

GESTIÓN del AGUA

en producciones agrícolas y ganaderas de secano.

Principales contribuciones de la EEA Anguil

Oswaldo Tuya; Alberto Quiroga; Flavia Epuñán



Diseño Gráfico

Dis. Gráf. Francisco Etchart

Impresión

Gustavo J. Moyano

Luisa Blatner de Mayoral

Impreso en los talleres gráficos de la
EEA INTA Anguil “Ing. Agr. Guillermo Covas”

Tirada de 1000 ejemplares

Abril de 2011

**EDICIONES INTA**

EEA INTA Anguil Ing. Agr. Guillermo
Covasf, (6326) Anguil, La Pampa,
Argentina.

contenidos

Presentación	5	• Influencia de prácticas de manejo sobre la compactación de los suelos	24
Prólogo de los autores	7	• Factores edáficos y de manejo que condicionan la eficiencia del barbecho en la región pampeana	24
<hr/>			
capítulo.I		• Aspectos del manejo de la cobertura en relación con la conservación de los suelos y el agua	25
Los primeros objetivos de trabajo: conservación del suelo y economía del agua; adecuar métodos de labranza; manejo de la cobertura y rugosidad superficial; eficiencia de barbechos		• Disponibilidad de agua, nitrógeno y azufre en barbechos con y sin control de malezas en distintos niveles de residuos	26
• El agua: elemento vital para la vida y el desarrollo Nacional	9	• Efecto de la interacción entre residuos sobre la superficie del suelo y presencia de malezas en el almacenamiento de agua durante el barbecho	26
• Métodos de labranza para la región semiárida argentina.	10	• Efecto del tipo de suelo y sistemas de labranzas sobre el transporte de atrazina en columnas intactas de suelo	27
• Las nuevas técnicas agrícolas y los aportes de la mecanización en la región semiárida pampeana	11	<hr/>	
• Manejo de suelos degradados por la erosión en la región semiárida pampeana	12	capítulo.III	
• El deterioro del ambiente en la provincia de La Pampa	12	Trabajos que abordan aspectos de las relaciones agua-suelo-planta	
• Efecto del barbecho sobre la producción de mijo	13	• Causas de la resistencia a la sequía del pasto llorón	29
• Influencia del tipo y época de labranza en la conservación del suelo y del agua edáfica	14	• Desarrollo del aparato radical de un cultivo de pasto llorón	30
• La reducción de labranzas	15	• Modalidades de utilización del agua profunda para un cultivo de pasto llorón	31
• Contribuciones del barbecho a la productividad de cultivos	16	• Actividad absorbente de los aparatos radicales de cultivos de alfalfa y trigo	31
• Rendimientos de trigo y diferentes formas de preparación del suelo en la región semiárida pampeana	16	• Desarrollo de los aparatos radicales en cultivos de maíz y trigo	32
<hr/>			
capítulo.II		• Evaluación de algunos aspectos de las relaciones hídricas en trigo, en la región semiárida pampeana	33
Trabajos que tratan sobre las relaciones agua-suelo-manejo		• Mejoramiento de las condiciones hídricas superficiales de un suelo bajo pastoreo continuo de pasto llorón	33
• Dinámica de la humedad y almacenamiento del agua de lluvia en un suelo de la región semiárida pampeana	19	• Control mecánico del arbustal y efectos sobre los contenidos de agua y productividad del pastizal	34
• Características hídricas de un Ustipsamente Típico de la región semiárida pampeana	20	• Balance de agua y productividad en un pastizal fertilizado en Chacharramendi, La Pampa	34
• Uso de la sonda de neutrones termalizados para la medición de la humedad de los suelos	20	• Evaluación de la interceptación de lluvia por <i>Chuquiraga erinacea</i> en función de su biomasa	35
• Los herbicidas frente al agua	21	• Utilización de productos antitranspirantes para aumentar el rendimiento de los cultivos de verano	35
• Efectos del cultivo en franjas perennes sobre propiedades edáficas	21	• Perfiles hídricos en un suelo Brunizem bajo cultivo de maíz	36
• El cultivo antecesor	22	• Influencia del ambiente edáfico y la fertilización nitrogenada, en cultivares de trigo diferenciados por su potencial	36
• Relación de algunos parámetros hídricos, densidad aparente y materia orgánica con granulometría	22	• Eficiencia del uso del agua en cultivos de invierno y de verano	37
• Influencia de la siembra directa sobre algunas propiedades físicas de un suelo Haplustol Entico	23	• Verdeos. Condicionantes de su productividad	37
• Compactación de suelos en la región semiárida pampeana central	23	• Efecto de la disponibilidad de agua y nitrógeno sobre la productividad de maíz	38
		• Contribución de las napas al rendimiento de maíz en Molisoles de la Planicie Medanosas	38

• Efecto de los contenidos de materia orgánica y la textura sobre los rendimientos de cebada	39	• Conservación de la productividad de los suelos	53
• Influencia del almacenaje de agua en el suelo y prácticas de manejo sobre la productividad de cártamo	39	• Erosión hídrica en suelos del caldenal	54
• Cultivos de cobertura: una alternativa de manejo de los recursos hídricos	40	• Tajamares: una tecnología alternativa para la zona árida-semiárida de La Pampa	54
• Deficiencia hídrica y producción de forraje en <i>Tetrachne</i> , <i>Panicum</i> y <i>Eragrostis</i>	41	• Labranzas en la región semiárida pampeana central	55
• Actividad de Nitrato Reductasa en plantas de trigo pan sometidas a estrés hídrico	41	• Evaluación de la dinámica hidrológica en respuesta a cambios en el uso de la tierra	55
• Recuperación de la Actividad de la Nitrato Reductasa en hojas de trigo, después de una severa deficiencia hídrica	41	• Uso del ambiente para una mayor eficiencia de producción	56
• Ajuste Osmótico en Maíz y <i>Zea diploperennis</i>	42	• Evaluación del aporte de distintos nutrientes sobre propiedades edáficas y la productividad de la secuencia trigo-soja-maíz-soja	57
• Actividad de Nitrato Reductasa y Fosfatasa Ácida en hojas de trigo después de un período de suspensión del riego	42	• Efectos de la forestación sobre propiedades edáficas de un Haplustol	58
• Comparación <i>Zea diploperennis</i> y <i>Zea mays</i> bajo condiciones de estrés hídrico	42	• Efectos del sistema de labranza y la ganadería sobre propiedades de un Haplustol Entico	58

capítulo.IV

Trabajos que tratan de incrementar la productividad y eficiencia de uso del agua a partir de una adecuada nutrición de los cultivos

• Fertilidad nitrogenada de los suelos	43
• Planificar la fertilización	44
• Fertilización de cultivos de trigo en las regiones semiárida y subhúmeda pampeanas	44
• Contribuciones sobre fertilización del cultivo de trigo	45
• Verdeos, fertilización y productividad	46
• Fertilización nitrogenada del pasto llorón y su influencia sobre los gastos hídricos	46
• Siembra directa y fertilización en sistemas ganaderos de la región semiárida pampeana	47
• Efecto del sistema de labranza y fertilización sobre el rendimiento de maíz en molisoles de la región pampeana	47
• Ajuste de densidades en el cultivo de maíz tardío en tres ambientes de la región semiárida pampeana central	48
• Ajuste de densidades en el cultivo de girasol en función del ambiente en la región semiárida pampeana central	49

capítulo.V

Trabajos que abordan distintos aspectos de la problemática hídrica a escalas temporales y espaciales amplias. La contribución de los ensayos de larga duración

• Manejo de suelos en la Región Semiárida Pampeana	52
--	----

• Conservación de la productividad de los suelos	53
• Erosión hídrica en suelos del caldenal	54
• Tajamares: una tecnología alternativa para la zona árida-semiárida de La Pampa	54
• Labranzas en la región semiárida pampeana central	55
• Evaluación de la dinámica hidrológica en respuesta a cambios en el uso de la tierra	55
• Uso del ambiente para una mayor eficiencia de producción	56
• Evaluación del aporte de distintos nutrientes sobre propiedades edáficas y la productividad de la secuencia trigo-soja-maíz-soja	57
• Efectos de la forestación sobre propiedades edáficas de un Haplustol	58
• Efectos del sistema de labranza y la ganadería sobre propiedades de un Haplustol Entico	58
• Cartografía de agua subterránea para uso ganadero en La Pampa	59
• Lluvias en La Pampa Central. Tendencias y variaciones del siglo	60
• Variabilidad climática y cambio agro-ecológico en la Pampa Central Argentina	61
• Cambios en el clima y el uso de la tierra en ecosistemas agrícolas de la Argentina	61
• Interacciones ecológicas, retrocontroles, umbrales y colapsos en las Pampas argentinas en respuesta al clima y la agricultura durante el último siglo	62
• La dinámica del cultivo y las inundaciones en tierras de cultivo de la Argentina central	63
• Dinámica del agua superficial y subterránea en la planicie sedimentaria de la Pampa Occidental, Argentina	63
• El Agro, el Clima y el Agua en La Pampa Semiárida	64

Referencias Bibliográficas 65

presentación

REVISAR EL PASADO PARA ACTUAR EN EL PRESENTE Y PROYECTAR HACIA EL FUTURO

Desde la perspectiva de las ciencias sociales, y como un pequeño aporte a la necesaria interdisciplinariedad que hoy requiere el abordaje de cualquier proceso, se presenta esta compilación. Una contribución que sólo busca remarcar la importancia del agua como recurso vital en todos los tiempos, territorios y culturas, pero también, la de producir y gestionar conocimientos sobre el mismo.

Así podría decirse que, durante milenios, la humanidad ha considerado el agua como un don de los dioses. La presencia del agua en las mitologías del mundo es tan frecuente como contradictoria. Asociada a mujeres, dioses, espíritus, vida, muerte, aridez y un largo etcétera, está presente en los más diversos mitos de diferentes culturas. No obstante, en la actualidad y desde una mirada exclusivamente sociocultural, ya no se circunscribe al plano mitológico, sino que se conecta, innegablemente, con los escenarios socioeconómicos-productivos.

El impacto del rápido crecimiento de las poblaciones, la industrialización y las incertidumbres causadas por el cambio climático, entre otros, hacen del agua un recurso que significa vida en el más amplio espectro de su polisemia. Ya sea que provenga de la lluvia o del riego, significa vida, especialmente, para el sector agropecuario. De esta manera, para alimentar a una creciente población mundial, la producción agropecuaria debe, no sólo incrementarse sino, fundamentalmente, asegurarse. Una de las principales maneras de acrecentar el rendimiento y reducir el riesgo es mejorando el manejo del recurso en los sistemas de producción.

Esta compilación es, precisamente, un aporte a la producción y gestión de conocimientos sobre el agua en las producciones agrícolas y ganaderas de secano. Asimismo, permite resaltar una vez más, la importancia y el valor de gestionar, hoy más que nunca, otro recurso ineludible: el conocimiento.

Cuando hablamos de conocimiento nos referimos a aquel capital intangible que poseen tanto las personas como las organizaciones e instituciones, entre otros. Bajo este marco, recuperar y acercar las principales contribuciones de los profesionales de la EEA Anguil “Ing. Agr. Guillermo Covas” a lo largo del tiempo, crea condiciones y facilita la construcción y apropiación de conocimientos colectivos sobre la gestión del agua.

En una institución como el INTA, el conocimiento es así, mucho más que la simple suma de lo que cada persona u actor social posee y conoce por separado. La generación de conocimiento se produce SIEMPRE a partir de la utilización de saberes, experiencias y conocimientos de múltiples actores, tiempos y lugares.

La recuperación histórica que se presenta va así de la mano con aquello sostenido por Immanuel Wallerstein en su obra “*Las incertidumbres del saber*”. Este científico social estadounidense afirma que se recurre al pasado para poder interpretar el presente y, fundamentalmente, proyectar hacia el futuro...

Lic. (MSc) Luz Lardone

EEA INTA Anguil “Ing. Agr. Guillermo Covas”

Diciembre 2010

prólogo de los autores

La creciente escasez de agua en el planeta es un fenómeno preocupante que tiene amplias implicancias para la sociedad y para las ciencias. Una de las cuestiones centrales es, como siempre, el reto de producir suficientes cantidades de alimento para la población con recursos hídricos cada vez más limitados. En la mayor parte del área productiva de Argentina se comprueba que las precipitaciones durante el ciclo de los cultivos no cubren los requerimientos de uso consuntivo de los mismos siendo la evaporación el principal factor de pérdida de agua. Se estima que entre el 50 y 75 % de la precipitación anual puede retornar a la atmósfera sin intervenir en el proceso productivo. Es por ello que las estrategias de manejo del agua en sistemas de producción de secano, principalmente de regiones semiáridas y subhúmedas, deben necesariamente considerar aspectos de la captación, almacenaje, conservación y eficiencia de uso del agua, resultando necesario: **a.** un mejor conocimiento sobre la dinámica de las napas, principalmente en cuanto a su variación estacional, contribución al uso consuntivo y nutrición de los cultivos que posibilite incorporarla en los métodos diagnósticos y elaborar estrategias a distintas escalas, desde sitio – específico (producción) hasta ecorregión (legislación); **b.** un mejor conocimiento sobre los factores que gobiernan la relación transpiración/evaporación, la eficiencia de almacenaje (interfase suelo-atmósfera) y la eficiencia de uso del agua pluvial, resultando en este punto clave la identificación de las mejores combinaciones genotipo/ambiente/manejo para una producción más eficiente y sustentable, y **c.** la gestión planificada de efluentes emergentes de la intensificación de los plante-

os ganaderos (carne y leche), potenciales contaminantes pero también fuente alternativa de nutrientes.

La presente compilación incluye trabajos de tres destacados profesionales de la EEA Anguil que contribuyeron decididamente a la gestión del agua en las regiones semiárida y subhúmeda pampeana. Estos pioneros fueron los Ingenieros Agrónomos **Guillermo Covas, Marcelo Fagioli y Martín Monsalvo**, a los que se sumaron otros pioneros de la Ciencia del Suelo como **Adolfo Glave, Carlos Puricelli, Antonio Prego y Jorge Molina**.

Cabe señalar que los técnicos mencionados han trabajado desde los comienzos de la EEA Anguil en las líneas que en aquel entonces se consideraban prioritarias, a saber: maximizar la eficiencia de uso del agua en los sistemas mixtos de producción, conservación del recurso suelo y el desarrollo de forrajeras adaptadas y de nuevos cultivos para la región. De esta manera aspectos de la captación, almacenaje, conservación y eficiencia de uso del agua pluvial han sido y son prioridades de estudio. Es por ello que la publicación contiene además aportes de investigadores que han dado continuidad, hasta la actualidad, a la labor iniciada por aquellos pioneros. Desde el Centro de Documentación de la EEA “Guillermo Covas” del INTA Anguil y desde el proyecto “gestión del agua en producciones agrícolas y ganaderas de secano” se ha considerado necesario concretar una publicación específica que contenga un resumen de las principales contribuciones realizadas por la Unidad desde su creación.

Agradecimiento: Los compiladores agradecen a la Lic. Marianela Diez por su colaboración en la revisión de los trabajos de investigación vinculados a la “Gestión del Agua en Producciones Agrícolas y Ganaderas de Secano”. Esta tarea se encontró enmarcada en la realización de su pasantía en “Manejo de Suelos” en esta Estación Experimental.

capítulo.1

Los primeros objetivos de trabajo: conservación del suelo y economía del agua; adecuar métodos de labranza; manejo de la cobertura y rugosidad superficial; eficiencia de barbechos

La labor inicial que desarrolló la Estación Experimental de Anguil se orientó a la “*determinación de los métodos de labranza que mejor cooperen a la conservación del suelo y a una economía eficiente del agua*”. En 1955 se inician los primeros ensayos. El Ing. Agr. Guillermo Covas señala que al llegar a su clímax el proceso de deterioro del suelo, durante la década del treinta, la región semiárida pampeana tenía uno de los niveles más bajos de tractores en relación a la superficie cultivada (5141 ha/tractor) y la mayor parte de la superficie (80%) era trabajada con tracción a sangre. También destaca que La Pampa contaba en 1937 con 11.853 arados de reja. A 1964 disminuye considerablemente la cantidad de arados de reja que son reemplazados por arados ras-tra y se incrementa además la cantidad de tractores (514 ha/tractor) lo que implicó llevar a más del 90% la superficie trabajada con tracción mecánica. Desde el punto de vista conservacionista, y de manejo del agua, este cambio permitió efectuar las labores en la oportunidad más propicia, por lo común restringida a periodos muy cortos, incrementar los niveles de cobertura y la rugosidad del suelo. Por otra parte, labores rápidas permitieron la realización de barbechos más prolongados, con una mayor seguridad para el establecimiento de los nuevos cultivos.

¹ Prego, A. 1988. El agua: elemento vital para la vida y el desarrollo nacional. En: “*El Deterioro del Ambiente en la Argentina*” (Suelo-Agua-Vegetación-Fauna). Buenos Aires, Fundación para la Educación, la Ciencia y la Cultura (FECIC), p. 251-252.

EL AGUA: ELEMENTO VITAL PARA LA VIDA Y EL DESARROLLO NACIONAL¹

Antonio Prego, pionero de la conservación de los suelos en nuestro país, señala que el agua es el elemento fundamental para la existencia y el desarrollo normal de la vida y su presencia en la naturaleza asume características condicionantes “*sine qua non*”. Por su índole, tanto el defecto como el exceso hídrico originan graves limitaciones para la vida del hombre, los animales y las plantas. Ya se trate de ambientes caracterizados por su déficit, como son las regiones áridas y semiáridas o por excesos, como ocurre en vastas áreas inundables o anegables. La escasez o superabundancia del agua crean serias dificultades y severas limitaciones para la vida humana y el desarrollo agrario.

La Argentina posee un régimen pluviométrico y un balance hídrico que, en rasgos muy generales, determina que solo alrededor del 25% de su territorio continental (70 millones de ha) puede considerarse húmedo. El 75% restante (más de 200 millones de ha) sufre, en alguna medida, deficiencias hídricas para la producción agropecuaria dependiente de la lluvia. Por la distribución areal de la precipitación pluvial, el territorio argentino puede dividirse esquemáticamente en tres grandes regiones agropecuarias naturales, que se desarrollan en sentido norte-sur. Avanzando desde el litoral hacia el oeste, la más oriental es la región húmeda. Una gran franja central que se extiende desde el río Pilcomayo hasta el río

Colorado es subhúmeda-semiárida. El oeste del país, desde la Quiaca hasta el estrecho de Magallanes es árido y semidesértico, con excepción de los ambientes denominados tucumano-oranense en el NW y andino-patagónico en el SW. Al respecto corresponde establecer que desde el punto de vista de la disponibilidad de agua pluvial y con sentido agropecuario, se entiende por región húmeda la que normalmente cuenta con contenidos de humedad edáfica adecuados para cubrir las exigencias hídricas de los cultivos. Los ámbitos subhúmedos y semiáridos permiten lograr rendimientos satisfactorios solo si se aplica la tecnología de secano. En las regiones áridas no se puede practicar agricultura para cosecha si no se dispone de riego.

Por la irregularidad del tiempo meteorológico, esta distribución territorial, asentada en promedios pluviométricos, está frecuentemente afectada por defecto o exceso hídricos lo que origina sequías o inundaciones y anegamientos. El estudio del deterioro ambiental debe tener en cuenta esta distribución y características de las precipitaciones del país, como factor natural agravante de su condicionamiento hídrico. Además, el hombre, al actuar permanentemente sobre el medio intensifica y agrava las incidencias negativas del comportamiento pluvial mencionado.

La aridez, la sequía, el anegamiento y la inundación interfieren continuamente en los procesos vitales y socioeconómicos del país, al actuar ya sea directamente sobre animales y plantas o por sus importantes efectos negativos sobre la tierra y las estructuras naturales y humanas. Finalmente Antonio Prego señala que si bien todos estos fenómenos ocurren más o menos simultáneamente a causa de la continua interacción que los vincula, sus acciones y efectos son tratados separadamente para poder evaluar mejor la incidencia e importancia relativa de los mismos.

MÉTODOS DE LABRANZA PARA LA REGIÓN SEMIÁRIDA ARGENTINA²

En este artículo escrito en la revista *Hombre y Suelo* en 1957 el Ing. Agr. Guillermo Covas destaca la visita del Dr. H. Bennett a la región semiárida

de nuestro país. El especialista, reconocido a nivel mundial como “*el padre de la conservación del suelo*” señaló con especial énfasis la necesidad de adecuar los métodos de labranza a las condiciones ambientales que prevalecen en la región, de tal manera que la agricultura no traiga aparejada la destrucción del suelo, en su mayor parte fácilmente erosionable, y que, por el contrario contribuya a la construcción de un suelo estable y fértil. Más de medio siglo de labranza indiscriminada y el excesivo pastoreo, especialmente con ovinos son los principales responsables del deterioro del suelo en la región semiárida pampeana. El empleo repetido del arado de vertedera desnudó los campos, exponiéndolos a la acción destructora de los fuertes vientos que con frecuencia soplan en la región. Esta situación se agudizó en los periodos de sequía intensa, cuando los cultivos y los campos naturales fueron pastoreados con exceso, agotando la cobertura herbácea que protegía el suelo. Repetidas veces se ha historiado este proceso.

Estrechamente relacionado con el proceso de la conservación del suelo debe considerarse en esta región el que plantea la disponibilidad de agua, que con frecuencia se encuentra en niveles críticos para los cultivos y aun para la vegetación espontánea. Sobre la base de estas consideraciones, buena parte de la labor que desarrolla la Estación Experimental de Anguil está orientada hacia la determinación de los métodos de labranza que mejor cooperen a la conservación del suelo y a una economía eficiente del agua del mismo. Con tal finalidad, señalaba el Ing. Covas, se iniciaron en 1955 ensayos que involucran distintos tipos de labranza y diferentes épocas de labor. En general los resultados obtenidos hasta el presente (1957) concuerdan con los antecedentes de ensayos similares conducidos en regiones de los Estados Unidos similares a la nuestra. Dicha información permite afirmar que los recursos básicos para alcanzar los objetivos enunciados anteriormente, consisten en labranzas con instrumentos que dejen sobre el suelo la mayor cantidad posible de rastrojo protector y en el almacenamiento del agua en el suelo mediante la ejecución de barbechos donde se controle la

² Covas, G. 1957. Métodos de labranza adecuados a la región semiárida argentina. “*Hombre y Suelo*” no. 6:59-65.

vegetación viva y se facilite la penetración del agua pluvial. Estos primeros ensayos mostraron que aun en años benignos el efecto de los barbechos se ha manifestado en forma notable, tanto en los cultivos invernales como en los estivales, y bajo estas condiciones puede afirmarse que la época de labor (longitud del barbecho) incide más que el tipo de labranza utilizado para realizar el barbecho. Para el establecimiento de pasturas permanentes, especialmente aquellas de siembra primaveral, la ejecución de barbechos previos ha sido un factor decisivo, en tal medida que la siembra de pasturas estivales resulta en completo fracaso cuando se las efectúa en parcelas no barbechadas.

Este artículo concluye con una serie de observaciones preliminares (1955 a 1957) sobre distintos sistemas de labranza evaluados mediante ensayos que tenían por objetivo *“verificar el valor conservacionista de las mismas en la región”*.

LAS NUEVAS TÉCNICAS AGRÍCOLAS Y LOS APORTES DE LA MECANIZACIÓN EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA³

En un artículo de la revista IDIA de 1965, el Ing. Agr. Guillermo Covas señala que *“acaso sea la región semiárida pampeana el sector del país en que la mecanización y la adopción de nuevas prácticas culturales han modificado en mayor medida el panorama agrícola”*. Esta transformación se viene desarrollando desde mediados de la década del treinta, siendo sus tres aspectos principales la expansión del tractor, el reemplazo del arado de vertedera por el arado-rastra y la práctica del barbecho. Es sabido que los dos problemas básicos que plantea la industria de la región son la conservación del suelo y la estabilidad de la producción. En efecto, el laboreo del suelo otrora protegido por el pastizal o el bosque prístinos, pone en evidencia su susceptibilidad a la erosión, en nuestro caso de naturaleza principalmente eólica; por otra parte el agua pluvial debe manejarse racionalmente para que sea aprovechable en máxima medida por los cultivos. La utilización de maquinaria apro-

³ Covas, G. 1965. Las nuevas técnicas agrícolas y los aportes de la mecanización en la región semiárida pampeana. “IDIA” no.14:47-56.

piada constituye uno de los factores más importantes en el proceso de recuperación y mejoramiento de la productividad de los campos.

Señala Covas que al llegar a su clímax el proceso de deterioro del suelo durante la década del treinta, la región semiárida pampeana tenía uno de los niveles más bajos de tractores en relación a la superficie cultivada (5141 ha/tractor) y la mayor parte de la superficie (80%) trabajada con tracción a sangre. También para destacar que La Pampa contaba en 1937 con 11.853 arados de reja. A 1964 disminuye considerablemente la cantidad de arados de reja que son reemplazados por arados rastra y se incrementa además la cantidad de tractores (514 ha/tractor) lo que implicó llevar a más del 90% la superficie trabajada con tracción mecánica.

Desde el punto de vista conservacionista, y de manejo del agua, este cambio posibilitó efectuar las labores en la oportunidad más propicia, por lo común restringida a periodos muy cortos. Por otra parte labores rápidas permitieron la realización de barbechos más prolongados, con una mayor seguridad para el establecimiento de los nuevos cultivos. En las labores de siembra se cuenta del mismo modo con periodos propicios por lo común muy breves, de manera que la celeridad con que se efectúa el trabajo incide notablemente en el éxito de la implantación. El valor conservacionista del arado rastra, en esos tiempos, derivó principalmente de que en lugar de invertir el pan de suelo enterrando totalmente el rastrojo, como ocurre con el arado de reja, rotura el suelo entremezclándolo con parte del rastrojo y dejando sobre la superficie arada alrededor del 50% de la cobertura original de rastrojo; en los suelos de la región se considera que una cobertura remanente después del laboreo de alrededor de 2000 kg/ha es suficiente para prevenir procesos erosivos severos. Desde el año 1954 viene ensayándose en la Estación Experimental de Anguil una variante del arado rastra, desarrollada por la Estación Experimental de Archer (Wyoming, Estados Unidos), que consiste en la disposición excéntrica de los discos en relación al eje en que van montados. El objetivo fue dejar la superficie del suelo con mayor rugosidad, la cual no solo coopera con la cobertura de rastrojos en la prevención de la erosión eólica sino que también favorece la capta-

ción del agua y reduce las pérdidas por escurrimiento superficial y los riesgos de erosión hídrica. Otros temas como intersembras, siembras aéreas, cosechadoras picadoras de forrajes son tratados en este artículo.

MANEJO DE SUELOS DEGRADADOS POR LA EROSIÓN EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA⁴

Este artículo trata sobre la recuperación y manejo de las áreas erosionadas por procesos naturales o bien inducidos por la misma actividad agropecuaria. Las experiencias fueron conducidas en la Estación Experimental de Anguil y muestran las alternativas que se consideraban como más apropiadas en la década del sesenta. Los autores señalan que la región se encuentra caracterizada por suelos con altos contenidos de arena (presencia de medanos) y la presencia de un manto de tosca a profundidad variable, siendo el agua el principal factor limitante. Para la recuperación y manejo de las áreas degradadas en esta región fueron aplicadas diversas técnicas como cultivos en franja, cultivadores pie de pato, fijación de médanos. A continuación se mencionan los principales resultados obtenidos en los ensayos: **a)** Clausuras: algunas parcelas fueron liberadas de la influencia del ganado desde principios de 1959 y a través de censos de vegetación realizados periódicamente se evaluó la evolución natural de la misma a fin de observar tendencias en la reconstrucción del pastizal primitivo; **b)** las intersembras implican sembrar sin previa labranza utilizando sembradoras a zapatas o provistas de surcadores tipo rotovator. Han demostrado ser exitosas en el establecimiento de pasto llorón que al cabo de dos años dominó la vegetación espontánea, mientras que en otras gramíneas perennes y leguminosas el resultado no fue satisfactorio; **c)** métodos de labranza: los resultados más seguros se han obtenido con el rastrón poceador y con el cultivador pié de pato. Sólo es posible utilizar otras prácticas que dejan poca cobertura del suelo en la medida que se realicen cultivos en franjas; **d)** las franjas deben ser transversales a los vientos dominantes y en base a los resultados de las experiencias conducidas se recomiendan anchos cultivados no mayores de 20 m que alternen con franjas de vegetación natural del mismo

ancho. Cuando la franja protectora es de pasto llorón o sorgo negro, el ancho de la misma puede reducirse a 5 m; **e)** respecto de los métodos de siembra, el uso de zapatas y de ruedas compresoras ha mostrado ser muy efectivo para colocar la semilla en el fondo del surco en un ambiente de mayor humedad que favorece una germinación más rápida y uniforme. El rolado es siempre desaconsejable ya que uniforman y pulverizan la superficie del suelo en un grado peligroso; **f)** las gramíneas perennes han mostrado importante respuesta a la fertilización con N. De la misma manera los cereales invernales, cuando suceden a dos años de tréboles de olor (*Melilotus*) o pasturas de alfalfa muestran una notable respuesta a la rotación. El uso de leguminosas parece ser una de las formas más eficientes y económicas para fertilizar los suelos; incrementar los contenidos de materia orgánica constituye el aspecto fundamental a tener en cuenta para la recuperación de los suelos degradados por su incidencia en la estabilidad y fertilidad de los mismos. La praderización con gramíneas perennes asociada con algunas leguminosas es al momento el método más efectivo para lograr tal finalidad. El pasto llorón ha mostrado tener una capacidad extraordinaria para incrementar el contenido de materia orgánica; **g)** las especies mejor adaptadas para la fijación de médanos son el centeno, mijo, tréboles de olor, pasto llorón y el sorgo negro. Especialmente estas dos últimas, que por su carácter perenne tienden a fijar definitivamente las formaciones arenosas. La forestación también ha sido ensayada exitosamente.

EL DETERIORO DEL AMBIENTE EN LA PROVINCIA DE LA PAMPA⁵

Los autores presentan una cartografía de los grados de erosión eólica e hídrica actualizada a 1986. Señalan que La Pampa se halla comprendida dentro de dos grandes regiones agropecuarias natu-

4 Covas, G.; Petrelli, A. 1966. Manejo de suelos degradados por la erosión en la región semiárida pampeana de la república Argentina. En: "1er Congreso Panamericano de Conservación del Suelo", Brasil. p. 121-128.

5 Covas, G.; Glave, A. 1988. Provincia de La Pampa. En: "El Deterioro del Ambiente en la Argentina" (Suelo-Agua-Vegetación-Fauna). Buenos Aires, Fundación para la Educación, la Ciencia y la Cultura (FECIC). p. 109-114

rales: la semiárida, ubicada en el sector noreste - este de la provincia, que cubre el 47% de la misma y se encuentra limitada por factores de clima y suelo, y la árida o región del Monte que ocupa el 53% de la superficie con posibilidades de producción muy escasas debido a la aridez, salvo en las áreas bajo riego sobre las márgenes del río Colorado.

Dada las condiciones agroecológicas los suelos son fácilmente vulnerables al deterioro por el viento y el agua. Las precipitaciones son el elemento de mayor importancia dentro del clima al condicionar el éxito o fracaso de las actividades agrícolas y ganaderas. Por la marcada estacionalidad resultan más intensas y frecuentes en otoño y primavera, con estación seca en invierno y semiseco en verano. Esta distribución provoca sequías de relativa duración en invierno y cortas en verano. Se observan con frecuencia oscilaciones respecto a la distribución anual, que en la mayoría de los años no coincide con el valor promedio. Estas oscilaciones dan lugar a movimientos cíclicos de lluvias, determinando años húmedos o extremadamente secos.

La velocidad media anual del viento oscila en 15 km/h, alcanzando valores máximos de hasta 180 km/h, como el registro del 14 de agosto de 1967. La erosión transforma a la región en verdaderas ollas de polvo y en más de una ocasión las partículas de polvo legaron a países limítrofes. Los suelos predominantes son de textura mediana a gruesa y también capacidad media de retención de humedad. Muy pobres en materia orgánica y débil agregación. Fácilmente vulnerables a los dos tipos de erosión, se planchan por efecto de las lluvias y luego son susceptibles a la erosión por viento. La salinización es un problema también importante, con un área afectada de 45.000 ha entre los departamentos de Realicó y Chapaleoufú.

Se estima que los suelos afectados por diferente grado de intensidad de erosión eólica alcanza a 565.000 ha, a saber: leve: 220.000 ha; moderada: 160.000 ha; severa: 75.000 ha; grave: 110.000 ha. Se atribuye a erosión hídrica ligera más de 220.000

6 Covas, G.; Torroba, H. 1967. El cultivo de mijo también responde notablemente a los barbechos. "Hoja Informativa EEA Anguil" no. 34: s.p.

ha, en grado severo 220.000 ha y por inundación o anegamiento 50.000 ha, principalmente en los departamentos de Realicó y Chapaleoufú.

Se estima que últimamente la erosión hídrica ha crecido a mayor tasa que la erosión eólica por los efectos de planchado (encostramiento) y luego por escurrimiento. No obstante el deterioro de los suelos por procesos eólicos sigue siendo en potencia el fenómeno más importante de los dos, dada las consecuencias que podría tener una voladura por sequía en todo el ámbito de la provincia.

Las causas directas están dadas por el mal uso que hace el hombre del suelo: falta de correctas rotaciones, uso de instrumentos de labranza inadecuados, pastoreo excesivo o sobrepastoreo, manejo irracional de la deforestación, laboreo de tierras inapropiadas; época, inoportunidad e intensidad de los laboreos y siembras, subdivisión de la tierra.

EFFECTO DEL BARBECHO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE MIJO⁶

Durante la década del sesenta se intensifican los estudios tendientes a valorar estrategias de manejo de suelos y agua que posibiliten mejorar la eficiencia de uso del agua a través del incremento en la productividad de los cultivos.

Los autores hacen referencia a que el mijo se sembraba normalmente en condiciones precarias, ya que se lo hacía habitualmente en potreros recién arados, luego que se ha agotado un pastoreo de invierno o aún sobre un rastrojo reciente de cereal cosechado. Es decir con baja reserva de humedad en el perfil y también baja disponibilidad inicial de nitrógeno.

En general, en estas condiciones, se obtienen cultivos de pobre desarrollo que a veces no llegan a semillar o dan rendimientos ínfimos de grano. Si bien el mijo es una planta rústica, precoz, capaz de dar buenos rendimientos de pasto y grano en suelos pobres, es notable la forma en que reacciona a un buen barbecho limpio, es decir a una buena labranza temprana con posteriores labores de repaso para mantener la sementera libre de malezas. Como es sabido el barbecho limpio per-

mite la acumulación en el suelo de una reserva de humedad que asegura el buen establecimiento del cultivo, y en especies muy precoces, como el mijo, aún da una gran seguridad de cosecha aunque el cultivo esté sometido a los efectos de una intensa sequía; por otra parte el barbecho limpio desempeña una función importante como práctica que incide favorablemente en la disponibilidad de ciertos elementos nutrientes del suelo que son indispensables para el normal desarrollo de las plantas.

En un ensayo conducido en la Estación Experimental de Anguil, que comprendió parcelas de mijo sembradas en suelo barbechado y otras establecidas sobre rastrojo recientemente arado, se obtuvieron los siguientes resultados:

- producción de pasto con barbecho: 10800 kg/ha (materia verde)
- producción de pasto sin barbecho: 5540 kg/ha

La producción de grano fue de 479 kg/ha en parcelas barbechadas, y de 45 kg/ha para las parcelas sin barbecho. Las parcelas barbechadas fueron aradas con arado-rastra, con una anticipación de 6 meses en relación a la fecha de siembra. Las parcelas no barbechadas tuvieron una labor con arado-rastra efectuada 10 días antes de la siembra. Durante el período de barbecho las parcelas recibieron 186 mm de lluvia y desde la siembra a la cosecha de pasto y de grano sólo contaron con 102 mm de lluvia.

Estos resultados deben considerarse “relevantes” dado que comienzan a mostrar la importancia del manejo, durante el periodo previo a la siembra, sobre la productividad de los cultivos. Estos trabajos sencillos pero contundentes sirvieron para orientar y sentar las bases de las líneas de experimentación en manejo de suelos y agua de la EEA INTA Anguil.

INFLUENCIA DEL TIPO Y ÉPOCA DE LABRANZA EN LA CONSERVACIÓN DEL SUELO Y DEL AGUA EDÁFICA⁷

Ante las importantes pérdidas de suelo por erosión que se registraban en la región y la disponibilidad de una serie de instrumentos y/o varian-

tes para realizar las labranzas, se consideró oportuno conducir una experiencia donde se puedan evaluar simultáneamente las distintas alternativas. La región semiárida pampeana es un ambiente templado y semiseco en una llanura uniforme con lomadas medianosas, lluvias variables en el año, con períodos críticos en invierno. Es común la amplia variación de las temperaturas y vientos intensos y frecuentes en los meses de agosto y septiembre. Los suelos se han desarrollado sobre material sedimentario, predominando las fracciones limo y arena, conformando texturas arenosa a franco arenosa, con una capacidad de almacenaje de agua útil baja a moderada. Resulta clave considerar el ambiente al momento de trabajar el suelo, usando implementos de labranza que lo hagan estable y productivo, lo proteja de los fuertes vientos, que con la escasez de humedad, origina condiciones propicias para la erosión. En base a estas consideraciones se planeó un ensayo que permitiera evaluar los efectos de distintos métodos y épocas de labranza en la conservación del suelo y la humedad edáfica. Se planeó un ensayo en parcelas divididas investigando la acción de: **1)** suelos con y sin barbecho en parcelas principales; **2)** distintos tipos de labranzas en subparcelas, implementando arado de reja con vertedera, arado de reja sin vertedera, arado rastra y arado rastra excéntrico. Los resultados muestran que la influencia del barbecho se evidencia a través de los rendimientos y los valores de humedad en el suelo. Se debe trabajar el suelo con herramientas que lo dejen áspero y cubierto. En esta región el barbecho debe dejar una superficie rugosa y cubierta de rastrojo. Las parcelas barbechadas se trabajaron temprano en verano, las sin barbecho tarde en otoño. De los distintos implementos el arado de reja con vertedera es el que deja mayor cantidad de residuos sobre la superficie, en tanto que el arado rastra y el arado rastra excéntrico, incorporan al suelo un treinta a un cuarenta por ciento de los mismos, el arado de reja con vertedera deja al suelo prácticamente sin cobertura. La cantidad de rastrojo que queda sobre el suelo depende del cultivo antecesor, del número de labores para eliminar la vegetación adventicia y de la herramienta utilizada. Parece

⁷ Monsalvo, M. 1960. Influencia del tipo y época de labranza en la conservación del suelo y el agua edáfica. "IDIA" no. 1:221-223.

que las condiciones climáticas tienen más influencia en la regulación de la humedad edáfica que los distintos implementos de labranza. El arado rastra, el arado rastra excéntrico y el arado de reja sin vertedera son implementos de labranza de alto valor conservacionista, siendo el arado de reja con vertedera el que expone al suelo a los mayores riesgos en la región semiárida pampeana.

LA REDUCCIÓN DE LABRANZAS⁸

Durante la década del sesenta también se planteó la necesidad de reducir las operaciones mecánicas, a fin de limitar los procesos de pérdidas de suelo por el viento y el agua. El autor señala que en las grandes áreas agrícolas de los Estados Unidos y otros países de agricultura evolucionada se evidencia actualmente la tendencia a realizar las operaciones clásicas para el establecimiento de los cultivos en el menor tiempo posible y con el mínimo de operaciones. Es decir, se procura efectuar las labranzas, la siembra y eventualmente la aplicación de abonos, insecticidas, herbicidas en una sola labor. A esta práctica se la designa con el nombre de laboreo mínimo.

El laboreo mínimo consiste en realizar el menor número de trabajos para preparar un buen lecho de siembra, obtener una rápida germinación de las semillas y un buen número de plántulas. El mínimo de labranzas necesaria no es el mismo para todos los suelos y condiciones del mismo. Se pueden establecer principios generales, pero las condiciones particulares de la parcela (sitio) determinarán el mínimo de labranzas requeridas para establecer el cultivo. Si bien el concepto en sí se refiere a realizar una sola vez el proceso de preparación del suelo y siembra del cultivo, algunos trabajos complementarios pueden ser necesarios (laboreo en otoño y primavera para controlar residuos, malezas, aplicación de fertilizantes y herbicidas). EL desarrollo de esta práctica se expandió primeramente en áreas agrícolas húme-

das y en cultivos de primavera, especialmente maíz. Para una región semiárida se indican las siguientes ventajas para cultivos de primavera establecidos con laboreo mínimo: **1)** los costos de labranza y establecimiento del cultivo se reducen notablemente; **2)** ahorro apreciable de trabajo y tiempo; **3)** incremento en la infiltración del agua de lluvia; **4)** mejor control de los procesos de erosión y de conservación de humedad. En general los rendimientos obtenidos utilizando el laboreo mínimo son prácticamente iguales a los obtenidos con el sistema convencional, con una apreciable economía de tiempo y trabajo.

El manejo de la superficie del suelo constituía una de las principales preocupaciones, dado que factores como la rugosidad, cobertura de residuos y estabilidad de los agregados, al ser modificados por la época e intensidad del laboreo, afectaban de manera distinta sobre la captación y movimiento del agua pluvial y en consecuencia sobre los procesos de erosión. En el año 1967 se estableció un ensayo que comparó el laboreo mínimo (arar y sembrar en una sola operación) con la práctica de arar varios meses de antelación a la siembra. En parcelas con labranza reducida el control de malezas se realizó con herbicidas. El rendimiento de sorgo (acumulado de tres años) en labranza reducida se incrementó en 6000 kg materia seca/ha. Esos resultados muestran que arar y sembrar en una operación es una práctica eficiente para el cultivo de sorgo y que además permite proteger mejor el suelo contra los riesgos de la erosión.

En otro artículo, el mismo autor presentó resultados de una experiencia donde evaluó la incidencia de distintas prácticas de labranza sobre el contenido de nitratos (N disponible). Los sistemas de labranza al acondicionar el suelo principalmente en lo que hace a la erosión, humedad, temperatura e incorporación de residuos, influyen diferencialmente sobre la formación y persistencia de los nitratos

⁸ Monsalvo, M. 1970. La reducción de las labranzas y los cultivos de primavera. "Hoja Informativa EEA Anguil". no. 48: 2-3.
Monsalvo, M. 1981. Relación entre el tipo de labranza y el contenido de nitratos del suelo. "Informativo de Tecnología Agropecuaria para la Región Semiárida Pampeana EEA Anguil". no.77: 14-15.

Sistema labranza	Haplustol (franco)	Ustipsamente (arenoso)
Rastrón + pié de pato	111 ppm	77
Rastrón + herbicida	158	71
Rastrón + rastrón	170	88
Arar antes de sembrar	67	59

en el suelo. La textura del suelo también es un factor a tener en cuenta, como lo muestran los siguientes resultados de nitratos (ppm/30 cm).

CONTRIBUCIONES DEL BARBECHO A LA PRODUCTIVIDAD DE CULTIVOS⁹

Experiencias realizadas en la EEA del INTA Anguil por el Ing. Agr. Martín Monsalvo, muestran que las parcelas barbechadas y sembradas con centeno (1965) permitieron un pastoreo más temprano y un incremento del rendimiento de pasto de 3710 kg/ha, respecto a las parcelas sin barbecho. El barbecho se extendió desde fines de diciembre a fines de marzo y al momento de la siembra (8 de abril) el perfil del suelo contenía 144 mm de agua en los primeros 90 cm. Por su parte, en las parcelas sin barbecho el contenido de agua fue de 109 mm. La producción de pasto fue de 6240 y 2530 kg/ha, respectivamente.

A través de los resultados obtenidos en 10 años de ensayos de evaluación, del efecto del barbecho sobre los contenidos de humedad del suelo en el momento de la siembra, pudo concluirse que en Anguil y en promedio, el barbecho contribuyó con 32 mm más de agua útil. En los barbechos el agua se almacenó en mayor medida en profundidad, ya que está menos expuesta a la evaporación. Los 32 mm de agua almacenada, pueden ser decisivos para lograr cosecha y representan *“una buena lluvia adicional que el agricultor puede provocar a voluntad”*.

La práctica del barbecho estivo-otoñal en la región semiárida pampeana es de probada eficiencia para incrementar el nivel de producción de los cultivos subsiguientes. Esta eficiencia, por ejemplo en trigo, está correlacionada con la longitud del barbecho. En efecto, como promedio de las campañas 1965/66 a 1968/69, se han obtenido en Anguil, rendimientos en trigo que muestran relación con la longitud del barbecho. Estos valores, que comprenden rendimientos tanto en años muy secos como en otros benignos, indican que la producción triguera en la región semiárida pampeana es razonablemente remuneradora, en el promedio de distintas campañas, si la longitud del barbecho supera los cuatro meses.

Del análisis de resultados obtenidos durante 8 años (1958-65), en los ensayos que evalúan la práctica del barbecho estacional, se pudo extraer las siguientes conclusiones:

- 1 Sólo el 16 % del agua caída durante el barbecho (aprox. 5 meses) fue almacenada por el suelo. El coeficiente de correlación entre las precipitaciones durante el barbecho y la eficiencia del mismo indicó que no hay relación entre ambas variables.
- 2 Existe una estrecha correlación entre las lluvias totales (enero a diciembre) con los rendimientos obtenidos en suelos barbechados ($r=0,94$).
- 3 En suelos sin barbecho las mismas correlaciones son más bajas; para las lluvias desde enero a diciembre y los rendimientos ($r=0,72$) y para las lluvias desde siembra a cosecha y los rendimientos ($r=0,46$).
- 4 El grado de asociación entre la humedad en el suelo en el momento de la siembra y los rendimientos ($r=0,55$) señala una mediana correlación, lo que indica que el barbecho por sí solo no determina el rendimiento del cultivo.

RENDIMIENTOS DE TRIGO Y DIFERENTES FORMAS DE PREPARACIÓN DEL SUELO EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA¹⁰

Durante los años 1979, 1980 y 1981 se condujeron ensayos en los que se compararon diferentes formas de preparación de la tierra para la siembra de trigo en dos tipos de suelo (Haplustol y Ustipsamente). Se llevaron a cabo diferentes grupos de técnicas de laboreo del suelo que comprenden: **1**) labranza temprana (barbecho limpio) del suelo y el mantenimiento del potrero libre de malezas y resiembras espontáneas; **2**) el uso de herbicidas para el control de resiembras y malezas durante un tiempo previo a la labranza y siembra; **3**) la labranza inmediatamente anterior a la

9 Monsalvo, M. 1969. Duración del barbecho limpio y rendimiento de trigo. *“Hoja Informativa EEA Anguil”* no. 45: 1-2.

Monsalvo, M. 1966. Lluvias, barbechos y rendimientos. *“Hoja Informativa EEA Anguil”* no. 29: 2-3.

10 Monsalvo, M.J. 1982. Rendimientos de trigo y diferente forma de preparación del suelo en la región semiárida pampeana. *“Informativo de Tecnología Agropecuaria para la Región Semiárida Pampeana*. EERA, INTA Anguil. 79:3-4

siembra de un rastrojo intacto y/o mantenido a ras del suelo. Los resultados indican que en los suelos tipos "Haplustol" los rendimientos de trigo en los diferentes tratamientos son mayores que en los suelos arenosos. Las técnicas que implican "barbecho" rindieron en promedio 492 kg/ha más de trigo que la práctica de arar y sembrar en el suelo tipo Haplustol y 284 kg/ha más en el suelo arenoso. La práctica del barbecho mecánico rindió 308 kg/ha más que el barbecho "químico" en el suelo Haplustol y 153 kg/ha más en el suelo arenoso. Los resultados obtenidos ratifican las bondades del barbecho limpio para incrementar el rendimiento del trigo en la región semiárida pampeana.

capítulo. II

Trabajos que tratan sobre las relaciones agua-suelo-manejo

Los primeros estudios sobre eficiencias en el almacenaje del agua mostraron que el 68% de las precipitaciones ocurridas durante el periodo de barbecho se perdían. Estos datos evidenciaron la necesidad de prácticas más eficientes de manejo de los suelos a efectos de ser más eficientes en el uso de las precipitaciones. El conocimiento de las formas de almacenamiento del agua en suelos de la región y los cambios en los sistemas de labranzas que posibilitaron incrementar los niveles de cobertura y reducir los procesos de degradación, fueron aspectos relevantes en orden a incrementar la eficiencia de uso del agua. Niveles de cobertura superiores al 60% favorecieron el almacenaje de agua durante los barbechos y el rendimiento de los cultivos. Sin embargo, la incorporación de la siembra directa en sistemas mixtos de producción presentó inicialmente algunas complicaciones. Sobre más de 500 muestras de agua subterránea evaluadas en la región semiárida pampeana se comprobó que un alto porcentaje de las mismas contenían niveles de calcio, magnesio, sodio y potasio que superan los límites deseables para un buen funcionamiento de los herbicidas. Por otro lado, el uso de los residuos por la ganadería daba lugar a muy bajos niveles de cobertura y a bajas eficiencias de barbechos, aún bajo siembra directa. Se comprobó además que en la región semiárida pampeana existen características edáficas (alta proporción de limo y arenas muy finas, bajos contenidos de arcilla y materia orgánica) y de manejo que favorecerían la compactación

de los suelos. Estos efectos varían en magnitud de acuerdo con la composición granulométrica y contenidos de materia orgánica de los suelos.

DINÁMICA DE LA HUMEDAD Y ALMACENAMIENTO DEL AGUA DE LLUVIA EN UN SUELO DE LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA¹¹

El conocimiento de la forma de almacenamiento del agua en el suelo y las modalidades de utilización de la humedad por parte de los cultivos, son la base del manejo racional de los mismos en las regiones semiáridas. No solo las lluvias son escasas en estas áreas, sino la distribución de las mismas en general no coincide con las necesidades de evapotranspiración de la vegetación. El barbecho, es una de las prácticas de manejo más difundidas para los cultivos de invierno en la región semiárida pampeana, cuya finalidad principal es el almacenamiento de agua. La experiencia fue realizada en el periodo que va desde el 2/VIII/71 al 4/VII/72. Se utilizó un lote sembrado con centeno en donde se delimitaron dos parcelas contiguas al momento de la cosecha. Durante toda la experiencia se mantuvo libre de vegetación una de las parcelas. Periódicamente se muestreo humedad por gravimetría. En cuatro lugares adyacentes al ensayo se determinó densidad aparente y humedad retenida por el suelo a 15 y 1/3 de bar. La evapotranspiración del cultivo se calculó con los valores de humedad presentes en el suelo al final y al comienzo del periodo. El centeno evidenció consumos hídricos limitados en los primeros 70-80 días después de la siembra, pero comenzada la encañazón los valores de evapotranspira-

¹¹ Fagioli, M. 1972. Dinámica de la humedad y almacenamiento del agua de lluvia en un suelo de la región semiárida pampeana. "IDIA" no. 298:30-36.

ción alcanzaron rápidamente un máximo y se mantuvieron entre 3 y 4 mm diarios hasta los 15 días anteriores a la cosecha. La humedad útil almacenada en el suelo fue utilizada totalmente por el cultivo hasta la profundidad de 105 cm. La capacidad de campo y el punto de marchites permanente en todo el perfil de 105 cm resultaron ser iguales a 213 y 94 mm. En el momento de la cosecha todas las capas del suelo tenían un nivel de humedad igual o inferior al punto de marchites. Después de la cosecha el suelo se dejó en barbecho por un período de 7 meses; durante este lapso se produjeron 335 mm de lluvias. Al final de este período la humedad alcanzó, en todo el perfil, niveles aproximadamente iguales a la humedad presente en una parcela mantenida sin vegetación durante todo el período de la experiencia. La RSP se caracteriza por un período de lluvias en primavera-verano y un período de sequía en otoño-invierno. Pero el almacenamiento de agua de lluvia en el suelo en verano está limitado por las fuertes pérdidas de humedad que se producen a causa de los valores elevados de la capacidad potencial de evaporación del ambiente. El porcentaje de utilización de las lluvias al final de la experiencia fue de 31,9%. El 68% de las precipitaciones fue perdido en el período de barbecho. Estos datos evidencian la necesidad de enfocar el estudio de prácticas más eficientes de manejo de los suelos a efectos de obtener una mayor utilización de las lluvias.

CARACTERÍSTICAS HÍDRICAS DE UN USTIPSAMENTE TÍPICO DE LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA¹²

Entisoles clasificados como Ustipsamentos Típicos se encuentran con alguna frecuencia en la región semiárida pampeana. Los mismos pueden ser profundos, tienen poca capacidad de retención de agua y frecuentemente son utilizados para el cultivo de pasto llorón. Con el presente trabajo se quiere dar a conocer algunos valores de capacidad de retención de agua determinados en uno de estos suelos. Se muestreo un suelo ubicado en la EEA de Anguil clasificado como Ustipsamente Típico, que presenta una napa de agua libre a la profundidad de 5-6 m. En 1970, una superficie de 6 por 6 m cubierta con paja de pasto llorón, se rodeó con un borde de tierra y se saturó con agua repetidamente. En 1971 se saturó con una cantidad medida de agua

(14.000 litros). En cada fecha se hicieron muestreos de humedad con 5 repeticiones. Complementariamente se determinó densidad aparente, punto de marchites permanente y capacidad de almacenamiento de agua hasta 210 cm de profundidad. Algunas determinaciones de la capacidad de almacenamiento y del punto de marchites permanente se realizaron hasta 500 cm. Los valores se calcularon en por ciento y en milímetros. Las determinaciones de los valores de las capas profundas están influenciadas por el ascenso capilar del agua libre presente en profundidad y por la menor densidad de las ramificaciones del aparato radical. En los dos períodos de evaluación se registraron escasas precipitaciones que pueden haber afectado solamente la humedad presente en la primera capa del suelo. Los muestreos realizados a los 500 cm de profundidad en 1971 indican que el ascenso capilar del agua puede influenciar los valores de capacidad de almacenamiento hasta 450 cm. Los datos logrados dos días después de finalizada la saturación, muestran en todo el perfil diferencias importantes en los niveles de humedad, probablemente debido a mayor cantidad de agua utilizada en 1970. La inspección visual de los datos, permite apreciar la dificultad de establecer con exactitud un perfil correspondiente a capacidad de almacenamiento y aún más a la capacidad de campo de un suelo con estas características. Aproximadamente 25 días después de finalizada la saturación, se aprecia una disminución diaria de la humedad que puede considerarse muy baja. El nivel de humedad presente en el perfil después de este lapso puede considerarse como capacidad de almacenamiento del suelo.

USO DE LA SONDA DE NEUTRONES TERMALIZADOS PARA LA MEDICIÓN DE LA HUMEDAD DE LOS SUELOS¹³

El método ha tenido amplia aceptación en muchos países, debido a la rapidez y facilidad con las cuales pueden realizarse las mediciones. Además las mediciones no son destructivas, el mismo volumen puede ser medido repetidamente

12 Fagioli, M.; Aimar, S. 1986. Características hídricas de un ustpsamente típico de la región semiárida pampeana. "RIA" 21. (2):57-65

13 Fagioli, M. 1972. Uso de la sonda a neutrones termalizados para la medición de la humedad del suelo. "IDIA": no. 290: 21-24.

por mucho tiempo. La determinación de humedad gravimétrica por medio de muestreos presenta gran variabilidad, el número de determinaciones que debe realizarse es numeroso. Ello, unido al carácter destructivo de las mismas, hace que muchas veces el estudio de los balances hídricos de los cultivos no pueda realizarse. La sonda de neutrones esta constituida por una fuente de neutrones rápidos. Estos, por colisiones sucesivas con los núcleos de los átomos del medio en el cual se mueven, pierden energía y se “termalizan”, cuando están prácticamente en equilibrio térmico con el medio y en promedio no pierden ni ganan energía. Los neutrones térmicos son contados por medio de un detector, sensible a los neutrones lentos. En la estación Experimental Regional Agropecuaria de Anguil se utiliza una sonda para medición de humedad en profundidad y un escalímetro Nuclear- Chicago. La calibración fue realizada en un suelo arenoso (médano fijado), con perfil no diferenciado hasta 5 m y una capa de agua freática a la profundidad de 6 m. Se utilizaron caños de acceso de P.V.C rígido. Periódicamente se realizaron mediciones de humedad en los perfiles a intervalos de 10 cm. La curva de calibración muestra una buena correlación entre la velocidad de cuentas (R) y la humedad volumétrica del suelo ($r=0.99$). La sonda de neutrones y la curva de calibración se utilizan en un estudio que se esta realizando para la determinación del balance hídrico bajo cultivo de Pasto Llorón (*Eragrostis curvula*). Las determinaciones de humedad se efectúan con intervalos de 15 cm, desde 30 hasta 450 cm de profundidad. La humedad de las capas más superficiales se determina por separado, por medio del método gravimétrico. La humedad comprendida entre 30 y 165 cm disminuye entre las dos fechas de muestreo. A profundidades mayores de 390 cm se incrementa rápidamente debido al ascenso capilar del agua.

LOS HERBICIDAS FRENTE AL AGUA¹⁴

La forma de realizar el barbecho (rastrojo remanente del pastoreo, tipo y oportunidad de labran-

14 Quiroga, A.; Rodriguez, N. 1996. Los herbicidas frente al agua. “Horizonte Agropecuario”. Centro Reg. INTA La Pampa-San Luis. no. 47: 5.

zas) también incide de manera importante sobre la disponibilidad de agua y nitratos. Distintas labranzas afectan diferencialmente los niveles de cobertura del suelo, la liberación de nutrientes desde la materia orgánica y el balance de agua en el suelo: captación de las lluvias y pérdidas de agua por evaporación. El barbecho químico es el control anticipado de las malezas con herbicidas y tiende a mantener el suelo con máxima cobertura para reducir al mínimo las pérdidas de agua por evaporación y de suelo por erosión hídrica y eólica. El suelo preparado para siembra directa posee mayor cobertura, mayor humedad y menor contenido de nitratos. Esta condición explicaría la máxima respuesta de los cultivos a la fertilización con nitrógeno en siembra directa. Además, la siembra de los cultivos se ve menos afectada tanto en períodos con pocas precipitaciones (tiene más humedad) como en períodos lluviosos (hay mas piso para transitar). Al planificar el barbecho químico es necesario conocer además de las características de las malezas presentes y del principio activo del herbicida y la calidad del agua utilizada como vehículo de las aplicaciones. Sobre más de 500 muestras de agua subterránea evaluadas en la región semiárida pampeana se ha comprobado que un alto porcentaje de las mismas poseen niveles de calcio, magnesio, sodio y potasio que superan los límites deseables para un buen funcionamiento de los herbicidas. Para mejorar el efecto de los herbicidas y disminuir la influencia negativa de los elementos citados se emplean distintos productos químicos denominados “adjuvantes”. Como conclusión, puede decirse que los mecanismos para superar los efectos negativos de los elementos presentes en el agua a través de adjuvantes varían con el tipo de herbicida, adjuvante y especie de maleza. Logrado un barbecho químico eficiente el próximo paso es planificar la estrategia de fertilización.

EFFECTOS DEL CULTIVO EN FRANJAS PERENNES SOBRE PROPIEDADES EDÁFICAS¹⁵

El cultivo en franjas es una práctica adecuada para el control de la erosión eólica, economía del agua y protección de los cultivos en los suelos de la región semiárida. Tienen como principal objetivo reducir el largo del terreno expuesto a la acción

del viento o agua en el periodo en que el suelo se encuentra con mínima cobertura. Permite una significativa reducción en la tasa de evaporación y un mejor aprovechamiento de la humedad que se refleja en mayores rendimientos. Sin embargo, si las franjas son muy estrechas y hay una baja disponibilidad de agua se produce una competencia entre protectores y cultivos. El objetivo del trabajo fue evaluar la influencia de manejos contrastantes de las fajas, por más de 20 años, sobre propiedades edáficas. Para ello, en el área de influencia de Anguil y de Cnel Dorrego, se evaluaron las propiedades de Haplustoles Enticos bajo fajas de pasto llorón y en fajas alternas destinadas a cultivos de cosecha y forrajeros (anuales). El suelo correspondiente a las fajas bajo agricultura continua ha producido una disminución significativa en el diámetro medio de la distribución de los agregados en húmedo y una reducción altamente significativa en los contenidos de C orgánico total. Los resultados muestran que el cultivo en franjas perennes como única práctica, sin tomar medidas conservacionistas complementarias como las rotaciones, incorporación de un mayor volumen de rastrojos, labranzas reducidas o siembra directa, produce una excesiva disminución del C orgánico del suelo. Este parámetro explicó un 75% de los cambios en la estabilidad de la estructura, incidiendo directamente en la aireación, circulación del agua y resistencia al planchado.

EL CULTIVO ANTECESOR¹⁶

Los cultivos antecesores (por ejemplo, verdeos de invierno y maíz para girasol; pasturas y trigo para verdeo de invierno) inciden de distinta manera sobre los niveles de cobertura, nitratos y agua almacenada en el suelo. Antecesor para girasol: la disponibilidad de agua y nitrógeno en el suelo constituyen los principales condicionantes de la productividad de los cultivos en la región semiárida pampeana y poseen significativa influencia sobre los rendimientos de girasol. Ambas propiedades edáficas, tienen influencias muy fuertes sobre el crecimiento del área foliar. El cultivo de girasol es establecido en un 57% sobre verdeos de invierno y maíz. En 1995/96 se evaluaron 75 lotes. El contenido de agua en el suelo sobre antecesor maíz resultó en promedio 65 mm superior que sobre verdeo,

alcanzando en algunos sitios diferencias de 100 mm. Similar influencia se observó sobre el contenido de nitratos, con valores promedios de 40,3 ppm en maíz y 12,2 ppm en verdeo. Estos contenidos representan 24 kg/ha más de nitrógeno disponible sobre antecesor maíz. Estas diferencias tendrían significativa influencia sobre el crecimiento inicial y rendimiento de girasol. Antecesores para verdeo de invierno: la producción de materia seca de avenas y centenos es afectada significativamente por los contenidos de agua y nitratos a la siembra. Los perfiles de agua hasta los 140 cm de profundidad registraron contenidos de 132 mm bajo pastura y 243 mm para antecesor trigo. Esta diferencia de 110 mm de agua almacenada en el suelo normalmente marca la diferencia en la producción de materia seca de los verdeos.

RELACIÓN DE ALGUNOS PARÁMETROS HÍDRICOS, DENSIDAD APARENTE Y MATERIA ORGÁNICA CON GRANULOMETRÍA¹⁷

Las denominadas constantes hídricas de un suelo, relacionadas con diámetros equivalentes de poros, están condicionadas en proporciones variables por la granulometría, la densidad aparente y los contenidos de materia orgánica. Parámetros estos de determinación más frecuente y accesible, por lo que en muchos casos se emplean en el desarrollo de aproximaciones experimentales. La relación existente entre las propiedades mencionadas se estudió sobre 80 muestras de horizontes A, AC y C pertenecientes a 25 perfiles de suelos (Haplustoles y Ustipsamientos), característicos de una extensa área natural y cultivada de la región semiárida pampeana.

Los resultados muestran una influencia más importante de la fracción limo+arcilla, respecto de otras fracciones (<2, 2-50 y <73 micrónes) sobre características hídricas del suelo.

15 Bravo, O.; Quiroga, A.; Silenzi, J.; Alcalde, S.; Adema, E. 1995. Efectos del cultivo en franjas perennes sobre la estructura y carbono orgánico en suelos de la región semiárida pampeana. "Revista de la Facultad de Agronomía". UNLP 71(1):15-20.

16 Quiroga, A. 1996. El cultivo antecesor. "Horizonte Agropecuario". Centro Reg. INTA La Pampa-San Luis. no. 46:p. 8.
17 Quiroga, A.; Buschiazzi, D. 1988. Relación de algunos parámetros hídricos, densidad aparente y materia orgánica con granulometría en suelos de la región semiárida pampeana. "Carpeta de Información Técnica EERA Anguil". Ecología p. 50-52.

$$\begin{aligned} \text{PMP (\%)} &= 1,164 + 0,209 (\text{L+A, \%}) \\ \text{CC (\%)} &= 2,306 + 0,322 (\text{L+A, \%}) \\ \text{CC (\%)} &= 2,26 + 0,439 (\text{MO, \%}) + 0,321 (\text{L+A, \%}) \end{aligned}$$

Por otra parte los valores de DA de horizontes subsuperficiales (menos influenciados por el manejo reciente) guardan cierta relación con los cocientes arena/limo:

$$\text{DA (g/cm}^3\text{)} = 1,28 - 0,10 (\text{arena/limo, \%}) + 0,03 (\text{arena/limo, \%})^2$$

Es posible que en los suelos estudiados esta relación este influenciada de manera importante por los contenidos de materia orgánica. En suelos con baja proporción de arcilla la MO cumple una importante función en la agregación, tendiendo a equilibrar el sistema poroso por aumento de los mesoporos y reducción de la proporción de los poros grandes, incrementándose de esta manera la porosidad total. Ello parece ocurrir en la región, dada la relación positiva entre MO y proporción de poros <1000 micrones y la relación negativa entre este diámetro de poros y la DA. También pudo constatarse relación entre MO y los contenidos de limo+arcilla. Esta relación se debería a la mayor retención de agua que se produce al aumentar la proporción de las fracciones finas, lo que favorecería la actividad biológica y por lo tanto la acumulación de residuos orgánicos.

INFLUENCIA DE LA SIEMBRA DIRECTA SOBRE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS DE UN SUELO HAPLUSTOL ÉNTICO¹⁸

La siembra directa de cultivos (SD) constituye una práctica conservacionista que ha generado diversas expectativas en la región semiárida pampeana ante la posibilidad, entre otros aspectos, de reducir a corto plazo las pérdidas de suelo por erosión. El desmonte y la utilización intensiva de los suelos ha producido alteraciones en algunas

18 Quiroga, A.; Monsalvo, M. 1989. Influencia de la siembra directa sobre algunas propiedades físicas de un suelo Haplustol éntico. "Carpeta de Información Técnica EERA Anguil". Ecología p. 52-56.

19 Quiroga, A.; Buschiazzi, D.; Monsalvo, M. 1990. Compactación de suelos en la región semiárida pampeana central. "Carpeta de Información Técnica EERA Anguil". Ecología p. 68-74.

propiedades que condicionan su capacidad productiva y erosividad. Al respecto, son numerosos los estudios que indican que en los suelos vírgenes puestos a cultivar los contenidos de N y C orgánico declinan rápidamente al principio, luego la disminución continua en forma gradual hasta alcanzar un nivel de equilibrio aparente. Este nivel es influenciado por la secuencia de cultivos, el tipo y cantidad de residuos y también por diferentes prácticas de labranza. En el suelo se registra además una disminución de macroagregados y aumento en la proporción de microagregados, pérdida de estabilidad estructural e incremento en la densidad aparente a expensas de los poros grandes, mayores a 150 micrones de radio. El objetivo de este trabajo fue mostrar tendencias en propiedades físicas, luego de 5 años de SD y SC de cultivos para cosecha (rotación sorgo-barbecho-trigo). La experiencia fue conducida en la EEA INTA Anguil, entre 1984 y 1989. Los estudios que tratan la influencia de distintas labranzas sobre la porosidad muestran que los resultados en general no son consistentes y pueden resultar al mismo tiempo contradictorios. En esta experiencia los resultados muestran interacción significativa entre la proporción de macroporos muy finos a diferentes profundidades y los sistemas de siembra considerados. En SC se observa mayor porosidad en la parte superior del perfil y menor porosidad en profundidad, debido principalmente a densificaciones inducidas por la labranza. La SD registró inicialmente menor tasa de infiltración, sin embargo la infiltración acumulada al cabo de cierto tiempo resultó superior, poniendo en evidencia una mayor estabilidad de la estructura que se refleja en los valores de la pendiente "m" de Kostiakov. Estos resultados resultan coincidentes con los valores de estabilidad estructural en húmedo, confirmando una importante influencia de la SD sobre propiedades físicas estrechamente relacionadas con la captación y movimiento del agua en el perfil del suelo.

COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA CENTRAL¹⁹

La pérdida de productividad de los suelos que presentan capas compactadas guarda relación, entre otros aspectos, con incrementos en la densidad aparente y pérdida de macroporosidad, difi-

cultad para el ingreso y movimiento del agua, incremento del escurrimiento y de las pérdidas de suelo por erosión, menor disponibilidad de agua y de nutrientes, mayor resistencia al corte y a la penetración e incremento en el consumo de combustibles. Estas condiciones que pueden generarse naturalmente constituyen un problema más relevante cuando se intensifica la agricultura y ciertas prácticas de labranza. En la región semiárida pampeana existen características edáficas (alta proporción de limo y arenas muy finas, bajos contenidos de arcilla y materia orgánica) y de manejo (agricultura continua y sobrepastoreo de rastrojos y pasturas) que favorecerían la compactación de los suelos.

El objetivo de este trabajo fue estudiar a través del perfil la variación de algunas propiedades físicas que permiten caracterizar las compactaciones e inferir la influencia de distintos manejos. En suelos sometidos a agricultura convencional continua se observa la presencia de densificaciones subsuperficiales (comprendidas entre 15 y 30 cm) que presentan comparativamente al resto del perfil, fuerte reducción de la conductividad eléctrica y macroporosidad e incrementos en la densidad aparente y resistencia a la penetración. El movimiento del agua llega a reducirse severamente, respecto de las capas inmediatamente superior e inferior. Bajo gramíneas perennes, la capa superficial (10 a 15 cm) puede encontrarse densificada en relación al resto del perfil. De manera similar, el pastoreo de verdes de invierno produce una fuerte densificación superficial. Se observa una relación entre la disminución de la conductividad hidráulica, incremento de la densidad aparente y el tiempo transcurrido de utilización del verdeo. Los resultados muestran la presencia generalizada de compactaciones superficiales (efecto del pisoteo) y/o subsuperficiales (efectos de labranzas) que restringen el crecimiento de las raíces y el ingreso y movimiento del agua a través del perfil.

INFLUENCIA DE PRÁCTICAS DE MANEJO SOBRE LA COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS²⁰

Una de las principales consecuencias del uso intensivo de los suelos es la pérdida de macroporosidad, incremento de la densidad aparente y de resistencia a la penetración. En suelos de la

región semiárida pampeana estos cambios resultan dependientes de la textura y contenidos de materia orgánica. Ambos coloides resultan variables en un amplio rango: arcilla + limo entre 15 y 60%; materia orgánica entre 0,5 y 5%. En este estudio se evaluó la influencia del manejo sobre propiedades edáficas relacionadas con la compactación.

La evaluación de 52 horizontes A permitió comparar suelos de similar composición granulométrica y distintos contenidos de materia orgánica. La pérdida de materia orgánica a dado lugar a disminuciones en la conductividad hidráulica y contenido hídrico del suelo en el punto de mayor sensibilidad a la compactación. Se incrementaron los valores de densidad aparente máxima, susceptibilidad a la compactación y resistencia a la penetración. Suelos vírgenes bajo monte de caldén poseen mejor condición física que suelos bajo rotación de cultivos y estos que suelos bajo agricultura continua.

FACTORES EDÁFICOS Y DE MANEJO QUE CONDICIONAN LA EFICIENCIA DEL BARBECHO EN LA REGIÓN PAMPEANA²¹

La evaporación es el principal factor de pérdida de agua, estimándose que entre el 50 y 70% de la precipitación anual retorna directamente a la atmósfera sin intervenir en el proceso productivo. Este aspecto resulta particularmente relevante en regiones semiáridas considerando que bajo determinadas condiciones climáticas la producción de materia seca es una función lineal de la transpiración. La escasa cobertura de residuos en suelos francos de la región semiárida del Ebro no permitió reducir las pérdidas de agua por evaporación aún en siembra directa. En otros estudios se muestra como la eficiencia del barbecho es afectada por distintas prácticas de manejo y por parámetros físicos que inciden en los procesos de captación y almacenaje del agua (CRA).

20 Quiroga, A.; Buschiazzo, D.; Peinemann, N. 1999. Soil compaction as related to management practices in the semi-arid Argentine pampas. "Soil Tillage and Research" 52 (1-2): 21-28.

21 Quiroga, A.; Funaro, D.; Fernández, R.; Noellemeyer, E. 2005. Factores edáficos y de manejo que condicionan la eficiencia del barbecho en la región pampeana. "Ciencia del Suelo" 23 (1):79-86.

El objetivo de trabajo fue evaluar los efectos de variaciones en la capacidad de retención de agua, sistema de labranza, niveles de cobertura y longitudes de barbecho sobre parámetros de suelo estrechamente relacionados con la productividad de los cultivos. Una serie de experiencias fueron realizadas en el este de La Pampa y oeste de Buenos Aires. Con respecto a las longitudes de barbecho estival se comprobó que el barbecho de mayor longitud dio lugar a mayores contenidos de agua (149 mm) y N (81 kg/ha) respecto al barbecho medio (112 mm, 56 kg/ha N) y corto (96 mm, 34 kg/ha N). En Hapludoles la longitud del barbecho afectó principalmente la disponibilidad de N y no registró diferencias en los contenidos de agua y resistencia a la penetración (RP). Sin embargo en Haplustoles Enticos se registraron diferencias significativas en los contenidos de agua, N y RP. En suelos de baja CRA útil (42 mm) no se registraron diferencias entre hacer y no hacer barbecho, mientras que en suelos de mayor CRA (90 y 210 mm) las diferencias en el contenido de agua y nitratos fueron significativas. Bajos niveles de cobertura dieron lugar a menor eficiencia de barbecho. También se observaron diferencias significativas entre el agua almacenada en siembra directa (163 mm) y siembra convencional (118 mm). Puede concluirse que las prácticas de manejo, y en particular la siembra directa, pueden incrementar la eficiencia del barbecho. La importancia de los efectos está condicionada en mayor medida por la capacidad de retención de agua de los suelos y el régimen de precipitaciones.

ASPECTOS DEL MANEJO DE LA COBERTURA EN RELACIÓN CON LA CONSERVACIÓN DE LOS SUELOS Y EL AGUA²²

El manejo de rastrojos constituye una práctica de alto impacto en las propiedades de los suelos, particularmente en los sistemas mixtos de zonas semiáridas. Afectan el balance de agua, la temperatura del suelo, la radiación incidente, la mineralización de nutrientes, el balance de materia orgánica, la microflora, fauna y microorganismos. A la

22 Ormeño, O.; Quiroga, A. 2001. "Cobertura. Aspectos del manejo en relación con la conservación de los suelos y el agua". Anguil, EEA INTA. Boletín de Divulgación Técnica no. 72. 32 p.

vez son influenciados por el manejo. El sistema de labranza, la secuencia y el tipo de cultivos, las prácticas agrícolas (fertilización, riego), el pastoreo, la confección de reservas y su redistribución en el sistema y finalmente el acondicionamiento de los rastrojos son prácticas que provocan cambios en la calidad, cantidad, distribución y ubicación de los residuos de cosecha, generando distintos comportamientos. El presente trabajo tiene por objetivo analizar resultados de experiencias conducidas en la región semiárida y subhúmeda pampeana.

Ensayos de labranzas (4 sistemas) realizados sobre dos antecesores (verdeo invierno y maíz cosecha) muestran que a la siembra de girasol es posible obtener niveles de cobertura que varían en un rango de 200 a 8000 kg/ha. Por un lado, la cobertura remanente al final de las labranzas resulta altamente dependiente del cultivo antecesor, mientras que ante la misma secuencia de cultivos los niveles de cobertura resultan dependientes del sistema de labranza. Se comprobó que luego de 7 años, siembra directa mantuvo los niveles iniciales de materia orgánica mientras que en siembra convencional se registró una disminución de 6741 kg/ha en los primeros 20 cm del perfil. Niveles de cobertura superiores al 60% (>2000 kg/ha) favorecieron el almacenaje de agua durante los barbechos y el rendimiento de los cultivos. Evaluaciones realizadas durante una secuencia de 7 cultivos (trigo, maíz, girasol, verdes) muestra que bajo siembra directa se alcanzaron valores de cobertura (>60%) que afectaron positivamente sobre el balance de agua y en ningún momento se ubicó por debajo de valores críticos compatibles con el control de la erosión eólica (30%). Por su parte en labranza vertical y en labranza convencional (discos dobles) no se superaron estos umbrales en la mayor parte de la secuencia de cultivos.

Se comprobó que con bajos niveles de cobertura se produce una mayor alternancia de temperaturas que no solo inciden en la dinámica del agua, sino también sobre procesos biológicos que involucran la mineralización de nutrientes y la dinámica de malezas.

DISPONIBILIDAD DE AGUA, NITRÓGENO Y AZUFRE EN BARBECHOS CON Y SIN CONTROL DE MALEZAS EN DISTINTOS NIVELES DE RESIDUOS²³

Del análisis de las precipitaciones se comprueba que una parte sustancial de las mismas tiene lugar durante el período de barbecho y que en su mayor parte no es utilizada por los cultivos. La conservación del agua durante el barbecho resulta dependiente del tipo de suelo, del sistema de labranza, de la probabilidad de precipitaciones y capacidad de retención de agua por el suelo, aunque también de los residuos en su superficie. Distintos niveles de residuos afectan significativamente el contenido de agua en el suelo, además de reducirse las pérdidas por erosión y planchado, dando lugar a una alta eficiencia en el almacenaje de agua durante el barbecho.

Con el fin de evaluar el efecto de los residuos vegetales sobre la eficiencia de almacenamiento de agua, la dinámica de nitrógeno y azufre disponible durante el barbecho con y sin presencia de malezas, se realizaron 10 ensayos con distintos niveles de residuos (A: 10000 kg MS/ha, M: 5000 kg MS/ha, B: menor a 2000 kg MS/ha) en Haplustoles de las regiones planicie con tosca y planicie medanosa de La Pampa y Sur de Córdoba. En cada tratamiento de residuos se dividieron las parcelas en dos subtratamientos de manejo de malezas: tratamiento con malezas (malezas) y sin malezas (barbecho). Se realizaron determinaciones de: textura, densidad aparente, punto de marchites permanente, materia orgánica total. Al inicio y al final del barbecho se midió el contenido de agua en el suelo, nitratos (N), azufre de sulfatos solubles y adsorbidos (S) en los primeros 20 cm del perfil. Al comienzo del barbecho todos los sitios presentaron altos contenidos de agua útil (entre 51 y 100 %). A pesar de ello, nuestros resultados mostraron que al finalizar el barbecho el nivel de residuos tuvo un efecto positivo en los contenidos de agua con una diferencia entre A y B de 33%. Con presencia de malezas, no se pudo comprobar una ventaja por parte de los residuos y la diferencia entre A y B fue de 10 %. El factor que más influyó en los contenidos de agua fue la presencia de malezas. Los contenidos de N y de S disponible no fueron influenciados por los

distintos niveles de residuos, constatándose un mayor efecto de malezas. En el tratamiento con malezas se vería comprometida la siembra del cultivo de girasol por menor disponibilidad de agua y además se afectaría potencialmente el rendimiento en 200 kg/ha por la menor disponibilidad de N y en 600 kg/ha por menor disponibilidad de S en el nivel A de residuos.

EFFECTO DE LA INTERACCIÓN ENTRE RESIDUOS SOBRE LA SUPERFICIE DEL SUELO Y PRESENCIA DE MALEZAS EN EL ALMACENAMIENTO DE AGUA DURANTE EL BARBECHO²⁴

La biodisponibilidad del agua en el suelo y la inestabilidad del clima son principales factores que deben ser considerados al diagramar la secuencia de cultivos en regiones semiáridas. Distintos niveles de residuos y la presencia de malezas afectan significativamente el contenido de agua en el suelo. El objetivo del trabajo fue estudiar las interacciones entre la cobertura de residuos, control de malezas y las propiedades del suelo sitio específico, tales como profundidad del perfil y textura, en la eficiencia de la conservación del agua durante el barbecho. También se pretendió obtener información preliminar sobre la interacción entre la cobertura de residuos y la composición de especies de malezas.

Se realizaron 10 ensayos con distintos niveles de residuos (A: 10000 kg MS/ha, M: 5000 kg MS/ha, B: menor a 2000 kg MS/ha) en Haplustoles de las regiones de la planicie con tosca y planicie medanosa de La Pampa y Sur de Córdoba. En cada tratamiento de residuos se dividieron las parcelas en dos subtratamientos de manejo de malezas: tratamiento con malezas (malezas) y sin malezas (barbecho). Se realizaron determinaciones de: textura, densidad aparente, punto de marchites permanente, materia orgánica total. Contenidos

23 Fernández, R.; Noellemeyer, E.; Funaro, D.; Quiroga, A.; Peinemann, N. 2009. Disponibilidad de agua, nitrógeno y azufre en barbechos con y sin control de malezas en distintos niveles de residuos. "Ciencia del Suelo" 27 (1): 57-66.

24 Fernández, R.; Quiroga, A.; Noellemeyer, E.; Funaro, D.; Montoya, J.; Hitzmann, B.; Peinemann, N. 2008. A study of the effect of the interaction between site-specific conditions, residue cover and weed control on water storage during fallow. "Agricultural Water Management". 95 (9):1028-1040.

de agua en el suelo a intervalos de 20 cm hasta los 200 cm o profundidad del manto calcáreo, temperatura de suelo a 5 cm de profundidad. A fines del período de barbecho en cada tratamiento se determinó la cantidad de plantas de malezas en cuatro repeticiones de 0.25 m². Las mayores eficiencias de barbecho (EB) se obtuvieron en sitios que comenzaron el mismo con bajos contenidos de agua y con altos niveles de residuos.

El nivel A presentó mayor EB (15%) que el B (5.9%) en respuesta a una menor temperatura del suelo, lo cual implicaría menor pérdida de agua por evaporación. Una fuerte interacción entre nivel de residuos y control de malezas fue observada en todos los sitios. El nivel A tuvo menor establecimiento de malezas (54 plantas/m²) y menor pérdida de agua por consumo de las mismas. Los tratamientos enmalezados tuvieron menores contenidos de agua (33 mm) que su correspondiente tratamiento con control de malezas, afectando negativamente la EB. Esto se acentuó en los tratamientos B, con mayor cantidad de malezas (99 plantas /m²). La desventaja que tienen altos niveles de residuos sería un desfase de la germinación y emergencia de los cultivos, a causa de menores temperaturas de suelo, lo cual se podría prevenir postergando la fecha de siembra.

EFFECTO DEL TIPO DE SUELO Y SISTEMAS DE LABRANZAS SOBRE EL TRANSPORTE DE ATRAZINA EN COLUMNAS INTACTAS DE SUELO²⁵

El agua es el vehículo natural de transporte de los herbicidas en el suelo de los solutos en solución o adsorbidos a partículas en suspensión. El flujo del agua depende de la estructura y de las propiedades hidráulicas del suelo. Por otro lado, la sorción y la degradación limitan la movilidad de los plaguicidas en el perfil del suelo. El mecanismo de transporte más significativo es el de flujo masal, que es el movimiento de arrastre que el agua imprime al propio soluto en su desplazamiento a través del medio poroso. Los solutos también están sujetos a mecanismos de difusión molecu-

lar y dispersión, dados por el flujo de masa por gradientes de concentración.

El balance del agua y la dinámica hídrica se ven afectados por los cambios en los sistemas de labranzas, así mismo se ven modificados los patrones de movimiento de los solutos en el suelo. El balance de agua determina el potencial de lixiviación y pérdidas por escurrimiento superficial de los herbicidas aplicados en la superficie del suelo. La alteración del espacio poroso del suelo es una de las características más destacadas del laboreo, modificando su disposición interna de poros y agregados. Los procesos asociados a ambientes no disturbados promueven la formación de macroporos continuos ofreciendo un flujo preferencial al transporte de agua y solutos. El término flujo preferencial implica que, por varias razones, el agua durante la infiltración no tiene suficiente tiempo para equilibrarse con el agua residente en la matriz del suelo. En estos sistemas tendientes a minimizar la erosión hídrica y eólica, se crearían condiciones edáficas propicias para el lavado de herbicidas en el perfil del suelo. Se ven modificadas características como contenido y distribución de la materia orgánica (MO), porosidad, contenido de agua y su movimiento, pH y poblaciones microbianas.

Se realizaron estudios de transporte de bromuro como trazador conservativo y atrazina en columnas intactas de suelos provenientes de Tres Arroyos, Balcarce y Dorrego, cada uno de ellos bajo siembra directa (SD) y labranza convencional (LC). Los estudios se realizaron a 85 % de saturación bajo flujo constante.

La aparición de los picos de concentración de bromuro más tempranamente en Bal y TA que en Dor podría estar relacionado con la mayor estabilidad de los agregados e interconexión de los poros en los suelos más estructurados. Asumiendo sólo transporte advectivo-dispersivo, la máxima concentración de un trazador debería ocurrir al alcanzar 1 VP. La aparición de los picos de concentración previas a 1 VP provee evidencias de flujo preferencial. Las características de las curvas de paso de bromuro que representa el movimiento del agua podrían reflejar cualitativamente la existencia de flujo preferencial. Sin embargo, el pará-

²⁵ Montoya, J.; Costa, J.; Liedl, R.; Bedmar, F.; Daniel, P. 2006. Effects of soil type and tillage practice on atrazine transport through intact soil cores. "Geoderma" 137 (1-2):161-173.

metro β , con valores cercanos a 1, estaría indicando que la totalidad del agua es móvil y, entonces, el flujo ocurre en condiciones de transporte de equilibrio. Por lo tanto, los modelos estarían indicando que el no-equilibrio físico tuvo un impacto menor sobre la migración del soluto; y que una fracción mínima de agua permanecería en una fase inmóvil.

Las propiedades intrínsecas de los suelos fueron más relevantes para el transporte de atrazina que aquellas asociadas a los sistemas de labranzas. Sin embargo, SD produjo una detección más temprana de atrazina en los efluentes; y favoreció el lixiviado en el suelo de textura más gruesa y con menor contenido de MO. Contrariamente a los resultados esperados, los efluentes recuperados de los suelos con mayor contenido de MO tuvieron mayor concentración de atrazina que aquellos con menor contenido de MO, sin observarse efectos por los sistemas de labranzas. Balcarce posee una textura arcillosa franca y un contenido de CO de 64260 kg/ha en LC y en SD 66675 kg/ha. Es sabido que el CO sirve como agente granulador de los suelos, el grado en que las partículas de suelo más finas están agregadas guarda una estrecha correlación con el porcentaje del CO del suelo. En Dorrego, los sistemas de labranza produjeron efectos significativos sobre el total de masa recuperada; bajo SD lixivió 555.25 μg y en LC 210.25 μg . Dorrego posee una textura franca con 28560 kg/ha de CO en LC y en SD 33210 kg/ha. El aumento en la agregación del suelo, dado su mayor contenido de CO en SD, obstaculizaría a la atrazina a alcanzar el equilibrio instantáneamente, conduciendo a una lenta cinética de adsorción.

capítulo.III

Trabajos que abordan aspectos de las relaciones agua-suelo-planta

El déficit de humedad en las plantas es función del nivel de humedad del suelo, de la especie, del tipo de suelo, del estado vegetativo y de las condiciones atmosféricas. La capacidad de almacenamiento de un suelo es también una función del crecimiento y ramificación de las raíces. La profundidad efectiva de las raíces determina el espesor de suelo que dispondrá un cultivo para extraer agua. Esta es la estrategia de algunas especies que no poseen un mecanismo particular de resistencia a la sequía, pero que son capaces de utilizar agua almacenada en el suelo en profundidad por medio de un sistema de raíces muy desarrollado. Es el caso del pasto llorón, una planta considerada muy resistente a la sequía y a ello se debe su auge en las regiones semiáridas. El pasto llorón tiene además un aparato radical activo hasta gran profundidad y esto permite a la planta un buen desarrollo también en suelos medanosos, cuya capacidad de almacenaje de agua es muy limitada. A manera de ejemplo, considerando que los suelos arenosos pueden almacenar 60 mm de agua útil por cada metro de espesor, la raíz de un cultivo que explore 1,5 m dispondrá de 90 mm, mientras que la raíz que explore 4 m dispondrá de 240 mm. El mismo análisis puede realizarse desde otro punto de vista, por ejemplo si llueven 200 mm, el espesor de suelo humedecido será aproximadamente de 3 m, con lo cual la mayor parte del agua (110 mm) se habrán perdido por infiltración profunda en el caso del cultivo de

raíces más superficiales. De esta manera la eficiencia de uso del agua (kg de producto por mm de agua y por ha) puede variar ampliamente.

Por ejemplo, en uno de los trabajos se comprobó al momento de establecer cereales de invierno importantes variaciones, entre lotes, en la cantidad de agua almacenada por los suelos (entre 107 y 190 mm) y también en el contenido de nitratos (entre 6,5 y 46 ppm). A consecuencia de ello, la producción de materia seca resultó variable entre 599 y 2346 kg/ha. Solo en aquellos lotes con baja concentración de nitratos y provistos de agua se lograron incrementos de materia seca al fertilizar con nitrógeno. El ajuste de la fertilidad nitrogenada permitió aumentar la eficiencia de uso del agua en Macachín de 2,7 a 7,9 kg materia seca por milímetro de agua; en Anguil de 6,9 a 10,2 y en Trebolares de 5,0 a 13,2. Puede inferirse que en aquellos casos donde se duplicó la producción de forraje, potencialmente se duplicó la producción de carne: frente a la misma oferta hídrica una mayor eficiencia de uso del agua.

CAUSAS DE LA RESISTENCIA A LA SEQUÍA DEL PASTO LLORÓN²⁶

La resistencia a la sequía de las plantas puede ser debida a varias causas; en algunos casos se debe a que son capaces de almacenar agua en sus tejidos; otras veces la resistencia es debida a la elevada presión osmótica del jugo celular o bien a estructuras epidérmicas protectoras que tienden

26 Fagioli, M. 1972. Causas de la resistencia a la sequía del pasto llorón. "Hoja Informativa EEA Anguil". no. 54:4-5.

a reducir la transpiración. Hay plantas que son resistentes a la sequía debido a su capacidad de utilizar completa y rápidamente pequeñas precipitaciones pluviales. Otro grupo, que no posee mecanismos de resistencia particulares, es capaz de utilizar agua almacenada en el suelo en profundidad por medio de un sistema de raíces muy desarrollado. Es el caso del pasto llorón, una planta considerada muy resistente a la sequía y a ello se debe su auge en las regiones semiáridas. El pasto llorón tiene además un aparato radical activo hasta gran profundidad y esto permite a la planta un buen desarrollo también en suelos medianosos, cuya capacidad de almacenaje de agua es muy limitada. Esta hipótesis fue confirmada con una experiencia realizada en la Estación Experimental Regional Agropecuaria de Anguil, en un cultivo utilizado para la producción de semilla. En el período 18 de noviembre de 1971-4 de abril de 1972 fueron medidas las precipitaciones, los valores de evaporación de una superficie libre de agua y la humedad presente en el suelo desde la superficie hasta la profundidad de aproximadamente 400 cm, por medio de sonda de neutrones.

Al comienzo de la experiencia el suelo tenía almacenados 377 mm de humedad. Los datos obtenidos permiten estimar el punto de marchites, en todo el perfil considerado, en 150-180 mm. En el período se produjeron 326.5 mm de lluvias y el cultivo gastó 485.4 mm, utilizando 158.9 mm de las reservas del suelo.

Los consumos hídricos diarios del pasto llorón pueden ser elevados. Ellos ascendieron con el aumento de la capacidad potencial de evaporación del ambiente hasta llegar a valores iguales o muy próximos a los del tanque de evaporación, en períodos en los cuales el suelo estaba bien provisto de humedad. En estas condiciones, durante el verano el pasto llorón utilizó entre 4 y 5 mm de agua por día. Pero una característica de este cultivo fue su capacidad de extraer toda el agua disponible en el suelo progresivamente a profundidades siempre mayores. Así, en los primeros 20 días de noviembre de 1971 el cultivo utilizó el agua presente en el suelo hasta 90 cm de profundidad. En el período siguiente hasta el 10 de diciembre, las profundidades de mayor extracción estuvieron comprendidas entre 30 y 225 cm.

Entre el 10 y 28 de diciembre el cultivo utilizó la humedad del suelo a profundidades comprendidas entre 90 y 255 cm. Sucesivamente en enero y febrero, hasta el 14 de marzo de 1972, toda la humedad disponible fue utilizada hasta 330 cm de profundidad, pero el cultivo ya había superado los rigores del verano. Terminado el verano, la temperatura ambiente y los valores de evapotranspiración disminuyeron y fracciones siempre mayores de las precipitaciones penetraron en el suelo, en profundidad, para reconstituir las reservas de humedad. Parece evidente, a través de la experiencia realizada que esta capacidad de utilizar toda el agua disponible hasta grandes profundidades es uno de los principales mecanismos que permiten al cultivo superar, con un buen desarrollo vegetativo, los períodos de mayor sequía.

DESARROLLO DEL APARATO RADICAL DE UN CULTIVO DE PASTO LLORÓN²⁷

En el verano de 1972 se realizó un estudio de la morfología del sistema radical de un cultivo de pasto llorón (cv. Tanganika) de 11 años de edad. En un suelo arenoso (Ustipsament Típico) se abrió un pozo encontrándose agua libre a 375 cm de profundidad. Sobre las paredes del mismo se extrajeron muestras en capas sucesivas de 25 cm con un marco de hierro (16x10x25 cm). Las muestras fueron lavadas con agua en un recipiente con fondo de malla de alambre (1 mm) para separar la mayor parte de la tierra. Luego se recogieron las raíces del residuo, se secaron en estufa y se pesaron. Nuevamente se trataron con agua, reconstruyendo su distribución sobre papel grueso. Se puede observar que el 47,9 % del peso total de las raíces está presente en la primera capa de 25 cm. Esto es debido principalmente al peso de la corona presente en la muestra central. La distribución de las raíces en sentido horizontal, no es uniforme, y los valores de los errores estándar confirman esta conclusión. La disminución del peso de las raíces en profundidad es gradual, llegando las mismas hasta 375 cm, con un peso seco total de 2.886 kg por hectárea.

²⁷ Fagioli M. 1980. Desarrollo del aparato radical de un cultivo de pasto llorón, (*Eragrostis curvula*, Nees) en un suelo arenoso de la región semiárida pampeana. "IDIA" no. 393-394:77-80.

Estos resultados son bastante concordantes con los obtenidos en un trabajo anterior en el cual se llegó a la conclusión que el pasto llorón tenía la capacidad de extraer la humedad del suelo en cantidades medibles hasta la profundidad de 330 cm, y con ensayos realizados con radiofósforo que proporcionaron indicios de la presencia de raíces hasta la profundidad de 450 cm.

Variaciones en el relieve, en algunos lugares superiores a 100 cm, explican las variaciones de la profundidad del perfil libremente permeable a las raíces cuyo desarrollo, en este caso, está limitado en profundidad por la presencia de agua libre.

MODALIDADES DE UTILIZACIÓN DEL AGUA PROFUNDA POR UN CULTIVO DE PASTO LLORÓN²⁸

En regiones semiáridas los rendimientos de los cultivos son limitados fundamentalmente por deficiencias de humedad. Debido a ello el estudio de la dinámica del agua en el suelo tiene particular importancia práctica. El pasto llorón es una planta resistente a la sequía muy utilizada en regiones semiáridas, aunque no se dispone de mucha información sobre sus consumos hídricos, capacidad de utilización del agua en profundidad y eficiencia de uso de la misma. Estudios realizados en África muestran diferencias significativas en la eficiencia de uso del agua entre selecciones de pasto llorón. Habiéndose estimado que el desarrollo en profundidad de su aparato radical tiene que ser uno de los factores que determinan su resistencia a la sequía. Se estudiaron las variaciones de la humedad en el suelo, en sucesivos períodos de tiempo hasta la profundidad de 397,5 cm. El estudio fue realizado en un cultivo de 10 años de edad, que se utilizó para la producción de semilla. El suelo, constituido por arena fina, tiene un perfil no diferenciado hasta los 5 m y una napa de agua freática a la profundidad de 6 m. Las

28 Fagioli, M. 1972. Modalidades de utilización del agua profunda por un cultivo de pasto llorón (*Eragrostis curvula*, Nees), en un suelo regosol de la Región Semiárida Pampeana. "RIA" 9 (2):61-70;197. Serie 3: Clima y Suelo.

29 Fagioli, M. 1983. "Actividad absorbente de los aparatos radicales de cultivos de alfalfa y trigo medida con ^{32}P ". Anguil, EERA INTA. Publicación Técnica no. 25. 21p.

mediciones de humedad fueron realizadas por medio de una sonda de neutrones hasta los 450 cm de profundidad. La humedad presente en las capas superficiales fue determinada por muestreos del suelo. Los cálculos de los consumos hídricos fueron realizados sumando a la humedad presente en el suelo, las lluvias en el intervalo de tiempo considerado y restando la humedad presente en el suelo al final del período. Los datos obtenidos muestran que el pasto llorón puede tener consumos hídricos muy elevados. En verano y en períodos en los cuales el suelo está bien provisto de humedad pueden observarse gastos hídricos de 4-5 mm por día. En condiciones de fuerte capacidad potencial de evaporación del ambiente, los consumos hídricos son reducidos por la limitada disponibilidad de agua útil en el suelo. En las condiciones de estudio, el cultivo fue capaz de extraer humedad del suelo hasta las profundidades de 330 cm. Los resultados obtenidos indican también que el conocimiento de la profundidad a la cual las raíces son activas es un dato de importancia igual a las constantes físicas que definen la capacidad de almacenamiento del agua útil. El agua que infiltra a más de 150 cm de profundidad debe considerarse útil en el caso del pasto llorón, ya que cultivo ha demostrado utilizarla efectivamente por medio de la parte más profunda del sistema radical.

ACTIVIDAD ABSORBENTE DE LOS APARATOS RADICALES DE CULTIVOS DE ALFALFA Y TRIGO²⁹

El ^{32}P ha sido muy usado para estudiar los aparatos radicales. Los métodos que utilizan este elemento proporcionan un buen panorama del desarrollo radical, pero la interpretación cuantitativa, en lo que respecta a la actividad absorbente, no es simple. La actividad absorbente puede ser alterada en el punto de localización. El isótopo activo se diluye con el isótopo estable presente en el suelo y es retenido, siendo estos procesos cuantitativamente diversos a diferente profundidad. El isótopo absorbido puede localizarse de manera no uniforme en la parte epigea de la planta dificultando las comparaciones. En suelos Haplustoles de la región semiárida pampeana se estudió la actividad absorbente de los aparatos radicales de

cultivos de alfalfa y trigo. Se utilizó ^{32}P aplicado en el suelo en sucesivas profundidades hasta 150 y 125 cm para alfalfa y trigo respectivamente. Se midió la actividad presente en la parte epigea de las plantas en correspondencia a cada profundidad de aplicación. Los datos indican que la mayor parte de la actividad absorbente de la alfalfa, con relación a P, está localizada en los primeros 30 cm del perfil, y este comportamiento parece ser relativamente constante en fechas y años sucesivos. El mismo aparato radical absorbe toda la humedad disponible hasta la máxima profundidad muestreada de 150 cm.

Muy diferente es el comportamiento del aparato radical del trigo con referencia a la absorción de P. La actividad absorbente de este cultivo puede variar, en la primera capa de 25 cm, desde valores muy chicos (7%) hasta valores muy grandes (80%). En proporción reducida se observó el mismo comportamiento en la última capa de 100-125 cm, donde la actividad absorbente varió entre 3 y 45% de la actividad total del perfil. En ningún caso pudo detectarse actividad en las muestras correspondientes a las aplicaciones "bajo tosca". Las raíces no lograron pasar esta capa a pesar del bajo contenido de carbonatos y de la gran capacidad de retención de agua de la formación calcárea. Por lo tanto en el cálculo de los balances hídricos y de los nutrimentos disponibles habrá que tener en cuenta la profundidad de la tosca. Es posible que con formaciones calcáreas de menor potencia algunas raíces pasen a través de las fisuras y se desarrollen en los horizontes más profundos, pero en todo caso se trata de una pequeña fracción de la masa radical. Parece evidente, con los datos disponibles, que existe una gran diferencia en el perfil de absorción de un cultivo perenne como la alfalfa y un cultivo anual como el trigo. Es importante la capacidad de este cultivo para extraer intensamente P y humedad desde cualquier punto del perfil del suelo, por lo menos hasta los 100 cm.

DESARROLLO DE LOS APARATOS RADICALES EN CULTIVOS DE MAÍZ Y TRIGO³⁰

Existen estrechas relaciones entre los problemas de productividad de los cultivos y el desarrollo de los aparatos radicales. Los estudios muestran

que la forma y extensión del aparato radical de los cereales es una característica varietal, pero el mismo tiene una gran plasticidad y capacidad de adaptación al medio. Así pueden producirse grandes modificaciones debidas a variaciones del suelo. En este trabajo, preliminar para la época (1968/69), se investigó el desarrollo de las plantas de maíz y trigo en sucesivos estados vegetativos, mediante muestreos a intervalos de 15 días. Para obtener muestras de suelo hasta 300 cm de profundidad se utilizaron cilindros de acero de 7 cm de diámetro. Las muestras así obtenidas fueron cortadas cada 15 cm, lavadas con agua, secadas y pesadas. Sucesivamente la distribución del aparato radical fue reconstruida sobre papel y fotografiada. El peso de las raíces de trigo aumenta rápidamente en el primer periodo, hasta llegar a un máximo de 169 gr/m² a los 95 días después de la siembra. Desde este momento el peso se mantiene prácticamente constante hasta la madurez de la planta. Las fotos del aparato radical, tomadas 95 días después de la siembra, muestran que las raíces se han desarrollado densamente, ocupando toda la masa de suelo hasta la profundidad de 75 cm, con algunas ramificaciones que llegan hasta los 240 cm. El peso de las raíces de maíz aumenta rápidamente en los primeros estados vegetativos, hasta llegar a un máximo de 130 gr/planta a los 129 días después de la siembra. Después de esta fecha el peso desciende a 109 gr/planta, quedando estacionario. Las fotos obtenidas 129 días después de la siembra muestran que las raíces se han desarrollado densamente hasta los 180 cm de profundidad. Algunos filamentos llegan hasta los 300 cm.

Calculando el peso de las raíces, por cada capa de 15 cm de espesor, en por ciento del peso total, se observa como el 76,9% y el 87% de las raíces de trigo y del maíz, respectivamente, se encuentran en los primeros 15 cm del perfil. Pero la documentación fotográfica muestra que, si bien los valores ponderales de las raíces en profundidad son reducidos, los filamentos radicales constituyen una masa muy densa, con una superficie absorbente muy grande. El aporte de materia orgánica al

30 Fagioli, M. 1973. Desarrollo de los aparatos radicales en cultivos de maíz y trigo en la región de Pergamino. "RIA" 10 (3):111-135. Serie 2: Biología y Producción Vegetal.

suelo, por parte de las raíces, calculado en el momento de máximo desarrollo, resultó de 1690 kg/ha en el caso de trigo y de 5900 kg/ha en maíz.

EVALUACIÓN DE ALGUNOS ASPECTOS DE LAS RELACIONES HÍDRICAS EN TRIGO, EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA³¹

En nuestro país los estudios de las relaciones hídricas en trigo han sido relativamente escasos. Esta carencia es llamativa si se piensa que la región triguera argentina es de secano y que la variación de los rendimientos en el tiempo ha sido sistemáticamente atribuidos al régimen pluviométrico y a la evolución del agua edáfica durante el ciclo del cultivo. Por otra parte en las regiones semiáridas la distribución de las lluvias no coincide con las necesidades del cultivo. En estas condiciones el barbecho estacional constituye uno de los pilares del manejo al permitir almacenar agua en profundidad. Sin embargo la capacidad de almacenaje de agua varía con la textura, la profundidad a la tosca, el espesor del perfil explorado por las raíces. En el presente estudio se han considerado resultados de una serie de experiencias, conducidas entre 1981 y 1988, que abordan distintos aspectos de la relación agua – trigo. Los resultados muestran estrecha relación entre el rendimiento y los contenidos de agua en el suelo y uso consuntivo de trigo durante el mes de octubre. Otros parámetros hídricos explicaron en menor grado la variación del rendimiento: por ejemplo el agua almacenada en el perfil del suelo en agosto, las precipitaciones durante el ciclo del cultivo, los usos consuntivos total, de setiembre y de noviembre. Al respecto, una serie de estudios acerca de los periodos hídricos críticos concluyen que en el caso del trigo este periodo coincide con el desarrollo de los órganos florales, cuando una gran deficiencia de humedad parece tener un efecto negativo en la formación del polen, reduciendo el número de granos por espiga. Ello parece ocurrir, en la región semiárida pampeana,

31 Quiroga, A.; Paccapelo, H. 1990. Evaluación de algunos aspectos de las relaciones hídricas en trigo, en la región semiárida pampeana. "Revista de la Facultad de Agronomía". UNLPam 5 (2):109-115.

durante el mes de octubre, mes en el que los parámetros hídricos considerados inciden con mayor significancia.

MEJORAMIENTO DE LAS CONDICIONES HÍDRICAS SUPERFICIALES DE UN SUELO BAJO PASTOREO CONTINUO DE PASTO LLORÓN³²

Desde el año 1968 se mantiene un rodeo de cría durante todo el año en un cultivo de pasto llorón sembrado en 1960. En este sistema se utilizan solamente vacas que ya han tenido su primer ternero. El resto del rodeo (terneros de destete, vaquillonas, novillos y toros después del servicio) sale del sistema y disponen de otros pastoreos más indicados para esas categorías de animales. En agosto de 1990 se realiza una interseembra de trébol de olor amarillo utilizando un rastrón al que se le sacaron 2 de cada 3 discos. De esta manera quedaron franjas de 40 cm de pasto llorón sin arar y en el surco abierto por el disco se estableció el trébol. Esta práctica tiene como objetivo aportar N mediante la inclusión de la leguminosa, mejorar la captación del agua (infiltración) de una pastura permanente luego de 22 años de pastoreo continuo. Además, al no ararse totalmente el cultivo no existe riesgo de perderlo. Las determinaciones de infiltración del agua en el tratamiento con interseembra de trébol fueron superiores (132 mm/h) a las del tratamiento testigo (48 mm/h).

Determinaciones posteriores de infiltración, realizadas entre enero y junio de 1991 mostraron diferencias similares entre tratamientos y una mayor humedad en el perfil de mayor infiltración. La dificultad para el ingreso del agua al perfil, en suelos bajo pasturas perennes, y la pendiente favorecen los procesos de erosión hídrica. En estas condiciones es muy común la formación de "zanjones", por lo que la práctica periódica de interseembra podría reducir significativamente la pérdida de agua y de suelo.

32 Cairnie, A.; Quiroga, A.; Adema, E. 1992. Como mejorar la eficiencia en la utilización de un cultivo de pasto llorón. "Informativo de Tecnología Agropecuaria para la Región Semiárida Pampeana". 95:1-2.

CONTROL MECÁNICO DEL ARBUSTAL Y EFECTOS SOBRE LOS CONTENIDOS DE AGUA Y PRODUCTIVIDAD DEL PASTIZAL³³

El monte pampeano es una zona de limitada productividad debido a las escasas precipitaciones y suelos con pobre capacidad para almacenar agua. En este ambiente, los arbustos compiten eficientemente con los pastos por el consumo de agua. El control de las leñosas favorece el almacenamiento de agua en el suelo y en consecuencia el mejoramiento de la condición del pastizal y la producción de forraje. El rolo cortador permite realizar un control selectivo del monte bajo, lo cual aumenta el área de pastoreo disponible sin dañar los árboles presentes en el sitio. Como resultado, aumenta la productividad respecto del monte inalterado. La EEA Anguil “Ing. Agr. Guillermo Covas” del INTA conduce un experimento de control de leñosas mediante rolado, en el Campo Anexo de Chacharramendi desde el año 1997, cuyos resultados se presentan en esta publicación. La reducción del dosel arbustivo y el aumento de los residuos sobre el suelo, contribuyen a incrementar la humedad y favorecen el nacimiento e implantación de las especies nativas y/o incorporadas. La duración efectiva de esta práctica está controlada por la interacción de las condiciones ambientales (clima, suelo, vegetación) y el manejo posterior a la aplicación de la misma. Estrategias de pastoreo, manejo de rodeo y tratamientos secundarios de control de monte con bajo costo, son prácticas complementarias que permiten prolongar la efectividad del rolado y en última instancia mejorar la relación beneficio económico sobre costo de aplicación.

BALANCE DE AGUA Y PRODUCTIVIDAD EN UN PASTIZAL FERTILIZADO EN CHACHARRAMENDI, LA PAMPA³⁴

La zona de transición Caldenal-Monte Occidental presenta severas limitaciones ambientales que condicionan la producción primaria e imponen la búsqueda y adaptación de tecnologías que optimicen rendimientos sin degradar los recursos forrajeros. La fertilización de otoño sobre pastizales de invierno permite aumentar la oferta forrajera con un uso más eficiente del agua disponible

en el suelo. En este trabajo se analizó el balance de agua en un pastizal de invierno fertilizado con nitrógeno y fósforo, en la región semiárida de La Pampa. El ensayo se estableció en el Campo Anexo del INTA en Chacharramendi sobre un pastizal de *Stipa tenuis*, *Piptochaetium napostaense* y *Poa ligularis*, fertilizado en otoño de 2003 y 2004. Se usó un diseño en bloques aleatorizados completos con cuatro tratamientos: 50 kg N/ha (N50), 100 kg N/ha (N100), 100 kg N/ha + 40 kg P/ha (N+P) y testigo (T). Bimestralmente se determinó la humedad del suelo y la biomasa forrajera acumulada (MSa), y se calculó el uso consuntivo acumulado (UCa) desde la fertilización hasta el final del ciclo vegetativo, y la eficiencia de uso de agua (EUA) por el cociente MSa/UCa.

Los resultados se analizaron mediante ANOVA y comparación de medias. En ambos periodos T presentó el mayor contenido de agua en el suelo y N+P el menor. En 2003 la vegetación estuvo bajo estrés hídrico, sin alcanzar la marchites permanente aun con 50 mm de agua en el perfil, registrándose una producción acumulada de 400 Kg MS/ha, sin diferencias significativas entre tratamientos. En 2004, N+P produjo significativamente más que N100 y N50, y estos más que T. No se observaron diferencias significativas entre los UCa de los diferentes tratamientos, que promediaron 118,6 mm y 595 mm, y la lluvia acumulada en el mismo periodo (111,5 mm y 605 mm), para el 2003 y 2004. El escaso almacenamiento de agua en el suelo implicó que la producción resultará dependiente de las lluvias. La EUA en 2003, fue similar entre tratamientos y promedió 3,4 kg/ha.mm, mientras que en 2004 fue: 9,8 kg MSa/ha.mm (N+P), 8,7 kg MSa/ha.mm (N100), 8,4 kg MSa/ha.mm (N50) y 5,3 kg MSa/ha.mm (T). Se observa que la fertilización otoñal de los pastizales de invierno en la región semiárida pampeana, aumenta la EUA, en particular en años húmedos.

33 Adema, E.; Buschiazzi, D.; Babinec, F.; Rucci, T.; Gomez Hermida, V. 2004. Mechanical control of shrubs in a semiarid region of Argentina and its effect on soil water content and grassland productivity. “*Agricultural Water Management*” 68(3): 185-194.

34 Adema, E.; Butti, L.; Babinec, F. 2003. “*Balance de agua y productividad en un pastizal fertilizado en Chacharramendi, La Pampa*”. Anguil, EEA INTA, Publicación Técnica no. 50. 20 p. ilus.

EVALUACIÓN DE LA INTERCEPCIÓN DE LLUVIA POR *Chuquiraga erinacea* EN FUNCIÓN DE SU BIOMASA³⁵

La intercepción de lluvia por la vegetación nativa es un proceso escasamente estudiado en el Caldenal y el Monte Occidental de Argentina. Una de las especies arbustivas característica de estos ambientes es *Chuquiraga erinacea* Don, comúnmente denominada “chilladora”. Debido a su abundancia y representatividad espacial en ambos ecosistemas, en el presente estudio se planteó el siguiente objetivo: determinar el agua de lluvia interceptada por la biomasa de *Chuquiraga erinacea* en función de la estructura y tamaño de la especie, asumiendo como hipótesis que la intercepción de lluvia ejercida por la especie es significativa. El sitio de estudio está ubicado en el Campo Anexo del INTA en Chacharramendi, al Oeste del Departamento Utracán, en la provincia de La Pampa, Argentina. Para la descripción de la arquitectura de la especie se evaluaron 33 ejemplares donde se midió diámetro y altura medias de las plantas. Las mismas fueron cortadas al ras del suelo y pesadas para determinar biomasa aérea. Se aplicaron diferentes metodologías para medir la intercepción por diferencia de peso húmedo (PH) y peso seco (PS) de las plantas. En campo, se realizó simulación de lluvia hasta saturación sobre 22 individuos enteros en condiciones naturales, cada uno de los cuales fue cortado e inmediatamente pesado con la carga de agua interceptada, se dejaron secar al aire y a la sombra y se volvieron a pesar. En laboratorio, se pesaron 103 muestras de plantas obtenidas en el sitio de estudio, luego fueron saturadas con agua y por último se volvieron a pesar. Para la estimación de la biomasa total e intercepción de lluvia se utilizaron modelos de regresión y coeficientes de determinación. De las diferentes combinaciones que definen la arquitectura de las plantas, los

35 Alvarez Redondo, M.; Avcilla, F.; Butti, L.; Adema, E. 2010. Evaluación de la intercepción de lluvia por *Chuquiraga erinacea* Don en función de su biomasa. En: “Encuentro Binacional de Jóvenes Investigadores del Bicentenario Argentina-Chile, Encuentro Sur”. Libro de resúmenes. El Calafate. Universidad Nacional de la Patagonia Austral, Octubre 6-7, 2010.

36 Fagioli, M. 1974. Utilización de productos antitranspirantes para aumentar el rendimiento de los cultivos de verano en la región semiárida pampeana. “Informativo de Tecnología Agropecuaria para la Región Semiárida Pampeana”. no. 59: s.p.

resultados mostraron que el diámetro fue la variable que mejor predijo la biomasa total: $\text{biomasa} = (-0,18 + 0,01\text{diámetro})^2$; $R^2=0,87$. El análisis de regresión lineal para la relación peso húmedo – peso seco fue altamente significativa con un porcentaje de explicación del 98% para los datos de campo ($\text{PH} = 204,22 + 1,23 \text{PS}$) y de 99% para los de laboratorio ($\text{PH} = 1,92 \text{PS} + 0,918$). Las relaciones peso seco - peso húmedo de los datos de laboratorio fueron estimadas por ajuste del modelo $Y=aXb$. En conclusión, *Chuquiraga erinacea* intercepta una cantidad de lluvia equivalente al 23% de su biomasa. Además, a partir de mediciones de diámetro medio de plantas en campo, se puede predecir su biomasa con el fin de estimar la cantidad de lluvia interceptada por la especie.

UTILIZACIÓN DE PRODUCTOS ANTITRANSPIRANTES PARA AUMENTAR EL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS DE VERANO³⁶

En regiones áridas y semiáridas la escasa humedad disponible es el principal factor que limita los rendimientos de los cultivos. Los principales centros experimentales del mundo, intensificaron las investigaciones para obtener una mayor eficiencia en el uso del agua por parte de las plantas. Una línea de investigación que ha tenido éxito en trabajos de laboratorio e invernáculo, tiene por fin lograr el control de las pérdidas de humedad debidas a la transpiración, reduciendo el tamaño o el número de los estomas abiertos. Un producto que ha demostrado eficacia segura como anti-transpirante, es el acetato fenil-mercúrico, pero la información disponible sobre su comportamiento en cultivos es muy limitada. En la Estación Experimental Regional Agropecuaria de Anguil pareció interesante realizar una prueba a campo para averiguar la posibilidad de utilización de esta nueva técnica cultural. Se utilizó un cultivo de maíz, raleado a 35000 plantas por hectárea. Se pulverizó con una solución de acetato fenil-mercúrico utilizando dosis de 0,40 y 80 gramos por hectárea en solución muy diluida. Se determinó el rendimiento en grano con 15,5 % de humedad, para la dosis Testigo fue de 3.316 kg/ha contra la dosis máxima 3.606 kg/ha. El régimen pluviométrico en el curso del ciclo vegetativo fue muy favorable, mientras que las temperaturas fueron infe-

riores a las que comúnmente se registran en la región. Los métodos de utilización del producto tienen todavía que ser estudiados detenidamente, principalmente por lo que respecta a dosis y época o épocas de aplicación.

PERFILES HÍDRICOS EN UN SUELO BRUNIZEM BAJO CULTIVO DE MAÍZ³⁷

La región de Pergamino, con una precipitación anual que oscila entre 800 y 1000 mm, presenta frecuentemente problemas de sequía que afectan la producción del cultivo del maíz. El déficit de humedad en las plantas es función del nivel de humedad del suelo, de la especie, del tipo de suelo, del estado vegetativo y de las condiciones atmosféricas. La capacidad de almacenamiento de un suelo es también una función del crecimiento y ramificación de las raíces. Las condiciones del suelo que permiten una más rápida penetración y desarrollo radicular, aumentan la capacidad de utilización de las reservas de humedad y, en consecuencia, la tolerancia a períodos de escasez de lluvia. Este estudio se realizó a fin de obtener datos experimentales sobre la humedad útil presente en el suelo bajo cultivo de maíz hasta la profundidad de 200 cm. Se realizó en las campañas 1966/67 y 1967/68 un muestreo periódico del suelo. La humedad fue determinada por gravimetría en capas sucesivas de 25 cm de espesor; en cada capa se determinaron los valores de densidad aparente y del punto de marchites permanente. El ciclo vegetativo del maíz empezó con un régimen de exceso de humedad en la campaña 1967/68 y mientras los regímenes pluviométricos de los meses de noviembre y diciembre fueron muy buenos en el año 1966, la sequía se manifestó en forma acentuada en la segunda mitad de noviembre y en el mes de diciembre del año 1967. En la campaña 1966/67, solamente en la mitad del mes de enero se registraron valores de humedad útil, próximos al punto de marchites hasta la profundidad de 100 cm y el rendimiento del cultivo fue de 58 qq/ha. En la campaña 1967/68 bajos contenidos de agua útil se registraron hasta 100 cm de profundidad, en la mitad del mes de diciembre y el rendimiento del cultivo descendió a 29 qq/ha. Los datos obtenidos indican que con siembras realizadas en la segunda mitad del mes

de septiembre, aproximadamente a mediados del mes de febrero cesa la actividad absorbente del aparato radical de las plantas de maíz.

INFLUENCIA DEL AMBIENTE EDÁFICO Y LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA, EN CULTIVARES DE TRIGO DIFERENCIADOS POR SU POTENCIAL³⁸

En la mayor parte del área productiva de Argentina, se comprueba que las precipitaciones ocurridas durante el ciclo de los cultivos no cubren los requerimientos de uso consuntivo de los mismos. Comprender el desarrollo fenológico de un cultivo es un aspecto clave, no sólo para establecer la adaptabilidad del mismo a distintos ambientes, sino también para identificar los periodos críticos en los que se define el rendimiento y consecuentemente desarrollar estrategias de manejo tendientes a cubrir los requerimientos de agua y nutrientes.

El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto del ambiente edáfico (2 sitios por 2 ambientes) sobre el rendimiento y la respuesta de tres variedades de trigo a la fertilización nitrogenada a la siembra (dosis 0, 40 y 120 kg N/ha). Los cuatro factores considerados en el ensayo (sitio, ambiente, cultivar y fertilización) influenciaron significativamente sobre el cultivo. El rendimiento y la respuesta se relacionaron con la disponibilidad de agua que resulto contrastante entre ambientes. El número de granos/m² fue el componente con mayor incidencia sobre el rendimiento variando ampliamente entre tratamientos (desde 5000 a 15000 granos). Estas diferencias dieron lugar a un amplio rango de variación en los márgenes brutos entre ambientes, comprobándose un efecto negativo de la fertilización en el ambiente con mayores restricciones y una contribución positiva en el margen bruto en los ambientes con menores restricciones hídricas. Puede concluirse que en ambientes edáficos con menores res-

37 Fagioli, M. 1973. Perfiles hídricos en un suelo Brunizem bajo cultivo de maíz. "RIA" 5(4):159-172. Serie 3. Clima y Suelo.

38 Quiroga, A.; Fernández, R.; Ormeño, O.; Frasier, I.; Noellemeyer, E. 2009. Influencia del ambiente edáfico y la fertilización nitrogenada, en cultivares de trigo diferenciados por su potencial. "Revista de la Facultad de Agronomía", UNLPam, no.19: 31-39.

tricciones en la disponibilidad hídrica incorporar tecnología (genética y fertilización) permitiría alcanzar mejores resultados. Considerando que en regiones semiáridas el manejo del agua constituye la principal limitante de la producción, resulta necesario incorporar este indicador al momento de definir la estrategia de producción de un cultivo (manejo sitio – específico).

EFICIENCIA DEL USO DEL AGUA EN CULTIVOS DE INVIERNO Y DE VERANO³⁹

En regiones semiáridas toda la tecnología empleada tiene por finalidad obtener la máxima utilización de la limitada humedad disponible. Diferentes cultivos, independientemente de las prácticas tecnológicas empleadas, producen diferentes cantidades de grano o materia seca, por unidad de agua consumida. Algunos cultivos de verano utilizan mejor la humedad que cultivos de invierno. Estudios realizados en la campaña 1976-77 en Anguil muestran que para el caso del trigo una mayor densidad de siembra no causa mayor evapotranspiración total, pero la eficiencia de uso del agua, calculada en kg de grano por hectárea por milímetro de agua consumida, aumentó desde valores que oscilan entre 5,70 y 5,97 para la densidad más baja, hasta valores de 6,29 y 7,65 kg/ha/mm para la densidad de siembra más alta. El sorgo mostró una eficiencia de uso del agua mucho mayor que varió entre 9,63 y 12,30 kg/ha.mm. En el curso del ciclo vegetativo se registraron 385 mm de lluvia en el caso del trigo y 471 mm en el caso del sorgo.

VERDEOS. CONDICIONANTES DE SU PRODUCTIVIDAD⁴⁰

La mayor parte de la superficie sembrada con verdeos de invierno está destinada a la producción de forraje (88% por ciento). En regiones semiáridas

tiende a incrementarse la superficie con estas especies forrajeras y la disponibilidad de agua y nitrógeno aparecen como principales condicionantes de su productividad. Los niveles alcanzados por estos dos factores resultan muy variables entre lotes, respondiendo principalmente a distintas prácticas de manejo (barbecho, cobertura del suelo, sistemas de labranza, enmalezamiento) y a la ubicación de los verdeos en la rotación. Específicamente a la influencia de distintos cultivos antecesores.

En 1992, evaluaciones realizadas en 11 lotes destinados a verdeos, avena y centeno sobre antecesores girasol, pastura y trigo mostraron importantes variaciones en la cantidad de agua almacenada por los suelos (entre 107 y 190 mm) al igual que en la concentración de nitratos (entre 6,5 y 46 ppm). A consecuencia de ello, la producción de materia seca resultó variable entre 599 y 2346 kg/ha. En aquellos lotes con baja concentración de nitratos y provistos de agua se lograron incrementos de materia seca al fertilizar con nitrógeno. Esta tendencia se mantuvo en las experiencias conducidas en 1993 y 1994. El ajuste de la fertilidad nitrogenada permitió aumentar la eficiencia de uso del agua en Macachín de 2,7 a 7,9 kg materia seca por milímetro de agua; en Anguil con siembra directa de 6,9 a 10,2 y con siembra convencional de 5,5 a 6,4 y en Trebolares de 5,0 a 13,2. La siembra directa de verdeos en la región semiárida se realiza normalmente sobre antecesor girasol, trigo y pastura. El barbecho químico con adecuada cobertura del suelo posibilita una mayor disponibilidad de agua dando mayor seguridad de respuesta a la fertilización. El suelo bajo siembra directa normalmente posee más agua y menos nitratos, condiciones que resultan óptimas para un ajuste temprano de la fertilidad nitrogenada. Las experiencias en la región con siembra directa de trigo se realizaron en distintas localidades de la provincia. Las primeras siembras se caracterizaron por presentar los suelos bajos niveles de cobertura y aproximadamente un 40 por ciento menos de nitratos que en siembras convencionales, no realizándose ajustes de la fertilidad nitrogenada. En estas condiciones los rendimientos promedios resultaron semejantes entre sistemas de labranza. En experiencias posteriores, sobre la base de estos primeros resultados,

39 Fagioli, M. 1977. Eficiencia del uso del agua en cultivos de invierno y de verano. "Informativo de Tecnología Agropecuaria para la Región Semiárida Pampeana EEA Anguil". no.71: 3-4.

40 Quiroga, A.; Ormeño, O.; Fernandez, D.; Otamendi, H.; Vallejo, A. 1999. "Verdeos de invierno: necesidad de reconocer y manejar limitantes de su productividad en suelos de la región semiárida pampeana". Anguil, EEA INTA. Boletín de Divulgación Técnica no. 61. 22 p.

se realizaron distintos ajustes en el sistema: 1- Se lograron comparativamente mayores niveles de cobertura de suelo para siembra directa que en siembra convencional. 2- Se logró disponer mayor cantidad de agua prestando mayor atención a la práctica de barbechos. 3-Mayor cobertura, más agua y menos nitratos se lograron respuestas importantes a la fertilización nitrogenada a siembra y en crecimiento temprano.

EFFECTO DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA Y NITRÓGENO SOBRE LA PRODUCTIVIDAD DE MAÍZ⁴¹

Los contenidos hídricos al momento de la siembra y en el periodo de floración son la principal fuente de variación del rendimiento de maíz en la región semiárida (RSP) y subhúmeda pampeana (RSHP). La incidencia de un estrés hídrico durante el periodo crítico provoca mayores pérdidas en el número de granos que en otro estadio del cultivo siendo esta reducción proporcional al retraso en la emergencia de las estructuras reproductivas. El objetivo del trabajo fue evaluar la productividad del cultivo de maíz y su respuesta a la fertilización nitrogenada en Molisoles con diferente capacidad de almacenamiento de agua.

Se establecieron 12 ensayos de fertilización localizados hacia el este de la provincia de La Pampa (RSP) y hacia el oeste de la provincia de Buenos Aires (RSHP). En los distintos sitios se establecieron cuatro niveles de nitrógeno (0, 40, 80 y 120 kg/ha) aplicados en el estadio V6. En cada sitio en muestras de suelos obtenidas de 0-20 cm se determinaron los contenidos de materia orgánica total (MO), textura (hidrómetro de Bouyoucos), fósforo extractable (Bray-Kurtz I). Contenidos de humedad y agua útil a intervalos de 20 cm hasta los 200 cm (método gravimétrico), punto de marchites permanente (a 1500 KPa con la membrana de presión de Richards), N-nitratos a tres profundidades 0-20 cm, 20-60 cm y 60-100 cm (extracto acuoso con sulfato de calcio y determinación calorimétrica con ácido cromotrópico). Se midió la biomasa aérea en estadios de floración realizando cortes de 0.5 m² por parcela secadas hasta peso constante (estufa con circulación de aire a 60 °C). En estadios de madurez fisiológica se

determinó por cosecha manual (2 m²) el rendimiento de grano. El contenido de MO varió entre 0.7 y 2.5 %; los contenidos de arcilla más limo entre 12 y 59 %. Los contenidos de fósforo extractable variaron de 6.3 a 31.2 ppm; los N-NO₃ de 0-60 cm entre 86 a 110 kg/ha y de 0-100 cm entre 136 a 190 kg/ha. El agua útil al momento de la siembra (AUS) varió entre 89 y 497 mm y los contenidos de agua útil al momento de floración (AUF) entre 13 y 479 mm. El rendimiento y el número de granos/m² variaron entre sitios y entre tratamientos de fertilización relacionándose positivamente con el AUS. La respuesta a la fertilización nitrogenada se relacionó positivamente con el AUF y con el AUS. Puede concluirse que el rendimiento de grano y la respuesta a fertilización nitrogenada en maíz resultaron principalmente condicionados por la disponibilidad de agua al momento de la siembra. La disponibilidad de agua a floración resultó dependiente del agua a la siembra. El contenido inicial de nitrógeno no influyó el rendimiento de grano, sin embargo el contenido de nitrógeno de 0-60 cm y de 0-100 cm resultó determinante de la biomasa aérea total en floración. Si bien estos estudios son preliminares, muestran el valor estratégico de la disponibilidad de agua evaluada previo al establecimiento del cultivo.

CONTRIBUCIÓN DE LAS NAPAS AL RENDIMIENTO DE MAÍZ EN MOLISOLES DE LA PLANICIE MEDANOSA⁴²

Las napas pueden contribuir significativamente al uso consuntivo de los cultivos, con valores que pueden alcanzar el 70% del total de agua evapotranspirada. En un estudio donde se evaluaron distintos cereales se comprobó que maíz fue el cultivo que extrajo mayor proporción de agua de la napa y presentó los valores más altos de efi-

41 Saks, M.; Quiroga, A.; Fernández, R.; Zalba, P. 2010. Efectos de la disponibilidad de agua y nitrógeno sobre la productividad de maíz en Molisoles de la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana. En: "XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo" Rosario. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo (AACS). Mayo 31- Julio 6, 2010. p. 153.

42 Saks, M.; Quiroga, A.; Frasier, I.; Fernández, R.; Zalba, P. 2010. Contribución de las napas al rendimiento de maíz en Molisoles de la Planicie Medanosas. En: "I Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras". Azul, Instituto de Hidrología de Llanuras (ihlla), Septiembre 21-24, 2010.

ciencia de uso. Durante 2006/08 fueron conducidos 12 ensayos en maíz, en sitios con (CN) y sin (SN) influencia de napa a fin de evaluar la contribución de la misma al rendimiento del cultivo y respuesta a la fertilización nitrogenada. Los sitios fueron seleccionados en el Este de La Pampa y Oeste de Buenos Aires, realizando muestreos periódicos de los contenidos de agua en el perfil y de la profundidad y características físico química de las napas. En los sitios CN la profundidad promedio fue de 110 cm, presentando un amplio rango de conductividad eléctrica (0,9-2,8 mmhos/cm), RAS (1,2-27,2) y contenidos de S (3,1-108 mg/l), B (0,6-4,4 mg/l) y Mg (11-88 mg/l). Los rendimientos de maíz de los tratamientos sin fertilizar variaron entre 4012 (SN) y 9454 kg ha⁻¹ (CN) con una mayor respuesta a la fertilización en los sitios CN (+ 3060 kg ha⁻¹) respecto de los SN (+ 360 kg ha⁻¹). El número de granos fue el componente de rendimiento más influenciado por las napas variando entre 1509 granos/m² (SN) y 3429 granos/m² (CN). La fertilización incrementó el número de granos sólo en los sitios CN (+ 1100 granos/m²). Estos resultados muestran la importancia de incorporar el factor napa al planificar el uso de tecnología en manejos sitio-específico.

EFFECTO DE LOS CONTENIDOS DE MATERIA ORGÁNICA Y LA TEXTURA SOBRE LOS RENDIMIENTOS DE CEBADA⁴³

El rol de la materia orgánica (MO) en el mantenimiento de la fertilidad de los suelos es ampliamente reconocido. Se ha comprobado que un nivel particular de MO puede resultar alto, medio o bajo, dependiendo de la textura del suelo y es por ello que se han elaborado índices compuestos, como por ejemplo el de MO/arcilla+limo (IMO). Los autores consideran que la pérdida de MO en suelos de la región y los cambios en el IMO tiene lugar principalmente por disminución de la fracción más lábil de la MO. Suelos con menor

IMO pueden condicionar el rendimiento de los cultivos, la respuesta a la fertilización y la eficiencia de uso del agua. Para validar esta hipótesis se realizaron ensayos con cebada cervecera en 38 sitios de la región semiárida pampeana. Los contenidos de limo+arcilla variaron ampliamente entre sitios en un rango de 24 a 67%, los de MO entre 0,57 y 2,86% y el rendimiento de grano entre 740 y 5200 kg/ha. Mientras la MO explicó un 32% de la variación del rendimiento el IMO explicó un 52%, evidenciando la conveniencia de considerar conjuntamente los contenidos de MO y la textura del suelo. Los contenidos de nitratos a la siembra también afectaron el rendimiento de los tratamientos sin fertilizar:

$$\text{Grano (kg/ha)} = -1560 + 26,6 \text{ nitratos} + 527,7 \text{ IMO} \\ (R^2 = 0,68)$$

La eficiencia de uso del agua (EUA) resulta relevante en regiones semiáridas dado que refleja la capacidad del cultivo de producir en condiciones hídricas frecuentemente limitantes. La EUA varió entre 2 y 16 kg/ha.mm, con valores promedios de los testigos de 6,4 y de 8,8 para los tratamientos fertilizados. También se comprobó que a mayor valor de IMO y contenido inicial de nitratos mayor fue la EUA.

$$\text{EUA (kg/ha.mm)} = -3,29 + 2,22 \text{ IMO} \quad (R^2 = 0,50) \\ \text{EUA} = -1,48 * 1,5 \text{ IMO} + 0,04 \text{ nitratos} \quad (R^2 = 0,58)$$

La fertilización nitrogenada incremento los rendimientos y la EUA en mayor medida en los suelos de menor IMO. En algunos sitios el aporte de 40 kg N/ha posibilitó duplicar la EUA. Por lo expuesto el IMO constituye un buen predictor de la producción de grano de cebada, de su respuesta a la fertilización y además permite inferir sobre la influencia que el manejo ha tenido sobre las fracciones más lábiles de MO y como ello puede condicionar la eficiencia de uso del agua.

INFLUENCIA DEL ALMACENAJE DE AGUA EN EL SUELO Y PRÁCTICAS DE MANEJO SOBRE LA PRODUCTIVIDAD DE CÁRTAMO⁴⁴

La disponibilidad de agua ejerce una importante influencia sobre la productividad de los cultivos de secano en regiones semiáridas. El cártamo es

43 Quiroga, A.; Funaro, D.; Noellemeyer, E.; Peinemann, N. 2006. Barley yield response to oil organic matter and texture in the Pampas of Argentina. "Soil and Tillage Research". 90 (1-2):63-68.
44 Quiroga, A.; Díaz Zorita, M.; Buschiazzi, D. 2001. Safflower productivity as related to oil water storage and management practices in semiarid regions. "Communication in Soil Science and Plant Analysis". 32(17-18):2851-2862.

un cultivo estratégico para estas regiones por las características de su sistema radical y la tolerancia a la sequía. Sin embargo su adaptación a diferentes condiciones de suelo no es bien conocida y la disponibilidad de información sobre su productividad en suelos arenosos y en condiciones de campo es limitada. El objetivo de este estudio fue la evaluación de la productividad de cártamo en relación a propiedades edáficas a través de 30 ensayos distribuidos en un amplio sector de la región semiárida pampeana, con precipitaciones media anual de 400 a 700 mm. El rendimiento de grano varió entre 0 y 1600 kg/ha y correlacionó, al igual que el rendimiento de aceite, positivamente con la capacidad de retención de agua (CRA) y el manejo de los suelos (SUM). Este comportamiento fue dado por el mejor suministro de agua y nutrientes en suelos de granulometrías más finas. Al comparar suelos de similar textura se comprobó un mayor rendimiento en aquellos sitios antecidos por rotación de cultivos y con mayores contenidos de materia orgánica.

Grano (kg/ha) = $-57,3 + 3,97 \text{ CRA} + 286,3 \text{ SUM}$
($R^2 = 0,88$)

Aceite (kg/ha) = $-43,2 + 1,66 \text{ CRA} + 104,1 \text{ SUM}$
($R^2 = 0,87$)

La textura del suelo, inherente al material original o alterada por procesos de erosión, tiene una importante influencia sobre la producción de cártamo en condiciones de limitada disponibilidad de agua.

CULTIVOS DE COBERTURA: UNA ALTERNATIVA DE MANEJO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS⁴⁵

La hidrología es el estudio de las propiedades, distribución y circulación del agua sobre la superficie de la tierra, en el suelo y en la atmósfera. Los cultivos de cobertura (CC) afectan a la hidrología a través de su impacto sobre el suelo y sobre la interfase suelo/atmósfera, donde la precipitación es particionada en infiltración, almacenaje y escurrimiento. Los CC y la biomasa producida por éstos pueden alterar significativamente las tasas de evaporación y transpiración entre cada evento de precipitación. Mientras crecen activamente, los CC incrementan la cosecha de energía solar y el flujo de C en el suelo, proveyendo de sustrato a los macro y microorga-

nismos, y al mismo tiempo incrementando la evapotranspiración desde el suelo.

El objetivo de este trabajo fue estudiar la forma en que los CC invernales afectan al agua disponible para el siguiente cultivo de verano y cómo puede ser modificada manejando el momento de secado de los mismos. El experimento se realizó entre 2007 y 2009 en el establecimiento agrícola "El Correntino" sobre un suelo Hapludol. El ensayo contó con un diseño factorial 4×3 , con cuatro niveles (cultivos de cobertura): 1) Centeno (*Secale cereale* L. var. Quehué), 2) Avena (*Avena sativa* L. var. Aurora), 3) Raigrás (*Lolium multiflorum* L. var. Estanzuela), implantados todos bajo SD, inmediatamente después de la cosecha de soja de cada año y 4) un barbecho invernal (testigo); y tres niveles (momentos de secado de cada SC): 1) primer secado o barbecho largo (julio), 2) segundo secado o barbecho medio (agosto) y 3) tercer secado o barbecho corto (septiembre), empleando en los tres casos herbicida (Glifosato).

Los CC provocaron una significativa disminución de humedad del suelo, aunque la biomasa generada condicionó la protección del suelo ante precipitaciones de primavera. En general, el agua disponible para la implantación de soja no se vio afectada. El barbecho tradicional (sin CC) también perdió agua acumulada de las lluvias de otoño por evaporación directa y fue menos eficiente en aprovechar las lluvias de primavera, razón por la cual los contenidos hídricos a la siembra de soja fueron hasta 30 mm menores que los observados para los CC. El centeno es el CC de mayor acumulación de materia seca, especialmente en los dos últimos años, lo que demuestra la capacidad adaptativa de esta especie a ambientes extremos. Por otro lado, cada momento de secado muestra una respuesta distinta en cada uno de los cultivos.

Como se pudo comprobar en este trabajo, la cantidad y la eficiencia de almacenaje del agua varían ampliamente entre años, entre especies y entre sistema de cultivo.

45 Eiza, M.; Carfagno, P.; Michelena, R.; Quiroga, A. 2010. Cultivos de cobertura: una alternativa de manejo de los recursos hídricos. En: "I Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras". Azul, Instituto de Hidrología de Llanuras (ihlla), Septiembre 21-24, 2010.

DEFICIENCIA HÍDRICA Y PRODUCCIÓN DE FORRAJE EN *Tetrachne*, *Panicum* Y *Eragrostis*⁴⁶

Tetrachne dregei, *Panicum coloratum* y *Eragrostis curvula* son gramíneas forrajeras perennes de ciclo C₄, introducidas de Sud África a la región semiárida pampeana (RSP). El objetivo del presente trabajo fue comparar la tolerancia al estrés hídrico; y la producción y calidad de forraje de *T. dregei*, *P. coloratum* y *E. curvula* bajo condiciones de invernáculo o de campo. En el estudio de invernáculo, luego de ochenta y un días de la emergencia, se suspendió el riego en el tratamiento de estrés hídrico. Se determinaron el potencial agua (Ψ), la resistencia estomática (RS) y los pesos de la parte aérea y radical. Bajo estrés hídrico, el Ψ de *P. coloratum* disminuyó antes que en *T. dregei* y *E. curvula*. El incremento de RS bajo estrés hídrico fue mayor en *P. coloratum* que en las otras dos especies. La supervivencia de las plantas de *T. dregei* y *E. curvula* fue superior a las de *P. coloratum*. En el ensayo de campo (Estación Experimental Agropecuaria Anguil), la producción de forraje de *T. dregei* durante la primer temporada, fue inferior a la de las otras especies ($p < 0,05$). Sin embargo, la producción forrajera de *E. curvula*, seguido de *T. dregei*, superaron ($p < 0,05$) aquella de *P. coloratum* en los siguientes años. En primavera, *P. coloratum* presentó mayor digestibilidad que *E. curvula* y *T. dregei* ($p < 0,05$) pero en verano, no mostraron diferencias. *P. coloratum* y *T. dregei* mostraron mayor porcentaje ($p < 0,05$) de proteína que *E. curvula* en primavera, mientras que en el verano, el porcentaje de proteína de *T. dregei* fue superior al de las otras especies ($p < 0,05$). Este estudio demostró que *T. dregei* parece ser una especie promisoría para ambientes semiáridos. *P. coloratum* presentó una muy buena calidad forrajera, aunque su alta producción de biomasa estuvo limitada al primer año.

46 Ruiz, M.; Golberg, A.; Martínez, O. 2008. Deficiencia hídrica y producción de forraje en *Tetrachne dregei* Nees, *Panicum coloratum* L. and *Eragrostis curvula* (Schrad) Nees. "Phyton". 77: 7-20.

47 Golberg, A.; Jonas, O.; Pereyra, M.; Cabeza, C.; Ledent, J. 1995.

Actividad de Nitrato Reductasa en plantas de trigo pan sometidas a estrés hídrico. "Cereal Research Communications". 23: 433-439.

48 Jonas O., M. Pereyra, C. Cabeza, A. Golberg, J. Ledent. 1992. Recuperación de la Actividad de la Nitrato Reductasa en hojas de trigo, después de una severa deficiencia hídrica. "Cereal Research Communications" 20: 13-19.

ACTIVIDAD DE NITRATO REDUCTASA EN PLANTAS DE TRIGO PAN SOMETIDAS A ESTRÉS HÍDRICO⁴⁷

Se investigó el efecto de la suspensión del riego sobre la actividad de la Nitrato Reductasa en plantas cultivadas en macetas, en invernáculo, bajo dos regímenes de alimentación nitrogenada: aplicación de urea y control sin aplicación del fertilizante. La Actividad de la Nitrato Reductasa fue reducida por la limitación hídrica solamente cuando las plantas no sufrían limitaciones de nitrógeno (tratamiento con aplicación de urea). El efecto fue más drástico cuando se determinó la Actividad Potencial de la Nitrato Reductasa en comparación con la actividad real, determinada en este último caso sin el agregado de nitrato al medio y no estuvo asociado con una disminución de la concentración de nitrógeno en las hojas. Los bajos niveles de nitrógeno en el suelo disminuyen de manera dramática la actividad de la Nitrato Reductasa y el contenido de nitratos en los tejidos. El nivel de nitratos presente en los tejidos (nitrógeno endógeno) parece limitar la Actividad de la Nitrato Reductasa en cualquier condición.

RECUPERACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE LA NITRATO REDUCTASA EN HOJAS DE TRIGO, DESPUÉS DE UNA SEVERA DEFICIENCIA HÍDRICA⁴⁸

Se midió en plantas de trigo cultivadas en macetas en invernáculo, la actividad de la Nitrato Reductasa foliar y el potencial hídrico en plantas sometidas a deficiencia hídrica mediante la suspensión de la irrigación y durante su período de recuperación, después de la reanudación del riego. A pesar de que el potencial hídrico de las plantas sometidas a estrés alcanzó valores tan bajos como -2.7 MPa, la Actividad de la Nitrato Reductasa fue totalmente reestablecida 24 horas después de haberse reanudado el riego, se observó que los valores de potencial agua de las plantas sometidas a sequía también tuvieron una rápida recuperación y alcanzaron valores similares a los controles. Estos resultados demuestran la gran capacidad de la Actividad de la Nitrato Reductasa para recuperarse aún en condiciones de severas limitaciones hídricas.

AJUSTE OSMÓTICO EN MAÍZ Y *Zea diploperennis*⁴⁹

El objetivo de este ensayo fue examinar si la especie y los cruzamientos entre maíz y *Z. diploperennis* diferían respecto del ajustamiento osmótico, proceso asociado con la tolerancia a la sequía. Se ensayaron cuatro grupos de genotipos: una variedad de maíz (ZM), *Zea diploperennis* (ZD), una población proveniente de la F2 de cruzamiento realizados entre ZM x ZD y plantas F3 provenientes de las F2 autopolenizadas. Las plantas fueron cultivadas en invernáculo, en macetas de 6 cm de diámetro, llenadas con una mezcla de arena y limo (50% de cada fracción textural).

El riego fue suspendido en la mitad de las macetas 24 días después de la siembra cuando las plantas tenían 3 hojas plenamente expandidas, las determinaciones se realizaron con 4 repeticiones. Doce días después de la suspensión del riego, se cosecharon las hojas y raíces de las plantas bajo estrés y sus controles y luego de permanecer 12 hs sumergidas en agua destilada y posteriormente tratadas con nitrógeno líquido, se midió el potencial osmótico con un osmómetro Wescor, después de la extracción de la savia por medio de una prensa. Previamente a la determinación del potencial osmótico se midió el potencial agua de las plantas estresadas y los testigos, sus valores fueron -0.8 MPa en las primeras y -0.3 MPa en los controles. El potencial osmótico de las plantas sometidas a estrés fue inferior a los testigos pero no se notaron diferencias entre los genotipos ni interacción genotipo x tratamiento tanto en hojas como en raíces. Se concluye que todos los genotipos realizan ajustamiento osmótico pero no muestran significancia estadística entre ellos.

ACTIVIDAD DE NITRATO REDUCTASA Y FOSFATASA ÁCIDA EN HOJAS DE TRIGO DESPUÉS DE UN PERÍODO DE SUSPENSIÓN DEL RIEGO⁵⁰

Se determinó el potencial hídrico (Ψ), la actividad in vivo de la Nitrato Reductasa (NRA) y la actividad total de la Fosfatasa Ácida (PA) en hojas de tres variedades de trigo, al finalizar un período de suspensión del riego y 24 horas después de la

reanudación, en plantas que fueron cultivadas en macetas, en invernáculo. En correspondencia con la disminución de Ψ , de manera inmediata se produce una caída de NRA, mientras hay un incremento concomitante de la actividad de PA. Al reanudarse la irrigación, se observó una variación en sentido opuesto, es decir un aumento de NRA y disminución de la actividad de PA. No pudieron observarse diferencias significativas entre los cultivares ensayados.

COMPARACIÓN *Zea diploperennis* Y *Zea mays* BAJO CONDICIONES DE ESTRÉS HÍDRICO⁵¹

Se determinó el efecto de la suspensión del riego en una variedad de *Zea mays* (ZM) y una población de *Zea diploperennis* (ZD) sobre el potencial agua (Ψ), la conductancia estomática (G) y la producción de biomasa (B). Las plantas fueron cultivadas en contenedores que se hallaban en el interior de una cámara de crecimiento. El contenido de agua del suelo de los contenedores donde crecía ZD disminuyó más rápidamente que en ZM, indicando una mayor transpiración en esta especie respecto de ZM. A pesar de esta evidencia, G mantenía un valor similar al inicial durante las 2 semanas posteriores a la suspensión del riego, mientras que en ZD se observó una rápida caída de G. Por otra parte, cuando se reanudó el riego, el valor de G en ZD se recuperó rápidamente alcanzando los valores de los testigos, mientras que en ZM no se evidenció tal recuperación. La biomasa y superficie foliar del maíz fue más afectada por la sequía en ZM; finalmente a Ψ similares, la fotosíntesis neta y G de ZD mostraron menos disminución que en ZM.

49 Golberg, A.; Ledent, J. 1991. Ajuste Osmótico en Maíz y *Zea diploperennis*. "Archives Internationales de Physiologie de Biochimie et de Biophysique" 99: 11-15.

50 Jonas, O.; Pereyra, M.; Cabeza, C.; Golberg, A.; Ledent, J. 1990. Actividad de nitrato reductasa y fosfatasa ácida en hojas de trigo después de un período de suspensión del riego. "Cereal Research Communication". 18: 299-305.

51 Golberg, A.; Ledent, J.; Renard, C. 1988. Comparación *Zea diploperennis* y *Zea mays* bajo condiciones de estrés hídrico. "Agronomie" 8: 405-410.

capítulo.IV

Nutrición de cultivos. Estrategias para incrementar la producción y la eficiencia de uso del agua

La cantidad y distribución de la lluvia en la región semiárida pampeana es el factor principal que determina el nivel de rendimiento de los cultivos. Pero cuando la humedad no es muy limitante se manifiestan problemas más generalizados de fertilidad, principalmente nitrogenada. Con menor frecuencia, los rendimientos son limitados por niveles deficientes de fertilidad fosfatada. En ambos casos la disponibilidad de nutrientes condicionaría una menor eficiencia de uso del agua. Asociado con el sistema de labranza se ha comprobado que los cultivos establecidos en siembra directa muestran una mayor respuesta a la fertilización nitrogenada. En las experiencias realizadas en la región semiárida pampeana la mayor respuesta observada en girasol, trigo, maíz y verdes de invierno estaría asociada con mayores contenidos de agua y menores contenidos de nitratos del suelo bajo siembra directa. Por ejemplo, en trigo se ha demostrado que existe una buena relación entre humedad y nitratos presentes en el suelo en primavera, y rendimiento y respuesta a la fertilización nitrogenada. Si el suelo está desprovisto de nitratos y tiene humedad en profundidad en primavera, el trigo tendrá posibilidades de sortear deficiencias hídricas al entrar en la última fase (encañazón - maduración), lo que asegura la respuesta a la aplicación del fertilizante.

En verdes de invierno, distintas son las causas bajo las cuales es posible obtener respuestas a la

fertilización: 1) aumentar la producción de materia seca incorporando cultivares de mayor potencial, con una distribución más uniforme de materia seca a través de su ciclo; 2) estabilizar la producción, reduciendo la variación de la producción de materia seca entre lotes y entre años; 3) cambios en los sistemas de labranza: condiciones de mayor humedad y menor contenido de nitratos bajo labranza conservacionista dan mayor seguridad de respuesta a la fertilización; 4) modificaciones en la secuencia de cultivo han acortado el período de barbecho estival y consecuentemente es menor la disponibilidad inicial de nitrógeno; 5) el incremento de la superficie agrícola ha significado el desplazamiento de la ganadería hacia suelos de menor aptitud, lográndose en estos casos (con el agregado de fertilizantes) reducir significativamente el costo de la materia seca producida. Por ser el agua el principal limitante de la producción de la región semiárida, la misma es considerada en toda elaboración de estrategia y/o desarrollo de métodos diagnósticos de fertilización.

FERTILIDAD NITROGENADA DE LOS SUELOS⁵²

La cantidad y distribución de la lluvia en la región semiárida pampeana es el factor principal que determina el nivel de rendimiento de los cultivos. Pero cuando la humedad no es muy limitante se manifiestan problemas más generalizados de fertilidad, principalmente nitrogenada. Con menor frecuencia, los rendimientos son limitados por niveles deficientes de fertilidad fosfatada. En ambos casos la disponibilidad de nutrientes con-

52 Fagioli, M. 1990. Fertilidad nitrogenada de los suelos. "Horizonte Agropecuario". Centro Reg. INTA La Pampa-San Luis. no. 4: 6.

dicionaría una menor eficiencia de uso del agua. Desde el comienzo de la agricultura las rotaciones que incluyen cultivos de leguminosas han sido un sistema muy usado para conservar la productividad de los suelos. Se conoce la capacidad que poseen las leguminosas de conservar y restaurar la fertilidad nitrogenada, sus raíces forman nódulos que asociados con microorganismos pueden utilizar el nitrógeno del aire. Algunos datos obtenidos en la EEA Anguil, indicaron contenidos variables entre 9 y 14% de nitrógeno en gramíneas mientras que en alfalfa esos mismos valores variaron entre 21 y 24 %. Los residuos de la parte aérea y las raíces con altos valores de este nutriente pueden aumentar el nivel de fertilidad del suelo. En un cultivo de pasto llorón asociado con vicia por muchos años, se encontró que el nivel de nitrógeno en el suelo había aumentado de 0,13 a 0,17 %. El proceso de fijación del nitrógeno atmosférico necesita de grandes cantidades de energía proporcionada por la fotosíntesis de las plantas. Por este motivo, la fijación de las mayores cantidades de nitrógeno se obtienen en cultivos manejados correctamente y bajo condiciones edáficas y climáticas favorables para el crecimiento.

PLANIFICAR LA FERTILIZACIÓN⁵³

Los cultivos establecidos en siembra directa muestran una mayor respuesta a la fertilización nitrogenada. En las experiencias realizadas en la región semiárida pampeana la mayor respuesta observada en girasol, trigo, maíz y verdeos de invierno estaría asociada con mayores contenidos de agua y menores contenidos de nitratos del suelo bajo siembra directa. Además, los suelos de la planicie con tosca poseen contenidos medios a bajos de fósforo, los que deben ser considerados al planificar la fertilización nitrogenada de los cultivos. En lotes con menos de 10 ppm de fósforo es conveniente realizar aplicaciones a la siembra, localizando preferentemente el fertilizante por debajo y al costado de la semilla. Los efectos que distintos cultivos antecesores poseen sobre la disponibilidad inicial de agua y nitrógeno también van a incidir sobre la estrategia de fertilización. Ambos aspectos, contenidos de fósforo y efectos del cultivo antecesor hacen conveniente planificar

la fertilización para cada potrero. En girasol, sobre un total de 12 lotes en siembra directa, 7 respondieron a la fertilización nitrogenada (40 kg N/ha) con incrementos del rendimiento promedio de 400 kg/ha. Los rendimientos no aumentaron al utilizar dosis de 80 y 120 kgN/ha. Por su parte en siembra convencional, de los 14 lotes evaluados solamente 4 respondieron a la fertilización nitrogenada. En parcelas que a la siembra de los verdeos o durante crecimiento temprano poseen contenidos de nitratos inferiores a 20 ppm es posible obtener incrementos significativos de materia seca con el aporte de 40 kg N/ha, reduciendo de manera importante el costo (\$/kg materia seca). En ambos cultivos se comprueba además una mayor eficiencia en el uso del agua al fertilizar con nitrógeno en las condiciones señaladas. Cuando los lotes se apartan de las condiciones mencionadas la fertilización no es aconsejable.

FERTILIZACIÓN DE CULTIVOS DE TRIGO EN LAS REGIONES SEMIÁRIDA Y SUBHÚMEDA PAMPEANAS⁵⁴

Las regiones semiáridas y subhúmeda pampeanas bajo la influencia de la EERA de Anguil, no están bien caracterizadas por los valores pluviométricos promedios. Las lluvias son la única fuente de humedad y la distribución de la frecuencia de las precipitaciones es asimétrica por periodos cortos. En la campaña 1984 se realizaron 10 ensayos de fertilización nitrogenada y fosfática. Cuatro se localizaron en la región semiárida y seis en la subhúmeda. El diseño fue en bloques completos al azar con 4 repeticiones y nueve tratamientos (combinaciones factoriales de 0, 50 y 100 kg/ha de nitrógeno y 0, 150 y 300 kg/ha de anhídrido fosfórico. La aplicación de fósforo se realizó en el período siembra - emergencia, y el nitrógeno se aplicó al voleo, en primavera. Se observaron casos de respuesta a la fertilización fosfática, no siempre en correspondencia con bajos niveles de fósforo asimilable en el suelo. Las respuestas a

53 Quiroga, A. Planificar la fertilización. 1996. "Horizonte Agropecuario". Centro Reg. INTA La Pampa-San Luis. no. 48: 7.

54 Bono, A.; Montoya, J.C.; Lescano, P.; Babinec, F.J. 1997. "Fertilización del trigo con nitrógeno y fósforo en la región semiárida pampeana". Campaña 1995. Anguil, EEA INTA. Publicación Técnica no. 47. 21 p.

fertilización fosfática solo se manifestaron en dos ensayos y no superaron los 400 kg/ha. En los dos casos se había determinado la presencia en los primeros 15 cm de suelo de 8 y 32 ppm de fósforo. Los incrementos en el rendimiento debidos a la fertilización nitrogenada variaron entre 685 y 1350 kg/ha con el uso de 50 kg/ha de N y entre 839 y 1548 kg/ha con 100 kg/ha de N en la región semiárida, donde se produjeron precipitaciones muy favorables, como lo indican los valores de uso consuntivo y de eficiencia de uso del agua. En ningún caso se comprobó efectos de interacción, pero los mayores rendimientos siempre coincidieron con el uso combinado de los dos nutrientes. En los ensayos realizados en la pampa subhúmeda no se manifestaron condiciones tan favorables de humedad como en la semiárida. Estos resultados se consideran excepcionales para la región y son similares a los obtenidos en la región subhúmeda pampeana donde se manifestaron condiciones pluviométricas relativamente menos favorables. El almacenamiento del agua en el suelo, durante la presiembra, el estudio de las características morfológicas y fisiológicas de los cultivos, el conocimiento de la dinámica del agua bajo cultivo de trigo, son investigaciones prioritarias para lograr un buen manejo del agua y permitir que los cultivos enfrenten períodos críticos con disponibilidad suficiente, que asegure respuesta a la fertilización en los límites consentidos por las características varietales y condiciones edafológicas.

CONTRIBUCIONES SOBRE FERTILIZACIÓN DEL CULTIVO DE TRIGO⁵⁵

Muchos años de investigaciones en la EERA de Anguil han demostrado que el techo de los rendimientos del cultivo de trigo está localizado entre 3000 y 3500 kg/ha. En años de escasa lluvia o mal distribuidos, estos niveles de rendimientos son drásticamente reducidos por períodos más o menos intensos de sequía. En años con lluvias distribuidas favorablemente la fertilidad del suelo es el factor que limita la productividad, especialmente la fertilidad nitrogenada, debido al bajo

55 Fagioli M., A. Bono. 1982. Fertilización del trigo en la región semiárida pampeana. "Informativo de Tecnología Agropecuaria para la Región Semiárida Pampeana EEA Anguil" no. 78:12

tenor de materia orgánica presente en los suelos de la región. Para obtener rendimientos máximos compatibles con las disponibilidades hídricas variables en cada año, el problema puede ser encarado de dos formas: **1)** Utilización de cultivos de leguminosas para aumentar y mantener los niveles de fertilidad nitrogenada; **2)** Uso de fertilizantes nitrogenados en aplicación postergada. Es buena práctica en la región semiárida pampeana, sembrar trigo después de leguminosas y en general en campos con un tenor de "nitrógeno kjeldahl" no inferior a 0,12 o 0,15%. Es prudente utilizar los datos climáticos de la primera parte del ciclo del cultivo para decidir si aplicar o no el fertilizante al finalizar el invierno, porque son los factores climáticos que determinan la respuesta a la fertilización.

En la EERA Anguil, luego de varios años de investigaciones, se han demostrado que existe una buena relación entre humedad y nitratos presentes en el suelo en primavera, y rendimiento y respuesta a la fertilización nitrogenada. Si el suelo está desprovisto de nitratos y tiene humedad en profundidad en primavera, el trigo tendrá posibilidades de sortear deficiencias hídricas al entrar en la última fase del cultivo (encañazón - maduración), lo que asegura una respuesta a la aplicación del fertilizante. La toma de decisión para realizar la fertilización postergada debe basarse en el resultado del análisis de suelo.

En suelos con mediano a bajos valores de fertilidad nitrogenada, en general, se observa una tendencia del contenido de proteína a disminuir paralelamente con el aumento de los rendimientos. El tenor de la proteína varía en función de la interacción de múltiples factores. Variaciones de las condiciones climáticas e incidencia de enfermedades causan grandes fluctuaciones.

Trabajos realizados en la campaña 1977 sobre la influencia de las lluvias y de la fertilidad nitrogenada del suelo en el rendimiento de cultivos de trigo, demuestran que la decisión acerca de la fertilización nitrogenada depende de las posibilidades de disponibilidad de agua; ya que es imposible predecir esta disponibilidad, el agua almacenada en el suelo mediante el barbecho puede orientar aquella decisión.

VERDEOS, FERTILIZACIÓN Y PRODUCTIVIDAD⁵⁶

La superficie con cereales de invierno (verdeos) supera, en Región Semiárida Pampeana, 2.500.000 hs de las cuales el 88 por ciento tiene como destino la producción de forraje y el 12 por ciento la producción de grano. La influencia de distintas prácticas de manejo (cultivo antecesor, barbecho, cobertura de residuos, labranza conservacionista) sobre el almacenaje de agua y la disponibilidad de nitratos en el suelo, afectan significativamente la producción de grano y forraje de los cereales de invierno, dando lugar a importantes respuestas a la fertilización nitrogenada. Distintas son las causas bajo las cuales es posible obtener respuestas de los verdeos a la fertilización con nitrógeno: **1)** aumentar la producción de materia seca incorporando cultivares de mayor potencial, con una distribución más uniforme de materia seca a través de su ciclo; **2)** estabilizar la producción, reduciendo la variación de la producción de materia seca entre lotes y entre años; **3)** cambios en los sistemas de labranza: condiciones de mayor humedad y menor contenido de nitratos bajo labranza conservacionista dan mayor seguridad de respuesta a la fertilización; **4)** modificaciones en la secuencia de cultivo han acertado el período de barbecho estival y consecuentemente es menor la disponibilidad inicial de nitrógeno; **5)** el incremento de la superficie agrícola ha significado el desplazamiento de la ganadería hacia suelos de menor aptitud, lográndose en estos casos reducir significativamente el costo de la materia seca producida (\$/kg). El aspecto más relevante pero difícil de evaluar a nivel de productor, es el significado aumento que se logra en la eficiencia del uso del agua. La EEA Anguil ha conducido, entre 1991 y 1996, 42 ensayos distribuidos desde el sur de Córdoba hasta Macachín. Los resultados permiten realizar las siguientes consideraciones: - baja disponibilidad de agua en el suelo, presencia de malezas, bajo número de plantas, baja disponibilidad de fósforo condicionan la respuesta al nitrógeno; - los verdeos requieren entre 180 y 240 mm de agua para lograr una buena producción, la cantidad de agua que pudo almacenar el suelo previo a la siembra tiene un efecto significativo sobre la producción de materia seca; - en los suelos que a la siembra de los verdeos poseen contenidos de nitratos inferio-

res a 20 ppm, es posible obtener incrementos significativos de materia seca con el aporte de 40 kg de N por hectárea; - esta fertilización (40 kg N/ha) aumentó la eficiencia de uso del agua: en Macachín de 2,7 a 7,9 kgMS/ha.mm; en Anguil (siembra directa) de 6,9 a 10,2; en Anguil (siembra convencional) de 5,5 a 6,4; en Trebolares (siembra directa) de 5,0 a 12,5; - en lotes con mayor respuesta, el costo de la materia seca se redujo hasta un 60 por ciento respecto del tratamiento testigo; - resultados preliminares muestran respuesta diferencial de la producción de materia seca a distintos fertilizantes nitrogenados.

FERTILIZACIÓN NITROGENADA DEL PASTO LLORÓN Y SU INFLUENCIA SOBRE LOS GASTOS HÍDRICOS⁵⁷

El uso de los fertilizantes en las regiones semiáridas tiene que ser estudiado en relación con los múltiples factores que actúan en ella. Lo suelos de estas regiones son pobres en materia orgánica. Por lo tanto hay que esperar una buena respuesta a la fertilización nitrogenada cuando la humedad del suelo no llega a valores limitantes por largo tiempo.

Desde el año 1971, en la EEA de Anguil, se realizaron ensayos para evaluar la respuesta a la fertilización nitrogenada que puede esperarse en pasto llorón al variar las condiciones climáticas en un suelo arenoso. La fertilización se realizó con la distribución al voleo en dosis de 50 y 100 kg de nitrógeno por hectárea. Para el año 1971 el régimen pluviométrico puede considerarse normal para la región Semiárida (114,5 mm) en el intervalo comprendido entre fertilización y cosecha, en cambio en el año 1972, se puede considerar un año óptimo respecto de éste (384,8 mm). Los incrementos de producción debido a la fertilización fueron grandes en ambos casos. Sólo se notó que con el régimen pluviométrico normal la respuesta a la fertilización fue lineal obteniéndose

56 Quiroga, A. 1997. Verdeos de invierno: fertilización y productividad. "Horizonte Agropecuario". Centro Reg. INTA La Pampa-San Luis. no. 52: 6.

57 Fagioli, M. 1972. Fertilización nitrogenada del pasto llorón para la producción de semilla y su influencia sobre los gastos hídricos del cultivo. "Hoja Informativa EEA Anguil" no. 53:6-7.

los máximos incrementos con la dosis más alta de fertilizante. En el año con buen régimen pluviométrico la producción de las parcelas testigo fue muy elevada pero igualmente la aplicación de 50 kg de nitrógeno por hectárea permitió duplicar el rendimiento. Ante estas respuestas es importante conocer cómo aumenta la evapotranspiración debido a la fertilización. En el año 1971, se pudo observar que las parcelas no fertilizadas gastaron 221,9 mm entre el período de fertilización y cosecha, mientras que el promedio de las parcelas fertilizadas fue de 269,6 mm. El aumento del consumo de agua, debido a la fertilización, fue de 21,5 %. El agua fue extraída a profundidades variables entre 225 y 280 cm, correspondiendo las profundidades menores a las parcelas no fertilizadas. El aumento en los gastos de agua, debido a la fertilización no es muy importante para el balance hídrico, teniendo en cuenta los grandes incrementos obtenidos en la producción de semilla.

SIEMBRA DIRECTA Y FERTILIZACIÓN EN SISTEMAS GANADEROS DE LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA⁵⁸

Parte de los sistemas ganaderos de cría y recría de la región semiárida pampeana se localizan sobre Haplustoles de las unidades cartográficas de Mesetas y Valles y de Mesetas Relictos de relieve plano, con precipitaciones que oscilan entre 450 y 700 mm. Parte de estos suelos fueron puestos a producir a partir de 1927 (col. Ramón Quinta), destinándose principalmente a la producción de trigo y ganadería ovina. A partir de 1955 se incorpora la ganadería bovina, estableciéndose en 1960 las primeras pasturas de alfalfa y a partir de 1964 los verdeos de verano (sorgo) y el pasto llorón. Este periodo se caracterizó por la degradación de los suelos, principalmente disminución en los contenidos de materia orgánica y en la eficiencia en el uso del agua. Como estrategia

58 Vallejo, A.; Souto, R.; Quiroga, A. 2002. "Siembra directa y fertilización en sistemas ganaderos de la región semiárida". Anguil, EEA INTA, Boletín de Divulgación Técnica no. 74, 22 p.

59 Álvarez, C.; Scianca, C.; Peinemann, N.; Quiroga, A. 2005. Efecto del sistema de labranza y fertilización sobre el rendimiento de maíz en molisoles de la región pampeana. En: "VIII Congreso Nacional de Maíz" Noviembre 16-18, 2005, Rosario, Asociación de Ingenieros Agrónomos de la Zona Norte Buenos Aires (AIANBA).

para revertir este proceso se elaboró un programa de experimentación para el mejoramiento de los sistemas de cría. En el marco del mismo, se estableció como objetivo del presente trabajo introducir la siembra directa de cultivos y pasturas y evaluar la respuesta a la fertilización y eficiencia de uso del agua de verdeos (de invierno y verano), trigo y pasturas. La introducción del barbecho químico posibilitó contar con mayor contenido de agua útil a la siembra de los cultivos. Se comprobó la fuerte competencia por agua entre especies cuando se establecen pasturas polifíticas sobre suelos con baja capacidad de almacenaje de agua. A fin de optimizar la productividad de la gramínea, en cuanto al uso del agua, se establecieron pasturas de pasto ovillo puro. Asociado a una mayor disponibilidad de agua, respecto a cuando se lo siembra junto con alfalfa, se comprobó que el periodo de producción se prolongó por más de 45 días generando condiciones para reducir la superficie de verdeos de invierno. La fertilización nitrogenada, tanto en primavera como en otoño, permitió incrementar significativamente la producción de materia seca y los niveles de proteína. De la misma manera, los verdeos de invierno incrementaron la eficiencia de uso del agua desde 6,4 kg/ha.mm en el tratamiento testigo hasta 13,9 kg/ha.mm cuando fueron fertilizados con N y S. En verdeos de verano también se registraron incrementos en la eficiencia de uso del agua del orden del 37%. Los resultados de 5 años de experimentación muestran que el barbecho y control de malezas asociado a la siembra directa y la fertilización generan condiciones para un uso más eficiente del agua, incrementando la producción de forraje (en verdeos y pasturas) y de grano en trigo. Los autores señalan que aspectos como efectos del cultivo antecesor, manejo de la cobertura y uso de los verdeos de verano por parte de la ganadería deberían ser profundizados.

EFFECTO DEL SISTEMA DE LABRANZA Y FERTILIZACIÓN SOBRE EL RENDIMIENTO DE MAÍZ EN MOLISOLES DE LA REGIÓN PAMPEANA⁵⁹

El sistema de siembra directa (SD) modifica el ambiente físico y químico del suelo respecto de los sistemas agrícolas convencionales y a su vez induce modificaciones en la biología del suelo y

en el desarrollo del sistema radicular de las plantas. Los efectos sobre el ambiente edáfico modifican la dinámica de los nutrientes, en especial del nitrógeno (N). Se estableció como objetivo de trabajo evaluar el efecto del sistema de labranza y la fertilización nitrogenada sobre los contenidos de agua, N y el rendimiento de maíz en dos Molisoles diferenciados por el régimen hídrico (Ustol y Udol).

La experiencia fue conducida en dos sitios: **1)** sobre un Hapludol Típico bajo rotación maíz/soja desde 1991, perteneciente al ensayo de labranzas de larga duración de la EEA INTA General Villegas; con precipitaciones promedio de 902 mm y **2)** sobre un Haplustol Entico con secuencia de cultivos Trigo/Verdeo invierno/Soja/Maíz/Girasol, perteneciente al ensayo de larga duración ubicado en Dorila, La Pampa, con precipitaciones promedio de 720 mm. En cada sitio y sistema de labranza (SD y labranza convencional (LC)) se estableció el cultivo de maíz con una densidad de 72.000 plantas/ha, utilizando 2 dosis de N (0 y 100 kg/ha aplicadas al estado de 4 hojas).

A pesar de poseer la misma clase textural, el Udol presentó una mayor diferenciación de horizontes, contenido de MO y capacidad de retención de agua y menor contenido de P. Los resultados muestran que las mayores diferencias en los contenidos de agua se registraron entre sitios, tanto a la siembra como en floración, mientras que el efecto de las labranzas fue menor. La tendencia en ambos sitios fue un mayor contenido de agua bajo SD. Un comportamiento inverso se comprobó en los contenidos de nitratos, donde SD presentó significativamente menor contenido, principalmente en el Ustol, lo cual podría estar relacionado con el menor contenido de MO. Sin embargo estas diferencias entre sitios no se comprobaron en LC. Bajo estas condiciones se registraron diferencias en la evolución del contenido de materia seca (MS), el cual varió no solamente entre suelos sino también entre sistemas de labranzas y por efecto de la fertilización. Los efectos de sitio observados sobre la biomasa también se comprobaron en el rendimiento de grano, con similar rango de variación pero mayor producción en el Udol (6875-12145 kg/ha) que en el Ustol (5244-10237 kg/ha). No se registraron diferencias entre labranzas mientras que la fertilización nitrogena-

da afectó significativamente el rendimiento en ambos sitios. El contenido hídrico del suelo al momento de floración fue mayor en el Udol, sin registrarse diferencias entre sistemas de labranzas. En la región semiárida los rendimientos estarían más limitados por la disponibilidad hídrica temprana condicionando así el número de granos aunque con deficiencias hídricas hacia fines de ciclo también se vio afectado el peso de granos.

AJUSTE DE DENSIDADES EN EL CULTIVO DE MAÍZ TARDÍO EN TRES AMBIENTES DE LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA CENTRAL⁶⁰

La agricultura de precisión ha aportado herramientas mecánicas e informáticas que permiten en la actualidad utilizar dosis variables de insumos en diferentes sectores de un mismo lote de la región semiárida pampeana central. Dentro de las prácticas de manejo variable de insumos, las más difundidas son la variación de semilla que afecta la densidad de plantas y la de fertilizantes que afecta el estado nutricional del cultivo. Esta disponibilidad de tecnología demanda un ajuste de los criterios de manejo buscando mejorar los resultados económicos y productivos en los ambientes de diferente potencial. El objetivo del trabajo fue analizar las densidades óptimas para el cultivo de maíz tardío en diferentes ambientes de la región semiárida pampeana central. La experiencia se realizó sobre un Molisol de la planicie medanosa norte. Se establecieron ensayos de densidades de maíz en 3 ambientes diferentes identificados como L (loma), B (bajo) y BN (bajo con napa). Las densidades fueron de 20, 30, 40, 50 y 75000 plantas/ha. El híbrido utilizado fue LT 624 y la fecha de siembra fue el 10/12/09. El contenido de humedad se determinó a intervalos de 20 cm hasta los 200 cm de profundidad al momento de la siembra, floración y madurez fisiológica.

Se registró una amplia variación (246 a 93 mm) en los contenidos de agua útil (AU) a la siembra como también al momento de floración variando

60 Ghironi, E.; Corró Molas, A.; Alvarez, C. 2010. Ajuste de densidades en el cultivo de maíz tardío en 3 ambientes de la región semiárida pampeana central. En: "IX Congreso Nacional de Maíz" Noviembre 17-19, 2010, Rosario, Asociación de Ingenieros Agrónomos de la Zona Norte Buenos Aires (AIANBA).

de 210 a 20 mm. El rendimiento del cultivo de maíz estuvo condicionado principalmente por el ambiente. Las diferencias en los rendimientos entre ambientes se relacionaron con la disponibilidad de agua útil a la siembra ($p < 0.05$) y en floración ($p < 0.01$). La eficiencia de uso de agua varió entre 15 y 7.6 kg grano/ha.mm. La misma estuvo condicionada negativamente por los contenidos de arena y positivamente por los contenidos de materia orgánica.

Las densidades donde se obtuvieron los máximos rendimientos variaron entre los distintos ambientes. En el ambiente de mayor aptitud productiva (BN) no se observaron diferencias significativas en el rendimiento total para densidades que van desde 30 a 75.000 plantas/ha. En tanto que en los ambientes L y B no se comprobaron diferencias significativas entre las densidades evaluadas.

AJUSTE DE DENSIDADES EN EL CULTIVO DE GIRASOL EN FUNCIÓN DEL AMBIENTE EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA CENTRAL⁶¹

En la región semiárida pampeana central la disponibilidad de agua en cantidad y oportunidad es la principal limitante productiva para los cultivos. Propiedades del suelo como profundidad, textura, posición en el paisaje y presencia de napa determinan importantes diferencias entre ambientes dentro del mismo lote al afectar la disponibilidad de agua para el cultivo. El manejo sitio específico en ambientes de gran variabilidad intra lote permite reordenar espacialmente los recursos para aumentar la eficiencia de uso de los insumos y mejorar el resultado económico de la empresa. En este sentido, se estableció como objetivo de trabajo analizar el rango de densidades óptimas para el cultivo de girasol en diferentes ambientes intra-lote de la región semiárida pampeana central. Se establecieron ensayos de densidades de siembra en ambientes contrastantes identificados como Loma (L) y Bajo (B) previamente georeferenciados en base a relevamiento

61 Ghironi, E.; Corró Molas, A.; Frasier, I. 2010. Ajuste de densidades en el cultivo de girasol en función del ambiente en la región semiárida pampeana central. En: *Artículo de AER INTA Gral. Pico*.

planialtimétrico, análisis de imágenes satelitales y mapas de rendimiento históricos. En cada ambiente dentro de la faja se establecieron micro-parcelas de 4 surcos por 10 m de largo con 3 repeticiones mediante raleo manual de plantas en estado de 2 hojas verdaderas, determinando densidades de siembra desde 15.000 hasta 45.000 plantas/ha logradas. Los híbridos utilizados, uno en cada lote, fueron DK 4200 y CF 31 y las fechas de siembra fueron 1/12 y 2/11/08 en los lotes 23 y 46 respectivamente. El contenido de humedad de los suelos (método gravimétrico) se determinó a intervalos de 20 cm hasta los 200 y 300 cm de profundidad a la siembra y en floración, respectivamente.

Las precipitaciones ocurridas durante los meses de desarrollo del cultivo de girasol (noviembre a febrero) fueron inferiores en un 36% respecto del promedio histórico de la zona (1921-2008) con un aporte de 230 mm durante todo el ciclo y balance hídrico negativo especialmente durante los meses de enero y febrero (floración). Sólo el lote 46 y en el ambiente B contó con el aporte de agua de la napa freática a 3 m de profundidad.

El rendimiento del cultivo de girasol estuvo condicionado principalmente por el ambiente ($p < 0.0001$). Los rendimientos en B resultaron superiores en un 67 y 125 % respecto de la loma para los lotes 23 y 46 respectivamente.

Las diferencias en los rendimientos ajustados entre ambientes están relacionadas a la disponibilidad de agua útil a la siembra y en floración. Estos resultados coinciden con estudios previos que indican estrecha relación entre la capacidad de retención de agua del suelo y rendimiento de girasol en años con escasas precipitaciones en los meses de enero. En densidades desde aproximadamente 15000 a 45000 plantas/ha no se observaron interacciones significativas con la productividad del ambiente.

capítulo.V

Escalas temporales y espaciales amplias, ensayos de larga duración

La intensificación de la agricultura en sistemas mixtos y su expansión en ecosistemas frágiles de las regiones semiárida y subhúmeda pampeana ha intensificado los procesos de degradación de los suelos, manifestándose por un deterioro en las propiedades físicas, pérdida de materia orgánica y alteración del funcionamiento hídrico. En este contexto, los ensayos de larga duración, que acumulan efectos en el tiempo, han sido priorizados por entender que los mismos son: **a)** herramientas valiosas para estudiar y entender procesos, mecanismos y sistemas que se expresan en el mediano a largo plazo; **b)** permiten generar información básica y aplicada, **c)** permiten validar y calibrar modelos de simulación; **d)** dan lugar a la posibilidad de trabajo con enfoque de sistema y a las interacciones inter e intra disciplinarias e institucionales.

Es por ello que en este apartado hemos considerado una serie de contribuciones que analizan la problemática del agua y los efectos del manejo desde una perspectiva más amplia. Por ejemplo, a pesar que la inundación de las cuencas ha sido asociada desde tiempos antiguos a cambios en el uso y cobertura de la tierra, la dinámica de las inundaciones no está todavía adecuadamente comprendida. Con este objetivo, investigadores exploran las relaciones entre lluvias, niveles freáticos y tasas de cultivo con el fin de explicar la dinámica de las inundaciones en tierras cultivables de alto valor económico. Los cambios en el uso de la tierra producen importantes modificaciones en la estructura y funcionamiento de los

ecosistemas. Evidencias en diferentes regiones del mundo tienden a explicar cómo los cambios en la estructura de las comunidades vegetales modifican la dinámica hidrológica de una región. La agricultura es ejemplo de una actividad realizada por el hombre que ha modificado la superficie del planeta, y con ello los regímenes hídricos.

A escala productiva se han realizado importantes avances en el manejo por ambientes. Reconocer y jerarquizar los factores que generan variación de rendimiento es el paso inicial del manejo por ambientes o sitio-específico. Es necesario reconocer si un factor es causa principal de variación, o al igual que el rendimiento, es consecuencia de la influencia de otro factor. En una segunda etapa es necesario categorizar el factor a través de su rango de variación. Es decir establecer categorías para la toma de decisiones. De esta manera la evaluación de propiedades edáficas que resultan más sensibles a los efectos del manejo permiten, respecto de otras propiedades, anticipar el sentido de los cambios ocurridos en los suelos (degradación, conservación o recuperación).

También en sistemas mixtos la calidad del agua puede limitar significativamente la producción. Disponer de información referente a la calidad del recurso agua disponible para el establecimiento de los diversos sistemas productivos, constituye una herramienta estratégica de relevancia. No obstante, no siempre se le presta la atención que merece, puesto que el agua es considerada uno de los principales nutrientes del ganado. Su esca-

sez, así como su mala calidad, constituyen elementos que limitan seriamente el nivel productivo de los animales.

Finalmente es necesaria una mirada de largo plazo, considerando que es probable que el calentamiento global esté alterando los ecosistemas naturales y agrícolas, y provocando una reubicación de algunas de las principales regiones agrícolas y de las áreas geográficas de pastizales y bosques. Más importante que el efecto directo del aumento de la temperatura parece ser la alteración de los patrones de precipitación en regiones donde las lluvias son ya limitativas de la producción agropecuaria. El denominado “cambio climático” es uno de los temas de moda tanto en el restringido ámbito de la investigación científica, como en el menos estricto ámbito de la comunicación pública. Predecir lo que puede ocurrir con el clima ha sido y sigue siendo motivo de desvelos para el hombre.

MANEJO DE SUELOS EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA⁶²

Esta contribución fue realizada a fines de los ochenta y realiza una síntesis de las principales causas de degradación de los suelos en la región. El autor señala que los suelos de la región semiárida pampeana han sido profundamente afectados en su capacidad productiva por el inadecuado manejo al que han sido sometidos. La situación actual indica que más de 500.000 ha se encuentran afectadas por erosión eólica y que la erosión hídrica está aumentando a un mayor ritmo. Suelos de diferentes texturas muestran diferente capacidad de retención de agua, cuanto mayor cantidad de partículas finas (arcilla y limo) posee en suelo, mayor es la capacidad de almacenar agua y mayores los contenidos de materia orgánica que puede alcanzar. Los suelos de la región semiárida pampeana no sólo se encuentran fuertemente influenciados por la proporción de partículas de diferentes tamaños que lo constituyen, sino que el manejo ha influenciado negativamente sobre distintas propiedades edáficas. Resultan valiosos los aportes realizados por distintos investigadores de la región tendientes a identificar y tratar de modificar aquellos factores o cau-

sas que han conducido a la degradación de los suelos. Entre las causas más importantes merecen destacarse: **1)** desconocimiento de la capacidad de uso de los suelos y laboreo de suelos no aptos para la agricultura; **2)** uso de instrumentos de labranza inadecuados. Adopción de tecnología desarrollada para otras zonas; **3)** sobrepastoreo de pasturas naturales y cultivadas; **4)** inadecuado manejo de la cobertura del suelo; **5)** manejo irracional de la deforestación; **6)** época, oportunidad e intensidad de los laboreos y siembras; **7)** legislación, política crediticia y fiscal (falta de orientación hacia sistemas conservacionistas de producción).

Deberán plantearse alternativas de manejo que permitan recuperar parte de la capacidad productiva perdida. En la región semiárida pampeana el manejo debe favorecer la agregación de las partículas y la utilización eficiente del agua edáfica a través de adecuadas rotaciones de cultivos anuales y pasturas perennes, control del pastoreo y empleo de labranza conservacionistas que permitan mantener la cobertura de residuos sobre la superficie de los suelos. Algunas de las prácticas aconsejables: **1)** rotación de cultivos: las pasturas perennes bien establecidas y conducidas que lleguen al cuarto año con adecuada cantidad de plantas permiten mejorar algunas condiciones físicas y químicas de los suelos. Sin embargo en potreros sobrepastoreados prácticamente sin pasturas al tercer año, no se logra influenciar positivamente sobre la estructura y los contenidos de materia orgánica; **2)** manejo de las áreas con bajo potencial: se refiere a sectores de potreros que presentan lomas arenosas o con tosca muy cerca de la superficie y que poseen poca capacidad de producción. Estos sectores deben consolidarse mediante el establecimiento de pasturas perennes y eventualmente intersiembra de leguminosas; **3)** manejo de áreas afectadas por sales: sectores bajos de potreros que por influencia del relieve resultan de difícil recuperación y potreros afectados por las inundaciones que resultan aptos para la realización de cultivos pero que circunstancialmente se encuentra afectado por sales; **4)** cultivos en franjas: consiste en disponer

⁶² Covas, G. 1989. Evolución del manejo de suelos en la región pampeana semiárida. En: “*Primeras Jornadas de Suelos de Zonas Áridas y Semiáridas*”. Mayo 22-23, 1989. Santa Rosa, La Pampa. p 1-11.

en franjas rectas y alternadas distintos cultivos de tal modo que las mismas corten los vientos predominantes y la pendiente del terreno. El ancho de estas franjas es variable y se determina de acuerdo con la textura de los suelos, altura del cultivo y longitud y grado de la pendiente. Es importante planificar la rotación de los cultivos entre y dentro de las franjas; 5) cultivos en contorno: es un sistema por el cual el laboreo y la siembra se realizan cortando la pendiente del terreno, con la finalidad de disminuir el escurrimiento superficial, evitar pérdidas de suelo y lograr una mejor distribución del agua edáfica. Contrariamente en estas prácticas, el productor ha intensificado las labores para la preparación de los suelos, en la mayoría de los casos no considera las pendientes del terreno y utiliza tecnología que en su mayor parte ha sido desarrollada y evaluada bajo condiciones muy distintas de suelo y clima.

CONSERVACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE LOS SUELOS⁶³

La productividad de los suelos puede ser gravemente disminuida por la erosión. Estudios demostraron que los procesos de erosión se han difundido a causa de la utilización para el cultivo de cosecha de tierras no aptas, a causa de la excesiva utilización de cultivos de escarda, del sobrepastoreo y en general del uso de métodos de labranza incorrectos. Muchos son los cambios inducidos en el suelo por la labranza y son dos particularmente importantes: la reducción de la materia orgánica debido a la menor cantidad de residuos devueltos al suelo y a la más rápida descomposición de los mismos, y a la pérdida de la capa más superficial debido a la erosión.

Rotaciones de los cultivos y conservación de la estructura del suelo: Las rotaciones que incluyen cultivos de leguminosas o gramíneas perennes han sido el sistema típico para conservar el suelo, mantener su fertilidad y productividad. Si el suelo no tiene marcadas deficiencias en algunos elementos con las rotaciones pueden obtenerse ren-

dimientos elevados y constantes. Uno de los objetivos más importantes de la rotación tiene que ser el mantenimiento de la buena agregación de la capa superficial del suelo. La labranza es la causa del deterioro de la estructura. Cuando los suelos son arados por primera vez las condiciones físicas son generalmente favorables al crecimiento de las plantas. El agua de lluvia penetra rápidamente en el perfil. El escurrimiento superficial y en consecuencia las pérdidas por erosión son bajas. Distintos estudios muestran la importancia de los cambios que sufren las propiedades del suelo debido a la labranza: resultados indicaron que la parte superior del perfil de un suelo virgen registraba incrementos de la densidad aparente desde 1,13 g/cm³ (condición virgen) hasta 1,28 g/cm³ por efecto de las labranzas, mientras que la porosidad disminuyó desde 57,3 a 47,6 %.

Rotaciones de cultivos y conservación de la fertilidad nitrogenada del suelo: Se estima que todas las leguminosas, cualquiera sea su manejo, son capaces de aumentar o conservar la fertilidad nitrogenada de los suelos. Pero de la bibliografía surge que las leguminosas nodulan bien y fijan activamente el nitrógeno atmosférico solo cuando la fertilidad nitrogenada del suelo es baja. Muy importante es también el manejo del cultivo. Asociado a una mayor producción de las pasturas, mayores son las cantidades de residuos que vuelven al suelo y más fácil es elevar el nivel de fertilidad nitrogenada.

Los niveles de fertilidad nitrogenada logrados con leguminosas, en la región semiárida pampeana, muestran que con un manejo adecuado el cultivo de alfalfa puede elevar o mantener el nivel de nitrógeno Kjeldahl a valores cercanos al 0,14 por ciento. Por otro lado las labranzas y el uso continuado de cultivos de cosecha pueden bajar ese valor a un nivel próximo al 0,07 por ciento. El análisis de los suelos y la determinación de la actividad fijadora de los microorganismos pueden guiar al productor en la toma de decisiones sobre la utilización de los cultivos de leguminosas.

También se ha comprobado que en la consociación de leguminosas con gramíneas estas últimas generalmente aumentan el tenor de proteína. Las gramíneas compiten con las leguminosas por la

63 Fagioli, M; Bono, A. 1982. Conservación de la productividad de los suelos. En: "Informativo de Tecnología Agropecuaria para la Región Semiárida Pampeana" no. 78: s.p.

utilización del nitrógeno disponible en el suelo forzando a estas últimas a utilizar una mayor cantidad de nitrógeno atmosférico. El cultivo de gramíneas y leguminosas ejerce una influencia beneficiosa sobre la estabilidad de los agregados del suelo.

EROSIÓN HÍDRICA EN SUELOS DEL CALDENAL⁶⁴

La erosión hídrica como consecuencia del sobrepastoreo, es probablemente el proceso degradativo más importante de los suelos del Caldenal. Este proceso está relacionado con las características de los suelos y la cobertura vegetal. Las variaciones climáticas estacionales provocan cambios dinámicos en la vegetación y la broza del suelo, afectando las tasas de infiltración y escorrentía.

En este estudio se evaluaron: **a)** la susceptibilidad a la erosión hídrica de dos suelos representativos de la región del Caldenal Pampeano (Haplustol Entico y Ustipsamente Típico), **b)** las pérdidas de sedimentos, nutrientes y agua bajo diferentes porcentajes de cobertura de vegetación y broza, en dos condiciones de humedad de suelo, y **c)** el efecto de las estaciones de verano e invierno sobre la pérdida de suelo y agua.

Los resultados demostraron que a medida que disminuyó la cobertura, se incrementaron el escurrimiento superficial y las pérdidas de sedimentos en ambos sitios. En ausencia de cobertura fueron mayores las pérdidas de suelo en el Haplustol Entico que en el Ustipsamente Típico, mientras que en condiciones de cobertura natural el proceso erosivo fue similar en los dos ambientes. El Ustipsamente sufrió una degradación más rápida que el Haplustol, bajo la condición de suelo desnudo, con un significativo incremento del escurrimiento superficial y pérdida de sedimentos. La pérdida de nutrientes estuvo inversamente relacionada al porcentaje de cobertura del suelo, siendo el carbono orgánico el principal constituyente del suelo afectado por erosión hídrica. En consecuencia, el manejo de la cobertura en los pastizales del Caldenal debe alcanzar un equilibrio entre la optimización de la producción ganadera y la conservación de los recursos agua y suelo, ya que una sobreutilización del

forraje puede desencadenar procesos erosivos irreparables.

TAJAMARES: UNA TECNOLOGÍA ALTERNATIVA PARA LA ZONA ÁRIDA-SEMIÁRIDA DE LA PAMPA⁶⁵

La producción primaria en el oeste y sur de la provincia de La Pampa está limitada fundamentalmente por la disponibilidad de agua. Debido al clima árido-semiárido y a la escasez de recursos hídricos superficiales y subterráneos cuali-cuantitativamente importantes, es necesario buscar alternativas para la obtención y aprovechamiento racional de agua. Una posibilidad frente a este problema es la recolección y almacenamiento de aguas meteóricas en tajamares.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial de captación y almacenamiento de agua pluvial, así como la necesidad de contar con este recurso hídrico alternativo, en las regiones geomorfológicas del oeste y sur de la provincia de La Pampa. Se analizaron variables climáticas, geomórficas e hidrogeológicas; con las cuales se construyó el Mapa de isoyetas y el Mapa de las regiones geomorfológicas ubicadas al oeste de la isolínea de 500 mm de precipitación media anual. Se caracterizaron geohidrológicamente las distintas regiones y se realizó una valoración cualitativa de las mismas en función de los factores físicos del ambiente. La clasificación en orden decreciente de aptitud y necesidad de captación de agua pluvial fue: I) Peneplanicie de Lihuel Cale (buena), II) Planicie de inundación actual (buena), III) Planicie medanosa (regular), IV) Mesetas y depresiones (regular), V) Paleoabanico del río Colorado (regular), VI) Planicie de Chical Co (regular) y VII) Planicie Basáltica (mala). El presente trabajo servirá de base para futuras investigaciones, orientadas a lograr una mayor productividad en la zona con un bajo impacto ambiental, tendientes a un desarrollo sustentable.

64 Adema, E.; Babinec, F.; Buschiazzo, D.; Martín, M.; Peinemann, N. 2003. "Erosión hídrica en suelos del Caldenal". Anguil, EEA INTA. Publicación Técnica no. 53, 34 p.

65 Umazano, A.; Adema, E.; Aimar, S. 2004. "Tajamares: una tecnología alternativa para la zona árida-semiárida de La Pampa" Anguil, EEA INTA. Publicación Técnica no. 56, 52 p.

LABRANZAS EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA CENTRAL⁶⁶

El presente artículo corresponde a un capítulo de libro sobre labranzas en el cual se comparan los efectos acumulados de siembra directa (SD) y siembra convencional (SC) durante 10 años (periodo 1985-1995). Constituye la primera experiencia que evaluó los efectos acumulados de la siembra directa en la región semiárida pampeana central. Los autores señalan, para esa época, que los sistemas de labranza predominantes para la implantación y mantenimiento de los cultivos se basan en la utilización de implementos de discos y arados de reja y vertedera. Como consecuencia de ello, la cobertura vegetal raramente supera el 15%. En los últimos años se han incorporado implementos de labranza vertical y más recientemente la siembra directa de cultivos. En el presente trabajo, realizado en la EEA INTA Anguil, se compararon los efectos de dos sistemas de labranza sobre propiedades de un Haplustol Entico y sobre los rendimientos de trigo y sorgo.

Los resultados muestran que tanto la estabilidad estructural como la proporción de agregados >2 mm fueron significativamente mayores bajo SD. Asociado a ello la pendiente de infiltración acumulada fue mayor en SD, indicando una mayor estabilidad del sistema poroso durante el ingreso del agua al perfil del suelo. En relación con el proceso de erosión eólica, se comprobó que los agregados menores de 84 micrones fueron menores en SD (230 g/kg) que en SC (369 g/kg). Complementariamente se comprobó, mediante test Proctor, mayor susceptibilidad a la compactación bajo SC. La evolución del agua en el suelo mostró mayores contenidos bajo SD, especialmente durante barbechos con menores precipitaciones. En los primeros 5 cm del perfil, SD presen-

66 Quiroga, A.; Monsalvo, M.; Buschiazzo, D.; Adema, E. 1996. Labranzas en la región semiárida pampeana central. En: Buschiazzo, D., ed. et.al "Labranzas en la Región Semiárida Argentina". Santa Rosa, INTA, Centro Reg. La Pampa-San Luís. p. 81-92.

67 Salvador, V. 2010. "Evaluación de la dinámica hidrológica en respuesta a cambios en el uso de la tierra". Tesis de Maestría en Manejo y Conservación de Recursos Naturales para la Agricultura. Área de Ciencias de las Plantas y Recursos Naturales. Mar del Plata, UNMdP. p.v.

tó mayores contenidos de MO, P y Nt y menores valores de pH. Mientras que al considerar 30 cm del perfil no se registraron diferencias entre labranzas en las propiedades mencionadas, poniendo en evidencia que la SD afectó, en una primera etapa, la distribución de nutrientes en el perfil concentrándolos en superficie.

La relación de rendimientos de trigo en monocultura/trigo en rotación resultó decreciente a través de los años, mientras que la relación de los rendimientos siembra directa/siembra convencional resultaron crecientes. Los rendimientos de sorgo no difirieron significativamente entre ambos sistemas de labranza.

EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA HIDROLÓGICA EN RESPUESTA A CAMBIOS EN EL USO DE LA TIERRA⁶⁷

Los cambios en el uso de la tierra producen importantes modificaciones en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas. Evidencias en diferentes regiones del mundo tienden a explicar cómo los cambios en la estructura de las comunidades vegetales modifican la dinámica hidrológica de una región. La agricultura es ejemplo de una actividad realizada por el hombre que ha modificado la superficie del planeta, y con ello los regímenes hídricos. La pradera pampeana ha sufrido en nuestro país, uno de los mayores procesos de expansión de cultivos anuales en las últimas décadas, con un fuerte impacto sobre la estructura y composición de la cubierta vegetal original. Las relaciones entre los cambios en el uso de la tierra ocurridos en la pradera y su hidrología han sido poco estudiadas.

El objetivo de esta tesis fue estudiar el impacto de la cobertura/uso de la tierra sobre la dinámica hidrológica de la región pampeana desde la década del '70 a la actualidad. Las hipótesis que guiaron este trabajo fueron: **a)** a escalas amplias de espacio y tiempo el nivel freático responde principalmente a variaciones en la precipitación, a escalas más acotadas cobra importancia creciente como control el uso de la tierra, **b)** el reemplazo de áreas boscosas, pastizales naturales y pasturas perennes por cultivos anuales reduce la

evapotranspiración, genera un balance hídrico más positivo y eleva el nivel freático a través de una mayor recarga de los acuíferos.

La relación de la cobertura de la tierra y la profundidad del nivel freático se estudió en los biomas de bosque, arbustal, pastizal natural y cultivos de las provincias de La Pampa y San Luis. Al estudiar esta relación se tuvo en cuenta la precipitación media anual y altimetría, como posibles variables direccionales. Mientras que las relaciones entre los cambios en el uso de la tierra, las precipitaciones y el nivel freático se evaluaron en la pradera pampeana a escala espacial (local y regional) y temporal.

Las coberturas difirieron marcadamente en su relación con los diferentes niveles de profundidad del agua subterránea. Los bosques tuvieron más del 80% de su superficie asociada a profundidades del agua subterránea por debajo de los 20 m, mientras que estos porcentajes fueron inferiores en los arbustales (65%), pastizales (20%) y cultivos (18%). La precipitación media anual en cada cobertura fue diferente pero no estuvo asociada a la profundidad del agua subterránea mientras que sí existió una asociación positiva con la elevación del terreno, dónde mayores altitudes tuvieron un nivel freático más profundo.

Por otra parte el estudio de las relaciones en los cambios en el uso de la tierra, precipitación y nivel freático mostró que la precipitación regula la dinámica freática en la pradera pampeana (local y regionalmente). El uso de la tierra mostró una relación inversa con el nivel freático en áreas anegables, dónde la mayor intensidad de uso de la tierra ocurrió en momentos de mayor profundidad del nivel freático. Sin embargo este comportamiento no se replicó en otras áreas de la pradera, donde el aumento de las precipitaciones coincidió con un ascenso del nivel freático y con una mayor intensidad de uso de la tierra. Mientras el aumento de las precipitaciones es un factor directo de ascenso freático, el reemplazo de algunas especies perennes (pasturas y pastizales) por otras de menor consumo (cultivos anuales) habría favorecido una menor evapotranspiración y, como consecuencia de ello, una mayor recarga del agua subterránea.

USO DEL AMBIENTE PARA UNA MAYOR EFICIENCIA DE PRODUCCIÓN⁶⁸

Reconocer y jerarquizar los factores que generan variación de rendimiento es el paso inicial del manejo por ambientes o sitio-específico. Es necesario reconocer si un factor es causa principal de variación, o al igual que el rendimiento, es consecuencia de la influencia de otro factor. En una segunda etapa es necesario categorizar el factor a través de su rango de variación. Es decir establecer categorías para la toma de decisiones. Por ejemplo, si la diferente capacidad de retención de agua (CRA) de los suelos (loma y bajo) de un mismo lote condiciona el rendimiento y el efecto acumulado de diferencias de rendimiento condiciona en el tiempo los contenidos de materia orgánica (diferente fertilidad entre sitios), es posible que también encontremos relación entre contenido de N y rendimiento. Esto nos llevaría a fertilizar diferencialmente con N los ambientes. Sin embargo tanto el rinde como N son consecuencia de variaciones en la CRA, con lo cual el ajuste de la fertilidad nitrogenada, en suelos de menor CRA, no produce necesariamente los efectos esperados. Es decir se identificó el factor y se lo jerarquizó, en este caso agua esta antes que N. Pero esto no basta, es necesario categorizar los niveles de agua disponible estableciendo un valor a partir del cual es más probable la respuesta a la fertilización. Por ejemplo, para verdeos de invierno en el este de La Pampa, es necesario disponer a la siembra de + 80 mm de agua útil en los primeros 140 cm del perfil para decidir una fertilización nitrogenada. Complementariamente debe tenerse en cuenta el perfil hídrico, es decir, como está distribuida la humedad en el perfil del suelo. Los mismos pueden presentar similar contenido de agua útil pero con distinta distribución, lo cual puede dar lugar a variaciones en la respuesta a la fertilización. El ajuste del manejo también requiere del conocimiento de las características del cultivar que se utilizará. Existen importantes diferencias entre especies y entre cultivares dentro de una especie en las curvas de acumulación de

68 Quiroga, A.; Frasier, I.; Saks, M. 2011. Uso del ambiente para una mayor eficiencia de producción. En: *"II Jornada Nacional de Forrajes Conservados..."*, Febrero 24-25, 2011. Manfredi, EEA INTA. p. 51-55.

materia seca (crecimiento). Un verdeo de mayor precocidad requiere inicialmente de más agua y nitrógeno.

Otro aspecto a evaluar, principalmente en sistemas mixtos de regiones semiáridas, son los usos consuntivos simultáneos que tienen lugar bajo pasturas perennes polifíticas. Estudios muestran la importancia que posee este tema en los sistemas ganaderos de cría y recría. Si bien uno de los aspectos buscados en las pasturas polifíticas es el aporte de N de las leguminosas, se comprueba visualmente la fuerte competencia por el agua en estos ambientes semiáridos. La baja capacidad de los suelos para almacenar agua al ser limitados por la presencia de tosca y los altos requerimientos de la pastura determinan que con frecuencia el perfil alcance valores de humedad de punto de marchites. A consecuencia de ello y como un mecanismo de defensa se producen defoliaciones recurrentes dando lugar a una baja disponibilidad de forraje.

EVALUACIÓN DEL APORTE DE DISTINTOS NUTRIENTES SOBRE PROPIEDADES EDÁFICAS Y LA PRODUCTIVIDAD DE LA SECUENCIA TRIGO-SOJA-MAÍZ-SOJA⁶⁹

La producción de cereales y oleaginosos creció notablemente en la última década, en base al incremento del área destinada a agricultura y al aumento de los rendimientos. El proyecto de INTA sobre “Diagnóstico, reposición de nutrientes y tecnología de la fertilización” destaca el notable incremento del consumo de fertilizantes en Argentina, que pasó de 300.000 t en 1990 a 2.500.000 t en 2004. No obstante este incremento, el balance entre los aportes vía fertilización y la exportación con los granos de los principales cultivos indica tan solo una reposición del 45, 25 y 10% para P, N y S, respectivamente. Si bien los rendimientos unitarios aún no reflejan el deterioro de los niveles de fertilidad de los suelos, es de preveer que a corto plazo se verifiquen efectos

69 Quiroga, A.; Fernández, R.; Ormeño, O.; Sack, M. 2007. “Evaluación del aporte de distintos nutrientes sobre propiedades edáficas y la productividad de la secuencia trigo-soja-maíz-soja.” Anguil, EEA INTA. Publicación Técnica no. 69. p. 19-35.

negativos sobre la productividad. Es escasa la información existente sobre reposición de nutrientes y más aún en sistemas mixtos del Oeste de Buenos Aires y del Este de La Pampa, los cuales han experimentado significativos cambios en la secuencia de cultivos. El presente trabajo contiene resultados preliminares de un módulo de larga duración establecido sobre un suelo Hapludol Entico franco-arenoso. El módulo tiene como objetivo determinar potenciales de rendimiento de la rotación trigo-soja-maíz-soja a partir del aporte de nutrientes y de riego complementario, y evaluar los efectos directos y residuales de la fertilización sobre propiedades edáficas.

En general los datos muestran una disminución en los contenidos de fósforo (P) disponible en el tratamiento sin aporte de nutrientes (Testigo), en cambio en los tratamientos fertilizados se observa un incremento en los niveles de P como también de materia orgánica (MO). En cuanto a los rendimientos de los cultivos se comprobó una significativa respuesta al agregado de nitrógeno y fósforo (NP). En cambio el agregado de nutrientes como calcio, potasio, magnesio y micronutrientes, no incidió significativamente en la producción. En trigo la diferencia de rendimiento fue determinada por el aumento del número de granos/m². En el cultivo de maíz el peso de mil granos fue similar entre tratamientos, mientras que el número de hojas activas por planta como el número de granos por espiga, varió significativamente entre el testigo y los tratamientos de fertilización.

Al considerar la producción total del periodo evaluado, por tratamiento de fertilización se comprobó una significativa respuesta al agregado de NP (aproximadamente de 8000 Kg/ha). El agregado de otros nutrientes no incidió sobre los rendimientos, coincidiendo con los niveles adecuados de los mismos al momento de iniciar la experiencia (contenidos de Ca, K, Mg y micronutrientes superiores a valores considerados críticos). En relación con los contenidos de agua del suelo no se registraron diferencias entre tratamientos al considerar los primeros 20 cm del perfil. Sin embargo las diferencias resultaron significativas ($p \leq 0.05$) entre el tratamiento testigo y los tratamientos fertilizados cuando se analizó el contenido de agua hasta 140 cm de profundidad. El

mayor contenido de agua remanente en el suelo en el tratamiento testigo estaría asociado con el menor consumo a partir de un menor número de hojas activas en la etapa reproductiva (anticipado de la senescencia). Esta disminución en la superficie de transpiración que puede darse por reducción del crecimiento foliar y/o aceleración de la senescencia ante un estrés hídrico y/o nutricional disminuye el consumo de agua y puede limitar el rendimiento.

EFFECTOS DE LA FORESTACIÓN SOBRE PROPIEDADES EDÁFICAS DE UN HAPLUSTOL⁷⁰

Durante la última década se ha incrementado el interés por la forestación de tierras agrícolas, ya que dicha práctica ha sido reconocida como un cambio de uso que podría contribuir a mitigar el incremento de CO₂ atmosférico. La implantación de bosques puede incrementar el CO (Carbono Orgánico) especialmente en suelos que han sufrido procesos de degradación por el efecto de labranzas y uso agrícola.

Si bien existe consenso en la bibliografía sobre la mayor acumulación de CO en ecosistemas forestales comparados con agro ecosistemas, la estabilidad del CO secuestrado en sistemas forestales ha sido cuestionada por diversos estudios. Los factores que más influyen sobre el secuestro de C son el tipo de suelo, el uso previo de la tierra, la especie forestal utilizada, el clima y el manejo del sitio.

Por otra parte, en varios estudios se ha evaluado el efecto y la importancia del CO sobre propiedades edáficas, concluyéndose que en general cumple un rol importante en el mantenimiento de las características físicas y químicas del suelo, contribuyendo a su fertilidad. Mientras la mineralización del CO (emisión) contribuye a la liberación de los nutrientes esenciales para la producción de los cultivos, la conservación e incremento de CO (secuestro) resulta clave para el mantenimiento de la condición física de los suelos, con lo cual se podría inferir que dichas propiedades serían dependientes de los factores que afectan la estabilización del C en suelos forestales.

El objetivo del trabajo se relacionó con el efecto que diferentes especies forestales producen sobre algu-

nas propiedades físicas de un Haplustol de la región semiárida pampeana (RSP).

Se evaluaron cuatro especies forestales (Pinus Halepensis con ectomicorrizas (PHM), Pinus Halepensis sin ectomicorrizas (PH), Eucalyptus spp (E), Gleditzia Triacanthos (GT) y Pinus Pinea (PP), las cuales fueron comparadas con un suelo agrícola, de similar composición granulométrica. De los datos obtenidos se pudo apreciar que tanto la calidad, como la cantidad diferencial de CO aportado por las diferentes especies forestales, produjo efectos positivos sobre propiedades físicas del Haplustol bajo estudio. Estos efectos fueron importantes en el caso de GT (especie leguminosa), en PHM (presencia de ectomicorrizas) y en E (mayor aporte de CO). Dichos resultados explicarían los efectos sobre la capacidad de almacenaje de agua de estos suelos. De los resultados obtenidos se concluye que si bien se trabajó con plantaciones de entre 35 y 40 años de edad, solo se encontraron diferencias en los primeros 10 cm del perfil. Estos efectos sobre la distribución del tamaño de agregados y la densidad aparente permiten inferir sobre la significativa influencia que las plantaciones forestales tendrían sobre el régimen hídrico de los suelos, incidiendo en el proceso de captación, almacenaje y consecuentemente uso del agua. Estos aspectos, que además pueden variar en magnitud entre suelos de distintas texturas, deberán ser abordados en futuros estudios.

EFFECTOS DEL SISTEMA DE LABRANZA Y LA GANADERÍA SOBRE PROPIEDADES DE UN HAPLUSTOL ENTICO⁷¹

La evaluación de propiedades edáficas que resultan más sensibles a los efectos del manejo permiten, respecto de otras propiedades, anticipar el sentido de los cambios ocurridos en los suelos (degradación, conservación o recuperación). La

70 Riestra, D.; Quiroga, A.; Noellemeyer, E.; Zalba, P. 2007. "Efectos de la forestación sobre propiedades de un Haplustol de la región semiárida pampeana". Anguil, EEA INTA. Publicación Técnica no. 69. p. 55-64.

71 Quiroga, A.; Fernández, R.; Ormeño, O.; Manera, E.; Fuentes, N. 2007. Efectos del sistema de labranza y la ganadería sobre propiedades de un Haplustol Entico. Anguil, EEA INTA. Publicación Técnica no. 69. p. 3-18

magnitud y oportunidad de estos cambios resulta frecuentemente dependiente de la condición inicial de los suelos y de los efectos de distintos sistemas de labranza y secuencia de cultivos sobre los contenidos de materia orgánica (MO) y propiedades físicas.

El objetivo del módulo de trabajo es evaluar los efectos de dos sistemas de labranzas contrastantes y de la ganadería sobre propiedades de un Haplustol Éntico de la planicie medanosa.

Los mayores contenidos de agua a la siembra de los cultivos correspondieron al sistema de siembra directa. Además los niveles de cobertura en este sistema fueron cercanos al 100 % lo cual, asociado a una modificación en el régimen térmico del suelo e incidencia de la luz, determinó una mayor cantidad de biomasa de malezas en el sistema de siembra convencional. Bajo siembra directa y en el tratamiento sin pastoreo se incrementó la estabilidad estructural y la proporción de agregados menores a 2 mm disminuyó en relación con siembra convencional y pastoreo. Además de una mayor estabilidad estructural se comprueba que el suelo bajo siembra directa sin pastoreo posee una mayor proporción de agregados principalmente en la fracción mayor a 8 mm. Se comprobaron efectos significativos del manejo sobre la densidad aparente máxima del suelo, siendo esta mayor en el sistema convencional, alcanzando para una humedad del 20% una densidad de 1.46 gr/cm³. No se registraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), entre tratamientos con y sin pastoreo. Los contenidos de MO y P resultaron inferiores al nivel inicial en siembra convencional con y sin pastoreo, mientras que la siembra directa pudo mantener dichos niveles iniciales. En SD los contenidos de agua útil, promedios a la siembra de los cultivos (final del barbecho) durante el período 1993-2007, fueron de 106 mm mientras que en LC resultaron de 77 mm. Además, SD registró menor variación entre años en la cantidad de agua acumulada en el perfil. Las principales diferencias se registraron en los primeros 40 cm del perfil, las cuales resultaron alta-

mente significativas entre sistemas de labranzas ($p < 0.0001$). Por otra parte las diferencias también resultaron significativas entre pastoreo y sin pastoreo ($p = 0.03$). Estos cambios positivos en la condición física de los suelos se relacionan con aumentos y/o redistribución de MO en los suelos bajo siembra directa. Contrariamente a lo previsto, y probablemente asociado con una mayor resistencia subsuperficial a la penetración, se registró una menor infiltración del agua en SC.

CARTOGRAFÍA DE AGUA SUBTERRÁNEA PARA USO GANADERO EN LA PAMPA⁷²

Disponer de información referente a la calidad del recurso agua disponible para el establecimiento de los diversos sistemas productivos, constituye una herramienta estratégica de relevancia. No obstante, no siempre se le presta la atención que merece, puesto que el agua es considerada uno de los principales nutrientes del ganado que tiene entre sus funciones el transporte de nutrientes, regular la temperatura corporal, etc. El consumo de agua por parte de los animales, depende de la raza, estado físico, época del año, edad y el tiempo de alimentación entre otros. En general se estima que un animal adulto consume aproximadamente entre un 8 – 10 % de su peso vivo en agua, es decir que una vaca de 420 kg puede ingerir entre 34 y 42 litros por día. Es dificultoso determinar la calidad de agua para bebida de los animales, en virtud de que no se pueden asignar límites absolutos para definir la aptitud de la misma. Su escasez, así como su mala calidad, constituyen elementos que limitan seriamente el nivel productivo de los animales. Llegan a afectar seriamente su estado sanitario e inclusive provocan una disminución del consumo de alimento, pérdida de peso corporal, trastornos digestivos, etc. Una primera aproximación para medir la calidad del recurso disponible, lo constituye la determinación de los Residuos Sólidos Totales (RST). Se debe tener en cuenta que para un diagnóstico más profundo, es imprescindible conocer los elementos que lo componen así como la cantidad de cada uno de ellos. Los RST, se pueden clasificar según ciertos rangos de concentración de sales: 1) menor de 1000 mg/litro (deficiente); 2) de 1000 a 2000 mg/litro (buena a muy buena); 3) de 2000 a

72 Roberto, Z.; Tullio, J.; Malán, J. 2008. "Cartografía de agua subterránea para uso ganadero en La Pampa". Anguil, EEA INTA. Publicación Técnica no. 73, 19 p.

4000 mg/litro (buena a aceptable); 4) de 4000 a 8000 mg/litro (aceptable a mala); 5) de 8000 a 12000 mg/litro (mala a condicionada) y 6) mayor a 12.000 mg/litro (condicionada). Según estos rangos de clasificación, en la provincia de La Pampa, habiendo relevado un 83,2% de la superficie provincial, se pudo establecer que solo 2.897.800 ha (20,2%) presentan agua subterránea de calidad Buena a Muy Buena; 3.479.400 ha (24,3%) es de calidad Buena a Aceptable; 3.106.000 ha (21,6%) es de calidad Aceptable a Mala; 1.435.600 ha (10%) se califica como Mala a Condicional y 1.022.800 ha (7,1%) se califica como Condicionada. Resaltan los Departamentos de Limay Mahuida y Curacó por ser los de mayor superficie que presentan disponibilidad de agua de calidad Condicionada.

Profundidad a Nivel Freático

La profundidad a la que se halla el agua subterránea es muy variable. El 88% de la superficie provincial cuenta con información referente al nivel piezométrico. El 17,15% de la superficie provincial (2.460.000 ha) disponen de agua a una profundidad de hasta 10 metros; el 32,1% (4.600.000 ha) cuentan con agua a una profundidad de entre 10 y 20 metros; el 22,51% (3.230.000 ha) disponen de agua a profundidades que oscilan entre los 20 y 50 metros; el 13,22% (1.897.000 ha) cuentan con agua a una profundidad entre 50 y 100 metros y el 2,3% (325.000 ha) tienen agua a profundidades que superan los 100 metros.

Los Departamentos Puelén, Toay y Conhelo tienen más del 50% de su superficie con napas a profundidades superiores a los 50 metros e incluso superiores a los 100 metros (70%, 50% y 49% respectivamente). Por otro lado, en los departamentos de Realicó, Rancul y Limay Mahuida la profundidad del nivel freático no supera los 20 metros (98%, 66% y 81% de la superficie respectivamente).

LLUVIAS EN LA PAMPA CENTRAL. TENDENCIAS Y VARIACIONES DEL SIGLO⁷³

Dentro de un marco hipotético de ciclos menores anidados en ciclos de mayor duración se analizó el comportamiento pluviométrico regional de

largo plazo. El denominado “cambio climático” es uno de los temas de moda tanto en el restringido ámbito de la investigación científica, como en el menos estricto ámbito de la difusión popular. Predecir lo que puede ocurrir con el clima ha sido y sigue siendo motivo de desvelos para el hombre. Pero los resultados son aún magros. Nuestros modelos climáticos de laboratorio no tienen todavía suficiente precisión para predecir variaciones en el corto plazo (digamos, una semana); consecuentemente, mucho menos aún para anticipar cambios en el mediano o largo plazo (o sea, en años o décadas).

Un interrogante surge en forma permanente: ¿Esta cambiando realmente el clima del planeta? Pero otra pregunta, que pocas veces nos formulamos, tal vez debería considerarse en primer término: ¿El clima del planeta, ha dejado alguna vez de cambiar? Más precisamente, ¿estamos frente a un cambio permanente e irreversible, o frente a una variación cíclica como las muchas que seguramente ha tenido el planeta en su historia? Es necesario poner una cautela especial en torno a las definiciones sobre el tema.

A partir de los hitos se intenta una reconstrucción hipotética de la evolución del régimen pluviométrico desde comienzos del siglo XIX en el Este de la región analizada. Es relativamente corto el período que cuenta con información estadística confiable, razón por la cual lo que no cae dentro de ese período, viene definido por curvas y tendencias probables descriptas por las crónicas históricas, pero no verificables por ahora en términos numéricos. De todas maneras, las ondas pluviométricas (de 70-80 años de duración) parecen ser consistentes con la teoría del péndulo climático. Ellas coinciden con las fases históricas de contracción y expansión de las fronteras del desierto en la región.

Señalamos al comienzo que uno de los grandes desafíos de la ciencia meteorológica es tratar de anticipar escenarios climáticos probables con el fin de facilitar ajustes adaptativos. Las previsio-

73 Roberto, Z.; Casagrande, G.; Viglizzo, E. 1994. Lluvias en la Pampa Central. Tendencias y variaciones del Siglo. Proyecto Nacional sobre “Cambio Climático y Agricultura Sustentable en la Región Pampeana”. Anguil, EEA INTA. Publicación especial no. 2. 25 p.

nes del futuro caen siempre en el campo de la hipótesis. Sin embargo, hay maneras distintas de fundamentar una hipótesis. A veces las hipótesis surgen por una suerte de generación espontánea, otras veces como resultado de experiencias empíricas, y en ocasiones como proyección de resultados obtenidos en estudios previos. Este último cambio es el que hemos seguido. Proyectando datos históricos y estadísticos, es posible proponer al menos dos escenarios probables para las próximas décadas. El primer escenario nos plantea un nivel pluviométrico más o menos equivalente al actual, que sería consistente con una visión de cambio permanente del clima asociado a una consolidación del efecto invernadero. El segundo escenario aparece, en cambio, alineado con un comportamiento pendular del clima regional, según el cual existen ciclos que se repiten, siguiendo a cada fase húmeda una fase seca, y viceversa.

¿Se consolidara la fase húmeda actual en la pampa central, o retornaremos a condiciones más características de un clima semiárido? Los interrogantes van a persistir hasta que se consoliden tendencias en las próximas décadas. No obstante, la segunda aparece como una opción menos propicia para la agricultura regional, y en ella deberíamos concentrarnos para fijar pautas futuras de uso estratégico de las tierras, y de generación o adaptación de tecnologías apropiadas. Quizás pueda ser necesario reflotar principios básicos del denominado modelo productivo del Dryland Farming (manejo de ambientes secos), que hicieron décadas atrás un aporte sustancial al crecimiento del sector rural de la región.

No obstante, se acepta que un siglo de mediciones es un período de tiempo insuficiente para validar un patrón hipotético de comportamiento cíclico, y se requieren en consecuencia más evidencias cuantificables.

74 Viglizzo, E.; Roberto, Z.; Filippín, M.; Pordomingo, A. 1995. Climate variability and agroecological change in the Central Pampas of Argentina. "Agriculture, Ecosystems and Environment" 55: 7-16.

75 Viglizzo, E.; Roberto, Z.; Lértora, F.; López Gay, E.; Bernardos, J. 1997. Climate and land-use change in field-crop ecosystems of Argentina agriculture. "Ecosystems and Environment" 66: 61-70.

VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y CAMBIO AGRO-ECOLÓGICO EN LA PAMPA CENTRAL ARGENTINA⁷⁴

Es probable que el calentamiento global esté alterando los ecosistemas naturales y agrícolas, y provocando una reubicación de algunas de las principales regiones agrícolas y de las áreas geográficas de pastizales y bosques. Más importante que el efecto directo del aumento de la temperatura parece ser la alteración de los patrones de precipitación en regiones donde las lluvias son ya limitativas de la producción agropecuaria. El propósito de este trabajo, que se centra en un tradicional zona semiárida de producción de carne y granos en la Pampa central argentina, fue estudiar los cambios estructurales y funcionales del agro-ecosistema en respuesta a la variabilidad climática en un periodo de 30 años, 1960-1990. Utilizando datos estadísticos de largo plazo, se aplicó un análisis de correlación para estimar el grado de asociación entre los cambios en el uso de la tierra, por una parte, y los cambios en las lluvias, el precio del grano y el rendimiento de los cultivos, por otra parte. El rendimiento de los cultivos fue el resultado de una interacción entre factores climáticos y tecnológicos. El análisis también vincula la variabilidad del clima con los principales factores agro-ecológicos como la hidrología, el flujo de energía y balance de nitrógeno del suelo. Los resultados mostraron que los cambios en el uso de la tierra estuvieron muy correlacionados con el rendimiento de los cultivos, menos correlacionados con la precipitación, y escasamente asociados a precios de los granos. En consecuencia, las estrategias de uso de la tierra deben ser consideradas con cautela, especialmente en los ambientes semiáridos durante los períodos climáticos favorables. Las mismas condiciones que favorecen el cultivo en estos ambientes, puede poner en riesgo la sustentabilidad de largo plazo de la agricultura de bajos insumos.

CAMBIOS EN EL CLIMA Y EL USO DE LA TIERRA EN ECOSISTEMAS AGRÍCOLAS DE LA ARGENTINA⁷⁵

En consonancia con una tendencia mundial, los registros estadísticos en la Pampa argentina

muestran que las tierras de cultivo aumentaron considerablemente en el siglo pasado, a expensas de los espacios naturales. Sin embargo, se sabe poco sobre los factores que causaron este comportamiento. Nuestra hipótesis fue que el clima fue el principal factor asociado con cambios en el uso de la tierra en una escala alta de tiempo y espacio, pero existen también otros factores a ser considerados en escalas decrecientes.

Los objetivos de este trabajo fueron (a) estudiar la dinámica del clima y del uso de la tierra en el siglo pasado en la llanura pampeana, (b) cuantificar el impacto del clima sobre los cambios en el uso de la tierra, y (c) discutir la aplicabilidad de los resultados para orientar las estrategias de adaptación en el uso de la tierra.

Una amplia transecta fue analizada a lo largo de un gradiente de precipitación de largo plazo para caracterizar distintos ambientes agro-ecológicos a través de la región en estudio. Se utilizaron diferentes fuentes de datos estadísticos y de investigación, y se aplicó un modelo sencillo de análisis de regresión simple con modelos lineales y no lineales. Los resultados sugieren que es necesario revisar la hipótesis original.

En ambientes húmedos, el grado de asociación entre el clima y el cambio de uso de la tierra a lo largo del tiempo fue alto, pero esta asociación se redujo en la transición desde las zonas húmedas a las semiáridas. Esto sugiere que otros factores no climáticos, como la tecnología, podrían también explicar una parte considerable de la variabilidad del uso de la tierra. Por otra parte, la asociación entre el clima y uso de la tierra fue muy baja a través de una escala geográfica amplia dentro de un período acotado de tiempo. De esta manera, se puede concluir que la asociación clima-uso de la tierra parece ser sitio-específica y tiempo-dependiente, validando sola parcialmente nuestra primera hipótesis. No obstante, estos resultados son útiles para orientar el uso del suelo estrategias de adaptación ante posibles cambios en el escenario climático.

INTERACCIONES ECOLÓGICAS, RETROCONTROLES, UMBRALES Y COLAPSOS EN LAS PAMPAS ARGENTINAS EN RESPUESTA AL CLIMA Y LA AGRICULTURA DURANTE EL ÚLTIMO SIGLO⁷⁶

Las Pampas Occidentales conforman un enorme y complejo sistema de dunas que se originó durante las últimas glaciaciones del Pleistoceno y fue redimensionado durante los últimos episodios de desertificación. Los humanos colonizaron la región durante el último siglo, pero su acción fue lo bastante poderosa para producir dos grandes eventos catastróficos opuestos: uno durante la primera mitad, y otro durante la segunda mitad del siglo 20. La deforestación, el sobre-pastoreo, el sobre-laboreo y uso de labranzas agresivas interactuaron desfavorablemente con un clima seco y ventoso y desencadenaron un severo episodio de “dust-bowl” durante las décadas de 1930 y 1940, caracterizado por fuertes tormentas de arena, mortalidad de hacienda, pérdida de cosechas, bancarrota de productores y migración rural.

Durante la segunda mitad del siglo, el mejoramiento de las condiciones climáticas favoreció la conversión de tierras abandonadas en tierras de pastoreo y cultivo. Pero al mismo tiempo, ocurrieron episodios recurrentes de inundación durante las décadas de 1970, 80 y 90, que fueron muy severos en la denominada baja cuenca del Río Quinto (NO de Buenos Aires). La configuración de las dunas respecto a las pendientes y la insuficiencia de una infraestructura de canales impidieron la remoción de agua y favoreció la acumulación. Las altas tasas de cultivo durante la década de 1990 incrementaron la severidad de las inundaciones durante ese período húmedo. Estas dos catástrofes ecológicas fueron el resultado de una compleja interacción que involucró la configuración geológica, la variabilidad climática y la intervención humana. El sobre-cultivo de la región probablemente superó ciertos umbrales críticos y disparó la emergencia de ambos eventos (el

76 Viglizzo, E.F.; Frank, F.C. 2006. Ecological interactions, feedbacks, thresholds and collapses in the Argentine Pampas in response to climate and farming during the last century. *“Quaternary International”* 158: 122-126.

“dust-bowl” y las inundaciones). Por otro lado, algunos mecanismos naturales de retro-control fueron probablemente activados y facilitaron una estabilización y posterior recuperación de las tierras afectadas.

LA DINÁMICA DEL CULTIVO Y LAS INUNDACIONES EN TIERRAS DE CULTIVO DE LA ARGENTINA CENTRAL⁷⁷

A pesar que la inundación de las cuencas ha sido asociada desde tiempos antiguos a cambios en el uso y cobertura de la tierra, la dinámica de las inundaciones no está todavía adecuadamente comprendida. En este trabajo exploramos las relaciones entre lluvias, niveles freáticos y tasas de cultivo con el fin de explicar la dinámica de las inundaciones en tierras cultivables de alto valor económico de la llamada cuenca del Río Quinto en el centro de Argentina. El estudio involucró una superficie de 12,4 millones de hectáreas durante un período de 26 años consecutivos (1978-2003). Utilizando información de censos y encuestas, mediciones de campo y estimaciones de imágenes satelitales, exploramos correlaciones entre precipitaciones, niveles freáticos, áreas inundadas y usos de la tierra. La extensión de las inundaciones fue asociada a la dinámica freática de la región. En tanto no se registró una correlación significativa entre freaticimetría y lluvias en las tierras bajas de la cuenca, se encontró una correlación muy significativa ($P < 0,01$) entre ambas variables en la alta cuenca, aunque con un retraso de un año. Las correlaciones entre el nivel freático y la extensión de las inundaciones fueron positivas en todos los casos, pero mientras éstas fueron muy significativas ($P < 0,01$) en las tierras altas, en las tierras bajas abundaron las correlaciones no significativas ($P > 0,05$). Nuestro análisis argumenta la existencia de un mecanismo cíclico en la alta cuenca generado por una influencia recíproca entre tasa de cultivo y nivel freático. Este

77 Viglizzo, E.; Jobbágy, E.; Carreño, L.; Frank, F.; Aragón, R.; De Oro, L.; Salvador, V. 2009. The dynamics of cultivation and floods in arable lands of Central Argentina. *“Hydrology and Earth System Sciences”* 13: 1-12.

78 Aragón, R.; Jobbágy, E.; Viglizzo, E. 2010. Surface and groundwater dynamics in the sedimentary plains of the Western Pampas (Argentina). *“Ecohydrology”* no 3. (en prensa)

ciclo involucraría las siguientes etapas: (a) el cultivo anual de la tierra determina una menor evapotranspiración que favorece la elevación freática, (b) cuando el nivel freático asciende, la inundación se extiende y provoca una caída del cultivo de tierras, (c) la inundación invierte la relación hídrica y causa una mayor evaporación, favoreciendo su propia retracción, (d) al retraerse el área inundada, el cultivo de la tierra se expande nuevamente. De esta manera, la expansión de los cultivos dispararía un retro-control (feedback) desestabilizante que auto-afectaría al propio cultivo. Este mecanismo que parece operar claramente en la alta cuenca, difícilmente opere de igual manera en la baja cuenca (la más afectada por las inundaciones). Los resultados sugieren que más que una respuesta directa y única a un mismo mecanismo, la inundación de las tierras bajas de la cuenca pueden ser causadas por una combinación de varios factores que incluyen la precipitación local, las fluctuaciones freáticas, los flujos laterales superficiales y sub-superficiales de agua y la interconexión entre los cuerpos de agua. A pesar que estos mecanismos hipotéticos requieren un esfuerzo adicional de interpretación, los mismos abren una línea prometedora de manejo ambiental en la cual el área cultivada podría ser manipulada para atenuar los impactos indeseables de las inundaciones.

DINÁMICA DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA EN LA PLANICIE SEDIMENTARIA DE LA PAMPA OCCIDENTAL, ARGENTINA⁷⁸

Las llanuras sedimentarias con topografía muy plana, como las Pampas en Argentina, a menudo muestran ciclos de sequía e inundaciones. Los cambios en la profundidad del nivel freático y la cobertura de agua superficial afectar a la vegetación natural y cultivada, la vida silvestre, y la gente. A continuación, se describe la dinámica de las aguas subterráneas y la expansión de los cuerpos de agua en un ciclo de inundaciones de 10 años en tierras de alto valor agrícola de la pampa occidental. Se analizó la profundidad freática, la cobertura de agua superficial, y las precipitaciones entre 1996 u 2005 sobre una superficie de 28 000 km². Se caracterizó la dinámica de almacenamiento de agua en base a observaciones de

aguas subterráneas y estimaciones de detección remota de la cobertura (LANDSAT) y elevación (ENVISAT) de los cuerpos de agua, así como anomalías de almacenamiento de agua captada a través del sistema GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment). La cobertura del agua en superficie fluctuó 3-28% y los niveles de agua subterránea oscilaron entre 2 y 5 m. El almacenamiento regional de agua alcanzó 800 mm, de los cuales un 63% correspondió a las aguas subterráneas. La dinámica del agua superficial y subterránea estuvo altamente interrelacionada, pero éste vínculo fue diferente en las tierras bajas y altas de la cuenca analizada, dependiendo si el sistema hídrico se encontraba en una fase de ganancia o retracción. Este comportamiento asimétrico fue probablemente causado por cambios en la conectividad regional. Las estimaciones de agua superficial + agua subterránea ajustan bien con las estimaciones que surgen de aplicar el sistema GRACE, lo cual sugiere que esta herramienta puede representar un atajo metodológico para calcular las variaciones de almacenamiento de agua. La alta conexión entre aguas subterráneas y superficiales, y el proceso relativamente lento de incremento en la acumulación de aguas y conexión entre cuerpos de agua que preceden a las grandes inundaciones, ofrecen la oportunidad de desarrollar sistemas de alerta temprana que favorecen políticas de adaptación a los cambios climáticos.

EL AGRO, EL CLIMA Y EL AGUA EN LA PAMPA SEMIÁRIDA⁷⁹

En este trabajo se analizan las complejas relaciones que existen entre el clima, el agua y la producción agropecuaria en la región pampeana semiárida. Las evidencias que provienen de registros pluviométricos, de relatos de viajeros y de estudios dendro-climatológicos parecen indicar que las lluvias en la región tienen un comportamiento cíclico en el cual se alternan, en períodos de 60 a 80 años, fases de sequía y exceso hídrico. Este comportamiento parece guardar alguna asociación significativa con la denominada Oscilación Decádica del Pacífico (ODP), que podría estar influyendo en las lluvias de la región y convertirse en un instrumento de predicción valioso para anticipar cambios de largo plazo. Las evidencias

actuales parecen indicar que la región estaría ingresando en una nueva fase de restricción o descarga hídrica, lo cual impone revisar los paradigmas productivos y tecnológicos que dominaron durante el período húmedo que signó el clima regional durante las décadas de 1960 a 2000. Este cambio de paradigma implicaría estrategias de largo y mediano/corto plazo, en el cual la ganadería podría ser revalorizada y la agricultura tendría características adaptativas vinculadas a la emergencia ocasional de episodios de El Niño.

79 Viglizzo, E. 2011. "El agro, el clima y el agua en la Pampa Semiárida: Revisando paradigmas". Publicación especial sobre Producción Agropecuaria en la Región Pampeana Semiárida de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria de la Argentina. (en prensa)

referencias bibliográficas

de libros o capítulos de libros que tratan distintos aspectos de la gestión del agua y cuyos resúmenes, por su extensión, no han sido incluidos en esta publicación.

- Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria; Universidad Nacional de La Pampa; Gobierno de La Pampa. 1980. *“Inventario integrado de los recursos naturales de la Provincia de La Pampa. Clima, Geomorfología, Suelo y Vegetación”* Buenos Aires. 492 p., ilus. y col. mapas.
- Buschiazzo, D.; Aimar, S.; Quiroga, A. 2008. El agua del suelo. En: Golberg, A. D y Kin A. G, ed. *“El agua: de la molécula a la biosfera”*. Santa Rosa: Base 1. p. 63 -74.
- Golberg, A.D.; Kin, A.G. 2003. *“Viento, suelo y plantas”*. Buenos Aires, Ediciones INTA. 130 p.
- Golberg, A.D.; Ruiz, M.A.; Quiroga, A.; Fernandez, O.A. *“¿Que Le sucede a um cultivo cuando no llueve?”* Anguil, EEA INTA. 90 p.
- Panigatti, J.L.; Buscchiazzo, D.; Marelli, H. ed. 2001. *“Siembra Directa II”* Buenos Aires, Ediciones INTA. 377 p.
- Panigatti, J.L.; Marelli, H.; Buscchiazzo, D.; Gil, R. ed. 1998. *“Siembra Directa”* Buenos Aires, SAGyP, INTA, Hemisferio Sur. 333 p.
- Quiroga, A.; Bono, A. ed. 2007. *“Manual de fertilidad y evaluación de suelos”*. Anguil, EEA INTA. Publicación Técnica no. 71.104 p.
- Quiroga, A.; Casagrande, J.; Colazo, J. ed. 2009. *“Aspectos de la evaluación y el manejo de los suelos en el este de San Luís”*. Villa Mercedes, EEA INTA San Luis. Información Técnica no. 173. 65 p.
- Quiroga A.; Fernández, R.; Funaro, D.; Peinemann, N. 2008. Materia orgánica en Molisoles de la región semiárida pampeana. Influencia sobre propiedades físicas y productividad. En: Galantini, J.A. ed. *“Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina”*. Bahía Blanca, Universidad Nacional del Sur. p. 97-116.
- Quiroga, A.; Fernández, R.; Ormeño, O.; Frasier, I. 2010. *“Consideraciones sobre el manejo del agua y la nutrición en trigo. Producción de trigo en la región semiárida y subhúmeda pampeana”*. Ed.: A. Quiroga, A. Bono, I. Frasier. Anguil, EEA INTA. Publicación Técnica no. 79. p. 41-46.
- Quiroga, A.; Ormeño, O.; Adema, E.; Babinec, F. 1998. Manejo del agua del suelo para el cultivo de trigo. Contribución de la siembra directa en la región semiárida pampeana. En: *“Actualización. Técnica del cultivo del trigo en la provincia de La Pampa”*. Ed. Anguil, EEA INTA. Boletín de Divulgación Técnica no. 58. p. 26-35.
- Quiroga, A.; Ormeño, O.; Jouli, R.; Ávila, F. 2002. *“Sistemas de labranza en el cultivo de Girasol”*. Buenos Aires. Hemisferio Sur. Cap. 10:165-180.
- Quiroga, A.; Ormeño, O.; Peinemann, N. 1998. Efectos de la siembra directa sobre propiedades físicas de los suelos. En: *“Siembra Directa”*. Buenos Aires. SAGyP, INTA, Hemisferio Sur. P. 237-244.
- Quiroga, A.; Pérez Fernández, J. ed. 2008. *“El cultivo de girasol en la Región Semiárida Pampeana”*. Anguil, EEA INTA. Publicación Técnica no. 72. 112 p.