorear sequías en regiones áridas y semiáridas de Patagonia Norte

Easdale, M.H.; López, D.R.; Bianchi, E.; Bruzone, O.; Villagra, S.E.; Siffredi, G.L.; Gaitán, J.J.; Umaña, F.; Oricchio, P.

Variación en el nivel de dormición de la semilla en distintas variedades de la forrajera estival *Panicum virgatum* L.

Checovich, M.L.; Ruiz, M.A.

Evaluación del efecto de la restauración agro-hidrológica mediante la aplicación del modelo hidrológico GeoQ

Rodríguez Vagaría, A.; Gaspari, F.; Senisterra, G.; Delgado, M.I.; Besteiro, S.

Cartografía de susceptibilidad hídrica en el delta del río Paraná

Sepulcri, M.G.; Pizarro, M.J.; Flamenco, E.; Herrera, M.; Borus, J.; Giordano, L.

Calidad nutritiva de láminas de dos cultivares de festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb)

Insua, J.R.; Agnusdei, M.G.; Di Marco, O.N.

Dinámica del nitrógeno mineral y la biota edáfica durante la descomposición de enmiendas orgánicas en un ambiente semiárido

Meyer, J.; Frigerio, K.; Cortes, M.



Ministerio de
Agricultura, Ganadería y Pesca
Presidencia de la Nación

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
Rivadavia 1439 (C1033AAE) - Buenos Aires