

Zapiola, Tomás

Estrategias para una agricultura sustentable

**Trabajo final de Ingeniería en Producción Agropecuaria
Facultad de Ciencias Agrarias**

Este documento está disponible en la Biblioteca Digital de la Universidad Católica Argentina, repositorio institucional desarrollado por la Biblioteca Central "San Benito Abad". Su objetivo es difundir y preservar la producción intelectual de la institución.

La Biblioteca posee la autorización del autor para su divulgación en línea.

Cómo citar el documento:

Zapiola, T. 2011. Estrategias para una agricultura sustentable [en línea]. Trabajo Final. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Católica Argentina. Disponible en: <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/estrategias-para-una-agricultura-sustentable.pdf>.

(Se recomienda indicar fecha de consulta al final de la cita. Ej: [Fecha de consulta: 19 de agosto de 2010]).



UCA

Facultad de Ciencias Agrarias

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA ARGENTINA

Facultad de Ciencias Agrarias

Ingeniería en Producción Agropecuaria

“Estrategias para una Agricultura Sustentable”

**Trabajo final de graduación para optar por el título de:
Ingeniero en Producción Agropecuaria**

Autor: ZAPIOLA, Tomás.

Profesor Tutor: Ing. Agr. MIGUEZ, Fernando.

Fecha: 15-02-2011.



UCA

Facultad de Ciencias Agrarias

Sobre la Orientación y Alcances de la Tesis.

Bajo el título “Estrategias para una Agricultura Sustentable”, la presente tesis realiza una revisión bibliográfica sobre el tema y posteriormente su aplicación práctica a un caso concreto, analizándolo desde el aspecto productivo, ecológico y económico buscando revalorizar todas aquellas estrategias básicas pero elementales para lograrlo. Bajo una visión sistémica, se intenta integrar todas aquellas variables que interactúan en el sistema de producción y aplicar todos aquellos conocimientos adquiridos en la facultad de manera integrada, a fin de brindar en la tesis una lectura de comprensión por sobre todas las cosas. La integración de un conocimiento con otros, permite comprender como funcionan los sistemas, en este caso un sistema complejo. Tomar decisiones en un sistema complejo es difícil. Por ello, cuanto más y mejor comprendamos como funciona el sistema, mejores y prudentes serán las decisiones aplicadas en él.

El alcance del presente trabajo abarca geográficamente, a la región pampeana en general, y agronómicamente a los sistemas de producción de granos en secano: Maíz, Soja, Trigo, Girasol ó Sorgo; como los cinco principales productos que se cultivan en dicha región.



Índice temático.

I)	<u>Sistema de producción integral en siembra directa.</u>	5
	1) Introducción.....	5
	2) Materia orgánica.....	7
	a) Concepto e importancia.....	7
	b) Origen de la materia orgánica.....	8
	c) Transformaciones de la materia orgánica.....	8
	d) Procesos de descomposición y humificación de los residuos orgánicos.....	9
	e) Humus del suelo. Concepto e importancia.....	9
	f) Complejos húmicos-arcillosos.....	10
	3) Siembra directa y materia orgánica.....	10
	a) No laboreo del suelo y materia orgánica.....	10
	b) Rastrojos sobre la superficie del suelo y materia orgánica...	11
	4) Balance de carbono.....	12
	5) Modelo de balance de carbono simplificado para la pampa ondulada.	13
II)	<u>Rotaciones de cultivos.</u>	14
	1) Introducción.....	14
	2) Rotación de cultivos. Concepto e importancia.....	14
	3) Intensidad y diversidad de cultivos. Concepto e importancia.....	15
	4) Siembra directa y rotación de cultivos.....	16
	5) Planificación de la secuencia de cultivos.....	16
	6) Importancia de la inclusión del cultivo de Maíz.....	16
	7) Importancia de la inclusión del cultivo de Trigo.....	18
	8) Cultivos de cobertura. Una opción para intensificar las rotaciones...	19
III)	<u>Nutrición del suelo.</u>	20
IV)	<u>Nutrición de cultivos.</u>	
	1) Introducción.....	21
	2) Balance de nutrientes. Concepto e importancia.....	21
	3) Requerimientos y extracción de nutrientes por cultivo.....	22
	4) Materia orgánica y fertilidad. Rotaciones y fertilización.....	26
	5) Criterios para la reposición de nutrientes.....	26
	6) Ciclo y dinámica de los nutrientes: C, H, O, N, P y S.....	28
	a) Carbono, Hidrógeno y Oxígeno. Agua y Dióxido de Carbono	28
	b) Nitrógeno.....	28
	c) Fósforo.....	31
	d) Azufre.....	31
	7) Imputación de la fertilización.....	32
	8) Antecedentes de fertilización.....	32
	a) Evolución de superficie sembrada de cereales y oleaginosas, producción de granos y consumo fertilizantes.....	32



V)	<u>Visión holística del sistema de producción</u>	36
	1) Introducción.....	36
	a) Sistema de producción. Concepto.....	36
	b) Teoría general de los sistemas.....	36
	c) La agricultura funciona como un sistema.....	36
	d) Ecología de los agro-ecosistemas.....	37
	2) Consideraciones finales por Tomás Zapiola.....	38
VI)	<u>Análisis económico integral de varios sistemas de rotación de cultivos</u>	39
VII)	<u>Análisis de un caso real</u>	46
	1) Evolución de los sistemas de producción en Las Trincheras.....	46
	2) Un buen diagnóstico y la vocación de cambiar.....	47
	3) Adopción de la siembra directa como sistema.....	48
	<u>Anexos</u>	49
	<u>Bibliografía</u>	53



I) Sistema de producción integral en siembra directa.

1) Introducción.

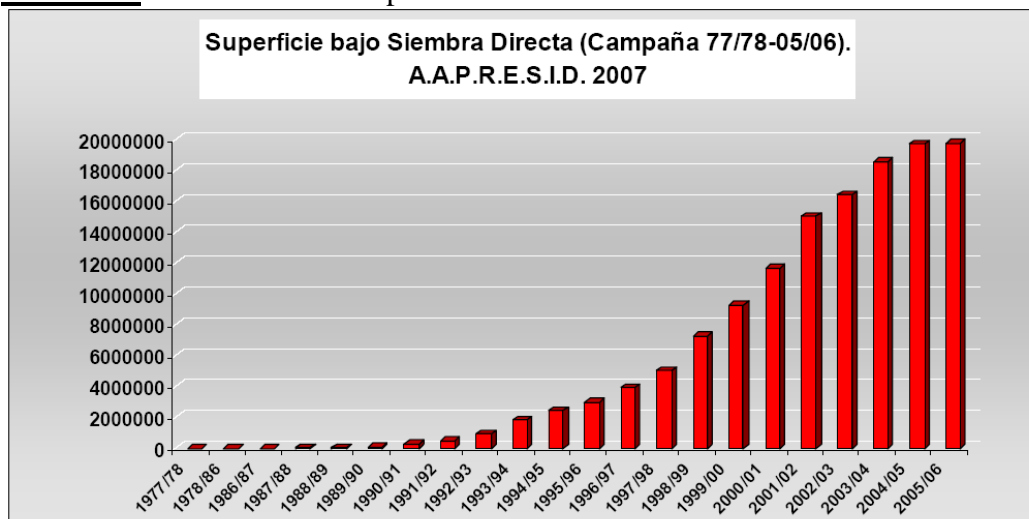
En la pradera pampeana donde la vegetación clímax eran pastizales dominados por gramíneas cespitosas, la agricultura convencional ha provocado la caída de los niveles de materia orgánica por debajo del 50% del contenido original, llegando a situaciones del 25% cuando los métodos de explotación agrícola fueron dominados por monocultivos, labranzas intensivas y quema de rastrojos.

Las praderas artificiales consociadas de gramíneas y leguminosas en ciclos ganaderos permitían recuperar parte de la materia orgánica perdida. Esto sucedía esencialmente por dos razones, primero porque participaba una flora polifítica compuesta en buena manera por gramíneas de vegetación permanente y segundo, por la no roturación del suelo durante dicho período.

En siembra directa, la segunda condición (el no laboreo) se cumple en forma automática, pero la primera (flora polifítica) sólo se cumple en forma parecida si se implementa una rotación de cultivos adecuada (diferentes especies), con una intensidad suficiente y una proporción dominante de gramíneas.

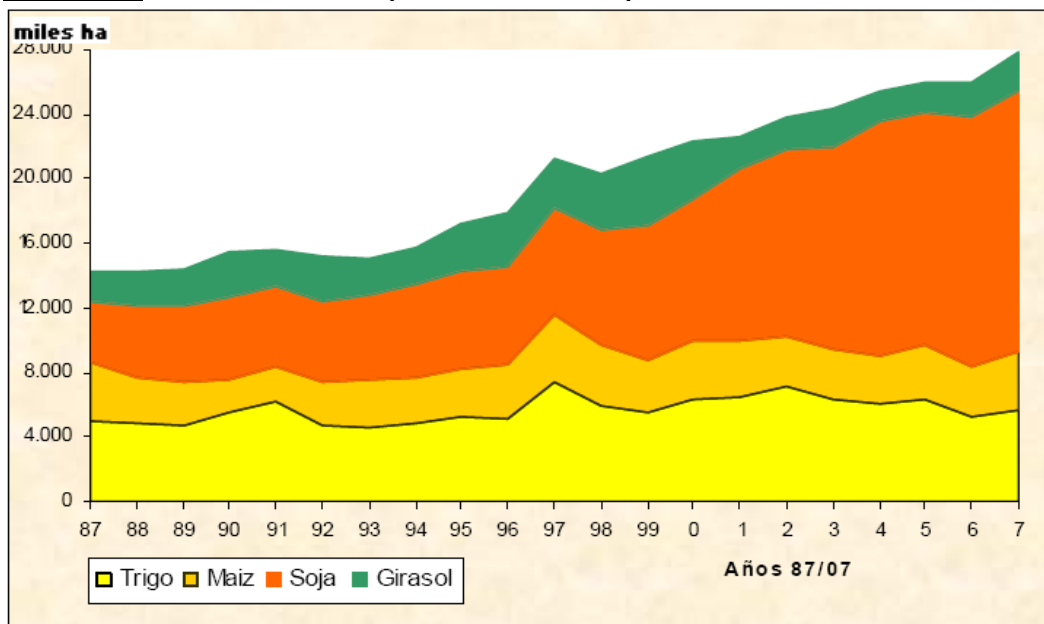
Las estadísticas de los últimos años demuestran por un lado, el crecimiento sostenido de la superficie en siembra directa y, por otro lado, un dominio del área sembrada por el cultivo de Soja que llega a ocupar las dos terceras partes de la superficie agrícola argentina, lo que muestra a las claras que en el ámbito de nuestro país no se cumplen los requisitos previamente mencionados (Romagnoli, 2004).

Gráfico 1: Evolución de la superficie en hectáreas sembradas en Siembra Directa.



Fuente: AAPRESID 2007.

Gráfico 2: Evolución de la superficie sembrada por cultivo.



Fuente: Dirección de Agricultura sobre la base de datos de la SAGPYA.

Del total de la superficie bajo siembra directa, alrededor de la mitad han sido cultivadas bajo una visión simplista y de corto plazo, que concibe a la siembra directa como una herramienta tecnológica puntual, y no como un sistema de producción integral.

La siembra directa como sistema de producción integral es hoy una de las alternativas que mejor resuelve lo que parecía imposible: alcanzar una producción económicamente rentable para las empresas, ambientalmente sustentable y socialmente aceptada.

Pero para ello es necesario comprender que no basta con dejar de arar, sino que el sistema debe estar acompañado de una rotación de cultivos ajustada en intensidad y diversidad, junto a una estrategia de fertilización acorde a las entradas y salidas del sistema y con tecnologías de proceso y de producto que permitan un uso más eficiente de los insumos, y con un menor impacto ambiental, tales como manejo integrado de malezas, enfermedades y plagas (Romagnoli, 2004).

La siembra directa se distingue de otros sistemas tradicionales de producción, sobre todo por los efectos positivos que produce sobre el ambiente de producción debido al hecho de no laborear el suelo y dejar los rastrojos sobre la superficie del mismo (Solari, 2004).

Son bien conocidas las ventajas que trae consigo la siembra directa (y más aun cuando se adopta como un sistema de producción integral y no como una técnica en particular). También son conocidas sus desventajas y como atenuarlas. Se hará hincapié entonces en como afectan estas dos premisas (no laborear el suelo y dejar los rastrojos sobre el mismo) en la evolución del porcentaje de materia orgánica del suelo, debido a su constante disminución en los sistemas productivos convencionales.

Para ello, es necesario primero, realizar una breve caracterización de la materia orgánica del suelo, sus transformaciones, y su relación con la fertilidad y conservación del suelo.

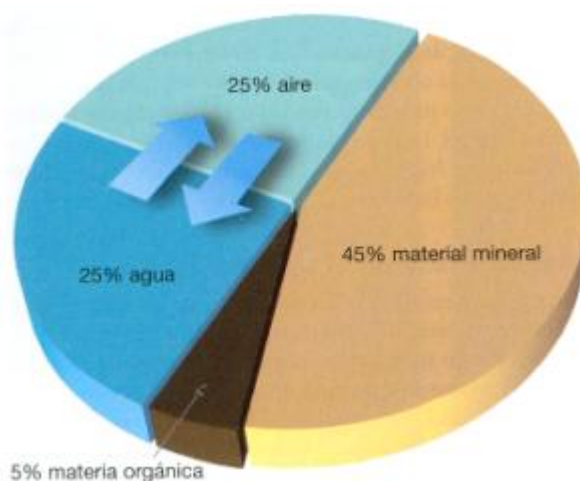


2) Materia orgánica del suelo.

a) Concepto e importancia.

El suelo es un sistema poroso, compuesto por una fase cuantitativamente dinámica (siendo el agua y el aire inversamente proporcional), y una fase sólida cuantitativamente estable, compuesta por material mineral y por material orgánico. En el siguiente gráfico podemos observar los porcentajes de cada una de estas fases cuando el suelo se encuentra en capacidad de campo, es decir, cuando los microporos están llenos de agua y los macroporos llenos de aire dado que ya no existe agua libre ó gravitacional en el suelo.

Gráfico 1: Principales componentes del sistema suelo.



Fuente: www.educarchile.cl

La materia orgánica del suelo comprende residuos de origen vegetal y animal, en distintas etapas de transformación, los tejidos vegetales y animales no descompuestos, los productos en descomposición no perdurables y el humus. Este último, es un producto final, de relativa estabilidad, de constitución compleja, al que se llega por descomposición de los residuos orgánicos y por procesos de síntesis biológica. Es decir, que al principio de la cadena de transformaciones están los tejidos vegetales y animales originales y al final de la misma, el humus, en la cual ya no se puede reconocer su estructura original (Conti, 2000).

La materia orgánica tiene una importante influencia sobre numerosas propiedades del suelo:

Físicas: contribuye a la formación de agregados, otorgando una mejor estructura y más estable. La estructura del suelo se define como la particular disposición de los agregados en el suelo y la estabilidad, como la capacidad de mantener su forma ante la acción de un agente degradante.

Cuanto más estable sea la estructura del suelo, mejor será la dinámica del agua y del aire. De esta manera, se tendrá una mejor infiltración del agua precipitada, un mejor almacenamiento y una mejor conservación de la misma, disminuyendo de esta manera el riesgo de erosión hídrica por escorrentía.



En suelos con texturas arcillosas la unión entre partículas es fuerte, en cambio en suelos arenosos la unión entre partículas es débil y la materia orgánica tiene un rol preponderante en la estabilidad de la estructura del suelo.

Químicas: es fundamental para completar el ciclo del Carbono. El desprendimiento de CO₂ durante la descomposición de la materia orgánica, significa una reposición de CO₂ a la atmósfera, el cual está nuevamente disponible para ser fijada a través de la plantas vía fotosíntesis.

Representa una fuente muy importante de nutrientes, contenidos en ella mediante compuestos orgánicos, o bien, retenidos en su complejo adsorbente.

Biológicas: es sustrato para la flora microbiana edáfica, responsable de la descomposición de los residuos orgánicos, síntesis de humus, y mineralización de la misma, contribuyendo a una liberación de nutrientes más gradual (Conti, 2000).

b) Origen de la materia orgánica.

La materia orgánica del suelo proviene de los residuos vegetales y animales, siendo el aporte de los vegetales cuantitativamente más importante. Los aportes vegetales no son sólo de superficie sino también en profundidad mediante los residuos de sus sistemas radiculares.

Los residuos vegetales están compuestos por una proporción variable de agua y materia seca, cuya composición elemental comprende al Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno como principales elementos y en menor medida Fósforo, Azufre, Calcio, Potasio, Magnesio, etc. Estos elementos se hallan constituyendo diversos grupos de componentes orgánicos como ser fibras (celulosa, hemicelulosa, lignina), proteínas, grasas, ceras, taninos, y otros en menor medida.

Los residuos vegetales de las plantas herbáceas poseen en promedio un 40% de Carbono en su composición mientras que la materia orgánica humificada tiene en promedio un 58% de Carbono. Este porcentaje es bastante estable por lo que comúnmente es indistinto hablar de M.O. humificada o de Carbono del humus siendo solo necesario multiplicar por un coeficiente de 1,72 para transformar la cantidad de una en la otra.

De estos componentes orgánicos, el material fibroso es el principal generador de humus en el suelo.

La fracción orgánica del suelo puede dividirse teniendo en cuenta su complejidad y estado de descomposición en dos grupos, materia orgánica fresca (o joven o particulada) compuesta por residuos orgánicos transformados de manera incompleta, y un segundo grupo que estaría constituido por los productos resultantes de la descomposición de los residuos orgánicos y síntesis microbiana que se denomina materia orgánica estabilizada (o vieja o humificada) que está compuesta por el humus y las sustancias húmicas (Conti, 2000).

c) Transformaciones de la materia orgánica.

Los residuos orgánicos, desde su llegada al suelo son descompuestos, de manera más o menos rápida, por los organismos del suelo (Conti, 2000).

Cuando se incorpora material orgánico fresco, una gran mayoría se transforma en un intervalo de tiempo que va desde unos pocos meses hasta dos años (fase de descomposición y mineralización de los residuos orgánicos). Simultáneamente, la



minoría, se reorganiza formando compuestos más estables (humificación de la residuos orgánicos) y presenta tasas de mineralización mucho más lentas (mineralización del Humus).

d) Procesos de descomposición y mineralización de los residuos orgánicos.

Los residuos orgánicos añadidos al suelo son primeramente particionados y separados en sus componentes orgánicos básicos por acción mecánica de la mesofauna. Este proceso se denomina descomposición (separar en sus componentes básicos).

La acción continúa posteriormente por medio de las enzimas extracelulares liberadas por los vegetales y por la acción de los microorganismos heterótrofos fundamentalmente, quienes tienen la capacidad de aprovechar la energía contenida en estos compuestos orgánicos, separados durante la descomposición, y oxidarlas por medio de enzimas intracelulares, dando lugar al proceso de mineralización, el cual consiste en la transformación de un elemento desde la forma orgánica a una inorgánica (Conti, 2000).

e) Humus del suelo. Concepto e importancia. Composición elemental.

Se puede definir al humus como un producto final, de relativa estabilidad, al que se llega por procesos de descomposición de los residuos orgánicos originales y por procesos de síntesis biológica, en la cual ya no se pueden reconocer su estructura original.

El humus existe en un equilibrio dinámico. Es continuamente degradado y reestructurado por la flora microbiana.

Es un compuesto de origen orgánico, de carácter amorfo, color oscuro, cohesivo, hidrofílico, y de peso molecular variable. Es un coloide de origen orgánico y como tal presenta propiedades típicas de los coloides.

Posee un altísima capacidad de intercambio catiónico, mucho mayor aun al de las arcillas, y es capaz de retener hasta varias veces su peso en agua.

Los materiales generadores del humus son la celulosa, hemicelulosa y lignina, es decir, la fibra contenida en los residuos orgánicos.

La composición elemental de las sustancias húmicas que componen el humus son principalmente el Carbono, entre un 50-60% en términos medios, Oxígeno, Hidrógeno y Nitrógeno. Este último en un rango del 5%, por lo cual la relación Carbono/Nitrógeno del humus es de 10-12/1. Las sustancias húmicas tienen una mayor proporción de Nitrógeno que los residuos vegetales (C/N de 25 a 100) pero menor que los microorganismo (C/N de 6 a 8).

Estos compuestos elementales se encuentran contenidos en compuestos orgánicos como las sustancias húmicas, vitales en la fertilidad de los suelos.

Las sustancias húmicas incluyen a cuatro compuestos: el ácido húmico, las huminas, ácidos fúlvicos y ácido himatomelánico.

Los ácidos húmicos se encuentran en mayor cantidad que el resto de las sustancias húmicas. Tiene un peso molecular medio (cuanto mayor es su peso molecular mayor será su estabilidad y permanencia en el suelo). Está compuesto por finísimas láminas planas unidas entre sí, formando un material reticular esponjoso, con una altísima capacidad de retención de agua y de intercambio catiónico.



Las huminas son el compuesto húmico más estable y resistente a la degradación. Permanece fuertemente unida a la fracción coloidal del suelo, aumentando aun más su capacidad de intercambio catiónico. Su composición proviene principalmente de la lignina contenida en los residuos orgánicos (Conti, 2000).

Propiedades coloidales del humus.

Diferencias con las propiedades de los coloides minerales (arcillas).

<u>Coloide mineral (arcilla)</u>	<u>Coloide orgánico (humus)</u>
Color claro.	Color oscuro.
Mucha cohesión y plasticidad.	Escasa cohesión y plasticidad.
C.I.C. entre 10/100.	C.I.C. entre 150/300, muy alta.
Mezcla mineral con Fe y Al (Silicatos).	Micela orgánica con N, P, S.
Forma cristalina.	Amorfo.
Estable.	Sensible a procesos oxidación.
Menos hidrófila.	Muy hidrófila.
Sin actividad microbiana.	Alta e intensa actividad.

Fuente: Marta E. Conti, *Principios de Edafología*. 2° Edición, 2000.

f) Complejos húmicos-arcillosos

La fracción orgánica y mineral, pueden encontrarse formando complejos. La importancia de la formación de complejos húmicos-arcillosos es muy grande ya que el humus acomplejado de este modo, disminuye la posibilidad de ser atacado por los microorganismos y en consecuencia logra una mayor estabilidad.

Son la base de la formación de los agregados y son causa de la estructura y estabilidad del suelo.

Los organismos del suelo desempeñan una función preponderante en la formación de estos complejos, siendo la lombriz de tierra la más importante tanto cuali como cuantitativamente. Ésta ingiere coloides inorgánicos (arcilla) y orgánicos (humus), las cuales logran un contacto íntimo en su tracto digestivo, acomplejándose también con el Calcio, y resultan en complejos llamados humato-cálcico-arcillíticos (Conti, 2000).

El humato de calcio tiene especial importancia en la disponibilidad del fosfato, al evitar su fijación por los sesquióxidos en la solución del suelo (Crovetto Lamarca, 2002).

3) Siembra directa y materia orgánica.

a) No laboreo del suelo y materia orgánica.

Uno de los parámetros más comúnmente citados como indicador de la calidad de los suelos es la materia orgánica. En siembra directa, se puede mejorar este parámetro, siempre y cuando se logre cumplir con una simple premisa pero muy importante: que las entradas del Carbono al suelo sean mayores que las salidas de dicho elemento.



La no remoción del suelo es la herramienta que tienen los productores para disminuir la pérdida de Carbono del sistema suelo (Lorenzatti, 2004).

Por cada parte de Carbono (1,72 partes de materia orgánica) que se secuestra en el suelo, se estará dejando de emitir 3,52 partes de CO₂, o bien, por cada una parte de materia orgánica secuestrada se estará rescatando dos partes de CO₂.

La violenta oxidación de la materia orgánica que generan las labranzas y la quema de rastrojos influye negativamente, estimulando el aporte de Carbono a la atmósfera, alterando el equilibrio de la misma y produciendo el llamado efecto invernadero. Esto evita que los rayos solares sean irradiados fuera de la atmósfera y provoca el recalentamiento global (Crovetto Lamarca, 2002).

La oxidación de la materia orgánica se produce por la inyección de Oxígeno que producen las labranzas, en donde el Carbono orgánico se combina con el Oxígeno y se emite CO₂ hacia la atmósfera.

Toda herramienta de labranza produce una aceleración de los procesos de descomposición del Carbono Orgánico, lo que ciertamente mejora de manera transitoria la productividad de los suelos. Este proceso artificial está basado en la oxidación prematura de la materia orgánica lo que finalmente significará una paulatina disminución de su potencial productivo (Crovetto Lamarca, 2002).

El no laboreo del suelo, reduce la oxidación del Carbono orgánico al mínimo, permitiendo así que el humus mineralice de una manera más gradual y natural.

b) Rastrojos sobre la superficie del suelo y materia orgánica.

La preocupación es mantener y si es posible, mejorar los tenores de materia orgánica del suelo porque allí está la base del rinde.

Los rastrojos son la materia prima para reponer la materia orgánica del suelo, principal capital con que cuentan los productores.

Si se quiere aumentar las entradas de Carbono al sistema, se debe tener en cuenta que la manera directa de hacerlo es maximizando la producción de los rastrojos en cantidad (lo que va de la mano de la maximización de la producción) y en calidad, lo que se logra incluyendo gramíneas de alta relación C/N en sus rastrojos en la rotación (Romagnoli, 2002).

No todos los rastrojos tienen las mismas propiedades químicas. Se deben considerar aquellas plantas que generen rastrojos con mayor contenido de lignina. Los materiales más lignificados y con una relación C/N amplia serán los que permanezcan más tiempo sobre la superficie del suelo a la vez que generan compuestos húmicos más estables.

Una agricultura sana, conservacionista y productiva debe tener como base la permanente generación de compuestos húmicos en el suelo utilizando para ello, los rastrojos de las cosechas. Con el tiempo se incrementarán los tenores de materia orgánica del suelo, mejorando notablemente el potencial productivo de aquellos suelos degradados (Crovetto Lamarca, 2002).



Balance de Carbono.

La Simulación de como está evolucionando el Carbono edáfico en el área Centro Sur de la Provincia de Santa Fé (Martinez y Cordone, 2005) muestra una pérdida constante del elemento. Asumiendo un valor inicial promedio del 2,5 % de materia orgánica en los suelos, con un manejo en siembra directa continua, y para la secuencia regional en 10 años, constituida por 7 años de Soja de primera, 2 años del doble cultivo Trigo/Soja de segunda y 1 año de Maíz, el modelo indica que se habrían perdido 500 Kg/Ha de C/Ha/Año. La secuencia de cultivos realizó un aporte insuficiente de rastrojos como para mantener el nivel de materia orgánica. La razón de este resultado es la alta participación de Soja cuyo aporte no alcanza para compensar las pérdidas, el bajo rendimiento del Trigo en la zona y la poca presencia de Maíz.

La adopción de la siembra directa hace más lenta la pérdida de Carbono pero no invierte el sentido negativo de su balance. El Carbono no puede comprarse en el mercado y aplicarse en el lote (en cultivos extensivos). El Carbono debe “fabricarse en casa” produciendo rastrojos, y para ello es necesario primero, contar con un plan de rotación de cultivos, que fije la mayor cantidad de CO₂ en sus tejidos y luego, mediante un manejo conservacionista, permitir que llegue a humificarse para compensar las naturales pérdidas por mineralización (Martinez y Cardone, 2005).

De acuerdo a la simulación de la evolución del Carbono, realizada por Martinez y Cardone, para la secuencia de cultivos media que se siembra en la zona de referencia (Centro-Sur de Santa Fé), se desprenden las siguientes conclusiones:

El modulo rotacional representativo de la zona posee una intensidad de cultivos equivalente a 120%, es decir, que se cultivan 12 cultivos en los 10 años que dura el módulo, y una relación Gramínea/Oleaginosa de 3/9. El resultado de la simulación es de una pérdida de 500 Kg de C/Ha/Año.

Si el suelo en estudio posee un valor de 2,5% de materia orgánica, para una densidad aparente de 1,25 Tn/M³ y una profundidad del horizonte A de 20 cm, se tiene un 2.500.000 Kg de suelo/Ha. El 2,5 % de materia orgánica equivale a 62.500 Kg de M.O./Ha, ó bien, 36.500 Kg de C/Ha aproximadamente (58%).

Si no se invierte el balance negativo de 500 Kg de C/Ha/Año, se estaría pasando de un valor de 2,5 % de materia orgánica al 1,5 %, en un equivalente de 30 años (3 módulos continuos de dicha secuencia de cultivos).

Para caracterizar analíticamente a la materia orgánica del suelo se tamiza la muestra eliminando los residuos orgánicos y se reporta en realidad un resultado de materia orgánica humificada. Entonces, cada vez que se haga referencia a un valor analítico del tenor de materia orgánica del suelo, se estará haciendo referencia a la fracción humificada de la misma.

El Carbono ingresa al agro-ecosistema a través del proceso de fotosíntesis y sale del mismo por respiración microbiana (Alvarez, 2007).

Debe recordarse que el suelo es un ente vivo y como tal, respira (respiración microbiana) y se alimenta (por medio del Carbono orgánico).



UCA

Facultad de Ciencias Agrarias

Modelo de balance de Carbono simplificado para la Pampa Ondulada.

En forma aproximada puede calcularse el balance de Carbono de una situación usando la siguiente expresión:

$$\text{Balance} = (R * CAH) - (CO * CM)$$

En donde:

Balance: Tn Carbono/Ha/Año

R: Rendimiento de los Cultivos (Tn Grano/Ha/Año, 14% Humedad)

CAH: Coeficiente de Aporte de Humus de los Residuos. Para Trigo y Soja 0,41 (Tn Carbono Humificado/Tn Grano) y para Maíz 0,21.

CO: Carbono Orgánico del Suelo **de 0 a 30 cm.** (Tn Carbono/Ha).

CM: Coeficiente de Mineralización de la Materia Orgánica humificada, 0,057 por año (5,7%)

Aplicando este modelo se puede estimar no sólo el balance de Carbono de una situación determinada en función de los rendimientos realmente alcanzados, sino a la vez se puede conocer cual debe ser el aporte de residuos para mantener el contenido de materia orgánica de los suelos (Alvarez, 2002).

A modo de ejemplo, se cita en el Anexo la evolución del Carbono edáfico en función de distintas secuencias de cultivos.



II) Rotación de cultivos.

1) Introducción.

La siembra directa como sistema de producción integral, tiene a las rotaciones de cultivos como una de las herramientas más importantes y válidas para potenciar el funcionamiento de los agro-ecosistemas.

La rotación de cultivos es una herramienta tecnológica ineludible para el correcto funcionamiento de la siembra directa. Los productores debemos plantearnos la rentabilidad y la perdurabilidad del negocio en el corto y en el largo plazo, y es aquí dónde aparece el concepto de rotación muy ligado a la sustentabilidad de la empresa (Lorenzatti y Bianchini, 2001).

Para que una empresa sea sustentable debe ser necesariamente rentable, ambientalmente viable y socialmente aceptada. Es importante comprender que el concepto de Sustentabilidad no es un estado estático de la empresa sino una trayectoria de la empresa en el tiempo, la cual debe ser capaz de sustentarse a lo largo del tiempo.

2) Rotación de cultivos. Concepto e importancia.

Se entiende por rotación como la alternancia de diferentes cultivos en el tiempo y en el espacio.

Una rotación de cultivos es una sucesión de cultivos que alternan especies que tienen diferentes hábitos de crecimiento, invernales y de verano, de raíces superficiales y profundas, gramíneas y leguminosas, etc (Solari, 2004).

La rotación de cultivos no tiene como objetivo sólo un cambio de variedades sino escoger cultivos respetando sus necesidades y características diferentes, así como su influencia sobre las propiedades del suelo, sobre el crecimiento y desarrollo de malezas, plagas y enfermedades; en una secuencia apropiada y práctica que promueva los efectos residuales benéficos (Derspoh, 1998).

La alternancia de diferentes cultivos en el tiempo y en el espacio (esto es rotar diferentes especies vegetales en el mismo lote a lo largo de los años) presenta ventajas tanto desde el punto de vista económico como empresarial.

Específicamente permite una diversificación de los riesgos productivos ya que las condiciones ambientales pueden ser desfavorables para un cultivo pero difícilmente lo sean para el resto de los cultivos que integran la rotación.

Además, la alternancia espacial y temporal, de los cultivos tiene un efecto inhibitorio sobre el ciclo de muchos insectos, malezas y enfermedades perjudiciales para los cultivos.

Desde el punto de vista de la fertilidad química permite hacer un uso más balanceado de nutrientes en comparación con un monocultivo, evitando desequilibrios de importancia.

Las rotaciones también influyen en las condiciones físicas del suelo, principalmente en lo que a la estructura se refiere. Los distintos sistemas radiculares de los cultivos exploran diferentes estratos del perfil, permitiendo una colonización del suelo con raíces de diferente arquitectura. Debido a esto, cada tipo de raíz genera un tamaño determinado de poros, los cuales según su tamaño, tendrán funciones de aireación, infiltración, ó funciones mixtas.



Al descomponerse las raíces por actividad de los microorganismos, quedan formando poros los cuales presentan una alta estabilidad y continuidad espacial (Bianchini y Lorenzatti, 2004).

Las rotaciones de cultivos, con los diferentes aportes de rastrojos tanto en cantidad como en calidad, brindan el sustrato del cual se nutrirán los microorganismos del suelo (Bianchini y Lorenzatti, 2004). El aporte de rastrojos será diverso a lo largo del tiempo, lo cual contribuye a mantener activa la flora microbiana edáfica a lo largo del año.

3) Intensidad y diversidad de cultivos. Concepto e importancia.

Cuando se habla de rotación de cultivos se debe tener en cuenta dos atributos que la caracterizan: la diversidad y la intensidad. La primera hace referencia al número de cultivos diferentes que integran el módulo rotacional y la segunda, al número de cultivos por unidad de tiempo.

La intensificación y diversificación de la rotación mejora los resultados agronómicos y económicos e impacta positivamente en la calidad del suelo (Nielsen , Anderson, y Otros, 1999).

Cuanto más intensa sea la rotación mayor es el aporte de rastrojos y por ende, mayor la cantidad de Carbono secuestrado en el suelo (Belloso, 2004).

Las rotaciones debieran tener la mayor cantidad de cultivos posibles de manera de tener siempre raíces activas y en aquellas circunstancias en las cuales no se puede aumentar el número de cultivos de cosecha por unidad de tiempo, se deberá pensar en la inclusión de cultivos de cobertura. Éstos se siembran con el objetivo de mejorar el aporte de Carbono pero también mantener raíces vivas y mantener activa la flora microbiana asociada a momentos del año en que de otra manera sólo tendrían barbechos limpios. Los períodos muy largos de barbechos sin raíces vivas hacen que la actividad biológica se desacelere (Moraes Sá, 2005).

La presencia permanente de raíces vivas en el suelo es un factor que estimula a la mayor actividad biológica del suelo (Clapperton, 1994).

Si al menos alguno de los componentes de una rotación no fracasan durante los años excesivamente secos, es un indicador de que no hay intensidad suficiente. En esta situación de escasa intensidad la rotación no saca ventajas de los años "normales" y fracasará en los años húmedos (Beck, 2000).

El término diversidad cuando se aplica a rotación de cultivos significa más que simplemente agregar otro cultivo o tipo de cultivo a la rotación. En el intento por incrementar la diversidad en la rotación, un productor necesita prestar atención a como los cultivos interactúan entre sí, con otras especies, con el suelo, con el ambiente, y con los objetivos de corto y mediano plazo del productor. Las razones de incrementar la diversidad de cultivos en la rotación incluyen: distribuir riesgos climáticos y de precios, manejar poblaciones de malezas, reducir enfermedades, manejar las cargas de trabajo, crear el ambiente propicio para los cultivos subsiguientes, reducir costos fijos por unidad de producción, acceso a mercados alternativos, etc. (Beck, 2006).

La diversidad e intensidad de una rotación de un sistema de producción se ajusta al ambiente de producción, a la rentabilidad de los cultivos y recursos disponibles entre otros, y pueden variar a lo largo de las campañas, pero siempre se debe contemplar la visión a largo plazo (Belloso, 2007).



4) Siembra directa y rotación de cultivos.

Siempre que se habla de un sistema de producción y no de un cultivo en particular, se debe pensar a los cultivos dentro de un sistema integrado (adaptado de Beloso, 2004).

El sistema de rotación puede ser modificado por dos razones básicas: técnicas y económicas. Es importante considerar que los resultados económicos deben analizarse en relación al Sistema como un todo y en un amplio período de tiempo, no debiéndose analizar apenas los resultados de un cultivo frente a otro (Bianchini y Fontanetto, 2006).

Uno de los pilares que sustenta a la siembra directa, además de la no remoción de suelo y de cubrir al mismo con rastrojos, es la rotación de cultivos (Beloso, 2004).

Como se indica en el capítulo anterior, no basta con dejar de arar para que el Balance de Carbono deje de ser negativo, sino que es sumamente importante maximizar el aporte de Carbono a través de los cultivos y sus rastrojos, considerando de manera especial aquellos cultivos con mayor contenido de lignina en sus rastrojos, para aumentar la fracción de materia orgánica humificada.

Las rotaciones deben ser capaces de generar un balance positivo en la acumulación de Carbono orgánico en el suelo (Fogante, 2001).

Los planteos agrícolas necesitan de un sistema de producción donde la rotación de cultivos es la base de la sustentabilidad.

5) Planificación de la Secuencia de Cultivos.

La aplicación correcta de la planificación de rotaciones puede incrementar los rendimientos y reducir los costos (Beck, 2006).

En la planificación de la secuencia de cultivos es sumamente importante conocer y comprender las interacciones entre los cultivos que integran el sistema de rotación, y como interactúa éste con el sistema de producción, a fin de maximizar y potenciar todas aquellas interacciones positivas entre los cultivos en busca de una mayor productividad y todas aquellas interacciones positivas sobre el ambiente de producción, que mejoren y conserven la fertilidad del recurso de producción involucrado (el suelo), lo cual afecta positivamente al resultado global sistema de producción.

Para ello se debe tener una clara visión del sistema de producción bajo una mirada interdisciplinaria y focalizando sus diferentes elementos de manera integrada.

6) Importancia de la inclusión del cultivo de Maíz.

La inclusión del Maíz en la rotación tiene la ventaja de aportar grandes volúmenes de rastrojo (cantidad). Cuanto mayor sea el rendimiento del cultivo mayor será el aporte de M.S./Ha. por rastrojos y a su vez, mayores las posibilidades que tendremos de secuestrar Carbono aumentando los tenores de materia orgánica en el suelo (Beloso, 2004).

La planta de Maíz es muy eficiente en la producción de biomasa. De una semilla que pesa alrededor de 300 mg. se obtiene en un lapso de 2,5 meses una planta de más de 2 metros de altura y 70 dm³ de área foliar. A los 4,5 meses la planta puede alcanzar en condiciones de cultivo, un peso seco de hasta mil veces superior a la semilla que le dio origen. Alrededor de la mitad de ese peso corresponde a órganos reproductivos, transformándolo en uno de los cultivos de mayor rendimiento en grano por unidad de superficie. Ésta alta capacidad de producir biomasa, se debe a una alta tasa fotosintética,



a un bajo valor energético de la materia seca producida y a una adecuada estructura del cultivo (Andrade, 1996).

Al tener una elevada producción de materia seca por unidad de superficie, el Maíz dejará abundante cantidad de rastrojo (más abundante cuanto mayor sea el rendimiento), lo cual favorecerá al balance de materia orgánica y a generar elevados porcentajes de cobertura (Romagnoli, 2006).

Por otro lado, la calidad del rastrojo del Maíz es excelente ya que presenta una elevada relación Carbono/Nitrógeno y un alto coeficiente de humificación, todo lo cual hace que la descomposición por microorganismos sea más lenta comparado con la de otros cultivos, como por ejemplo Soja, y a que buena parte de esa descomposición pase a constituir fracciones estables de la materia orgánica edáfica (Belloso, 2004).

Su sistema radicular en cabellera favorece la formación de macroporos en el perfil del Suelo, contribuyendo a su estructuración y facilitando el movimiento del agua y del aire (Romagnoli, 2004).

La inclusión del Maíz en una secuencia ordenada y planificada de cultivos, permite también pensar en una estrategia de fertilización que considere el impacto en la rotación en su conjunto y no puntualmente en un cultivo (Belloso, 2004).

La incorporación de gramíneas en la rotación mejora el balance de Carbono tanto por la calidad de sus rastrojos como por su cantidad y por permitir una mayor cobertura del suelo (García, 2005).

Por lo tanto, si los productores mejoraran los tenores de Carbono orgánico en el suelo estarán transitando un camino sustentable a largo plazo (adaptado de Belloso, 2004).

Monsanto corroboró los efectos del maíz en la rotación gracias a los resultados reportados por 427 productores de todas las zonas agrícolas, que pudieron comparar el rendimiento de soja con antecesor soja (soja/soja) y con antecesor maíz (maíz/soja). Los lotes provenientes de maíz presentaron en el 50% de los casos rendimientos superiores en un 12.9% a los provenientes de soja. Sin embargo, el dato más importante es que, fue en los ambientes con deficiencia de agua en los que se obtuvo una mayor diferencia, con un incremento superior al 15% en el 50% de los lotes evaluados; recalando que es en estos ambientes donde se obtiene el mayor beneficio por la mitigación de estrés hídrico (Monsanto, 2009). Esto implica que el cultivo de soja que sucede a un cultivo de Maíz, no solo reporta un incremento en su rendimiento sino que posee una mayor estabilidad en los resultados versus el sistema de monocultivo de Soja.

La influencia positiva de la siembra directa continua a través de los años, en el balance hídrico del suelo, producida por la acumulación de rastrojo en superficie, incrementa la captación del agua de lluvia, la capacidad de retención de la misma, y reduce la evaporación, según numerosos autores (Andriani et al., 2002; Dardanelli, 1998; Gil, 2001; Moraes-Sa, 2005; Anderson et al., 1997; Peiretti, 2005). La evaporación del agua del suelo, es causada por el viento, las altas temperaturas, y por el déficit de presión de vapor de la atmósfera según Allen et al, (1998), como así también por el alto contenido de humedad en el horizonte superficial del suelo (Ritchie, 1972). El rastrojo en superficie, reduce el efecto del viento, y disminuye la temperatura del suelo al reflejar una mayor porción de la radiación incidente, que el suelo desnudo. Sinclair et al., (2007) mostraron en simulaciones de soja bajo SD, que el déficit hídrico durante el ciclo de cultivo, se ve reducido en rotaciones de trigo-soja-maíz, asumiendo una disminución de la evaporación del suelo provocada por el rastrojo en superficie. La soja sembrada sobre rastrojo de maíz, rindió más que la sembrada sobre rastrojo de soja, en cinco campañas consecutivas. Los resultados de Salas et. al, (2005), de ocho años de



rotaciones en Manfredi bajo SD, corroboran la hipótesis anterior, ya que los promedios de rendimientos fueron 2756 y 3168 kg/ha, respectivamente en soja continua versus soja con antecesor maíz (incremento del 15%).

Al respecto, ensayos realizados en el área de Pergamino midieron diferencias superiores a los 600 kg/ha en el cultivo de soja al utilizar el antecesor maíz versus soja de primera (cuadro 1).

Cuadro 1: Rendimiento del cultivo de soja de primera con diferentes antecesores para la campaña 2000/01 y para el quinquenio 1995-2000 en Pergamino (Buenos Aires).

	Campaña 2000/01		Promedio 1995/2000
Antecesor	Superficie (has.)	Rto. (kg/ha)	Rto. (kg/ha)
Maíz	9317	3654	3667
Soja	1753	2913	3053
Diferencia	-	741	614

Fuente: Beloso, C. Grupo Pergamino (2000).

7) Importancia de la inclusión del Cultivo de Trigo.

Su inclusión aumenta la diversidad de cultivos y por lo tanto disminuye los riesgos, no sólo productivos y climáticos, sino también del mercado.

Provee rastrojos en aceptable cantidad, de muy buena calidad, y excelente distribución.

El Trigo aporta una interesante cantidad de rastrojos al cual, si se le suma el aporte de un cultivo de segunda, seguramente inclinará la balanza positivamente en lo que a la ganancia de Carbono se refiere.

Sus rastrojos poseen una elevada relación Carbono/Nitrógeno y permiten obtener una cobertura duradera gracias al contenido de lignina que contienen. Su cobertura es muy elevada ya que sus rastrojos tienen una distribución muy uniforme en el terreno, lo cual se debe a que el cultivo se siembra a distancias entre hileras muy cercanas y a altas densidades.

Todo ello sin olvidar que el aporte de materia seca no es exclusivo de la parte aérea sino también del sistema radicular, el cual aporta materia orgánica en profundidad y tiene un efecto de mejora en la estructura por distribución en cabellera con las mejoras que se producen en la fertilidad física por la red de poros que genera, principalmente en los primeros 30 cm. del perfil del Suelo.

El Trigo es una alternativa que permite aumentar la intensidad de la rotación dado que la mayor parte de la superficie sembrada se lo hace como cultivo antecesor de verano como Soja de segunda, Maíz de segunda, etc., lo cual permite obtener dos cosechas por campaña, estando la mayor parte del año el lote ocupado con cultivos. En consecuencia se hace un aprovechamiento muy eficiente de los recursos, principalmente del agua, consumiendo de esa manera milímetros acumulados en el perfil durante el otoño, que de otra manera no se utilizarían para producir materia seca (Bianchini, 2004).

Dentro de los cultivos corrientes de la Región Pampeana el Trigo es el que necesita niveles más altos de Fósforo asimilable para expresar su máximo rendimiento, esto unido al hecho de que se puede fertilizar con todos los surcos de la sembradora, colabora con una distribución uniforme del Fósforo en el suelo, lo cual lo hace un cultivo ideal para utilizar altas dosis pensando en la fertilización del sistema y no sólo del cultivo (Solari, 2005).



UCA

Facultad de Ciencias Agrarias

8) Cultivos de cobertura. Una opción para intensificar las rotaciones.

Los cultivos de cobertura son cultivos que se cultivan con el objetivo de generar un aumento en el aporte de cobertura (cuando no es viable hacerlo a través de cultivos de renta) y para mantener activa a la biología del suelo en períodos que de otra manera estarían con muy poca actividad. Se recuerda que la biología del suelo es el principal factor generador de fertilidad física y química del suelo.



Foto: Vicia sobre Maíz. Fuente: Moraes Sá.



III) Nutrición del suelo.

El Suelo es un ente vivo y como tal necesita ser alimentado. La forma más directa de mantenerlo productivo es nutriéndolo con el Carbono orgánico contenido en los rastrojos de las cosechas.

Hay millones de microorganismos por gramo de suelo que requieren ser alimentados, privarlos de esto significa una paulatina pérdida de fertilidad y productividad.

El suelo es un verdadero digestor de fibra, tal cual lo es el rúmen de los poligástricos. Así como cuando se alimenta a los rumiantes se comprende que se está alimentando a la flora microbiana ruminal, también se debe comprender que para alimentar al suelo se debe alimentar a la flora microbiana edáfica (Crovetto Lamarca, 2001).

La gran actividad biológica que genera la Siembra Directa equivale a 4 toneladas de peso vivo, lo que analógicamente equivale a diez novillos de cuatrocientos kilos cada uno. Toda ésta actividad biológica es la que genera en el tiempo la materia orgánica, la cual es fundamental en la estructuración del suelo e incrementa la capacidad de retención del agua en el perfil. Pero para ello hay que alimentar continuamente a toda ésta fauna biológica y la mejor manera de hacerlo es a través de las rotaciones y la cobertura (Belloso, 2004).

No todos residuos de cosecha tienen las mismas propiedades químicas. El agricultor deberá considerar aquellas plantas que generen rastrojos con mayor contenido de lignina. Después de la madurez fisiológica, el contenido de celulosa y hemicelulosa disminuye y aumenta el contenido de lignina. Cuanto mayor sea el contenido de lignina, más estables serán los compuestos húmicos que se generen (Crovetto Lamarca, 2001).

Residuos de cosecha con amplia relación Carbono/Nitrógeno poseen un coeficiente de humificación alto, y serán la materia prima para la generación del humus a través de procesos de descomposición y resíntesis por medio de la actividad biológica del suelo. Tal es el caso de las gramíneas como ser el Trigo, el Maíz y el Sorgo por ejemplo. Al tener relaciones Carbono/Nitrógeno amplias (50-100/1) y los microorganismos del Suelo baja (6-8/1), se produce una inmovilización microbiana del Nitrógeno del suelo. Si un rastrojo tiene un relación de 60 partes de Carbono por cada una parte de Nitrógeno y la flora microbiana tiene 6 partes de Carbono por cada una parte de Nitrógeno, el Nitrógeno contenido en el rastrojo estaría suministrando un 10% del Nitrógeno necesario para los microorganismos que utilizan dicha fuente de Carbono. Es por ello que la población microbiana se nutre del Nitrógeno del suelo produciéndose así la inmovilización del Nitrógeno.

Residuos de cosecha con relación Carbono/Nitrógeno estrecha, poseen un coeficiente de humificación menor y un coeficiente de mineralización mayor, de manera que la descomposición y mineralización ocurre de manera más acelerada. Tal es el caso de cultivos como Soja y Girasol por ejemplo.



IV) Nutrición de cultivos.

1) Introducción.

El rendimiento de los cultivos está estrecha y positivamente asociado a la biomasa total producida durante el ciclo de los cultivos. Los recursos (luz, agua y nutrientes) capturados por los cultivos son utilizados para la producción de la misma y es por ello que los nutrientes afectan de manera directa al Rendimiento.

$$\text{Rendimiento} = \text{Biomasa Total} \times \text{Índice de Cosecha.}$$

En Argentina y principalmente dentro de la región pampeana, la producción agrícola se ha realizado durante casi un siglo aprovechando la fertilidad natural de sus tierras.

En efecto, los suelos predominantes (denominados Molisoles) son de una alta fertilidad, tanto por sus propiedades químicas y biológicas como por sus características físicas, lo que favorece el establecimiento y crecimiento de los cultivos.

Ésta fertilidad es debida a un alto contenido original de materia orgánica y a un material madre (loess) rico en bases (Ca, Mg, K) como en otros nutrientes. Entre éstas características la materia orgánica juega un rol relevante, tanto por su contenido de nutrientes (N, S, P) potencialmente disponibles para las plantas, como su influencia sobre la disponibilidad de los micronutrientes (B, Zn, Cu), sobre las propiedades físicas del suelo y la actividad biológica (Berardo, 2004).

Datos del INTA Manfredi, en base a relevamientos de lotes de la región, muestran la disminución de la fertilidad con respecto a la condición original (Cuadro 5).

Cuadro 5: Evolución de la fertilidad de los suelos en la región central de la Provincia de Córdoba. Suelo Haplustol típico. Serie Oncativo.

Parámetros medidos	Suelo virgen	20 años agricultura	40 años agricultura
Materia Orgánica (%)	5.65	3.19	2.05
N Total (%)	0.30	0.17	0.12
C.I.C. (me/100g)	24.2	22.7	18.8
K intercambio (ppm)	1400	1020	900
P Total (ppm)	950	740	640
P Orgánico (ppm)	360	280	220
P Inorgánico (ppm)	590	460	420
P Bray (ppm)	67	38	22

Fuente: Michelena e Iruetia. *Indices para conocer el estado de degradación y salud de los suelos*. PROCAMPO, Año XII, N°68, pág. 11:15.

2) Balance de nutrientes. Concepto e importancia.

El balance de nutrientes en un sistema es la diferencia entre la cantidad de nutrientes que entra y sale del mismo en el tiempo y en el espacio (Darwich, 2004).

Esta definición permite estimar balances nutricionales de un lote en una campaña agrícola a partir de los nutrientes que egresan del suelo en los granos. Los ingresos de nutrientes al suelo están constituidos por los aportados por fertilizantes, abonos orgánicos y, en el caso de nitrógeno (N), por la fijación de N₂ del aire. El aporte de nutrientes de los residuos de cultivos realizados en el mismo lote, se considera un



reciclaje de nutrientes dentro del mismo sistema suelo y por lo tanto no se incluye entre los ingresos.

El concepto de balances de nutrientes se amplía en el tiempo cuando se considera una rotación determinada que incluye más de un cultivo o un ciclo agrícola. Dados los beneficios que resultan de la rotación de cultivos, es de importancia considerar un ciclo de rotación, y no simplemente un cultivo, al definir los balances de nutrientes. Por otra parte, la dinámica de los nutrientes en el sistema suelo-planta implica transformaciones que en muchas ocasiones exceden el período de crecimiento de un cultivo, por ejemplo la residualidad de Fósforo (P).

El manejo adecuado de la nutrición y fertilización de cultivos permite mejorar el balance de nutrientes. Existe abundante información a nivel nacional y regional en cuanto a las ventajas agronómicas, económicas y ambientales de la nutrición y fertilización balanceada. Los programas de fertilización balanceada resultan en mejores rendimientos de los cultivos, acercan los rendimientos actuales a los potenciales en las distintas áreas ecológicas, y mantienen y/o mejoran la sustentabilidad de los sistemas de producción (García, 2003).

La exportación de nutrientes por las cosechas generan en el tiempo un agotamiento en elementos químicos esenciales para el crecimiento vegetal y animal que de no ser restituidos adecuadamente limita la productividad de las tierras cultivadas en relación directa a la carencia de elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo vegetal.

El conjunto de elementos presentes en los seres vivos considerados esenciales, podemos dividirlo en el grupo de orgánicos, como ser el Carbono, Hidrógeno, Oxígeno y Nitrógeno (C,H,O,N) e inorgánicos ó minerales, con una subdivisión en macro y micronutrientes, dónde la lista es más amplia y no tan exacta en el número, siendo entre diez y doce. Los más conocidos son Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio y Azufre entre los macronutrientes y Zinc, Cobre, Magnesio, Boro, Molibdeno entre los micronutrientes.

Los cuatro primero (C,H,O,N) se encuentran en la atmósfera terrestre y desde allí a través de la fotosíntesis (C-H-O, es decir, Carbohidratos) y la fijación biológica (N), pasan a ser parte de los compuestos orgánicos vegetales e ingresan al suelo a través del residuo de los mismos.

Los minerales forman parte de la roca madre (regolita) que dan origen al suelo y están contenidos en él, en relación al material madre.

Cuando la tasa de extracción supera a la tasa de reposición, se produce un desbalance con un saldo negativo que llegando a valores críticos, limita la productividad (Romagnoli, 2004).

3) Requerimientos y extracción de nutrientes por cultivo.

El requerimiento nutricional de un cultivo puede resumirse como la cantidad de nutrientes necesarios para el adecuado desarrollo del mismo y la extracción de nutrientes, como la cantidad de nutrientes extraídos del suelo por los granos producidos (Fundación Producir Conservando, 2008).



Tabla 1:

REQUERIMIENTOS Y EXPORTACION DE NUTRIENTES BASE 13% DE HUMEDAD

Maíz	Req	Extr
N	2,20%	1,33%
P	0,40%	0,27%
K	1,90%	0,35%
Ca	0,30%	0,02%
Mg	0,30%	0,14%
S	0,40%	0,12%

Soja	Req	Extr
N *	7,50%	4,86%
P	0,70%	0,54%
K	3,90%	1,69%
Ca	1,60%	0,27%
Mg	0,90%	0,31%
S	0,45%	0,28%

* 70% por F.S.

Sorgo	Req	Extr
N	3,00%	1,75%
P	0,44%	0,32%
K	2,08%	0,35%
Ca		
Mg	0,45%	0,12%
S	0,38%	0,19%

Girasol	Req	Extr
N	4,00%	2,17%
P	1,10%	0,61%
K	2,90%	0,51%
Ca	1,80%	0,13%
Mg	1,10%	0,28%
S	0,50%	0,20%

Trigo	Req	Extr
N	3,00%	1,82%
P	0,50%	0,35%
K	1,90%	0,35%
Ca	0,30%	0,04%
Mg	0,40%	0,22%
S	0,50%	0,15%

Arroz	Req	Extr
N	2,22%	1,30%
P	0,40%	0,30%
K	2,62%	0,23%
Ca	0,28%	0,01%
Mg	0,24%	0,09%
S	0,09%	0,05%

Fuente: IPNI Institute. 2007

Tabla 2:

Requerimientos Nutricionales e Índice de Cosecha.

Nutriente	Requerimiento kg/tn de grano				Índice de cosecha			
	Maíz	Trigo	Soja	Girasol	Maíz	Trigo	Soja	Girasol
Nitrógeno	22	30	80	40	0.66	0.66	0.75	0.60
Fósforo	4	5	8	5	0.75	0.75	0.84	0.8
Potasio	19	19	33	28	0.21	0.17	0.59	0.25
Calcio	3	3	16	18	0.07	0.14	0.19	0.08
Magnesio	3	3	9	11	0.28	0.50	0.30	0.28
Azufre	4	3	7	5	0.45	0.50	0.67	0.38
Boro	0.020	0.025	0.025	0.165	0.25	-	0.31	0.22
Cloro	0.444	-	0.237	-	0.06	-	0.47	-
Cobre	0.013	0.010	0.025	0.019	0.29	0.75	0.53	0.68
Hierro	0.125	0.137	0.300	0.261	0.36	-	0.25	0.13
Manganes	0.189	0.070	0.150	0.055	0.17	0.36	0.33	0.25
Molibdeno	0.001	-	0.005	0.029	0.63	-	0.85	0.21
Zinc	0.053	0.052	0.060	0.099	0.50	0.44	0.70	0.48

Fuente: U.B.A., Apunte Cátedra de Nutrición de Cultivos. Unidad 8.



Es importante remarcar la gran diferencia en requerimientos y extracción de Nitrógeno (en % sobre grano producido) que tiene el cultivo de Soja en comparación con el resto de los cultivos. El dato que falta agregar, es que se considera para éste trabajo, en función de datos aportados por trabajos nacionales e internacionales, que el 70% de ese requerimiento y extracción es aportado por la fijación simbiótica característica de las leguminosas (Fundación Producir Conservando, 2008).

Los requerimientos nutricionales de los cultivos están estrechamente relacionados con la composición del producto final.

Los mayores requerimientos y extracción de nutrientes de las Oleaginosas en comparación a los Cereales se deben a un mayor contenido de proteínas en sus granos (proteo oleaginosas).

El menor índice de cosecha de Azufre (S) en los Cereales, por sobre todo en Trigo, asegura el éxito de fertilización con éste nutriente en el doble cultivo Trigo/Soja, aprovechando ésta última la residualidad del Azufre remanente del Trigo antecesor.

Tabla 3:

Composición química de los granos expresada en %.

Composición química de los granos en relación con el peso seco total			
Especie	Carbohidratos	Lípidos	Proteínas
Girasol	30%	50%	20%
Soja	38%	20%	40%
Trigo	82%	2%	14%
Maíz	84%	5%	10%

Fuente: datos tomados de la U.B.A., Apunte Cátedra de Nutrición de Cultivos. Unidad 8.

¿Cómo se estima un balance de nutrientes?

Los egresos de nutrientes pueden ser estimados a partir de las concentraciones promedio en granos y forrajes cosechados (Tabla 1). Las concentraciones indicadas en tablas son referencias promedio, ya que existen variaciones importantes en la concentración de nutrientes en los granos y forrajes según las condiciones ambientales y de manejo.

Los ingresos de nutrientes se estiman a partir de las cantidades de fertilizantes o abonos orgánicos aplicados y su concentración en nutrientes. Las cantidades de N₂ fijado vía simbiótica y asimbiótica varían según especie, condiciones ambientales y de manejo. Por ejemplo, para soja en la región pampeana, el aporte de N vía fijación simbiótica se ha estimado entre un 30% a 70% de las necesidades totales del cultivo.

El impacto del balance de nutrientes en una determinada rotación y/o cultivo depende de la disponibilidad de nutrientes de cada suelo en particular. Nitrógeno, Fósforo y Azufre son los nutrientes generalmente deficientes en las áreas agrícolas de nuestro país, pero se han observado respuestas a otros nutrientes en cultivos y áreas específicas.



Cálculo de Necesidad y Extracción para la Rotación Maíz//Soja//Trigo-Soja, en tres partes iguales.

Cultivo	Rendimiento	Nutriente	Requerimiento	Ind. Cosecha	Necesidad	Extracción
Maíz	kg/ha		kg/ton		kg	kg
	8000	N	22	0,66	176	116
		P	4	0,75	32	24
		S	4	0,45	32	14
Cultivo	Rendimiento	Nutriente	Requerimiento	Ind. Cosecha	Necesidad	Extracción
Soja 1ra	kg/ha		kg/ton		kg	kg
	3000	N	80	0,75	240	180
		P	8	0,84	24	20
		S	7	0,67	21	14
Cultivo	Rendimiento	Nutriente	Requerimiento	Ind. Cosecha	Necesidad	Extracción
Trigo	kg/ha		kg/ton		kg	kg
	3000	N	30	0,66	90	59
		P	5	0,75	15	11
		S	4,5	0,25	14	3
Cultivo	Rendimiento	Nutriente	Requerimiento	Ind. Cosecha	Necesidad	Extracción
Soja 2da	kg/ha		kg/ton		kg	kg
	2200	N	80	0,75	176	132
		P	8	0,84	18	15
		S	7	0,67	15	10

En el Cultivo de Soja tener en cuenta que el 70% del Nitrógeno se asume que es aportado por Fijación Biológica.

Fuente: Elaboración propia en base a datos INPOFOS.

Cálculo de Necesidad y Extracción para el doble cultivo Trigo/Soja.

Nutriente	Trigo 3000 kg/ha		Soja 3000 kg/ha		Trigo/Soja	
	Necesidad ¹	Extracción ₂	Necesidad	Extracción	Necesidad	Extracción
	----- kg/ha -----					
Nitrógeno	90	59	240 ³	180	330	239
Fósforo	15	11	24	20	39	31
Potasio	57	10	99	58	156	68
Calcio	9	1	48	9	57	10
Magnesio	9	5	27	8	36	13
Azufre	14	3	21	14	35	17
	----- g/ha -----					
Boro	75		75		150	
Cobre	30	23	75	40	105	62
Hierro	411		900		1311	



Manganeso	210	76	450	149	660	224
Zinc	156	69	180	126	336	195

- ¹ Necesidad indica cantidad total de nutriente absorbido.
² Extracción indica cantidad total de nutriente exportada en grano.
³ Las necesidades de N de soja son cubiertas en gran parte por la fijación biológica de N.

4) Materia orgánica y fertilidad. Rotaciones y fertilización.

La M.O. es reserva de numerosos nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas. La M.O. contiene aproximadamente un 58% de C y presenta una relación C/N/P/S estimada en 140:10:1.3:1.3. A partir de esta información, se estima que cada 1% de M.O. en 20 cm de suelo con densidad de 1.1 ton/m³, contiene 22000 kg/ha de M.O., 12000 - 13000 kg/ha de C, 1000 -1200 kg/ha de N, 90 -120 kg/ha de P, y 90 -120 kg/ha de S.

Cuando la fertilización balanceada cubre las demandas de los cultivos, se genera una mayor acumulación de materia seca y por lo tanto de residuos, permitiendo incorporar una mayor cantidad de C al suelo que permitirá mantener y/o mejorar los niveles de M.O. (Tabla 2). El manejo de fertilización balanceada deberá ser acompañado por una rotación de cultivos sustentable y ajustada a las condiciones de suelo y clima y por prácticas como la siembra directa que mantienen una mayor cantidad de C en el sistema (García, 2003).

Tabla 2:

Tratamiento	Maíz	Trigo	Soja	Acumulado
	----- kg C/ha -----			
<i>Don Osvaldo</i>				
Testigo	2692	1380	2072	6144
NP	3975	2322	1765	8061
NPS	4779	2820	2755	10353
NPS Rep	5775	2938	2668	11381
<i>Los Chañaritos</i>				
Testigo	4206	1888	2264	8358
NP	5414	2798	2165	10377
NPS	5760	3043	2216	11019
NPS Rep	6456	3177	2114	11747

Fuente: INPOFOS. García, F.O.

5) Criterios para la reposición de nutrientes.

Las características de los suelos de las principales zonas productoras de la Argentina, dadas por su origen y en función de la escasa historia de uso agrícola, permiten pensar que una parte de los nutrientes extraídos para la producción de granos puede ser aportada



por el suelo y de ésta forma será necesario reponer por vía de los fertilizantes, la diferencia entre lo realmente exportado por el grano y lo aportado por el suelo.

Tomando los criterios de fertilización de cultivos extensivos en E.E.U.U. o en la U.E. vemos con claridad que las recomendaciones de fertilización surgen de realizar un aporte de nutrientes cercano al 100% de los requerimientos de los cultivos, en función del potencial de producción de cada zona.

Éste criterio está relacionado con los más de 100-150 años de agricultura continua que tienen la mayoría de los suelos actualmente en producción y con los niveles de erosión existentes. La aplicación actual de éste criterio está en revisión y es resistida por muchos investigadores, dados los problemas existentes en muchas zonas agrícolas, de contaminación de aguas superficiales y sub-superficiales por residuos de fertilizantes.

La expresión más fiel de éste problema, es lo que ocurre en el estado de Nebraska en E.E.U.U. donde en la recomendación de fertilización para los cultivos, se incluye como aporte, los nitratos existentes en el agua de riego que proviene del lavado de los fertilizantes nitrogenados aportados en cultivos anteriores (Fundación Producir Conservando, 2008).

Dejando de lado las implicancias económicas de un uso ineficiente de nutrientes, uno de los impactos ambientales y sociales más obvios de una aplicación desbalanceada, como por ejemplo puede ser buscar rendimientos potenciales con una sobreoferta de Nitrógeno, es el incremento del riesgo de contaminación de napas freáticas (I.P.N.I., 2005).

Para evitar ineficiencias en la reposición de nutrientes y fertilización de cultivos que conllevan a la inviabilidad económica, ambiental y social de la producción, es sumamente necesario establecer criterios de fertilización en donde interactúen el balance de nutrientes del suelo con la necesidad de los cultivos, en dónde se consideren la dinámica y ciclo de los nutrientes, y en dónde el análisis de suelo sea el punto de partida para un correcto diagnóstico de la situación.

Se sugiere adoptar tasas de reposición de acuerdo al nutriente en cuestión, la secuencia de cultivos, y el ciclo y dinámica de los nutrientes para cada ambiente en particular (balance mineralización/inmovilización).

La movilidad de los nutrientes en el suelo, definen en gran medida la estrategia de manejo de los mismos. De ésta manera, cuando se aplican nutrientes de alta movilidad en el suelo como es el Nitrógeno, la cantidad de fertilizante a aplicar está directamente relacionado al rendimiento objetivo. Sin embargo en nutrientes de baja movilidad en el suelo como por ejemplo el Fósforo, estará centrada en aumentar el nivel del mismo para sostener un determinado nivel de producción (Johnson, 2002).

La posibilidad de explotar los efectos residuales de nutrientes de mediana a baja movilidad (azufre y fósforo) en diferentes momentos en una secuencia de cultivos, brinda la posibilidad de elaborar estrategias de manejo de los mismos cuando sea operativa y financieramente factible (Salvagiotti, 2004).

En nutrientes de menor movilidad como el Fósforo, se pueden aprovechar los efectos residuales en los cultivos posteriores de una secuencia, existiendo evidencias que muestran que estos efectos residuales pueden observarse más allá del cultivo siguiente (Fontanetto, 2004).

La fertilización con Nitrógeno deberá efectuarse en cada cultivo en particular ya que éste elemento no presenta efectos residuales como el Fósforo y el Azufre. Sin embargo, se debe considerar el efecto indirecto que produce sobre la faz orgánica del suelo, que a su vez produce efectos sobre los cultivos siguientes (Fontanetto, 2004). Tengamos en



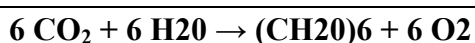
cuenta que la fertilización nitrogenada aumenta la capacidad de producir biomasa y por ende, de capturar Carbono en el sistema.

Las aplicaciones de Fósforo y de Azufre deberán efectuarse considerando el balance de nutrientes del sistema de rotación y no para cada cultivo en particular.

6) Ciclo y dinámica de los nutrientes: C, H, O, N, P y S.

a) Carbono, Hidrógeno, Oxígeno. Agua y Dióxido de Carbono.

El Carbono atmosférico (CO₂) ingresa por difusión en las hojas de las plantas durante la apertura de los estomas. El Carbono asimilado por éstas, se combina con el Hidrógeno y el Oxígeno contenidos en el Agua (H₂O) para formar Hidratos de Carbono, según la ecuación general:



El H y el O se encuentran en la misma proporción que el Agua (2 : 1) y responden a la ecuación general de los Hidratos de Carbono (CH₂O)_n.

Las plantas verdes sintetizan Hidratos de Carbono por medio del proceso de la fotosíntesis. Éstas poseen clorofila (pigmento verde), proteína que cataliza la conversión del Agua y Dióxido de Carbono en Hidratos de Carbono.

Los Hidratos de Carbono son compuestos orgánicos ampliamente distribuidos en los tejidos tanto vegetal como animal, siendo mayoritario en los vegetales. Cumplen funciones estructurales (composición de distintos tejidos) y energéticas (metabolismo hidratos de carbono).

Las plantas son capaces de transformar energía solar ó lumínica en energía química a través del proceso de la fotosíntesis. A diferencia de las plantas, los animales obtienen la energía de los alimentos que ingieren. Es por ello, que los vegetales son considerados unidades productoras de energía dentro de la cadena trófica de los ecosistemas, dado que son capaces de producir su propia energía. Los consumidores primarios obtienen la energía de los vegetales que ingieren y los consumidores secundarios de los consumidores primarios. Finalmente en la cadena trófica, se encuentran los descomponedores, que son aquellos que descomponen la materia orgánica en compuestos inorgánicos elementales, reanudando así el ciclo de la cadena trófica. Los productores son los reguladores de la energía del sistema y los descomponedores son los reguladores de la materia.

La interrelación entre los distintos componentes de un ecosistema se produce por intermedio de flujos de energía y ciclos de la materia.

La respiración es el proceso inverso a la fotosíntesis. El ingreso del Oxígeno por respiración, oxida a los compuestos orgánicos sintetizados durante la fotosíntesis, otorgando la Energía necesaria para las plantas y liberando CO₂ a la atmósfera.

La hidratación por su parte, es necesario para todas las reacciones del metabolismo. Sin el agua, no hay Hidratos de Carbono, no hay energía, no hay metabolismo, no hay vida. A través de la transpiración, se recicla el agua no utilizada hacia la atmósfera en forma de vapor.

El agua, además de formar tejidos, pone en funcionamiento a la planta. Ésta toma el agua del suelo y transpira por los estomas. Por estos ingresa el CO₂. Cuando hay stress hídrico, la planta deja de transpirar y por ende deja de ingresar, CO₂ disminuyendo así la producción. Existe una relación estrecha entre la transpiración y producción.



b) Nitrógeno

El Nitrógeno (N), es considerado un macro nutriente esencial para las plantas. Es un elemento imprescindible para la síntesis de Proteínas (C, H, O, más N). Las Proteínas son indispensables para la nutrición tanto vegetal como animal y humana. Los vegetales tienen la propiedad de sintetizar sus propias Proteínas mientras que los animales y humanos, las obtienen de los alimentos que ingieren.

La mayoría del N proviene de la atmósfera terrestre que es el principal reservorio del planeta Tierra. El 78% de la atmósfera terrestre es N, en estado de gas inerte (N₂), el cual no puede ser asimilado de manera directa por los vegetales. Los dos átomos del Nitrógeno molecular (N₂) presentan una unión tipo triple ligadura. Para producir Nitrógeno sintético, producto llamado urea, es necesario desdoblar la molécula de N₂ en un proceso industrial que sólo puede hacerse por fuertes presiones y altas temperaturas, con un costo energético de aproximadamente 1,2 toneladas de petróleo para producir 1 tonelada de Nitrógeno sintético, ó bien, 2,2 toneladas de urea proveniente del N₂ atmosférico.

En el ciclo del Nitrógeno en el sistema atmósfera-cultivo-suelo, existe un proceso fundamental para el crecimiento de las plantas, por el cual la molécula de N₂ atmosférico es fijado en el suelo y convertida en una molécula orgánica por medio de los microorganismos del suelo. Éste proceso se denomina Fijación Biológica del Nitrógeno (FBN) atmosférico.

La FBN puede ser simbiótica ó de vida libre, siendo la primera cuantitativamente más importante.

El fenómeno de fijación simbiótica realiza el quiebre de la triple ligadura que mantiene unido a los dos átomos de N₂ molecular, por medio de la enzima nitrogenasa.

Para fijar un mol de Nitrógeno Simbiótico se requieren 36 moles de ATP (Adenosin Tri Fosfato), molécula rica en energía (Carbono) y Fósforo Fisiológico (H₂PO₄), por lo cual se puede decir que la FBN simbiótica es fósforo dependiente.

Además de la FBN, existe la Fijación Abiológica de Nitrógeno (FAN) por descargas eléctricas que oxidan al N₂, la cual es cuantitativamente más pequeña.

Las otras vías de ingreso de N al sistema suelo es mediante el aporte de residuos orgánicos ó por fertilización nitrogenada.

Ingresos de Nitrógeno al sistema:

- Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN):
 - De vida simbiótica (FBN simbiótica),
 - De vida libre (FBN libre).
- Fijación Abiológica de Nitrógeno (FAN).
- Residuos Orgánicos.
- Fertilizantes Nitrogenados.

La materia orgánica (M.O.) es la principal reserva de Nitrógeno en el suelo. Del total de Nitrógeno en el suelo (Nt), entre un 95-99% es N orgánico (No) y sólo un 1-5% es N inorgánico (Ni). El N total representa aproximadamente un 5% de la Materia Orgánica del suelo, por lo cual un suelo que contiene un 2% de M.O. posee un 0,10% de Nitrógeno total. El Nitrógeno orgánico contenido en ella es esencialmente de naturaleza proteica. La liberación del grupo amino a partir de las proteínas de la materia orgánica, se denomina proteolisis. Los aminoácidos resultantes pueden seguir la vía de la



mineralización generando amonio (NH_4^+) por reducción de los grupos amino (R-NH_2). Éste es un proceso biológico que se denomina amonificación.

El amonio producido puede seguir la vía de la oxidación pasando primero por la nitratación (NO_2^-) y la nitratación luego (NO_3^-), procesos también de naturaleza biológica.

Durante todos éstos procesos comentados anteriormente, desde la proteólisis hasta la nitratación, pueden ocurrir también, procesos de inmovilización del Nitrógeno y no alcanzar a formar las formas asimilables por las plantas y hasta incluso pérdidas del elemento en el sistema.

Las formas asimilables por las plantas, son bajo las formas catiónicas de amonio (NH_4^+) y las formas aniónicas de nitratos (NO_3^-), siendo ésta última la más frecuente.

Procesos del Nitrógeno en el sistema:

- Proteólisis: Nitrógeno orgánico de naturaleza proteica que por hidrólisis separa los distintos Aminoácidos polimerizados en la Proteína originaria.
- Amonificación: Aminoácidos que se descomponen en Amonio.
- Nitritación: Amonio oxidado a Nitrito.
- Nitratación: Nitrito oxidados a Nitrato.

A diferencia del anión nitrato el amonio es un ión de carácter catiónico. Las arcillas del tipo 2:1 tienen selectividad por éste ión, y puede quedar adsorbido en el complejo intercambiable, ó bien, quedar fijado e inmovilizado en los espacios interlaminares del coloide mineral, compitiendo por éste espacio con el catión Potasio.

El nitrógeno inorgánico del suelo también puede ser inmovilizado por los microorganismos del suelo, lo que se denomina inmovilización microbiana, cuando la relación C/N de los residuos orgánicos no sea lo suficiente como para suministrar el Nitrógeno necesario para descomponer y resintetizar el Carbono contenido en ellos.

Inmovilización del Nitrógeno en el sistema:

- Fijación del catión Amonio,
- Inmovilización Microbiana.

Entre las pérdidas de Nitrógeno se encuentra el proceso de desnitrificación por el cual los microorganismos del suelo reducen las formas de nitratos y nitritos a formas no disponibles y volátiles de Nitrógeno, como por ejemplo: monóxido de nitrógeno, óxido nitroso y nitrógeno molecular. El amonio también puede reducirse a su estado gaseoso de amoníaco y volatilizar hacia la atmósfera.

Las formas solubles por excelencia son las formas inorgánicas de nitritos y nitratos. Éstas se mueven en el suelo por flujo masal, es decir, con la solución del suelo, razón por la cual son altamente susceptibles a salir del sistema por movimiento ascendente (ascenso capilar) y volatilizar hacia la atmósfera, ó bien, por movimiento descendente (lixiviación) perderse en profundidad contaminando napas freáticas.

Otras pérdidas de Nitrógeno son las salidas del sistema a través de los productos de cosecha, que no vuelven al mismo. La erosión también resulta en una pérdida importante del elemento, dada la pérdida de suelo en el horizonte más rico en nutrientes que tiene el perfil del suelo.

Pérdidas de Nitrógeno del sistema:

- Desnitrificación,
- Volatilización,
- Lixiviación,



- Exportación vía Cosechas,
- Exportación vía Erosión.

Fuente: Darwich, N. Manual de la fertilidad de suelos y uso de Fertilizantes. 3° Edición, 2006.

c) Fósforo.

El Fósforo (P) es considerado un macro nutriente esencial para las plantas y de carácter finito.

Tiene vital importancia en el almacén y transferencia de Energía en el metabolismo de las plantas, vía ATP (Adenosin Tri Fosfato) y NADPH⁺ (Nicotinamida-Adenina-Dinucleótido-Fosfato).

El mar es el principal reservorio de Fósforo en el planeta Tierra, siendo la “apatita” contenida en las rocas ígneas marítimas la principal fuente de la misma.

El Fósforo contenido en el suelo proviene básicamente de la meteorización de la roca madre (la regolita).

Al igual que el Nitrógeno pueden reconocerse dos fracciones bien diferenciadas, que son la fracción orgánica y la fracción inorgánica, en proporciones variables de acuerdo al ambiente en cuestión, para lo cual citamos como ejemplo:

- Marco Juárez: 50% fracción orgánica y 50% fracción inorgánica.
- Balcarce: 70% fracción orgánica y 30% fracción inorgánica.
- Corrientes: 30% fracción orgánica y 70% fracción inorgánica.

La fracción orgánica, al mineralizar, pasa a ser parte de la fracción inorgánica. Ésa última, puede estar disponible para las plantas ó no estarlo. Las formas disponibles para las plantas son las de fosfato mono valente y divalente (PO₄⁼ y PO₃⁻, respectivamente).

La fracción inorgánica puede estar disponible ó no estarlo, dado que puede precipitar con el Ca, Fe, ó Al, ó bien, puede estar adsorbido por el complejo coloidal. Entonces, el nivel de concentración de fosfatos disponibles dependerá de la solubilización/precipitación y/ó de la desorción/adsorción y/ó de la mineralización/inmovilización.

La carga negativa del suelo aumentado por un mayor contenido húmico del suelo permita rescatar formas de Fósforo ocluidas por los Sesquióxidos de Hierro y Aluminio. El humus posee una carga eléctrica negativa lo suficientemente grande como para desplazar al anión fosfato ocluido por los Sesquióxidos y liberar así, fosfatos libres hacia la solución del suelo.

Fuente: Darwich, N. Manual de la fertilidad de suelos y uso de Fertilizantes. 3° Edición, 2006.

d) Azufre.

El Azufre (S) es un constituyente esencial de muchas proteínas y aminoácidos.

Los residuos orgánicos representan más del 90% del aporte de Azufre en el suelo, el cual por medio de la mineralización de los residuos pasa a su forma inorgánica disponible para las plantas, los sulfatos.

El Azufre en el suelo se encuentra en su mayoría como Azufre orgánico, constituyendo así la principal reserva de Azufre en el suelo. En su minoría, se encuentra en formas



inorgánicas de sulfatos, formando compuestos con los cationes en solución como ser el Ca, Mg, K y Na.

El ciclo y la dinámica del Azufre es muy similar al del Nitrógeno (a diferencia de las fuentes de cada elemento), por sobre todo en cuanto a sus formas orgánicas (mayoría) e inorgánicas (minoría), a los procesos de mineralización, a la susceptibilidad de los nitratos y sulfatos a reducirse y perderse en formas volátiles, y a la alta movilidad de ambos dado que son débilmente retenidos por el complejo coloidal con el riesgo consecuente de perderse por lixiviación.

Fuente: Darwich, N. Manual de la fertilidad de suelos y uso de Fertilizantes. 3° Edición, 2006.

7) Imputación de la fertilización.

En términos conceptuales se podría decir que la fertilización en un contexto productivo convencional pasa a ser un gasto porque básicamente se fertiliza un cultivo, en tanto que realizado dentro de un sistema de producción con rotación de cultivos y en dónde paralelamente se fije Carbono, no hay dudas que puede ser considerado como una inversión, debido a la sinergia productiva que ejerce en los demás factores y tecnologías aplicadas a los cultivos, particularmente en genética, y en éste caso el objetivo es incrementar la fertilidad del suelo (adaptado de Romagnoli, 2004).

8) Antecedentes de fertilización.

a) Evolución Superficie Sembrada Cereales y Oleaginosas, Producción de Granos y Consumo de Fertilizantes.

Si se analiza la superficie sembrada con Trigo, Maíz, Soja y Girasol se observa que se incrementó un 95% en los últimos 20 años. Para el mismo período la producción de los cuatro cultivos es 3,25 veces más (Tabla 1).

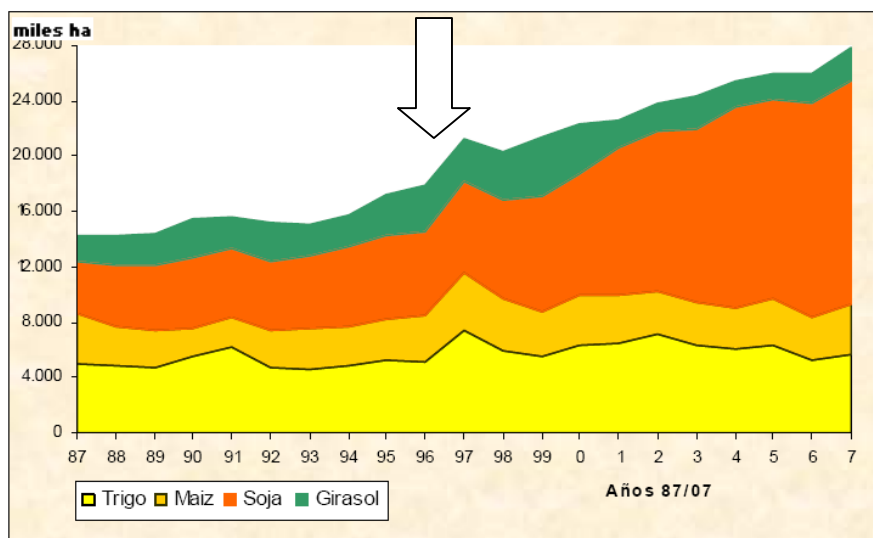
Tabla 1. Evolución de la superficie sembrada y la producción (maíz, trigo, soja y girasol)

	1.987	2.007
Superficie sembrada (mil. de ha)	14.241	27.836
Producción total (mil.de t)	26.850	87.394

FUENTE: Dirección de Agricultura sobre la base de datos de la SAGPyA

En el Gráfico 1 se visualiza la evolución de la superficie sembrada desglosada por cultivo. La gran expansión del área del cultivo de Soja se diferencia de las restantes, incrementando en 4 veces la superficie sembrada inicialmente. El Maíz conserva la misma superficie, el Girasol incrementa su área en un 30% y el Trigo en un 15% aproximadamente.

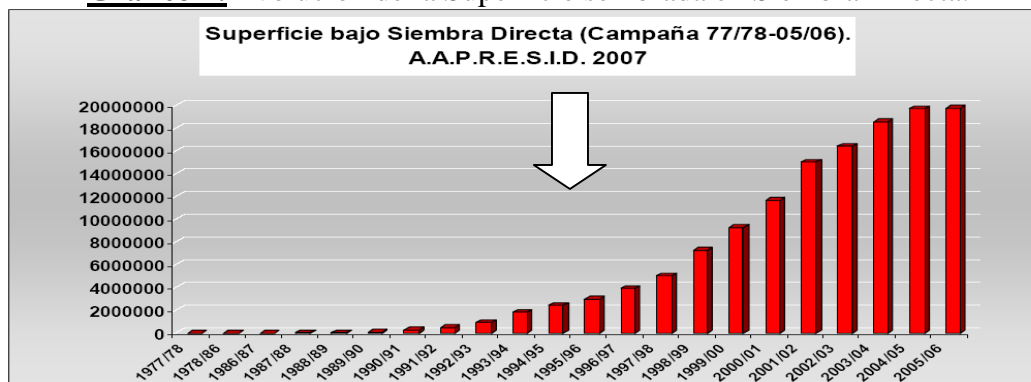
Gráfico 1: Evolución de la superficie sembrada por cultivo



FUENTE: Dirección de Agricultura sobre la base de datos de la SAGPyA

La aparición en el mercado de las semillas genéticamente modificadas (años 1997 y 1998), fue un factor tecnológico fundamental en el incremento del área sembrada con el cultivo de Soja. A su vez se favoreció la difusión y adopción de otra tecnología relevante, la siembra directa, la cual cambia la lógica de razonamiento de la agricultura basada en las labranzas. Ésta consistía en modificar el ambiente (a través de las labranzas) para adaptarlo a la tecnología y potencial genético disponible. En contraposición, en siembra directa, toma relevancia el ambiente de producción, el cual debe conservarse productivo en el tiempo, haciendo necesario adaptar la tecnología y genética disponibles, al ambiente de producción (Gráfico 2).

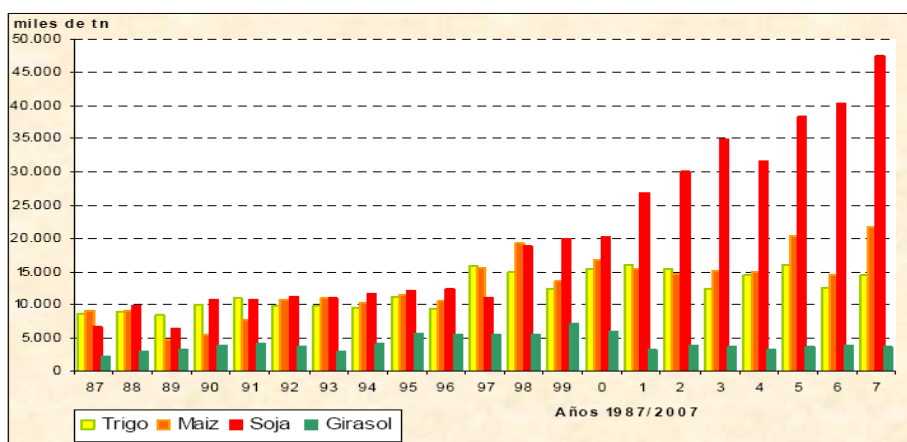
Gráfico 2: Evolución de la Superficie sembrada en Siembra Directa.



Fuente: AAPRESID 2007.

En el Gráfico 3, se visualiza como la producción de Soja crece sostenidamente, si bien el área sembrada aumentó en cuatro veces, la producción lo hizo en siete veces.

Gráfico 3: Evolución de la Producción Nacional por Cultivo.

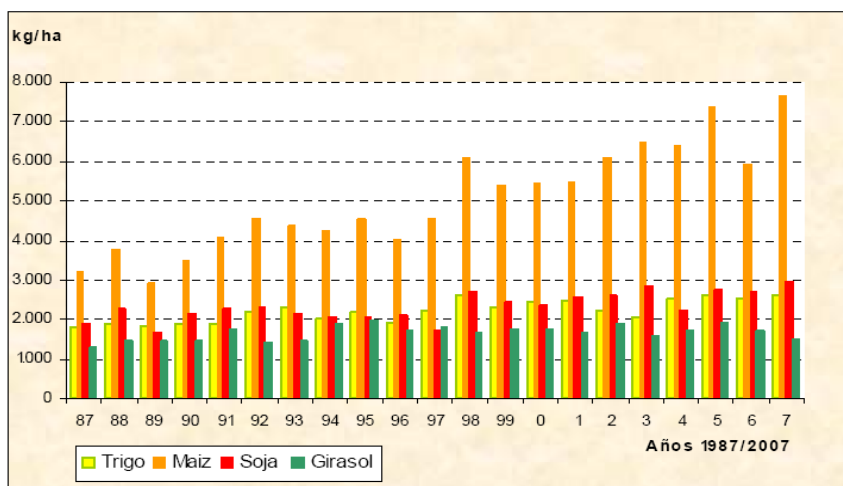


FUENTE: Dirección de Agricultura sobre la base de datos de la SAGPyA

Los cuatro cultivos mencionados representan una producción cercana a los 87,5 Millones de Toneladas, de las cuales 47,5 corresponden al producto Soja.

En el Gráfico 4 se visualiza la evolución de los rendimientos unitarios por cultivo, siendo el Maíz el de mayor incremento, aumentando en 2,4 veces su rendimiento en 20 años, evidenciando ser el cultivo de mayor repuesta a la incorporación de Tecnología. Soja y Trigo aumentaron su productividad en casi un 50% y el Girasol en un 20%.

Gráfico 4: Evolución de los Rendimientos por Cultivo.

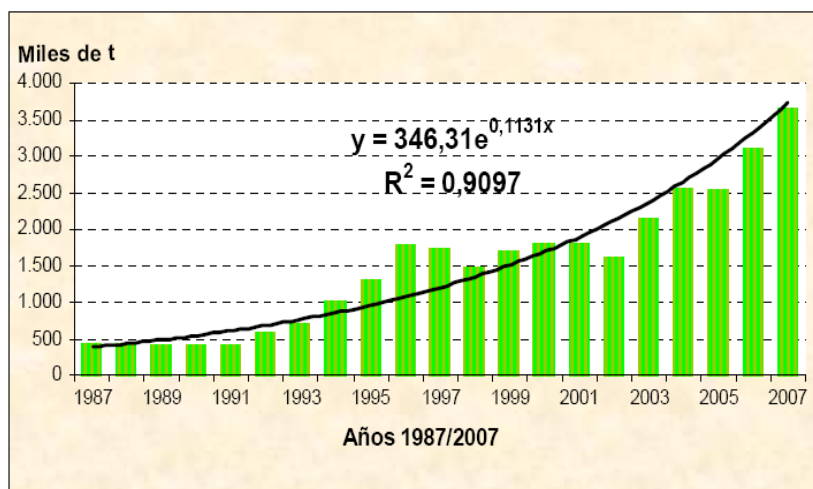


FUENTE: Dirección de Agricultura sobre la base de datos de la SAGPyA

Es importante también, conocer la evolución en el consumo de fertilizantes en los últimos 20 años (Gráfico 5), cuyo incremento responde a un modelo de crecimiento exponencial.



Gráfico 5: Evolución Consumo Fertilizantes.



FUENTE: Dirección de Agricultura sobre la base de datos de CIAFA y Fertilizar Asociación Civil



V) Visión holística del sistema de producción.

1) Introducción.

a) Sistema de producción. Concepto.

Para comprender mejor el concepto de sistema de producción, definiremos por separado los términos de sistema y producción.

Sistema es un conjunto de elementos que interactúan entre sí.

Producción es la transformación de insumos en productos.

Por lo tanto se puede definir, de manera simplificada, que un sistema de producción es aquél que tiene entradas (insumos), los cuales sufren un proceso de transformación, y una salida (producto).

A modo de ejemplo, un sistema de información, tiene una entrada (datos), los cuales son procesados, y una salida (información).

b) Teoría general de los sistemas.

La teoría general de los sistemas, se basa en la comprensión de la interdependencia recíproca de todas las disciplinas y en la necesidad de su integración.

El propósito de la teoría de los sistemas para los negocios es desarrollar un objetivo y un medio ambiente comprensible para la toma de decisiones.

El empresario debe comprender el negocio no como un número de partes aisladas sino como un todo integrado, conociendo pues las relaciones entre las diferentes partes y haciéndose conciente de las interacciones potenciales.

Si se encara la actividad agropecuaria con el objetivo de una maximización de beneficios, por ejemplo, la problemática central del planeamiento será anticiparse a encontrar todas aquellas interacciones más eficientes de nuestros recursos, tanto actuales como futuros, para ubicar en el mercado determinados bienes ó servicios agropecuarios.

El pensamiento sistémico implica pensar en términos de causa-efecto pero no de manera lineal sino interrelacionada.

La dinámica de sistemas permite comprender el funcionamiento del sistema y su comportamiento a lo largo del tiempo y como varían las dinámicas de acuerdo a las distintas interrelaciones.

c) La Agricultura funciona como un sistema.

En definitiva, el rendimiento de los cultivos no es más que la expresión fenotípica de la interacción resultante entre el genotipo y el ambiente de producción.

$$\boxed{\text{Fenotipo} = \text{Genotipo} + \text{Ambiente}}$$

La expresión de atributos fenotípicos de interés (como por ejemplo, alto potencial de rendimiento), está determinada en diferentes proporciones por efectos atribuibles al ambiente, al genotipo y a la interacción entre ambos. Ahora, para que el alto potencial de rendimiento contenido en el genotipo se exprese, debe interactuar con un ambiente capaz de responder positivamente y viceversa.

Para reducir la brecha entre los rendimientos potenciales y los rendimientos promedio, debemos mejorar el ambiente de producción. Para ello tenemos en la siembra directa, un



sistema de producción capaz de permitir alta productividad y mejora continua del ambiente, de manera simultánea.

En la rotación de cultivos, existe una secuencia de cultivos que interaccionan entre sí, en un proceso dinámico (donde conviven pasado, presente y futuro) en donde el cultivo antecesor interacciona con el cultivo sucesor.

El planeamiento de la secuencias, debe entonces contemplar el efecto antecesor-sucesor y buscar todas aquellas interacciones que potencien el rendimiento de los cultivos que intervienen en la rotación, en donde convivirán cultivos de mayor y menor renta, pero la interacción estratégica de éstos, resultarán en una renta global igual ó mayor, pero por sobre todo, más estable y perdurable en el tiempo.

d) Ecología de los agro-ecosistemas.

La ecología es la ciencia que estudia las interacciones entre los organismos y su medio ambiente.

Se distingue en ella tres niveles de interés: la especie, la población y la comunidad.

Especies, es el conjunto de individuos que comparten las mismas características genotípicas y básicamente fenotípicas. Por ejemplo, *Glycine max* (Soja).

Población, es el conjunto de individuos de la misma especie, que comparten un mismo tiempo y espacio (ambiente), que se cruzan entre sí y dejan descendencia fértil. Por ejemplo, un cultivo de Soja.

Comunidad, es el conjunto de poblaciones que conviven a lo largo del tiempo en un ecosistema dado. Comprende los factores bióticos y abióticos del ecosistema y sus interrelaciones. Por ejemplo, la secuencia de cultivos y el ambiente que lo rodea.

Las comunidades sufren un proceso de evolución hasta alcanzar una situación climax. Una comunidad climax es aquella etapa culminante de una evolución, en la cual se optimiza el uso de los recursos y se caracteriza por ser un ambiente con mayor número de especies (biodiversidad) y un menor número de individuos por especie.

Cuando una evolución termina en una situación climax, estamos en presencia de una evolución primaria. Cuando el proceso sufre un retroceso (involución) y vuelve a darse una situación climax, estamos en presencia de una evolución secundaria.

Podríamos decir que las labranzas generan un proceso de involución en los agro-ecosistemas mientras que la siembra directa es el proceso evolutivo, de mejora continua y direccionada en un solo sentido, que tiene como horizonte al suelo virgen.



2) Consideraciones Finales, por Tomás Zapiola.

Bajo el título “Estrategias para una Agricultura Sustentable”, la presente Tesis no es más que una revisión bibliográfica que en función de un objetivo, Agricultura Sustentable, intenta revalorizar todas aquellas estrategias básicas pero elementales para lograrlo.

Debo aclarar primero, que las estrategias propuestas no tienen el carácter de recetas agronómicas, sino todo lo contrario, se propone aquí propuestas en función del diagnóstico, tal cual como surgió la idea de la siembra directa en su momento. La misma, es el fruto de la observación, en donde se comprendió, luego de haber visto y padecido, que los sistemas de labranzas anteriores eran inviables e incapaces de sostener una productividad en permanente aumento y de manera sostenida en el tiempo.

Es necesario comprender primero, que la agricultura funciona como un sistema. Un sistema dinámico y complejo. Dinámico porque no es un proceso estático, sino que evoluciona (ó involuciona como sucedía con las labranzas), y complejo, porque como tal, responde de manera distinta ante estímulos similares.

Como se mencionara anteriormente, en un sistema de producción de granos, el rendimiento no es más que la expresión fenotípica de las interacciones entre el genotipo y su ambiente. El potencial genético se expresará de peor ó mejor manera, en función de su interacción con el ambiente de producción. A fin de reducir la brecha entre los rendimientos potenciales y los promedios, está en manos del productor la oportunidad de mejorar el ambiente de producción.

En un sistema de producción de granos en seco, el factor ambiental que más limita a los rendimientos y a su variabilidad entre años, es el agua. La siembra directa, bajo el lema de la no labranza y residuos sobre la superficie del suelo, propone un uso más eficiente, económico, y racional del agua.

Pero bien, para potenciar el correcto funcionamiento del sistema, no basta con dejar de arar y dejar los residuos de cosecha sobre el suelo. Debemos incorporar a la rotación de cultivos, como herramienta ineludible en el sistema. Una secuencia de cultivos que contemple todas aquellas interacciones positivas capaces de generar beneficios tanto para los cultivos que la integran, como para el ambiente en el que se sostiene y nutre. Con una diversidad e intensidad de cultivos semejante a la del ambiente natural original. Con una fertilización de cultivos que contemple aquellos nutrientes exportados del sistema, a fin de no producir desequilibrios en el agro-ecosistema. Con la incorporación de las nuevas tecnologías, tanto de proceso como de insumos, que integradas a las mencionadas anteriormente, converjan en un proceso de mejora permanente.



VI) Análisis económico integral de varios sistemas de rotación de cultivos.

Dada la inestabilidad manifiesta en las relaciones de insumo & producto que existe en la actualidad, si se analizarán los resultados en valores absolutos, es muy probable que los resultados que surjan de éste trabajo pierdan validez en el tiempo. Se propone entonces, un análisis en función de las relaciones de precios en valores relativos (con reseña estadística histórica), y con una visión sistémica de los resultados que contemple el aporte global, con criterio económico (margen bruto) y técnico (balance de Carbono y nutrientes del módulo de rotación) de la sumatoria de las actividades que se producen en el sistema de producción.

Para los cálculos se utilizaron los siguientes supuestos:

- Las relaciones de precio entre los distintos productos, de acuerdo a la reseña estadística histórica de los mismos fue la siguiente:
Maíz & Soja: 2 & 1.
Trigo & Soja: 1,50 & 1.
Maíz & Trigo: 1,30 & 1.
Girasol & Soja: 1 & 1.
Esto significa, a modo de ejemplo, que se requiere de 2 unidades de Maíz para adquirir 1 unidad de Soja (ver Precio productos según reseña estadística histórica).
- Los costos de producción están expresados en función de la relación de precios Producto & Insumo, es decir cantidad de producto necesarios para comprar una unidad de insumos, de acuerdo a la reseña estadística histórica de los mismos (ver Anexo).
- El resultado del margen bruto, está expresado en quintales de producto por hectárea. El mismo debe multiplicarse por su valor en unidades para obtener el valor económico, y por su valor en Dólares para su valor monetario (1 Unidad : 1 U\$S). Por ejemplo si el resultado del margen bruto de la Soja fue 1,5 TN/HA y su valor en unidades es de 200 Unidades/TN, entonces son 300 Unidades/Ha lo que a un valor de 1 U\$S/Unidad equivale a 300 U\$S/HA.
- En cuanto a los rendimientos de cultivos se pondera los índices relativos citados en el Capítulo III (rotaciones de cultivos) de acuerdo a la secuencia de cultivos en cuestión. Por ejemplo, para Sojas que suceden a un cultivo de Maíz, incrementos en los rendimientos del 15% versus monocultivo de Soja.
- La dosis de fertilización para N/P/S son en base al Balance de Nutrientes que resulten en una reposición del 100% del P/S y de una fertilización en función de umbrales de repuesta para el Nitrógeno, de acuerdo a los criterios técnicos propuestos en el Capítulo V (Fertilización de cultivos).
- Se compara el balance de Carbono de las distintas secuencias de cultivos, a fin de valorizar el aporte de cada una de ellas en cuanto a la evolución del Carbono edáfico, dada su vital importancia como indicador de la calidad edáfica y mantenimiento de la productividad de los suelos.
- No se incluye al Girasol, pero en aquellas zonas donde el mismo sea más competitivo que la Soja, se considerará al Girasol en lugar de la Soja de primera. Lo mismo para el cultivo de Sorgo en competencia con el cultivo de Maíz.



EVOLUCIÓN PRECIOS PRODUCTOS.
COTIZACIÓN EN DÓLARES CORRIENTES.

MAÍZ: FAS ROSARIO (US\$/TN)			TRIGO: FAS BS. AS. (US\$/TN)		
AÑO	PRECIO	PROM.	AÑO	PRECIO	PROM.
1989	65	65	1989	84	84
1990	81	73	1990	107	96
1991	94	80	1991	87	93
1992	96	84	1992	119	99
1993	110	89	1993	134	106
1994	109	93	1994	122	109
1995	118	96	1995	177	119
1996	152	103	1996	205	129
1997	108	104	1997	143	131
1998	96	103	1998	112	129
1999	91	102	1999	109	127
2000	81	100	2000	108	126
2001	83	99	2001	123	125
2002	76	97	2002	120	125
2003	80	96	2003	126	125
2004	81	95	2004	111	124
2005	70	94	2005	104	123
2006	93	94	2006	112	122
2007	118	95	2007	157	124
2008	138	97	2008	180	127
2009	115	98	2009	153	128
SOJA: FAS ROSARIO (US\$/TN)			GIRAS.: FAS ROSARIO (US\$/TN)		
AÑO	PRECIO	PROM.	AÑO	PRECIO	PROM.
1989	117	117	1989	120	120
1990	132	125	1990	136	128
1991	167	139	1991	163	140
1992	192	152	1992	173	148
1993	219	165	1993	226	164
1994	226	176	1994	237	176
1995	219	182	1995	217	182
1996	272	193	1996	221	187
1997	291	204	1997	230	191
1998	211	205	1998	246	197
1999	168	201	1999	163	194
2000	180	200	2000	140	189
2001	173	197	2001	170	188
2002	143	194	2002	152	185
2003	177	192	2003	171	184
2004	195	193	2004	183	184
2005	170	191	2005	176	184
2006	176	190	2006	174	183
2007	217	192	2007	292	189
2008	281	196	2008	317	195
2009	240	198	2009	230	197

RELACIONES DE PRECIO

KILOS NECESARIOS PARA COMPRAR UN KILO DE PRODUCTO.

MAÍZ : SOJA	2,02	MAÍZ : TRIGO	1,31
TRIGO : SOJA	1,55	GIRASOL : SOJA	1,00

Se puede decir que si el Maíz vale 100 unidades, el Trigo vale 130 Unidades y la Soja y el Girasol 200 Unidades de acuerdo a la Relación de Precios Histórica de los últimos 20 años (89/08).-

Fuente: elaboración propia en base a revistas Agromercado y Márgenes Agropecuarios.



MÁRGEN BRUTO EN QUINTALES/H.A.
COSTO EN QQ/HA SEGÚN RELACIÓN INSUMO & PRODUCTO

PRECIO RELATIVO PRODUCTOS UNIDADES/HA.			
	MAÍZ	100	
	TRIGO	130	
	SOJA	200	
	GIRASOL	200	
COSTOS DE PRODUCCIÓN Y MÁRGEN BRUTO DEL MAÍZ.			
CUENTAS EN QQ.-	PRODUCTO:	INSUMO UNIDADES	TOTAL
Semilla de Maíz.		7,970	1,100
S.D. con doble fertiliz.		1,688	1,220
Pulverizaciones		1,688	0,400
Fosfato diamónico		0,039	125,000
Urea Granulada		0,030	125,000
Sulfato de Amonio		0,030	50,000
Glifosato		0,532	5,000
Atrazina al 50%		0,332	4,000
Acetoclor		0,693	2,000
Cipermetrina		0,500	0,150
TOTAL COSTO DE PRODUCCIÓN MAÍZ EN QQ/HA:			27,1
Rendimiento	QQ/HA		82
Gastos Comerciales	23% del Ingreso Bruto		18,9
Gastos Cosecha	7% del Ingreso Bruto		5,74
Gastos Producción			27,1
SALDO DISPONIBLE EN QUINTALES/HA:			30
RESULTADO MAÍZ EN U\$S/HA:			303
COSTOS DE PRODUCCIÓN Y MÁRGEN BRUTO DE LA SOJA 1°			
CUENTAS EN QQ.-	PRODUCTO:	INSUMO UNIDADES	TOTAL
Semilla Soja		1,000	1,000
Curasem. & Inoculante		0,250	1,000
Siembra Directa		0,819	1,100
Fosfato Simple		15,00	0,150
Super Fosfato Triple		20,00	0,050
Pulveriz. Terrestres		0,819	0,800
Pulveriz. Aéreas		0,819	0,400
Glifosato		0,266	8,000
2,4 D 100%		0,228	0,500
Endosulfán		0,250	0,500
Clorpirifós		0,350	0,500
Cipermetrina		0,250	0,200
TOTAL COSTO DE PRODUCCIÓN SOJA 1° EN QQ/HA:			9,1
Rendimiento	QQ/HA		35
Gastos Comerciales	13% del Ingreso Bruto		4,6
Gastos Cosecha	7% del Ingreso Bruto		2,45
Gastos Producción			9,1
SALDO DISPONIBLE EN QUINTALES/HA:			19
RESULTADO SOJA 1° EN U\$S/HA:			378
CUENTAS EN QQ.-	PRODUCTO:	INSUMO UNIDADES	TOTAL
Semilla Centeno		1,250	1,000
Siembra Directa		0,819	1,100
Mezcla N/P/S		1,500	1,000
Glifosato		0,27	2,000
Metsulfurón		3,00	0,007
2,4 D 100%		0,23	0,300
Pulveriz. Terrestres		0,819	0,200
TOTAL COSTO DE PRODUCCIÓN CENTENO			4,4
TOTAL COSTO DE PRODUCCIÓN CENTENO & SOJA:			20,5
SALDO DISPONIBLE EN QUINTALES/HA:			14
RESULTADO CENTENO/SOJA 1° EN U\$S/HA:			289



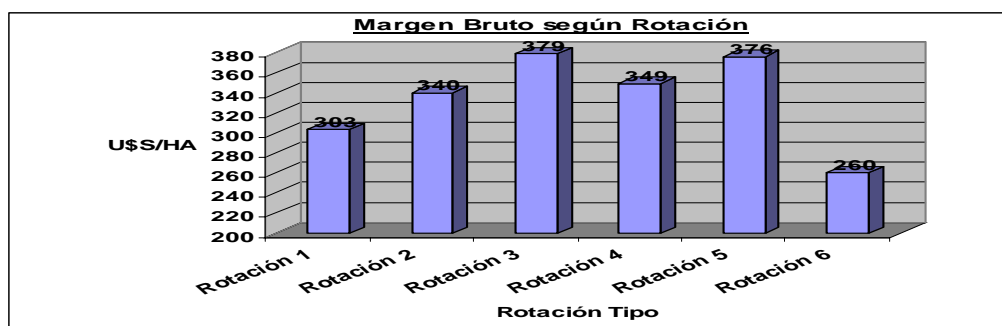
COSTOS DE PRODUCCIÓN Y MÁRGEN BRUTO DEL TRIGO

CUENTAS EN QQ.-	PRODUCTO:INSUMO	UNIDADES	TOTAL
Semilla & Curasem.	1,500	1,200	1,800
S.D. con doble fertiliz.	1,298	1,220	1,584
Pulverizaciones	1,298	0,400	0,519
Fosfato di amónico	0,031	150,000	4,615
Urea Granulada	0,023	125,000	2,885
Sulfato de Amonio	0,023	75,000	1,731
Glifosato	0,404	2,500	1,010
2,4 D 100%	0,346	0,300	0,104
Misil	0,350	0,150	0,053
Cipermetrina	0,385	0,150	0,058
TOTAL COSTO DE PRODUCCIÓN TRIGO EN QQ/HA:			14,4
Rendimiento	QQ/HA		28
Gastos Comerciales	23% del Ingreso Bruto		6,4
Gastos Cosecha	9% del Ingreso Bruto		2,52
Gastos Producción			14,4
SALDO DISPONIBLE EN QUINTALES/HA:			5
RESULTADO TRIGO EN US\$/HA:			61

COSTOS DE PRODUCCIÓN Y MÁRGEN BRUTO DE LA SOJA 2°

CUENTAS EN QQ.-	PRODUCTO:INSUMO	UNIDADES	TOTAL
Semilla Soja	1,000	1,000	1,000
Curasem.& Inoculante	0,250	1,000	0,250
Siembra Directa	0,819	1,100	0,901
Fosfato Simple	15,00	0,000	0,000
Fosfato Simple	0,00	0,000	0,000
Pulveriz. Terrestres	0,819	0,600	0,491
Pulveriz. Aéreas	0,819	0,400	0,328
Glifosato	0,266	6,000	1,596
2,4 D 100%	0,228	0,000	0,000
Endosulfán	0,250	0,500	0,125
Clorpirifós	0,350	0,500	0,175
Cipermetrina	0,250	0,200	0,175
TOTAL COSTO DE PRODUCCIÓN SOJA 2° EN QQ/HA:			5,0
Rendimiento	QQ/HA		28
Gastos Comerciales	13% del Ingreso Bruto		3,6
Gastos Cosecha	8% del Ingreso Bruto		2,24
Gastos Producción			5,0
SALDO DISPONIBLE EN QUINTALES/HA:			17
RESULTADO SOJA 2° EN US\$/HA:			342

RESULTADO TRIGO/SOJA 2° EN US\$/HA: 402





MÁRGENES BRUTOS DE LOS CULTIVOS SEGÚN RENDIMIENTO

Rendimiento Q Q/H A	70	80	90	100
M.B. Maíz Q Q/H A	22,5	29,6	36,7	43,8
M.B. Maíz U \$\$/H A	225	296	367	438
Rendimiento Q Q/H A	20	25	30	35
M.B. Soja 1° Q Q/H A	7,1	11,1	15,2	19,2
M.B. Soja 1° U \$\$/H A	141,6	222,5	303,4	384,4
Rendimiento Q Q/H A	20	25	30	35
M.B. Trigo Q Q/H A	-0,3	3,2	6,7	10,2
M.B. Trigo U \$\$/H A	-4,5	41,1	86,6	132,2
Rendimiento Q Q/H A	15	20	25	30
M.B. Soja 2° Q Q/H A	7,0	11,0	15,0	19,0
M.B. Soja 2° U \$\$/H A	139,3	219,3	299,4	379,4
Rendimiento Q Q/H A	20/20	20/25	20/30	30/30
M.B. TR/SJ2° U \$\$/H A	214,9	294,9	375,0	466,0
Rendimiento Q Q/H A	20	25	30	35
M.B. C.C./SJ1° U \$\$/H A	52,9	222,5	303,4	384,4

MÁRGENES BRUTOS DE LAS ROTACIONES DE CULTIVOS

Cultivo	Soja	Rotación 1
Q Q/H A	30	Promedio
U \$\$/H A	303	303

Cultivo	Soja	Maíz	Rotación 2
Q Q/H A	35	80	Promedio
U \$\$/H A	384	296	340

Cultivo	Soja	Trigo/Soja	Maíz	Rotación 3
Q Q/H A	35	30/25	90	Promedio
U \$\$/H A	384	386	367	379

Cultivo	Cent./Soja	Trigo/Soja	Maíz	Rotación 4
Q Q/H A	35	30/25	90	Promedio
U \$\$/H A	296	386	367	349

Cultivo	Trigo/Soja	Maíz	Rotación 5
Q Q/H A	30/25	90	Promedio
U \$\$/H A	386	367	376

Cultivo	Trigo/Soja	Rotación 6
Q Q/H A	25/20	Promedio
U \$\$/H O	260	260

Rotación	U \$\$/H A
Rotación 1	303
Rotación 2	340
Rotación 3	379
Rotación 4	349
Rotación 5	376
Rotación 6	260



ATRIBUTOS DISTINTOS DISEÑOS DE ROTACIONES

Módulo	Soja 1°	Soja 1°	Soja 1°	Soja 1°	Soja 1°	Años
Año	1	2	3	4	5	5
Cantidad Cultivos	5	Intensidad	Cosecha	1	Gramíneas	0
Cantidad Cosechas	5	Intensidad	Cultivos	1	Oleaginosas	5
Año	1	2	3	4	5	X (Tn/Ha)
Rinde	3,5	3,3	3	2,7	2,5	3,00
Índice Relativo	100%	94%	86%	77%	71%	86%
Materia Seca	7,22	6,81	6,19	5,57	5,16	6,19
Entradas Carbono	1,44	1,36	1,24	1,11	1,03	1,24
Salidas Carbono	1,94	1,94	1,94	1,94	1,94	1,94
Balance Carbono	-0,49	-0,58	-0,70	-0,82	-0,91	-0,70
En Kg Carbono/Ha	-494	-576	-700	-824	-907	-700

Módulo	Maíz	Soja 1°	Maíz	Soja 1°	Años	
Año	1	2	3	4	4	
Cantidad Cultivos	4	Intensidad	Cosecha	1	Gramíneas	2
Cantidad Cosechas	4	Intensidad	Cultivos	1	Oleaginosas	2
Año	1	2	3	4	X (Tn/Ha)	
Rinde	8,0	3,5	8	3,5	5,75	
Índice Relativo	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Materia Seca	8,26	7,22	8,26	7,22	0,00	7,74
Entradas Carbono	1,65	1,44	1,65	1,44	0,00	1,55
Salidas Carbono	1,94	1,94	1,94	1,94	0,00	1,94
Balance Carbono	-0,29	-0,49	-0,29	-0,49	0,00	-0,39
En Kg Carbono/Ha	-287	-494	-287	-494	0,00	-391

Módulo	Maíz	Soja 1°	Trigo	Soja 2°	Años	
Año	1	2	3	3	3	
Cantidad Cultivos	4	Intensidad	Cosecha	1,33	Gramíneas	2
Cantidad Cosechas	4	Intensidad	Cultivos	1,33	Oleaginosas	2
Año	1	2	3	3	X (Tn/Ha)	
Rinde	9,0	3,5	3	2,5	6,00	
Índice Relativo	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Materia Seca	9,29	7,22	5,88	5,16	0,00	9,18
Entradas Carbono	1,86	1,44	1,18	1,03	0,00	1,84
Salidas Carbono	1,94	1,94	1,94	0,00	0,00	1,94
Balance Carbono	-0,08	-0,49	0,27	0,00	0,00	-0,10
En Kg Carbono/Ha	-81	-494	270	0,00	0,00	-102

Módulo	Maíz	Centeno	Soja 1°	Trigo	Soja 2°	Años
Año	1	2	2	3	3	3
Cantidad Cultivos	5	Intensidad	Cosecha	1,33	Gramíneas	3
Cantidad Cosechas	4	Intensidad	Cultivos	1,67	Oleaginosas	2
Año	1	2	3	4	4	X (Tn/Ha)
Rinde	9,0	0	3,5	3	2,5	6,00
Índice Relativo	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Materia Seca	9,29	5,00	7,22	5,88	5,16	10,85
Entradas Carbono	1,86	1,0	1,44	1,18	1,03	2,17
Salidas Carbono	1,94	1,94	1,94	1,94	0,00	1,94
Balance Carbono	-0,08	0,51	0,27	0,27	0,23	0,23
En Kg Carbono/Ha	-81	511	270	270	233	233

Balance de Carbono en Kg/Ha.

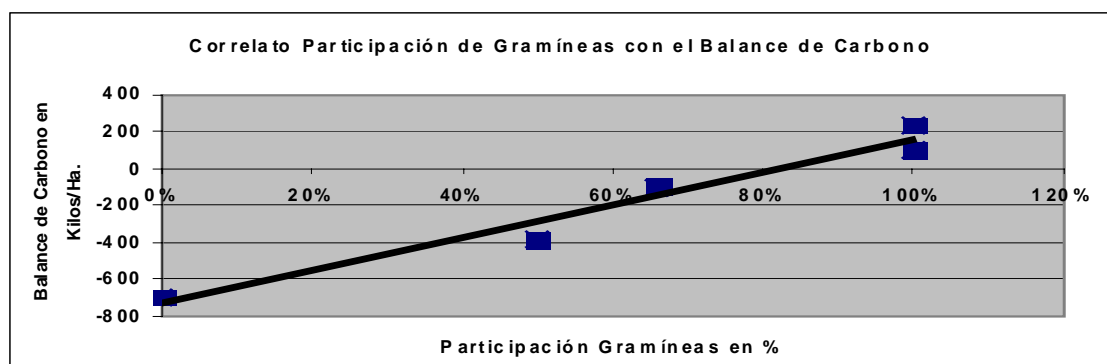


Módulo	Maíz	Trigo	Soja 2°			Años
Año	1	2	2			2
Cantidad Cultivos	3	Intensidad	Cosecha	1,50	Gramíneas	2
Cantidad Cosechas	3	Intensidad	Cultivos	1,50	Oleaginosas	1
Año	1	1	2	2	X (Tn/Ha)	
Rinde	9,0	3	2,5	0	7,25	
Índice Relativo	100%	100%	100%	0%	0%	0%
Materia Seca	9,29	5,88	5,16	#¡REF!	0,00	#¡REF!
Entradas Carbono	1,86	1,18	1,03	0,00	0,00	2,03
Salidas Carbono	1,94	1,94		0,00	0,00	1,94
Balance Carbono	-0,08	0,27		0,00	0,00	0,09
En Kg Carbono/Ha	-81	268		0,00	0,00	94

Módulo	Trigo	Soja 2°	Trigo	Soja 2°			Años
Año	1	1	2	2			2
Cantidad Cultivos	4	Intensidad	Cosecha	2,00	Gramíneas		2
Cantidad Cosechas	4	Intensidad	Cultivos	2,00	Oleaginosas		2
Año	1	1	2	2	X (Tn/Ha)		
Rinde	2,5	2	2	2	4,25		
Índice Relativo	100%	100%	80%	100%	0%		0%
Materia Seca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
Entradas Carbono	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
Salidas Carbono		1,94		1,94	0,00		1,94
Balance Carbono		-1,94		-1,94	0,00		-1,94
En Kg Carbono/Ha		-1939		-1939	0,00		-1939

Correlación entre Ratio Gramíneas:Oleaginosas & Balance de Carbono.

A medida que aumenta el predominio de Gramíneas, el balance se acerca a cero. (excepto el Trigo/Soja, que al ser pobre el Rinde -monocultivo- es pobre su aporte de C.



DATOS CONSIDERADOS EN EL DISEÑO			
Cultivos	Soja	Maíz	Trigo
Índice Cosecha	2	1	1,90
Materia Seca	86%	86%	86%
Aporte Radicular	1,20	1,20	1,20
Total Materia Seca	2,06	1,03	1,96
Carbono Residuos	40%	40%	40%
Porción Humificada	50%	50%	50%
Coefficiente Húmico	0,41	0,21	0,39
Coefficiente Mineralización		5,70%	0-20 cm.
Materia Orgánica %		2,25%	0-20 cm.
Materia Orgánica TN/HA		58,5	0-20 cm.
Carbono Orgánico TN/HA		34	0-20 cm.
Salidas de Carbono TN/HA		1,94	0-20 cm.



VII) Análisis de un caso real.

El establecimiento “Las Trincheras”, propiedad de la familia Zapiola, está ubicado en la localidad de La Carlota, al Centro-Sur de la Provincia de Córdoba.

De acuerdo a la clasificación de suelos del INTA, los suelos predominantes en Las Trincheras corresponden a la serie de suelos Olaeta (haplustol éntico). Se trata de suelos algo excesivamente drenados, desarrollados sobre materiales franco-arenosos (tienen en promedio un 60% de arena, 30% de limo y 10% de arcilla) y que se encuentran vinculadas con lomas arenosas con distintos porcentajes de hoyas medianosas estabilizadas dentro de la llanura eólica cordobesa. Poseen un horizonte A, pobre en materia orgánica, de textura franco-arenosa. Continúa el horizonte AC, franco-arenoso y transicional al material originario, de textura arenosa franca.

La capacidad de uso de éstos suelos se encuentra limitada por la baja capacidad de retención de la humedad y por el clima, siendo clasificados como suelos de clase III ec.

La localidad posee un clima de carácter templado con distribución pluviométrica característico de un régimen monzónico (concentración estival de las lluvias). Las precipitaciones poseen una alta variabilidad tanto inter como intraanual.

En términos generales podríamos decir que son suelos livianos (60% arena), donde la relación M.O. joven/M.O. vieja es mayor que en suelos pesados, por lo que el aporte continuo y abundante de M.O. es muy importante para mantener la estructura del suelo.

Los suelos arcillosos son estructuralmente fuertes, en cambio en los suelos arenosos la unión entre partículas es débil, y es aquí en donde la M.O. tiene un rol preponderante en cuanto a mantener la estabilidad estructural del suelo, propiedad edáfica muy importante en la dinámica del agua del suelo.

1) Evolución de los Sistemas de Producción en Las Trincheras.

En los últimos 20 años el establecimiento ha experimentado grandes cambios en el sistema productivo, como también ha ocurrido en los sistemas de producción a nivel País. Las Trincheras era originalmente un campo dedicado a la producción de carne a base pastoril. Predominaban en él, praderas de pasto llorón, praderas en base de alfalfa y cebadilla, verdeos de invierno y de verano. En ese sistema, la cobertura vegetal era permanente y por tanto, también la actividad biológica del suelo.

A mediados de la década del noventa, se produjo un cambio sustancial en el sistema productivo con predominio del cultivo del maní y un uso intensivo de las labranzas, desapareciendo las praderas y la cobertura vegetal permanente. El suelo quedó desnudo y tanto la erosión eólica (voladuras) como hídrica (encostramientos) era moneda corriente. Las labranzas se fundamentaban en que se debía modificar el ambiente para producir. La degradación no tardó en llegar y mucho menos en manifestarse. La pérdida de fertilidad y capacidad de producir fue tal, que se comprendió que éste sistema era inviable tanto económica, como ambiental y socialmente. En consecuencia surge la adopción de la Siembra Directa. Se eliminaron las labranzas, comprendiendo que para producir no era necesario modificar el ambiente. Se dejaron los residuos de cosecha sobre la superficie del suelo, comprendiendo que el agua es un recurso escaso y por ende, hay que economizarlo. Pero tal Sistema de Producción, no fue concebido como tal. Se produjo un primer cambio, importante por cierto, pero no se cambió la cultura del monocultivo. El sistema fue caracterizado por una deficiente planificación y diseño de las secuencias de cultivo, con un fuerte predominio del cultivo de Soja (ver Tabla 1).

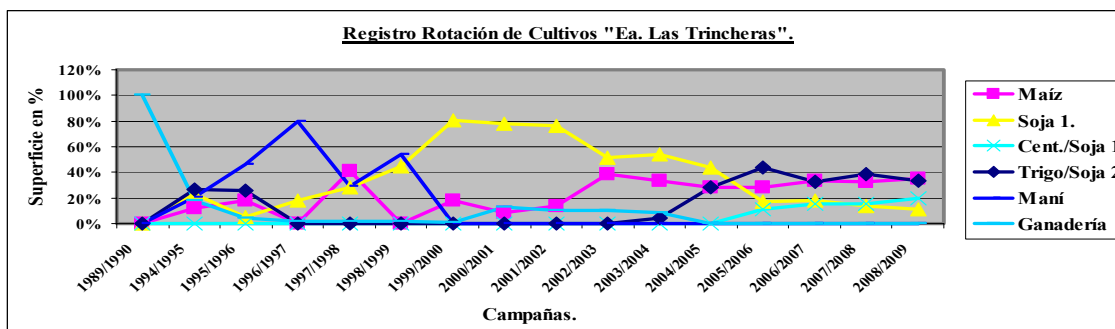


Tabla 1: Registro Rotación de Cultivos “Ea. Las Trincheras”, Tomás Zapiola, 2010.

2) Un buen diagnóstico y la vocación de cambiar.

Este sistema de monocultivos, primero con Maní bajo labranzas y luego con Soja, provocaron una degradación físico-química y biológica de una consideración tal, que de haber seguido así, hubiese llevado a un inexorable colapso productivo. Se comprendió entonces que éste sistema de producción era incompatible con una agricultura de alta productividad y perdurable en el tiempo.

En una primer recorrida con el Ing. Agr. César Belloso, como flamante asesor del establecimiento, se presento a la empresa un diagnóstico, breve y conciso, de la situación en que se encontraba el establecimiento, el cual se detalla a continuación:

26 de Agosto del 2002.

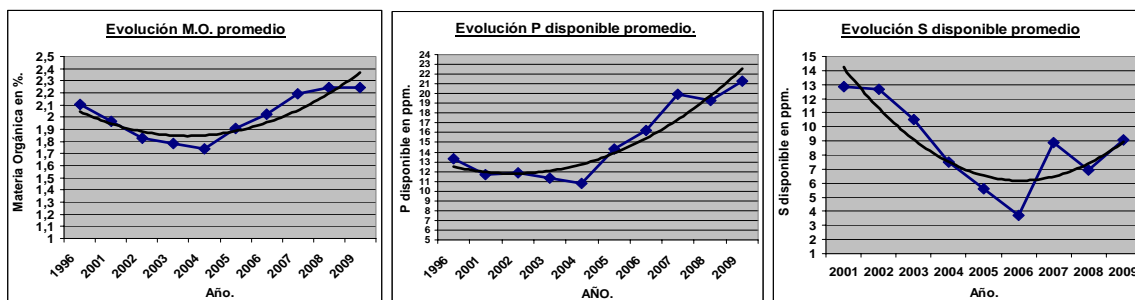
Ea. “Las Trincheras”, La Carlota, Córdoba.

Situación actual del campo:

- ✓ *Alto nivel de degradación del campo por rotación sin cultivos que aporten rastrojo (carbono), como por ej. maíz y trigo. Degradación física (estructura) y química (disponibilidad de nutrientes). Implementar rotación que aporten rastrojos, en siembra directa y con fertilización racional. Cambiar “totalmente” el concepto de rotación, aumentando la participación del maíz e incorporando al trigo.*
- ✓ *Bajos niveles de Materia Orgánica y Fósforo en general. Necesidad de aumentar la fertilización fosforada en cultivos con respuesta (Maíz y Trigo).*
- ✓ *Incompatibilidad entre pastoreo intensivo de rastrojo y agricultura de alta productividad.*
- ✓ *Control de malezas en rastrojo demorado con el consecuente consumo de agua y nutrientes por las mismas, y re infestación por semilla.*
- ✓ *Las precipitaciones de los últimos años no han sido la limitante para alcanzar altos rendimientos. El problema es la poca capacidad del suelo para retener el agua debido a la degradación físico-química mencionada anteriormente.*

El propietario del establecimiento tenía la vocación y la convicción de que era necesario cambiar, y un objetivo claro: tener una producción sustentable en el tiempo. El asesor indicó cómo se haría ese cambio (el saber como: know how).

A continuación se detalla la evolución de la materia orgánica del suelo, principal indicador de calidad de los suelos, junto con la evolución de los tenores de Fósforo y Azufre (ver Tablas 2, 3 y 4).



Tablas 2, 3 y 4: Evolución de los tenores de M.O. en %, y del P Y S disponible en ppm. Elaboración propia en base a resultado de análisis de suelos en “Ea. Las Trincheras”. Laboratorio de Suelos Río Cuarto. Método Walkley y Black para determinación de la M.O., Bray y Kurtz 1 para el P disponible y Turbidimétrico para el S disponible. Tomás Zapiola 2010.

3) Adopción de la siembra directa como sistema.

La siembra directa como sistema de producción integral es hoy una de las alternativas que mejor resuelve lo que parecía imposible: alcanzar una producción económicamente rentable para las empresas, ambientalmente sustentable y socialmente aceptada.

Pero para ello es necesario comprender que no basta con dejar de arar, sino que el sistema debe estar acompañado de una rotación de cultivos ajustada en intensidad y diversidad, junto a una estrategia de fertilización acorde a las entradas y salidas del sistema y con tecnologías de proceso y de producto que permitan un uso más eficiente de los insumos, y con un menor impacto ambiental, tales como manejo integrado de malezas, enfermedades y plagas (Romagnoli, 2004).

Cuando se adopta en Las Trincheras la siembra directa concebida como Sistema, comienza a mejorar gradualmente la fertilidad del suelo y su capacidad de producir, se incrementan los rendimientos y se hacen más estables, lo cual impacta de manera sustancial en los resultados financieros y económicos de la empresa. Nótese en las Tablas 2, 3 y 4 la evolución de los tenores de M.O., P y S a partir del 2004, y la evolución de los rendimientos en la Tabla 5.

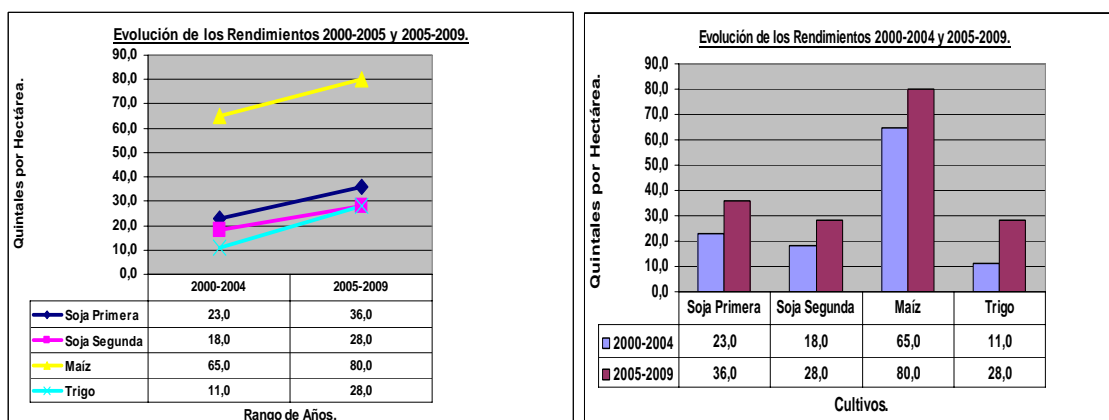


Tabla 5: Evolución de los rendimientos en Las Trincheras. Tomás Zapiola, 2010.



UCA

Facultad de Ciencias Agrarias

ANEXOS



UCA

Facultad de Ciencias Agrarias



ANEXO

PRECIO INSUMOS SEGÚN RESEÑA ESTADÍSTICA HISTÓRICA COTIZACIÓN EN DÓLARES CORRIENTES.

FOSF. DIAMÓNICO (U\$S/TN)			UREA GRANULADA (U\$S/TN)		
AÑO	PRECIO	PROM.	AÑO	PRECIO	PROM.
1990	275	275	1990	175	175
1991	320	298	1991	257	216
1992	295	297	1992	250	227
1993	265	289	1993	210	223
1994	302	291	1994	230	224
1995	340	300	1995	320	240
1996	350	307	1996	335	254
1997	310	307	1997	285	258
1998	320	309	1998	250	257
1999	340	312	1999	250	256
2000	330	313	2000	250	256
2001	330	315	2001	275	257
2002	320	315	2002	250	257
2003	310	315	2003	260	257
2004	360	318	2004	290	259
2005	390	322	2005	385	267
2006	380	326	2006	345	272
2007	520	337	2007	330	275
2008	1290	387	2008	600	292
2009	535	394	2009	400	297
SEMILLA MAÍZ (U\$S/BOLSA)			GLIFOSATO 48% (U\$S/LT)		
AÑO	PRECIO	PROM.	AÑO	PRECIO	PROM.
1990	35	35	1990	11,5	11,50
1991	58	47	1991	10,8	11,15
1992	58	50	1992	9,3	10,53
1993	55	52	1993	8	9,90
1994	73	56	1994	7,15	9,35
1995	68	58	1995	6,29	8,84
1996	80	61	1996	5,95	8,43
1997	100	66	1997	4,8	7,97
1998	80	67	1998	4,4	7,58
1999	79	69	1999	3,5	7,17
2000	82	70	2000	2,95	6,79
2001	74	70	2001	2,63	6,44
2002	66	70	2002	3,22	6,19
2003	79	71	2003	2,65	5,94
2004	85	71	2004	5,82	5,93
2005	88	73	2005	2,7	5,73
2006	91	74	2006	2,25	5,52
2007	103	75	2007	2,8	5,37
2008	120	78	2008	7,2	5,47
2009	120	80	2009	2,5	5,32



ANEXO

PRECIO INSUMOS SEGÚN RESEÑA ESTADÍSTICA HISTÓRICA COTIZACIÓN EN DÓLARES CORRIENTES.

ATRAZINA 50% (U\$S/LT)			ACETOCLOR (U\$S/LT)		
AÑO	PRECIO	PROM.	AÑO	PRECIO	PROM.
1990	3,09	3,09	1990	8,09	8,09
1991	3	3,05	1991	8,5	8,30
1992	3,4	3,16	1992	9,2	8,60
1993	3,25	3,19	1993	8,8	8,65
1994	3,2	3,19	1994	9	8,72
1995	3,3	3,21	1995	7,7	8,55
1996	3,95	3,31	1996	7,7	8,43
1997	2,98	3,27	1997	6,8	8,22
1998	3,6	3,31	1998	6,5	8,03
1999	3	3,28	1999	6,7	7,90
2000	4,2	3,36	2000	5,8	7,71
2001	4,4	3,45	2001	5,89	7,56
2002	4,1	3,50	2002	6,15	7,45
2003	2,8	3,45	2003	5,7	7,32
2004	2,7	3,40	2004	6,1	7,24
2005	2,8	3,36	2005	5,9	7,16
2006	2,4	3,30	2006	5,6	7,07
2007	2,8	3,28	2007	5,6	6,99
2008	4,5	3,34	2008	6,6	6,96
2009	3	3,32	2009	6,2	6,93
2,4 D 100% (U\$S/LT)			MISIL 1 (U\$S/LT)		
AÑO	PRECIO	PROM.	AÑO	PRECIO	PROM.
1990	4,86	4,86	1990	42	42,00
1991	4,5	4,68	1991	42	42,00
1992	5,15	4,84	1992	48,15	44,05
1993	4,9	4,85	1993	52	46,04
1994	5,2	4,92	1994	50	46,83
1995	5,15	4,96	1995	47,83	47,00
1996	4,95	4,96	1996	51	47,57
1997	4,2	4,86	1997	51	48,00
1998	4,6	4,83	1998	37,5	46,83
1999	3,9	4,74	1999	40	46,15
2000	3,7	4,65	2000	32,5	44,91
2001	4,1	4,60	2001	34,8	44,07
2002	4,45	4,59	2002	40	43,75
2003	3,5	4,51	2003	33,5	43,02
2004	3,9	4,47	2004	33,9	42,41
2005	3,85	4,43	2005	33	41,82
2006	4,4	4,43	2006	33	41,30
2007	4,5	4,43	2007	33	40,84
2008	5,7	4,50	2008	33,5	40,46
2009	5,6	4,56	2009	34	40,13



ANEXO

PRECIO INSUMOS SEGÚN RESEÑA ESTADÍSTICA HISTÓRICA COTIZACIÓN EN DÓLARES CORRIENTES.

VALOR DE LA UTA (US\$/HA)			FLETE 300 KM. (US\$/TN)		
AÑO	PRECIO	PROM.	AÑO	PRECIO	PROM.
1990	15,0	15,0	1990	14,6	14,60
1991	14,8	14,9	1991	12,9	13,75
1992	17,2	15,7	1992	12,9	13,47
1993	15,7	15,7	1993	12,5	13,23
1994	16,2	15,8	1994	14,7	13,52
1995	16,2	15,9	1995	16,3	13,98
1996	16,2	15,9	1996	16,3	14,31
1997	18,0	16,2	1997	18,7	14,86
1998	18,0	16,4	1998	23,4	15,81
1999	18,0	16,5	1999	18,75	16,11
2000	18,0	16,7	2000	18,75	16,35
2001	18,0	16,8	2001	18,75	16,55
2002	10,0	16,3	2002	7,3	15,83
2003	15,7	16,2	2003	13,09	15,64
2004	15,2	16,1	2004	12,75	15,45
2005	15,9	16,1	2005	15,01	15,42
2006	16,1	16,1	2006	14,04	15,34
2007	17,4	16,2	2007	20,52	15,63
2008	22,0	16,5	2008	25,27	16,13
2009	23,9	16,9	2009	21,04	16,38

Fuente: elaboración propia en base a la Revista Márgenes Agropecuario y la revista Agromercado.

PRECIOS PROMEDIO 20 AÑOS DE LOS 4 PRINCIPALES INSUMOS

FO SF. DIAMÓNICO	400	US\$/TN
UREA GRANULADA	300	US\$/TN
SEMILLA MAÍZ	80	US\$/BOLSA
GLIFOSATO	5,25	US\$/LT

PRECIOS PROMEDIO 20 AÑOS HERBICIDAS MÁS USUALES

ATRAZINA 50%	3,5	US\$/LT
ACETOCLOR	7	US\$/LT
2,4 D 100%	4,5	US\$/LT
MISISL 1.	40	US\$/LT

PRECIOS PROMEDIO 20 AÑOS INSECTICIDAS Y FUNGUICIDAS

DECIS 5%	5	US\$/LT
CLORPIRIFÓS 48%	7	US\$/LT
ENDOSULFAN 35%	5	US\$/LT
FOLICUR 35%	30	US\$/LT

PRECIOS PROMEDIO 20 AÑOS VALOR UTA Y FLETE C.A.R.,T.A.C.

VALOR UTA	17	US\$/UTA
FLETE 300 KM.	16,5	US\$/TN



Bibliografía.

- AAPRESID, www.aapresid.org.ar
- Álvarez, R. *Balance de Carbono en los suelos de la Pampa Ondulada: efecto de la rotación y la fertilización nitrogenada. Simposio Fertilidad 2005, INPOFOS, pág. 61:70.* Guía Dekalb del cultivo de Maíz, Monsanto, Buenos Aires, 2002, pág. 284.
- AGROMERCADO, Cuadernillo Síntesis Económica 2008, 2009 y 2010.
- Andrade, F. H. *Bases funcionales de la producción del cultivo de maíz: su aporte a la agricultura sostenible.*
- Beck, D. *Rotación de Cultivos: el arte perdido.* South Dakota State University. Extraído del sitio oficial de Aapresid (www.aapresid.org.ar).
- Belloso, C. *El Maíz, la rotación en siembra directa y su aporte a la sustentabilidad.* Guía Dekalb del cultivo de Maíz, Monsanto, Buenos Aires, 2002, pág. 284.
- Berardo, A. *Manejo de la fertilización en una Agricultura Sustentable.* Publicación INPOFOS Informes Agronómicos, Boletín N° 23, Agosto 2004.
- Bianchini, A. y Lorenzatti, S. *El cultivo de Maíz y su participación en sistemas de siembra directa.* Revista Agromercado, N° 88, Cuadernillo de Maíz, Junio 2004, pág. 10:13.
- Bianchini, A. y Lorenzatti, S. *La Rotación de Cultivos: una herramienta poco utilizada.* Revista técnica de Aapresid Rotaciones en Siembra Directa I, 2001, pág. 5:8.
- Clapperton, J. *La directa llega al estómago.* Artículo publicado en El Clarín, Edición Sábado 5 de Febrero del 2005, Rural.
- Conti, M. E. *Principios de Edafología.* Ed. Facultad de Agronomía, 2ª Edición, 2000, Buenos Aires, pág. 446.
- Cordone, G. y Martínez, F. *Avance en el manejo de la fertilización de cultivos y fertilidad de suelos en el Sur de Santa Fé.* INPOFOS, Simposio Fertilidad 2005, pág. 1:8.
- Crovetto Lamarca, Carlos. *Agricultura de Conservación: El grano para e hombre, la paja para el suelo.* Ed. Eumedia, 1ª Edición, Madrid, 1999, pág. 316.
- Crovetto Lamarca, Carlos. *Cero Labranza; Los rastros, la nutrición del suelo y su relación con la fertilidad de las plantas.* Ed. Trama Impresores, 1ª Edición, Talcahuano, 2002, pág. 225.
- Darwich, N. *Manual de fertilidad de suelos y uso de fertilizantes.* 3ª Edición, 2006, pág. 282.
- Derspsch, Rolf. Sitio oficial www.rolf-derspsch.com
- Fogante, R. *Sistema de Producción como Sistema de Producción.* Sitio oficial de Aapresid, www.aapresid.org.ar
- Fontanetto H, Keller, O. 2003. *Consumo y manejo de nutrientes de las rotaciones de cultivos.* Actas XI Congreso de AAPRESID, 26-29 de agosto, Rosario, Argentina: 329-332.



- García, F. O. *Balace de fósforo en los suelos de la región pampeana*. 2003. INPOFOS Cono Sur. www.inpofos.org.ar
- García, F. O. *Agricultura Sustentable y Materia Orgánica del Suelo: Siembra Directa, Rotaciones y Fertilidad*. INPOFOS Cono Sur. www.inpofos.org.ar
- INPOFOS, www.inpofos.org
- MÁRGENES AGROPECUARIOS, Cuadernillo Reseñas Estadísticas 2008, 2009 y 2010.
- Michelena, R. O. y Iurrtia, C. B. *Indices para conocer el estado de degradación y salud de los suelos*. PROCAMPO, Año XII, N°68, pág. 11:15.
- Molina, J. 1988. *Hacia una nueva agricultura*, Ed. El Ateneo 2ª edición. Buenos Aires. 222 pp.
- Montero Cam, Victor. *Glosario para entender el siglo XXI*. Google, Marzo 2003. Nielsen, C.D., Vigil, F.M., Benjamin, J. y Calderon. *Rotaciones Alternativas de Cultivos en la Región Semiárida de las Grandes Llanuras de E.E.U.U.* Estación experimental de las Grandes Llanuras Centrales, Akron, Colorado; E.E.U.U. Publicación INPOFOS Informaciones Agronómicas N° 40, pág. 13:15.
- Moraes Sá, J. C. *Barbechos Largos versus Cultivo de Cobertura*. Sitio Oficial de Aapresid, www.aapresid.org.ar
- Oliverio, G. López, G., Segovia, F. *Fertilizantes para una Argentina de 100 millones de Toneladas*. Seminario Fundación Producir Conservando, Junio 2004, Buenos Aires. Trabajo publicado en su sitio oficial www.fundacionproducirconservando.com.ar
- Oliverio, G., López, G. *Sustentabilidad de la Argentina en la próxima década*. Seminario Fundación Producir Conservando, Setiembre 2008, Buenos Aires. Trabajo publicado en su sitio oficial www.fundacionproducirconservando.com.ar
- Romagnoli, J. J. *Nuevos desafíos de la Siembra Directa*. Revista técnica de Aapresid Rotaciones en Siembra Directa II, 2003, pág. 5:7
- Ruffo M. *Factibilidad de inclusión de cultivos de cobertura en Argentina*. Actas XI Congreso Nacional de AAPRESID, 2003, Tomo 1: 171-176. Rosario, Argentina.
- Ruffo, M. y Parsons, A. *Abonos verdes y Cultivos de Cobertura*. Revista Agromercado, N° 88, Cuadernillo de Maíz, Junio 2004, pág. 23:27.
- SAGPyA., www.sagpya.gov.ar, Estimaciones Agrícolas.
- Sambito, Florencia. *Siembra Directa con Visión Holística*. Trabajo publicado en el sitio oficial de Aapresid www.aapresid.org.ar
- Sarandón, S. 2003. Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable. E.C.A. Ediciones Científicas Americanas: 557p.
- Satorre, E. H. *El cultivo de maíz como oportunidad para la sustentabilidad de la agricultura y sus empresas*. Guía Dekalb del cultivo de Maíz, Monsanto, Buenos Aires, 2002, pág. 284.
- Solari, F. *El lugar del maíz en la zona núcleo y en el oeste*. Guía Dekalb del cultivo de Maíz, Monsanto, Buenos Aires, 2002, pág. 284.



UCA

Facultad de Ciencias Agrarias

- Studdert G. y H. Echeverría. 2002c. *Rotaciones agrícolas y dinámica del carbono orgánico del suelo en Balcarce*. En Jornada de Actualización Técnica para Profesionales “Fertilidad 2002”. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires. 52 pág.