

ACADEMIA NACIONAL
DE AGRONOMIA Y VETERINARIA

Buenos Aires

República Argentina

Acto de Incorporación
del
Académico Correspondiente
Ing. Agr. León Nijensohn

Discurso de Recepción por el Académico de Número Ing. Agr.
Manfredo A. L. Reichart.

Conferencia del Académico Correspondiente Ing. Agr. León
Nijensohn sobre: "Algunos Enfoques Conceptuales y Logros
Experimentales en la Problemática Edafológica de la Agri-
cultura Regadía".



Sesión Pública del
26 de Junio de 1978

ACADEMIA NACIONAL DE AGRONOMIA Y VETERINARIA

Fundada el 16 de octubre de 1909

Arenales 1678 Buenos Aires

MESA DIRECTIVA

<i>Presidente</i>	Dr. Antonio Pires
<i>Vicepresidente</i>	Ing. Agr. Gastón Bordelois
<i>Secretario General</i>	Dr. Enrique García Mata
<i>Secretario de Actas</i>	Dr. Alfredo Manzullo
<i>Tesorero</i>	Ing. Agr. Eduardo Pous Peña
<i>Protesorero</i>	Dr. Oscar M. Newton

ACADEMICOS DE NUMERO

Dr. Héctor G. Aramburu
Dr. Alejandro C. Baudou
Ing. Agr. Gastón Bordelois
Ing. Agr. Juan J. Burgos
Ing. Agr. Ewald A. Favret
Dr. Enrique García Mata
Dr. Mauricio B. Helman
Ing. Agr. Diego J. Ibarbia
Ing. Agr. Walter F. Kugler
Dr. Alfredo Manzullo
Ing. Agr. Ichiro Mizuno
Dr. José Julio Monteverde
Dr. Oscar M. Newton
Dr. Antonio Pires
Ing. Agr. Eduardo Pous Peña
Dr. José María Rafael Quevedo
Ing. Agr. Arturo E. Ragonese
Dr. Norberto Ras
Ing. Agr. Manfredo A. L. Reichart
Ing. Agr. Enrique M. Sivori
Ing. Agr. Alberto Soriano
Ing. Agr. Santos Soriano
Dr. Ezequiel C. Tagle

ACADEMICO EMERITO

Dr. Emilio Solanet

ACADEMICO HONORARIO

Ing. Agr. Dr. Norman E. Borlaug

ACADEMICOS CORRESPONDIENTES

Dr. Telésforo Bonadonna (Italia)
Dr. Felice Cinoti (Italia)
Ing. Agr. Guillermo Covas (Argentina)
Ing. Agr. Antonio Krapovickas (Argentina)
Ing. Agr. León Nijensohn (Argentina)
Ing. Agr. Jorge A. Luque (Argentina)
Ing. Agr. Armando T. Hunziker (Argentina)
Ing. Agr. Ruy Barbosa P. (Chile)
Dr. Carlos Luis de Cuenca (España)

ACADEMICOS ELECTOS

Ing. Agr. Juan H. Hunziker

CONFERENCIA DE INCORPORACION DEL ACADEMICO CO-
RRESPONDIENTE LEON NIJENSOHN SOBRE ALGUNOS
ENFOQUES CONCEPTUALES Y LOGROS EXPERI-
MENTALES EN LA PROBLEMATICA EDAFO-
LOGICA DE LA AGRICULTURA REGADIA

Señor Presidente de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria,
Señores Presidentes de Academias y Representantes de Instituciones,
Señores Académicos, Colegas,
Señoras y Señores:

Antes de comenzar el desarrollo de mi tema específico, permítame expresar el sentimiento de modesto orgullo —valga la aparente paradoja— con que ocuparé la tribuna de esta tradicional y eminente Institución de la Ciencia Agropecuaria Argentina, y mi emocionada gratitud a su Presidente y miembros de número por haber decidido mi incorporación como Académico correspondiente.

El acierto y justicia que esto pueda significar no lo considero como una pura distinción individual, que desde ya comparto con la compañera de mi vida sin cuyo aliento y comprensión lo poco que he hecho no hubiera sido posible, sino como una integración a esta Academia, y por mi intermedio, del importantísimo polo de actividad agraria significado por los oasis regadíos del árido Oeste Cuyano, con su tremenda capacidad creadora y su significativa contribución a la economía nacional.

No sólo la investigación científica ha demostrado que la agricultura bajo riego ha estado vinculada desde tiempos remotos a los grandes centros que dejaron sus huellas en la historia de la civilización, sino que de acuerdo a las antiquísimas tradiciones que recogen nuestras fuentes judeo-cristianas, fue esa la primera actividad agrícola que marcó su impronta en la memoria de la humanidad.

En efecto, en el capítulo con que se abre la Biblia, se relata el comienzo de todas las cosas como una serie de actos de voluntad divina: “En el principio *creó* (bará) Dios... etc.”, pero en el capítulo segundo del Génesis, es el mismo Ser Supremo quien se transforma en agricultor: “Y *plantó* (va’itá) Dios un huerto en Edén...”, y no un agricultor a merced de las lluvias, sino uno de riego: “Y un río salía de Edén *para regar* (l’ashkot) el huerto...”

¿Cómo entonces podría faltar la agricultura de riego, con algunos de sus logros y problemas, en la Academia Nacional?

Por último, agradezco la excesiva generosidad del Académico Reichart por sus conceptos al presentarme. Ellos me llegan más hondo por provenir de quien con toda justicia puede calificársele como uno de los pioneros de la Ciencia del Suelo en el país y a quien desde el comienzo de mi carrera tuve como digno ejemplo de emulación.

A él, a mis eminentes colegas y a todos ustedes que tienen la gentileza de acompañarme en este Acto: ¡Muchas gracias!

A. INTRODUCCION

En calidad de conceptos liminares de esta exposición, creemos oportuno justificar brevemente su tema central y situarlo dentro del polifacético panorama que el suelo ofrece a la investigación y al examen crítico para luego desarrollar, con la obvia limitación impuesta por el tiempo disponible, algunos de sus aspectos más importantes.

De acuerdo a ese planteo nos propondremos:

a) Ubicar a la investigación edafológica en general, y a la vinculada con la agricultura de riego en especial, como actitudes particulares dentro de las posibles en el amplio marco de la Ciencia del Suelo.

b) Señalar las relaciones entre las características de la agricultura regadía y la orientación y rasgos distintivos de la investigación y experimentación edafológica que se lleva a cabo dentro de ella.

c) Reseñar, dentro de su temática, algunos puntos vinculados directamente con nuestra experiencia personal y la del equipo integrante del Instituto de Suelos y Riego de la Universidad de Cuyo.

d) Sugerir condiciones que permitirían aumentar la eficiencia de la investigación edafológica y de la extensión de sus resultados en las áreas de riego argentinas.

B. UBICACION DE LA INVESTIGACION EDAFOLOGICA DENTRO DE LA CIENCIA DEL SUELO

El suelo es un ente natural, complejo por excelencia. En su composición y dinámica concurren y se interaccionan fenómenos de tipo físico y biológico que condicionan equilibrios desplazables por la variación de factores tanto intrínsecos como extrínsecos. De hecho, sin ser el suelo un ser vivo en el estricto sentido de la expresión, presenta infinitas individualidades que están conformadas por la diversidad de las sustancias orgánicas e inorgánicas que lo componen, por la multiplicidad en cantidad y calidad de los organismos que forman parte

de él, o enraizan en él, y por las interrelaciones de todos ellos entre sí y con el medio externo.

Es por ello comprensible que el suelo haya sido, y sea, un importante objeto parcial de investigación para físicos, químicos, biólogos, mineralogistas y geógrafos, que encuentran en él múltiples incógnitas en la solución de las cuales ejercitar la metodología propia de cada una de dichas ciencias. Frecuentemente, aunque no siempre, este tipo de investigación fundamental pertenece a la así llamada "Ciencia Pura", pues está movida por el solo deseo del conocimiento por sí mismo. Su "leitmotiv" puede no estar subordinado, en principio, a intereses prácticos, y, por lo tanto, su temática no tiene por qué depender de otras consideraciones que no sean las de la noble curiosidad del hombre de ciencia.

Como resultado de esa actividad investigadora que se ejerció y ejercita con independencia de consideraciones utilitarias, la Ciencia del Suelo como totalidad ha ido recibiendo aportes de inestimable valor, que al ir iluminando aspectos parciales van contribuyendo al mejor conocimiento de la naturaleza del comportamiento del suelo en su integridad.

De ese carácter son, por ejemplo, las investigaciones relativas a la estructura de las arcillas, o a la de las sustancias húmicas, o a las leyes que rigen los fenómenos de intercambio iónico, o los estudios de transmisión de fluidos, o los del metabolismo de la flora microbiana.

Pero también dentro de la Ciencia del Suelo puede existir un enfoque pragmático en la fijación de los objetivos de su investigación, enfoque que de ninguna manera está reñido con el de la "Ciencia Pura", pero que se siente comprometido con las exigencias de la realidad económica-social que caracteriza el ámbito de trabajo del investigador y busca, en última instancia, contribuir al mejoramiento del nivel de vida de la sociedad humana que lo circunda. Esta concepción, a la que le conviene el calificativo de *edafológica*, se distingue porque su sujeto es el suelo en la totalidad de sus aspectos que lo hacen un factor fundamental en la producción agropecuaria y porque debe, para ser eficiente, responder en el espacio y en el tiempo a las características vinculadas con ella.

Dentro de dicha actividad agraria en general, donde el suelo constituye un elemento básico de productividad, la *agricultura bajo riego* presenta rasgos propios e implica condiciones lo suficientemente específicas como para determinar una problemática edafológica peculiar, que es la que trataremos de precisar a continuación.

C. CARACTERISTICAS DE LA AGRICULTURA REGADIA Y SU INFLUENCIA EN LA ORIENTACION DE LA INVESTIGACION EDAFOLOGICA

a) Las ingentes inversiones significadas por el costo de las obras hidráulicas necesarias para la captación, almacenaje, regulación, conducción y entrega del agua; por la sistematización de los terrenos; así como los considerables insumos que requiere el sistema para su operación dentro y fuera del predio y, por sobre todo, el carácter limitado del recurso hídrico en sí o de los suelos que pueden beneficiarse con él, determinan una diferencia fundamental entre la agricultura de riego y la lluvia. Mientras esta última puede, hasta cierto punto, satisfacerse con niveles mediocres de productividad, la rentabilidad individual y social de la agricultura intensiva regadía depende del logro de elevados índices de rendimiento, referidos ya sea a la unidad de superficie o de agua utilizada, según cual de ellos sea el factor más crítico.

Es por eso que la explotación agrícola bajo riego, en su concepción moderna, se asimila en su planteo y conducción al de una empresa industrial en un medio muy competitivo, en la que se busca optimizar todos los factores de producción. Entre ellos está precisamente el suelo.

b) El carácter especializado de la agricultura de riego en la obtención de productos agrícolas de alto valor bruto por unidad operativa, permite y justifica la adopción de tratamientos que podrían ser excesivamente onerosos en la agricultura extensiva. Por consiguiente, la investigación edafológica en vez de encontrarse limitada en sus proyecciones prácticas por barreras económicas que estrechan su horizonte, se ve estimulada a desarrollarse libremente en caminos que desembocan en el empleo de fertilizantes, correctores, acondicionadores sintéticos de estructura, técnicas especiales de laboreo, métodos y prácticas mejoradas de riego, empleo de instrumental de control, etc.

Quizás con alguna exageración, pero con no poco de verdad dentro de la simplificación en que deliberadamente incurrimos, se podría formular la existencia de dos orientaciones dentro de la investigación edafológica. Una de ellas, la que corresponde a las características de la agricultura extensiva tradicional, es *conservadora*, en cuanto tiende básicamente a *preservar el recurso* suelo, evitando su deterioro, a retener en él la máxima cantidad de agua de lluvia, donde ella es crítica, y, en el mejor de los casos, a mejorarlo paulatinamente a través de prácticas culturales que no impliquen insumos materiales o humanos excepcionales.

La otra en cambio, la que responde a las necesidades de la agricultura intensiva, que en su máxima expresión es la de riego, es una orientación calificable de *transformadora*, en cuanto sus objetivos no se conforman con la conservación y mejoramiento gradual de los recursos de agua y suelo, sino que pretende encauzarlos lo más rápidamente posible hacia condiciones que los optimicen como factores productivos.

c) La estructura técnico-económico-social de la agricultura bajo riego posibilita la formación de un agricultor progresista, ambicioso, de mentalidad empresaria y, por lo tanto, permeable al consejo surgido del conocimiento profesional, de la demostración experimental o de la investigación especializada. Esto implica condiciones propicias para el desarrollo potencial del asesoramiento agronómico intensivo a nivel de predio, el que para ser eficiente y cumplir con las expectativas creadas debe ser apoyado por una labor de investigación apropiada, dirigida a responder a la exigencia de los profesionales llamados a desempeñar dicha función de asesoramiento.

d) Las condiciones geomorfológicas y climáticas asociadas a las áreas de agricultura de riego determinan la predominancia en ellas de suelos sin mayor desarrollo genético (Entisoles y Aridisoles). Esto implica la subsistencia de la heterogeneidad inicial ligada a los factores: naturaleza del material originario, topografía y dinámica de la sedimentación.

A esto se agregan modificaciones resultantes del manejo del riego y de la calidad de las aguas usadas, así como rasgos peculiares originados por la influencia de niveles freáticos más o menos próximos a la superficie. Todo ello, —y a diferencia de los suelos de las regiones húmedas donde los factores climáticos de edafización condicionan procesos que los tipifican, uniformando sus características en extensas unidades de paisaje— determina que la regla general en los suelos regadíos sea la de encontrar pronunciadas diferencias puntuales en distancias cortas. La metodología para el correcto diagnóstico de esas diferencias, el desarrollo de los criterios para evaluar su gravitación en la productividad, y la formulación de las normas de manejo más apropiadas en cada caso, forman parte de los objetivos de la investigación edafológica en la agricultura de riego.

e) Lo manifestado en los puntos anteriores puede condensarse expresando que la orientación general de la investigación edafológica en la agricultura regadía es la de buscar la optimización del factor suelo dentro de un complejo productivo donde *el agua ya no es un componente aleatorio* sino, una *variable dependiente* y donde la estructura económica-social, al mismo tiempo que favorece un alto

grado de tecnificación, también exige un correspondiente nivel de rendimiento cuanti-cualitativo.

D. ALGUNOS LOGROS EXPERIMENTALES Y CUESTIONES PENDIENTES DE SOLUCION EN LA PROBLEMATICA EDAFOLOGICA DE LA AGRICULTURA REGADIA

Establecida ya la correspondencia entre los rasgos propios de la agricultura regadía y el enfoque que conviene a la investigación edafológica que se desarrolla en su marco, pasaremos revista a la temática específica involucrada. En ella no pretendemos ser exhaustivos, sino delimitar dentro de la problemática general los campos que constituyen motivos permanentes de investigación, para citar, dentro de ellos, algunos de los temas en los que se han hecho avances conceptuales y experimentales dentro de nuestra esfera de acción, así como señalar otros que necesitarán de especial consideración en el futuro.

1. — RELACIONES SUELO: AGUA: PLANTA:

Desde la perspectiva de este encabezamiento discutiremos problemas y enfoques vinculados con el almacenamiento de agua en la rizósfera y con parámetros edáficos en calidad de indicadores de umbral de riego y como elementos de cálculo en el análisis y pronóstico del ritmo evapotranspiratorio.

1.1. *Capacidad de Campo: problemas en su determinación y en su reobtención en riesgos sucesivos*

Tanto por razones técnicas como económicas, en todos los métodos de riego discontinuos se pretende en cada aplicación almacenar el mayor volumen posible de agua en la zona de actividad radical. Esto implica alcanzar los máximos contenidos hídricos edáficos compatibles con un despreciable flujo en el campo gravitatorio, es decir: lo que es conocido como "Capacidad de Campo (W_c). Con respecto a este parámetro básico de los suelos regadíos, consideramos de interés señalar, por la importancia que un enfoque equivocado con respecto a ellos puede revestir, a los siguientes aspectos:

1º — El valor correspondiente a la Capacidad de Campo de una determinada capa de suelo sólo tiene sentido en función del perfil total y su determinación debe *necesariamente* efectuarse "in situ".

Los métodos de laboratorio preconizados en la literatura y que suelen usarse, por la facilidad de su ejecución, sustituyendo a la valoración de campo, sólo se justifican para detectar pequeñas variantes en la extrapolación de los perfiles modales. Debe tenerse consciencia de que están sujetos a considerables errores, especialmente en suelos estratificados y con discontinuidades litológicas abruptas, o en aquellos formados por aluviones homogéneos francoarenosos finos y que han sido mojados hasta profundidades que exceden considerablemente la absorción radical.

Es así que nuestra experiencia nos indica que en ciertos casos puede haber diferencias relativas de hasta el 50 % entre valores de laboratorio obtenidos con metodologías comúnmente aceptadas, como la Humedad Equivalente por centrifugación, o la Capacidad Hídrica a 0,3 bares de succión matriz en la curva de desorción (que entre ellos son muy similares) y los determinados "in situ" (*Nijensohn y Pilasi, 1962; Nijensohn et al. 1968*).

2º — Es una norma generalizada en la programación del riego la de calcular la cuota de agua neta mediante el razonamiento de la "reposición", es decir, estableciendo la lámina necesaria como la diferencia entre la Capacidad de Campo y la humedad inicial en el espesor de suelo considerado. Además de los errores ligados a datos inexactos de W_c , según lo visto en el párrafo anterior, consideraciones teóricas basadas en los fenómenos de histéresis que suelen manifestarse en los procesos de sorción y de desorción hídricas, llevan a cuestionar "a priori" la validez del razonamiento de la "reposición". En efecto, si a igualdad de potencial matriz, y posiblemente de conductividad hidráulica capilar, el contenido hídrico de equilibrio resulta ser mayor cuando el suelo se está secando que cuando se está mojando, es lógico prever que láminas calculadas por reposición estricta sean insuficientes para reproducir el valor de la W_c en la capa de suelo deseada, mientras que el frente húmedo sí puede sobrepasar el límite inferior de dicha capa. Esta hipótesis fue demostrada y cuantificada experimentalmente por *Nijensohn et al. (1962)* en suelo franco de Chacras de Coria, donde resultó ser necesario un exceso del 25 % sobre la lámina de reposición calculada para reproducir el valor de la W_c en el espesor de suelo considerado.

Para cada tipo de perfil y distribución vertical del potencial hídrico en el umbral de riego, sería aconsejable la determinación experimental de dicho porcentaje para constituirlo en factor de corrección en los casos donde su magnitud así lo justifique. Es interesante puntualizar que la no consideración de este aspecto de la dinámica hídrica edáfica en la práctica del riego, puede tener su máxima influencia negativa justamente en aquellas situaciones don-

de, por mayor tecnificación operativa y mejor calidad del agua disponible, se apliquen láminas reales prácticamente coincidentes con las calculadas por reposición, es decir, donde ellas no estén o estén poco afectadas por factores de ineficiencia de aplicación y de requerimiento de lixiviación por salinidad o sodicidad que obligan necesariamente a incrementar las láminas de riego por encima de los requerimientos evapotranspiratorios.

1.2. *Un Nuevo Concepto, el de Capacidad Real de Campo, y sus Proyecciones*

De las consideraciones expuestas resulta claro que a pesar de que la W_c , —determinada “in situ” y con el exceso de agua que prescribe la metodología estandarizada—, puede aceptársela como una característica aproximadamente constante de cada suelo, salvedad hecha de variaciones estacionales por influencia de la temperatura en la constante de flujo capilar, no es forzoso que dicha capacidad se alcance en todos los puntos de un área sometida a un riego simultáneo. En efecto, pequeñas diferencias locales de tipo textural o estructural que afecten la transmisibilidad hídrica y/o variaciones de microrrelieve que influyan en la carga hidráulica, pueden provocar, correspondientemente, distintas láminas infiltradas y, consecuentemente, distintos niveles de almacenamiento de agua en la capa de actividad radical.

Para permitir la cuantificación de este fenómeno y poder utilizarlo como parámetro en el análisis interpretativo de la productividad de cultivos regadíos, hemos propuesto (Nijensohn et al. 1967) el concepto de “*Capacidad Real de Campo*” (W_{rc}). definiéndola como “el contenido hídrico de una cierta capa de suelo, en un sitio preciso, después de 24 a 48 horas de haber recibido un riego de las mismas características, en método, duración, caudal y labores agrícolas previas a los aplicados o a aplicar en el curso del manejo de un determinado cultivo”. De acuerdo a este concepto, que admite distintas situaciones posible de manifestarse en el mismo suelo, la W_c estandard sería el valor límite máximo que podrían alcanzar las W_{rc} en ese suelo.

A primera vista, la W_{rc} podría aparecer como una simple reiteración del concepto de “eficiencia de almacenaje”, ya utilizado en ingeniería de riego; pero a poco que se reflexione al respecto, se concluirá que se trata de cosas distintas, aunque en cierto modo confluyentes. En el caso de la “eficiencia de almacenaje” se considera que el déficit de agua retenida en la capa de exploración radical con respecto al valor máximo posible, representado por la W_c , se debe a una insuficiente penetración del frente húmedo, dado que se presu-

pone como de validez general el principio que afirma la imposibilidad de mojar una parte del suelo de modo que su contenido hídrico sea menor al correspondiente al W_c . Este punto de vista está sintetizado en la clásica afirmación de que el suelo "o se moja a Capacidad de Campo o no se moja". Por lo tanto, y siempre de acuerdo a la concepción corriente, no podrían coexistir en un mismo sitio ineficiencias de almacenaje y de percolación, aunque nada se opondría a la consecución simultánea del 100 % en ambos tipos de eficiencias.

Con la W_{rc} , en cambio, se plantea la posibilidad, experimentalmente demostrada, del humedecimiento de una cierta capa de suelo a niveles menores que los correspondientes a W_c . Más aún, de acuerdo a nuestro enfoque, y coincidentemente con observaciones de *Colman* (1944) y *Gardner* (1965), una cierta ineficiencia de percolación es condición necesaria para maximizar la W_{rc} y hacerla equivalente a la W_c potencial. Ahora bien, si se libera a la noción de "eficiencia de almacenaje" de sus connotaciones erróneas, el cociente entre W_{rc} y W_c sería su expresión cuantitativa más apropiada.

Consideramos que con el concepto de W_{rc} se posee una valiosa herramienta para el control del comportamiento, frente a diferentes prácticas de manejo, de cultivos bajo riego y que, con las adaptaciones lógicas, podría extenderse a la agricultura de lluvia.

Especialmente útil se ha manifestado la aplicación del concepto de la W_{rc} en la interpretación de resultados aparentemente anómalos de ensayos de respuesta a fertilizantes realizados en cultivos regadíos. Por ejemplo: en un suelo cuyas características analíticas hacían esperar una respuesta netamente favorable del tomate a la fertilización fosfatada, se verificó en los ensayos a campo una acentuada fluctuación de rendimientos entre las repeticiones de los distintos tratamientos ensayados, los que consistieron en dosis crecientes de fósforo y en diversas formas de aplicación de fertilizantes NPK, con sus testigos correspondientes (*Nijensohn et al.* 1965).

Esta variabilidad implicó, lógicamente, un elevado error experimental el que oscureció la significatividad estadística de las respuestas positivas observadas. Inspirados en una sugestión de *Collis-George y Davey* (1960), en vez de aceptar pasivamente la variabilidad en las respuestas de un mismo tratamiento como una consecuencia natural, molesta pero casi inevitable, de los errores propios de las experiencias de campo, hemos tratado de individualizar sus causas. En ese proceso surgió que introduciendo en el análisis interpretativo a las W_{rc} de cada una de las parcelas, pudieron establecerse correlaciones positivas altamente significativas entre este parámetro edáfico y la producción parcelaria, tanto dentro de las repeticiones de un mismo tratamiento, como también al incluir a la totalidad de las parcelas

integrantes del ensayo. Esto sirvió para identificar inequívocamente a la Wrc como un factor determinante del rendimiento del tomate cuya influencia debió haber sido considerada en la planificación de la experiencia.

No solamente en cultivos anuales sino también en ensayos de respuesta a fertilización en durazneros, regados por inundación (*Pizarro et al.* 1969), en vid (*Pizarro*, inédito) y en olivo (*Nijensohn y Maffei*, inédito) se obtuvieron correlaciones positivas muy significativas entre rendimientos parcelarios y las Wrc respectivas, lo que sugiere la importante participación de este factor en el error experimental.

1.3. Capacidad Real de Campo y el Concepto de Bloques Hipotéticos

Con el propósito de tratar de aprovechar las enseñanzas que pueden arrojar experiencias donde la variabilidad inductora del error experimental puede ser atribuida a factores identificables, sugerimos y ejemplificamos (*Nijensohn et al.* 1965) un enfoque para la reinterpretación de ensayos de fertilización en cultivos regadíos de acuerdo a la siguiente línea de razonamientos:

1º — Al ser la Wrc una variable independiente de los tratamientos que componen la experiencia, bloques experimentales homogéneos en cuanto a características edáficas deberían estar constituidos por parcelas de iguales o muy similares valores de Wrc.

2º — Es poco probable que esa condición se dé en bloques aleatorizados, que es como se diseñan generalmente las experiencias de fertilización.

3º — La influencia que hubiera tenido en casos reales una mayor homogeneidad dentro de los bloques sobre el error experimental y, por ende, sobre la significatividad de las diferencias observadas entre medias de los tratamientos, se estableció de la siguiente manera:

a) Se tomaron los datos de dos ensayos de fertilización bajo riego en los que se constataron correlaciones altamente significativas, e independientes de los tratamientos, entre las Wrc de todas las parcelas y sus respectivos rendimientos;

b) Luego se hipotetizó que las diferencias de producción observadas en las repeticiones eran función, sino exclusiva por lo menos decisiva, de las correspondientes diferencias en las Wrc observadas;

c) Se reordenaron las parcelas en los propuestos "Bloques Hipotéticos", formados de manera de incluir en cada uno de ellos a

las repeticiones del mismo orden en la serie de rendimientos determinados para cada uno de los tratamientos;

d) Se repitió el análisis de la variancia con los mismos resultados experimentales, pero distribuidos en los bloques hipotéticos. Como consecuencia de esta reinterpretación, rendimientos medios diferenciales que sugerían la acción positiva del fósforo pero que no alcanzaban el límite del 95 % de probabilidad estadística, entraron cómodamente en, y aún superaron a ese margen de seguridad convencional.

Las conclusiones que se desprenden de lo anteriormente expuesto son varias. Por una parte, resulta claro que si se hubiera determinado previamente la Wre de cada parcela y luego considerando los valores obtenidos en el diseño del ensayo, disponiéndose bloques más o menos homogéneos para esta característica, el error experimental podría haber sido notablemente inferior. Esto señala una pauta importante para el diseño de ensayos de fertilización, o de cualquier otro factor de productividad, en cultivos regadíos. Por otra parte, el enfoque de los "Bloques Hipotéticos" podría quizás generalizarse, con la necesaria prudencia, en la reinterpretación de ensayos donde se sospeche la existencia de otras fuentes de variación no tenidas en cuenta en el diseño, pero sí identificables "a posteriori", como ser: fluctuaciones parcelarias en el nivel de fertilidad nativa, de salinidad, de sodicidad, etc.

De esta manera podría extraerse provecho de más de una experiencia de resultados sugerentes, pero envueltos en la inseguridad provocada por la incidencia del error experimental sobre los márgenes de seguridad estadística convencionales.

1.4. Régimen Hídrico Edáfico y Productividad

Al dejar de ser el agua una variable dependiente de la aleatoriedad climática para pasar, en la agricultura regadía, a la categoría de factor controlable, cobra especial relevancia el conocimiento de la respuesta de los cultivos a los distintos regímenes hídricos del suelo determinados por el manejo del riego.

Dentro de la clásica polémica con respecto a la validez general del controvertido principio enunciado en California por Veihmeyer y Hendrikson, que pretende la igual disponibilidad de agua para el cultivo dentro del rango que tiene como umbral el punto de marchitamiento permanente y como techo la capacidad de campo, nuestra experiencia nos coloca del lado de quienes lo impugnan.

En efecto, los ensayos realizados en Mendoza por el Instituto de Suelos y Riego en cebolla, ajo, poroto, pimiento, tomate, papa, vid,

maíz, alfalfa y trigos panadero y candeal, así como por el INTA en duraznero y peral, revelan claramente que, en líneas generales, y hasta cierto punto, el rendimiento está relacionado positivamente con el consumo evapotranspiratorio y que éste, a su vez, es una función del nivel de humedad edáfica media.

Dichas experiencias nos permitieron precisar para cada complejo integrado por el cultivo, el suelo y el microclima en los que se llevaron a cabo, el régimen de riego óptimo que, en casi todos los casos, significó la reposición de agua a niveles hídricos variables pero siempre superiores al valor que en cada suelo se tomó como equivalente al cero de agua disponible.

Para definir los regímenes hídricos determinados por el riego y sus variantes de periodicidad, se utilizaron dos parámetros distintos que corresponden a dos de las formas de caracterizar el "umbral de riego", o sea el nivel mínimo de agua permisible. Uno de ellos es el potencial hídrico, expresado en términos de succión matriz en bares, y el otro es el porcentaje de agua disponible. Ambos parámetros se aplicaron a la capa de máxima exploración radical, de espesor acorde con el tipo de cultivo, a la que denominamos "capa diagnóstico".

Es importante señalar que a pesar de la aparente mayor racionalidad de los valores de potencial hídrico, que corresponden a conceptos termodinámicos rigurosos y que, por lo tanto, deberían tener una significación física generalizable, en la mayor parte de los cultivos ensayados, no fue la succión matriz sino el porcentaje de agua disponible en el momento del riego el que se comportó como el índice más adecuado para caracterizar el régimen de riego óptimo válido para un mismo cultivar en diferentes tipos texturales de suelo.

Esta observación pragmática propone un interesante problema, tanto teórico como práctico, para la investigación. De hecho, si se enfoca a la alimentación hídrica como un fenómeno esencialmente dinámico, que tiene lugar en el sistema continuo suelo-planta-atmósfera, consideramos que ninguno de los parámetros aludidos cuantifica al factor que realmente incide en forma directa en la disponibilidad de agua para la planta, sino que cada uno de ellos está relacionado en forma distinta y más o menos estrecha, con los valores de la conductividad hidráulica en suelo insaturado, que son los que verdaderamente determinan, junto con los gradientes de potencial, el flujo de agua a la raíz.

Desde ese punto de vista, un tratamiento racional del problema que permitiría independizarlo del empirismo y generalizar su solución, sería el considerar simultáneamente los tres factores básicos intervinientes: velocidad de flujo en el suelo y en la planta, superficie radical de absorción y requerimiento transpiratorio. Para ello se necesita des-

arrollar metodologías idóneas y más simples que las actualmente existentes para cuantificar dichos factores, en especial los dos primeros.

1.5. *Influencia del Nivel Hídrico del Suelo en la Velocidad de Evaporación y Transpiración*

En un ensayo realizado en cultivo de tomate encañado en pleno período de producción (*Nijensohn et al.* 1965), hemos estudiado en forma simultánea pero independiente la influencia recíproca de la evaporación y de la transpiración por una parte, y el proceso de agotamiento del agua del suelo, por otra. La experiencia abarcó un ciclo completo desde capacidad de campo hasta la de marchitamiento. El examen por separado de los efectos de la transpiración y de la evaporación pudo realizarse mediante un dispositivo experimental gracias al cual en las parcelas correspondientes a "evaporación" se conservaron los efectos aerodinámicos y de pantalla que ejerce la parte aérea, pero se desvinculó a ésta de las raíces a nivel del suelo.

El análisis de los resultados obtenidos permitió arribar a conclusiones de sumo interés, como ser:

1º — Que tanto la evapotranspiración como sus componentes pueden ser descriptos en función del tiempo por el mismo tipo de ecuación, en la que la velocidad en un día determinado es igual a la velocidad inicial, inmediatamente después del riego, multiplicada por la base de los logaritmos naturales elevada un exponente negativo, que corresponde al producto de los días transcurridos por una constante de extinción. Esta última puede ser calculada con aproximación satisfactoria, para un determinado complejo agro-ecológico, con sólo conocer el contenido hídrico del suelo en un día cualquiera a partir del riego. De este modo, y de mantenerse sin grandes variantes los requerimientos evapotranspiratorios, se puede predecir la fecha en el cual se llegará al umbral del próximo riego.

2º — Considerando como el 100 % la velocidad inicial de la ET y de la E, las velocidades relativas determinadas entre riegos muestran una correlación lineal casi perfecta con los contenidos hídricos relativos, ya sea que éstos se refieran a la humedad total, en cuyo caso la recta de regresión es de 45º, o al agua disponible.

El análisis de otras experiencias de distintos autores y realizadas con otras finalidades pero que consignan los datos necesarios, parece sugerir la validez general de esta conclusión que, junto con la anterior, abre un interesante campo para investigaciones futuras.

1.6. *Medición de Campo de la Transpiración como Índice de Disponibilidad de Agua*

Un enfoque lógico y prometedor para diagnosticar el nivel de disponibilidad de agua y, por consiguiente, la necesidad de riego, es usar a la misma planta como indicadora. Sin embargo, los cambios fisiológicos a observar deben ser, obviamente, otros que los signos de la marchitez incipiente pues, como ya se ha manifestado, los rendimientos se ven afectados ya antes de que se llegue a ese límite extremo.

En la literatura figuran diversos métodos (*Schmueli, 1967*) relacionados ya sea con el grado de hidratación del tejido foliar o con la medición de la apertura estomática, el que disminuiría o la que se estrecharía, respectivamente, como una consecuencia del déficit o como una reacción al "stress" por desequilibrio, entre la demanda y la provisión hídricas.

El enfoque que hemos elegido ante ese problema es más directo, pues tiende a evaluar ya no a alguna de las funciones relacionadas con la velocidad transpiratoria sino a ella misma, siempre sobre la base, ya comprobada experimentalmente, como se comentó en el punto anterior, de la estrecha dependencia entre el contenido hídrico edáfico y la transpiración. Es alrededor del medio día cuando los efectos se hacen más notables, en cuanto en esas horas el ritmo transpiratorio disminuye apreciablemente o se detiene si el flujo de agua a las raíces desciende por debajo de una velocidad crítica.

Tanto para eludir la instrumentación sofisticada que requiere la medición cuantitativa de la transpiración, como por la dudosa interpretación de sus valores ante el complejo de factores, independientes de la humedad edáfica, que pueden influir en su magnitud absoluta, hemos preferido el concepto de "Transpiración Relativa" y desarrollado una metodología sencilla para su medición en el campo (*Nijensohn et al. 1963*).

El principio consiste en relacionar los tiempos de viraje de papel impregnado de cloruro de cobalto por efecto de la transpiración de discos foliares de igual superficie, extraídos y colocados simultáneamente en una cámara transpirométrica de diseño simple y práctico. Uno de esos discos pertenece al sector problema y el otro a una parcela de control, a la que se mantiene permanentemente en un alto nivel de disponibilidad hídrica. De esta manera se anulan, igualando su influencia en ambas muestras, los otros factores que inciden en la velocidad transpiratoria absoluta (insolación, humedad relativa atmosférica, velocidad del viento, etapa fisiológica de la planta, etc.) y, por lo tanto, toda diferencia medible puede ser atribuida a la disponibilidad de agua en el suelo.

Los resultados obtenidos en ensayos preliminares en vid, duraznero, papa, y algodón, son promisoros, por lo que consideramos que esta metodología merece ser experimentada con mayor amplitud y profundidad en distintos complejos bioecológicos y que puede llegar a ser de aplicación práctica extensiva.

2. — NIVEL DE FERTILIDAD Y RESPUESTA A LA FERTILIZACION

2.1. Metodología de Diagnóstico y Probabilidad de Respuesta

La problemática abarcada en este enunciado es sumamente compleja y los progresos alcanzados en nuestro medio sólo son primeros pasos en el camino de la solución de los desafíos implicados.

Limitándonos a nuestra experiencia, podemos afirmar que dentro de los tres macronutrientes es el fósforo el que ofrece mayor probabilidad de respuesta en la región cuyana. Atendiendo a las características fisiológicas de los suelos locales, hemos adoptado para el diagnóstico de su disponibilidad las extracciones carbónicas, las que en cierta medida reflejan las condiciones existentes en la solución edáfica bajo la influencia de la respiración radical. Los criterios tentativos de interpretación enunciados (*Nijensohn y Pizarro, 1959, Avellaneda et al. 1969*) concuerdan en los extremos de su rango con resultados de experiencia en vid, donde en suelos calificados de pobres hemos registrado respuestas de hasta el 50 % en la producción de uva sin desmedro de la riqueza sacarina (*Nijensohn et al. 1970*). En papa, en cambio, constatamos una exigencia mucho más elevada, con respuestas muy considerables a la fertilización fosfatada aún en suelos que para cultivos permanentes hubieran sido calificados como bien provistos en este elemento (*Nijensohn et al. 1978*).

La respuesta al sólo agregado de nitrógeno es poco frecuente en Mendoza, salvo en suelos muy arenosos, pero suele verificarse en acción conjunta con el fósforo (*Nijensohn y Jáuregui, inéd.*). La explicación quizá pueda encontrarse en el elevado ritmo de mineralización de la materia orgánica por óptimas condiciones de pH, humedad y temperatura, así como en la intensa fijación microbiana. En otras áreas de riego de nuestro conocimiento directo, la del Río Dulce en Santiago del Estero, la situación se presenta inversa: la disponibilidad general de fósforo es elevada y la respuesta más probable constatada es a nitrógeno (*Nijensohn, 1971*).

Con respecto al potasio sólo hemos podido verificar con claridad, respuestas en casos excepcionales, ligados a muy altos rendimientos sostenidos aunque es frecuente encontrar correlaciones positivas entre

potasio nativo intercambiable y productividad natural; no conocemos exactamente las causas reales pero presumimos que se trata de una asociación indirecta.

Consideramos que cada vez se torna más imperiosa, en la agricultura bajo riego, la necesidad de intensificar la actividad para perfeccionar la metodología de diagnóstico de disponibilidad de macro y micronutrientes, de precisar las mejores normas para la selección y manejo de los fertilizantes según suelos, especies cultivadas y condiciones agroecológicas específicas, y de definir las funciones de producción que los economistas requieren de los edafólogos para los cálculos de rentabilidad.

2.2. Interacciones entre Fertilización y Regímenes de Riego

Es un principio agronómico bien conocido que el aprovechamiento de la fertilidad natural y la respuesta a la fertilización pueden estar decisivamente influidos por el régimen hídrico del suelo en una determinada temporada de cultivo. Como ejemplo podría citarse el caso del maíz en la zona de Pergamino, estudiado por *Zafanella* (1971).

En la agricultura regadía este tema reviste especial importancia por la posibilidad práctica de manejar ambos factores, el hídrico y la fertilidad, de modo de obtener en cada caso la combinación más adecuada para los objetivos perseguidos. Las interacciones pueden ser muy complejas y afectar en forma distinta a los aspectos cuantitativo y cualitativo de la producción. Un ejemplo bien ilustrativo al respecto lo constituyen las conclusiones extraíbles de experiencias de riego y fertilización simultánea que realizamos con dos cultivares de trigo (*Nijensohn*, 1974) cuyos resultados se sintetizan gráficamente en ese trabajo. Del examen de las figuras surge:

a) Que en un mismo suelo, cultivares de una misma especie pueden reaccionar en forma distinta frente a algunos tratamientos y similar respecto a otros;

b) Que la respuesta a nitrógeno está siempre positivamente asociada al nivel de humedad del régimen de riego;

c) Que en suelos pobres en fósforo y mediocres en nitrógeno, las máximas respuestas con P se logran con regímenes secos (cv. Pergamino Gaboto) o semi-húmedo (cv. Taganrock);

d) Que para lograr simultáneamente altos rendimientos y alta calidad, es decir, baja proporción de granos "panza blanca", debe existir una interacción conveniente entre fertilidad y nivel de hume-

dad. En el caso del trigo candeal las mejores combinaciones son: régimen seco con fertilización fosfatada únicamente o "semi-húmedo" con N o NP.

Para desarrollar criterios que permitan adoptar el manejo más adecuado para cada situación, de acuerdo a disponibilidades y costo del agua y precios de los fertilizantes y del producto a cosechar, según calidad, será necesario multiplicar experiencias como la mencionada en distintos suelos, con los principales cultivos y sus variedades comerciales.

2.3. *Un Nuevo Enfoque: El Método de la Absorción Radical Extra-edáfica*

Si bien el suelo constituye el almacén por excelencia para el suministro de nutrimentos a la planta, como sistema intermediario es el principal responsable de la baja eficiencia de recuperación de los fertilizantes, que en el caso del P oscila sólo entre el 5 % y el 25 % (Hauck y Koshino, 1971). Esto se debe a los complejos fenómenos que pueden ocurrir en su seno, los que incluyen reacciones fisicoquímicas, químicas y biológicas.

Para obviar esta acción interferente y aumentar la eficiencia de absorción de las sustancias destinadas a penetrar por las raíces, hemos desarrollado una metodología que permite la creación de un sistema radical permanente, complementario del natural, pero inmerso en un medio físico químicamente inerte o de comportamiento controlable, donde se agregan dichas sustancias. Autorradiografías después de la aplicación de fósforo marcado comprueban la actividad de estas raíces extra-edáficas y la respuesta positiva obtenida en vid con muy bajas dosis de fertilizantes confirman las enormes posibilidades de esta metodología en cultivos permanentes que posean capacidad de emitir raíces caulinares (Nijonsohn, 1974 y 1977). Estas posibilidades no se limitan a la nutrición mineral sino que se extienden a cualquier sustancia capaz de ser absorbida por vía radical (plaguicidas sistémicos, hormonas, etc.) y cuyo ingreso a la planta, sin modificaciones que las alteren, se desea asegurar. Creemos que este enfoque abre un campo muy promisor para la investigación y posteriores aplicaciones prácticas.

3. — FACTORES DE IMPRODUCTIVIDAD

3.1. *Problemática de la Salinidad, Sodicidad y Condiciones Relacionadas con Deficiencias de Aireación*

La acumulación salina, la sodificación del complejo coloidal y la acción de los iones de toxicidad específica son, desde tiempos históricos,

los eternos fantasmas de la agricultura bajo riego, pues afectan no sólo a sus niveles de productividad sino que pueden llegar a impedirlo o anularla por completo.

A estas causas de improductividad, se agregan los efectos derivados de condiciones de mala aireación edáfica, por las características del suelo y/o manejo inadecuado del riego y/o incorporación inoportuna de abonos orgánicos, factores todos que inciden por su acción directa sobre la respiración radical que se ve alterada por la anaerobiosis o como causas indirectas en la liberación de compuestos tóxicos o en el desarrollo de las así llamadas clorosis calcáreas.

En este campo, cuya extraordinaria importancia y complejidad merecería un tratamiento "in extenso" por separado, nos limitaremos únicamente a mencionar algunos de los temas en los que nos fue posible contribuir específicamente y cuyos detalles pueden consultarse en las publicaciones respectivas. En rápida enumeración, ellos comprenden:

a) Desarrollo de nuevas técnicas para la determinación de la conductividad eléctrica de aguas y extractos de suelo (*Nijensohn, 1959*), para el análisis físico de la concentración salina (*Nijensohn, 1955*), para la cuantificación de los valores de intercambio catiónico en suelos salinos-yesosos-calcáreos (*Nijensohn, 1961*) y para el diagnóstico del requerimiento de calcio en suelos sódicos (*Nijensohn, 1970*).

b) Modificaciones en los criterios de interpretación de la calidad de agua para riego (*Nijensohn, 1962-66*) y normas para su manejo eficiente, tanto desde el punto de vista de su peligrosidad salina como sódica (*Nijensohn, 1972*).

c) Demostración de la posibilidad de recuperación de suelos salinos-sódicos y del papel de la fertilización nitrogenada en el establecimiento de los cultivos pioneros (*Nijensohn, 1970*).

d) Formulación racional de la eficiencia de lavado y aplicación del riego por goteo en la optimización de dicha eficiencia (*Nijensohn, 1977*).

e) Condiciones diagnósticas diferenciales de los efectos salinos, de la anaerobiosis (*Olmos et al. 1969*) y de la clorosis calcárea (*Nijensohn, 1973*) para permitir el tratamiento causal respectivo.

E. HACIA UNA MAYOR EFICIENCIA EN LA INVESTIGACION EDAFOLOGICA Y EN LA APLICACION DE SUS RESULTADOS

Para concluir, me permito sugerir algunas condiciones que, de cumplirse, podrían mejorar grandemente la eficiencia de la investigación edafológica y la de su aplicación a la práctica agrícola en las áreas de riego argentinas.

1º — Sería deseable que especialistas calificados en las diferentes ramas de la Ciencia del Suelo sean los ejecutores de la investigación básica, pero es imprescindible que los proyectos sean coordinados a través de una dirección de equipo con claro concepto de las metas agronómicas a alcanzar.

2º — Los programas de investigación deberían, en lo posible, desarrollarse enfocados a la solución de los aspectos edafológicos de objetivos centrales más complejos, cuya definición y consecución requieren la colaboración interdisciplinaria de los edafólogos con los especialistas en riego, economía agraria, cultivos, genética aplicada, fisiología vegetal, industrias agrícolas, etc.

3º — Como a pesar de variantes regionales gran parte de la problemática edafológica es común para todas las áreas regadías, sería de mucha utilidad el contacto personal que permita el intercambio de experiencias e, incluso, el desarrollo de programas coordinados entre equipos de las diferentes zonas de riego de nuestro país.

4º — Beneficios extraordinarios se lograrían si, en lugar de la acción independiente o de la colaboración esporádica, se pudiese institucionalizar una verdadera integración entre la labor docente y de investigación de las Facultades de Ciencias Agrarias con la de experimentación y extensión del INTA y, en algunos casos, con la de otras reparticiones nacionales y provinciales de buen nivel.

Especialmente en la concreción de estos dos últimos puntos la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria, por su prestigio y el nivel que ocupa, podría asumir un papel catalítico decisivo.