



YERBA MATE

Reseña Histórica y Estadística.
Producción e Industrialización
en el siglo XXI.



TÍTULO

YERBA MATE. Reseña Histórica y Estadística. Producción e Industrialización en el siglo XXI.

COORDINADOR Y EDITOR GENERAL

Capellari, Pablo Leandro

e-mail: pablocapellari@hotmail.com

CO-EDITOR GENERAL

Medina, Ricardo Daniel

COMITE EDITORIAL

Avico, Edgardo - Balbi, Celsa Noemí - Burgos, Ángela María - Galliano, María Cecilia - Ibarrola, Susana - Peichotto, Myriam Carolina - Vidoz, María Laura.

AUTORES

Burgos, Angela María - Cabrera, María Graciela - Capellari, Pablo Leandro - Dalurzo, Humberto Carlos - Dávalos, Marcos - Dirchwolf, Pamela - Dolce, Natalia Raquel - Fediuk, Ángel - Holowaty, Santiago Alexi - Llera, Valentín - Maiocchi, Marcos - Medina, Ricardo Daniel - Molina, Sandra Patricia - Pinto Ruiz, Gabriel - Mayol, Marcelo - Tarragó, José - Yacovich, Maricel.

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Lic. Mariana Cecilia Rodriguez

FOTO DE TAPA Y PAG. 6

Luis Gurdiel

1ª EDICIÓN - 500 EJEMPLARES

Consejo Federal de Inversiones

San Martín 871 - (c1004aaq) - Buenos Aires - Argentina

Ministerio de Producción

San Martín 2224 - (3400) - Corrientes - Argentina

Yerba mate, reseña histórica y estadística, producción e industrialización en el siglo XXI / Pablo Leandro Capellari ... [et al.]. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Consejo Federal de Inversiones, 2017.

310 p.; 24 x 18 cm.

ISBN 978-987-510-260-6

1. Cultivo. 2. Yerba Mate. 3. Corrientes. I. Capellari, Pablo Leandro
CDD 633.77

FECHA DE CATALOGACIÓN: 12/2017

QUEDA HECHO EL DEPÓSITO QUE MARCA LA LEY 11.723

IMPRESO EN ARGENTINA - DERECHOS RESERVADOS.

No se permite la reproducción parcial o total, el almacenamiento, el alquiler, la transmisión o la transformación de este libro, en cualquier forma o por cualquier medio, sea electrónico o mecánico, mediante fotocopias, digitalización u otros métodos, sin el permiso previo y escrito de los editores. Su infracción está penada por las leyes 11.723 y 25.446.



LABRANZA. INFLUENCIA SOBRE PARÁMETROS DEL SUELO Y LA COMPACTACIÓN

La sustentabilidad del nicho de la Yerba Mate

Dalurzo, Humberto Carlos

Ingeniero Agrónomo. Doctor de Suelos, Agua y Medioambiente. Prof. Tit. Manejo y Conservación de Suelos. Facultad de Ciencias Agrarias. U.N.N.E.

La labranza en un sentido amplio, es cualquier manipulación del suelo que modifique la condición física de la capa superficial del mismo o de la cobertura de rastrojo, que puede ser ocasionado por una o más acciones de una herramienta. Generalmente estos cambios se logran aplicando fuerzas al suelo, con un uso creciente de equipos mecánicos pesados (Schafer & Johnson, 1982). También se entiende por labranza la manipulación mecánica del suelo para algún propósito, que en la agricultura, está comúnmente restringido a la modificación de las condiciones del suelo para la producción de cosechas (Soil Sci. Soc. Am., 1987).

El “objetivo de la labranza” debería ser crear las condiciones óptimas del suelo, modificándolo por medios mecánicos, para su manejo, y protegiéndolo conjuntamente con el recurso agua. El suelo, el clima y los cultivos en producción varían mucho, por lo cual no hay ninguna práctica específica que sirva para todas las situaciones (Gill & Van der Berg, 1967). Por ello, es importante entender los principios básicos de manejo del suelo para ser utilizados en diseñar los mejores sistemas para cada necesidad específica.

Si bien los objetivos del laboreo son el acondicionamiento del suelo, control de malezas y plagas, incorporación de residuos, fertilizantes o agroquímicos, las consecuencias pueden, según los casos, afectar adversamente las condiciones del suelo y los factores relacionados a la producción agrícola como: disminución de la materia orgánica del suelo, aumentos de la evaporación y de las posibilidades de compactación, de insumos de energía, y del potencial de erosión. En otras ocasiones, con la labranza se busca producir una ligera compactación o consolidación para lograr un mejor contacto de suelo con las semillas (Gill & Van der Berg, 1967).

“Acción de las labranzas”: se refiere a las formas específicas del manipuleo del suelo, tales como cortar, fragmentar, invertir o mezclar ejecutado por la aplicación de fuerzas mecánicas al suelo con las herramientas específicas.

“Requerimientos de la labranza”: son las condiciones físicas del suelo necesarias para poder realizarla sin llegar a una degradación progresiva. Ellas son básicamente utilitarias y económicas, y frecuentemente se basan en criterios y experiencia práctica.

Hay tres aspectos a considerar: a) El suelo; b) Las maquinarias y las herramientas; y c) Las exigencias del cultivo.

La estructura del suelo fue definida como el tamaño y ordenamiento de las partículas y poros en los suelos. La estabilidad de los agregados ayuda a la durabilidad de la unidad estructural dentro de la cual tienen lugar procesos físicos, químicos y biológicos. Es fundamental conocer y manejar la estructura del suelo para un uso adecuado y sostenible del suelo.

La labor esencial del manejo de la estructura del suelo, tiene que estar dirigida a la siembra, germinación, e intercambio gaseoso y hídrico, así como hacia el control de los riesgos de la erosión. Aquí nos encontramos con que las prácticas de labranzas



adaptables a una localidad pueden ser perjudiciales en otra. Los efectos precisos de la labranza sobre la estructura deben ser definidos y optimizados en cada caso, si se quiere que la labranza pase de ser un arte de acierto o error, a ser un medio con fundamentación científica y confiables para la producción.

Es necesario resaltar que la estructura obra como regulador de la textura, dado que cuando se agrupan las partículas primarias en agregados se pueden cambiar las propiedades desfavorables de texturas muy finas, haciéndolas más aptas agrícolamente.

En la determinación de la necesidad de labranza en suelos se ha tenido como fundamento la estructura (tipo, clase y grado), especialmente la distribución por tamaños y la estabilidad de estas fracciones (mayor proporción de agregados entre 2-3 mm y distribuidas en la capa arada en forma no homogénea). Otro factor básico en la estructura del suelo es el grado de desarrollo de las unidades estructurales, grado que a su vez está influenciado por los agentes responsables de la cementación de partículas. A medida que la acción cementante sea más firme hay mayor posibilidad de conservar las buenas propiedades físicas del suelo. Cuando la cementación es débil, se degrada fácilmente la estructura, variando la porosidad y el almacenamiento de agua. La distribución entre macro y microporos debe estar en equilibrio para que la humedad y el suministro de aire sean adecuados.

La densidad aparente (DA) se define como la cantidad de masa por unidad de volumen. La DA y la porosidad del suelo afectan al crecimiento radical y la emergencia de las plántulas. La DA interactúa con la resistencia mecánica a la penetración (RMP), con la estructura y la humedad, del suelo, los cuales a su vez afectan al crecimiento de las plantas. Las labranzas en el corto plazo no suelen modificar mucho a la DA, es un parámetro que no varía mucho, sin embargo se sigue utilizando para valorar diferentes sistemas y prácticas de labranzas. Cuando en la evaluación no se incluyeron otros parámetros complementarios, se presentan problemas en la interpretación de los resultados.

Otra medida utilizada para evaluar la necesidad de labranza de un suelo está dada por el penetrómetro, que mide la resistencia que opone el suelo a la introducción de una barra metálica con una punta cónica a una profundidad determinada, expresados en kPa o MPa. La RMP es la suma de la presión para expandir esféricamente la cavidad formada y el componente vertical de la fricción en la superficie externa del cono al introducir la punta en el suelo mediante impactos o a presión continua. Las mediciones de RMP, generalmente, son el método más rápido y preciso para detectar compactación. Fue usada como parámetro para describir el estado físico del suelo, en estudios de compactación de suelos, evaluaciones de efectos de las labranzas, e investigaciones de crecimiento de raíces. Con este aparato se mide la RMP, y se puede definir la presencia o no de capas compactas, o más friables con elevada macroporosidad, aportando una idea de la consistencia del suelo y de la presencia de capas limitantes. Se emplea como un índice del estado físico de un suelo, especialmente para saber si las raíces pueden o no penetrar determinadas zonas.

Los parámetros del suelo que pueden influir en las lecturas del penetrómetro, son la humedad y la densidad radical. Dentro de la capa arable la mayor resistencia a la penetración está cercana a la superficie del suelo, debido principalmente a que, según el clima de la región, la humedad del suelo aumenta con la profundidad facilitando la penetración. La zona de máxima compactación se va localizando más cerca de la superficie a medida que aumenta el número de operaciones de preparación del suelo. Como valores limitantes para el crecimiento de raíces se citaron valores críticos mayores de 2 a 2,5 MPa (Hakansson & Voorhees, 1997) y otros autores de 0,8 a 5 MPa, valores más allá de los cuales la elongación de raíces queda severamente restringida.

La compactación es un aumento de la DA del suelo por la disminución de su volumen, generando dos problemas: el aumento de la resistencia mecánica a la penetración de las raíces y la aireación deficiente. La penetración de raíces se restringe en suelos compactados, por la reducción del espacio poroso total y en particular la proporción de los macroporos. Los poros grandes son los primeros en drenar después que el suelo estuvo saturado, por ello son fundamentales en la provisión o suministro de oxígeno para las raíces durante los períodos de elevadas precipitaciones.

Las labranzas controlan malezas y pueden mullir y acondicionar el suelo para dar las mejores condiciones para el cultivo, pero pueden afectar el tamaño y perdurabilidad de los agregados del suelo, dejándolo más susceptible a la formación de un sello superficial, o compactación. Dicho término es usado para definir procesos en las tres fases del suelo: sólida, líquida y gaseosa, inducidos por estrés mecánico, frecuentemente por el laboreo y el tránsito de la maquinaria, caracterizado por la disminución en volumen provocando el incremento de la DA con exclusión del aire del suelo. El término compacidad es usado para el estado posterior del suelo a varios procesos de aflojamiento y compactación (Hakansson & Voorhees, 1997).

Cuando la superficie del suelo mullida por el laboreo soporta la carga del tránsito vehicular, normalmente la DA aumenta linealmente con el inicio del contacto de la presión de la rueda sobre el terreno, con el aumento del contenido de humedad del suelo y el número de pasadas de las maquinarias. Dado que las texturas arcillosas son generalmente más susceptibles a la compresión que las arenosas (Larson *et al.*, 1980), es un detalle a considerar, ya que precisamente, es la textura predominante de los suelos aptos y empleados para el cultivo de yerba mate.

Un problema relacionado directamente a la estructura del suelo es la formación del sello superficial o costra superficial, que se forma en muchos suelos de textura fina y de bajos contenidos de materia orgánica. Como consecuencia de la costra disminuye la entrada del agua al suelo y aumenta el escurrimiento.

La formación de costra o encostramiento de los suelos es causado por el impacto de las gotas de lluvia que caen sobre la superficie de los agregados de suelos sin cubierta vegetal que los resguarde, y provocan la destrucción de dichos agregados. Por ello, protegiendo la superficie del suelo del impacto de las gotas de lluvia e incrementando los



contenidos de materia orgánica que unen las partículas primarias del suelo y estabilizan esas uniones, podemos disminuir la formación de sellos superficiales.

La DA es una medida del aumento de la compactación, depende de la textura del suelo. En suelos arcillosos valores mayores de $1,2 \text{ g cm}^{-3}$ generalmente provocan disminución del crecimiento de raíces. En yerbales en el sur de Misiones con más de 60% de arcilla se hallaron como valores máximos con laboreo convencional, sin elevada compactación, una DA de $1,1 \text{ g cm}^{-3}$ y valores menores de $0,92 \text{ g cm}^{-3}$ con uso de enmiendas orgánicas (Dalurzo, 2002).

La porosidad total (POR), la distribución del tamaño de los poros, la conductividad hidráulica a flujo saturado (K), la RMP, el enraizamiento, y la aireación, constituyen otras propiedades que resultan de mucha utilidad para evaluar la compactación del suelo. Un mínimo de 10% de aireación permite suficiente aporte de oxígeno para las plantas (Stepniewski *et al.*, 1994).

Los parámetros más relacionados a la compactación son la DA y POR, pero como varían según los tipos de suelos, no pueden usarse para comparar ni realizar las mismas interpretaciones en forma general para todos los tipos de suelos. Para obviar este inconveniente Hakanson (1990) propuso el índice de DA relativa que es igual a la relación en porcentaje entre la DA del suelo en la situación problema a caracterizar y la DA del mismo suelo en el estado de referencia sin alteración. Si es necesario conocer la DA máxima que puede alcanzar el suelo, se aplica a una muestra de suelo húmedo una compresión uniaxial de 200 kPa.

Cuando se laborea un suelo, en realidad se trata sobre una propiedad fundamental que es la consistencia; es allí donde el empleo de todas las maquinarias e implementos ejercen su influencia y dicha consistencia queda modificada por cambios de otras propiedades del suelo como son la cohesión, la adhesión y la densidad; propiedades vinculadas principalmente a la presencia de agua en el suelo.

Esto crea un panorama diverso por parte del suelo en función de la disponibilidad de agua. En los suelos secos, hay elevada cohesión de partículas y al labrar en esas condiciones dan origen a la formación de terrones duros y agregados grandes de difícil ruptura posterior.

Si el suelo se humedece lentamente, puede alcanzar el estado friable, estado muy importante, con un suelo fácilmente desmenuzable que sería la condición óptima para el laboreo, cuando el suelo esta mojado, el laboreo genera el “amasado de agregados”. Si el humedecimiento continúa, se alcanza el estado viscoso, donde las partículas no se mantienen unidas y el suelo fluye. En términos generales y en forma simplificada, los estados de humedad: “Seco, húmedo y mojado”, serían tres de las condiciones más conocidas en las cuales puede encontrarse el suelo frente a las circunstancias del laboreo.

Una función auxiliar de la labranza, aún no suficientemente comprendida es la

conservación de la humedad del suelo donde se involucran los procesos de infiltración, escurrimiento y evaporación.

La labranza puede afectar la evaporación del agua del suelo, aumentando o disminuyéndola, por influir en las propiedades hidráulicas del suelo que inciden sobre el flujo de agua líquida y alterar las condiciones de la superficie del suelo (rugosidad y cobertura) que determinan la evaporación. Indirectamente, al influir sobre la distribución y profundización de raíces y sobre el desarrollo del cultivo y de las malas hierbas, también afecta las tasas de transpiración o evaporación a través de la planta (Pla & Ovalles, 1993).

Con el advenimiento de los herbicidas parecía haber reducido la importancia de la labranza como método principal de erradicación de malezas. Sin embargo, la aparición de malezas resistentes a los herbicidas han aumentado las objeciones a la aplicación de cada vez más agroquímicos tóxicos en la agricultura, que generan daños residuales al ambiente y costos cada vez mayores.

La práctica de inversión del suelo para enterrar residuos vegetales y abonos se toma como una función poco importante de la labranza en el manejo moderno del yerbal. Los residuos pueden y en muchos casos deberían ser dejados sobre la superficie como rastrojo de cobertura para protección del suelo contra la erosión y evaporación.

El efecto resultante del arado de rejas y vertederas en su avance en el suelo trabajado es generar “un cono de suelo” que es empujado contra la punta de la reja y es comprimido hasta que la resistencia a la compresión supera el valor de cortadura y el esfuerzo cortante desprende un bloque de suelo. Paralelamente la reja produce una compactación del suelo en la base de la zona trabajada (Baver *et al.*, 1980), formando, a través de los sucesivos años de labranzas, un piso de arado por las presiones que produce hacia abajo que dificultan y pueden llegar a impedir el movimiento del agua al disminuir la conductividad hidráulica a flujo saturado.

El arado de disco penetra en el suelo y lo rompe por la presión que ejerce sobre el suelo generando corte y pulverización. El grado de penetración depende principalmente del peso. La eficiencia de la acción está relacionada con el ángulo de ataque, el diámetro, y además con el radio de curvatura, el espesor y filo de los discos (Baver *et al.*, 1980). La ruptura del suelo se produce bajo compresión, que ocurre por delante del disco cuando éste avanza y los planos de fractura se producen justamente en la parte frontal del disco (Collins *et al.*, 1990). La acción de compactación del arado es muy perjudicial cuando se trabajan con suelos húmedos y la profundidad de arada es constante, formando una película de arcilla de unos cuantos milímetros de espesor sobre la zona compactada.

Una alternativa ante la compactación es recurrir a medidas preventivas de los beneficios del uso de ruedas radiales y disminuir la fuerza aplicada al suelo mediante la disminución de: la presión de inflado de los neumáticos, la presión dependiente del contacto rueda-suelo, el patinaje de las ruedas, que forma una delgada capa compactada



como resultado del frote del suelo que orienta las partículas en la superficie inmediata (Baver *et al.*, 1980), el peso por el eje de la maquinaria, y el número de pases realizado en la plantación. De tener en cuenta estos aspectos preventivos, disminuimos el costo de recurrir a medidas de corrección por descompactación mecánica del suelo con herramientas o biológica (con cultivos de cubierta o los cultivos denominados comúnmente cinceles biológicos) y aumentamos el margen bruto para el productor especialmente a medida que las texturas de los suelos son más finas (Chamen *et al.*, 2015).

Se pueden mencionar diferentes sistemas de clasificaciones de las labranzas. De acuerdo a la “Intensidad de laboreo” se pueden clasificar en labranza convencional, labranza de conservación y labranza cero. En base a la “Profundidad”, se pueden clasificar en: labranza superficial y labranza profunda. Si consideramos la “Época de laboreo”, podrían ser: labranza de primavera o labranza de otoño. Según el “Manejo de residuos” se podrían mencionar una labranza en limpio (suelo desnudo) o una labranza de protección del suelo con cobertura.

De acuerdo a las “Secuencias de laboreo”, se determinarían: una labranza primaria, secundaria y terciaria. Si tomamos en cuenta la “Fuerza motriz” utilizada se podrían considerar: labranza manual, labranza con tracción animal y labranza mecánica.

Pueden utilizarse otros criterios para clasificar los sistemas de labranzas, sin embargo para muchos casos se pueden agrupar en: a) sistema de labranza convencional; b) sistemas de labranza de conservación y c) sistemas de labranza cero o siembra directa.

Dentro de un mismo sistema de labranza puede haber variaciones de acuerdo al tipo de implementos que se usen, los arados (de reja y vertedera, de discos, los arados rastrojeros, y rastras de discos de tiro excéntrico) son utilizados en la labranza primaria para romper, desmenuzar e invertir la gleba del suelo. Los subsoladores, escarificadores y cinceles son utilizados en labranzas primarias, rompen, generan rajaduras y aflojan el suelo sin invertirlo. Las rastras de discos y cultivadores de campo son utilizados en la labranzas secundarias, y las rastras de dientes y vibrocultivadores para disminuir el tamaño de los terrones y completar la preparación del suelo. El empleo combinado de cualquiera de los sistemas de labranza mencionados puede ser una herramienta poderosa para reducir la compactación del suelo, mejorar la infiltración o prevenir la formación de sellado del suelo superficial, entre otros. En contraste, hay indicaciones que el uso de un mismo método de labranza, puede dañar la estructura del suelo por lo cual es deseable una rotación de implementos a través de los años. Si está en uso un sistema de labranza convencional, para implementar sistema de labranza cero sería conveniente evaluar las condiciones físicas del perfil con trincheras perpendiculares a la dirección de la línea del yerbal, y ante densificaciones subsuperficiales, emplear arados de cinceles, escarificadores o subsoladores, según la profundidad de la compactación, para romper unos centímetros por debajo de las capas densificadas. Recién en ese momento sería correcto implementar un sistema de labranza cero para que el movimiento del agua en el perfil no esté obstaculizado, aumentando la infiltración y evitar la escorrentía superficial. Con la ruptura de las capas densificadas y elevado número de rajaduras en los horizontes

superficiales emplear cultivos de cobertura que con sus raíces colonicen y ocupen las grietas y rajaduras abiertas en el perfil. Al finalizar el ciclo de dichas especies, esas raíces muertas se transformarán en bioporos que serán los futuros pasos preferenciales para el flujo agua, intercambio gaseoso y para el advenimiento de las futuras raíces de los cultivos sucesores.

Luego de campañas posteriores sin labranzas, si se detectan nuevas densificaciones del suelo (con seguimientos en trincheras con pala y cuchillo), se debería recurrir nuevamente a la remediación del problema, o sea a la descompactación mecánica y a la biológica apoyándose con las raíces de los cultivos de cubierta. Por ello, sería importante considerar las medidas preventivas mencionadas anteriormente y las relacionadas a extremar los cuidados de no transitar el lote con contenidos de humedad elevados correspondientes a una condición plástica del suelo que es la condición de mayor susceptibilidad para compactarse. Todas las medidas tendientes a incrementar la materia orgánica del suelo y la actividad biológica, llevarán a mejorar la capacidad portante del suelo. Los suelos arcillosos rojos usados para producción de yerba mate poseen un elevado contenido de agua crítica para transitar, pero al disminuir la materia orgánica por mal manejo del suelo dichos contenidos hídricos disminuyen, aumentando las posibilidades de densificación por empeorar la capacidad portante del suelo.

A medida que la textura del suelo es más fina y aumentan los contenidos de materia orgánica del suelo, también lo hace el contenido a agua crítico brindando mayores posibilidades de tránsito. Dado que los suelos rojos usados para producción de yerba poseen elevados contenidos de arcilla, para evitar las posibilidades de densificación por tránsito con suelos muy húmedos, una meta debería ser aumentar la materia orgánica que no solamente mejora la capacidad portante, sino que además incrementa las oportunidades de laboreo al aumentar el límite plástico inferior, logrando la conservación de los recursos del suelo, agua y energía, en búsqueda de una producción sostenible.

Respecto de las características químicas de los suelos de yerbales, diversos estudios concluyen que este cultivo está bien adaptado a los suelos ácidos. Las bajas concentraciones de P, Al y Mn, altas y bajas relaciones Fe / Mn son características específicas de esta especie que crece bajo tales condiciones, delimitadas a la región noreste de Argentina (Misiones y Corrientes) y sus límites con Paraguay y Brasil. También se debe observar la alta variación observada para B, Cu y Zn. El desarrollo de investigaciones que tomen en cuenta las diferencias entre los árboles de yerba mate que crecen en los bosques nativos y los que ocurren en las plantaciones, asociadas o no con labranzas agrícolas, son decisiones importantes considerando la importancia de esta especie para la economía y la biodiversidad. Aunque no se ha desarrollado ninguna investigación específica sobre las interacciones entre los compuestos orgánicos y los mecanismos de la rizósfera, parece que esas interacciones son muy importantes (Reissmann *et al.*, 1999).

Prácticas de manejo efectivas en reducir la formación de costras son por ejemplo evitar el laboreo excesivo del suelo, emplear cubiertas verdes en las entrelíneas del cultivo de yerba mate, la conservación de rastrojos en superficie y uso de enmiendas



orgánicas que protejan la superficie del suelo. Satur *et al.* (1998) evaluando yerbales de San Javier y Além (Misiones), con diferentes manejos de control de malezas, mecánico, químico, con manejos diferentes y con aplicación de expeler de tung o palillo de tabaco, hallaron elevadas diferencias de rendimientos relacionadas directamente a cambios de los parámetros edáficos con el uso de enmiendas orgánicas como ser entre otros los niveles de potasio y la interacción materia orgánica - aluminio en forma favorable, y negativamente la interacción potasio - limo y el aluminio intercambiable. Al evaluar tres posiciones de muestreo: en la línea de plantación de la yerba la DA fue de 1,02 g cm⁻³; en el entrelíneo 1,12 g cm⁻³ y en la zona de tránsito de la rueda del tractor 1,22 g cm⁻³ con diferencias significativas. Hubo aumento de la densificación por tránsito de maquinarias indicando un piso de tránsito resultante de la presión ejercida por maquinaria agrícola cuando se circula con suelo húmedo o muy húmedo.

La disminución de la materia orgánica por las remociones continuadas y a veces excesivas del suelo por el laboreo, aumentan la aireación y la temperatura del suelo, incrementan los coeficientes de mineralización afectando la unión de las partículas del suelo, y generando inestabilidad de los agregados, ocasionando serios problemas para todos los suelos en general, pero mucho más acentuados en suelos tropicales. El uso de 16 Tn ha⁻¹ de cáscara de tung y 40 Tn ha⁻¹ de aserrín, mejoraron la materia orgánica particulada, los macroporos del suelo (que favorecieron el intercambio gaseoso y movimiento del agua), el fósforo orgánico y disminuyeron los problemas de acidez por exceso de aluminio intercambiable, resultando buenos indicadores de calidad del suelo en suelos bajo yerba mate en los Departamentos de Além y Oberá (Misiones). También se lograron mejoras en los rendimientos con valores promedios de cuatro parcelas en cada tratamiento de 5,1 Mg hoja verde ha⁻¹ con manejo convencional del suelo, a 13,9 Tn de hoja verde ha⁻¹ aplicando cáscara de tung y 24,3 Tn de hoja verde ha⁻¹ usando aserrín (Dalurzo, 2002; Dalurzo *et al.*, 2004a; Dalurzo *et al.*, 2004b).

Otros estudios demuestran que es posible realizar agroforestería entre *Araucaria angustifolia* y otros árboles nativos e *Ilex paraguariensis* con mejoras en las propiedades químicas del suelo respecto del monocultivo de yerba (Eibl *et al.*, 2000; Ilany *et al.*, 2010).

Un tratamiento especial al suelo del cultivo de yerba, cuando las condiciones económicas, laborales y de tiempo lo permiten, es la siembra de cubiertas verdes. Su principal función es el aporte de materia orgánica, de manera de preservar las condiciones físicas y químicas del suelo. Cuanto menor sea la densidad de plantación, más importante es la cobertura del suelo. Las plantas que naturalmente crecen en los yerbales y que compiten poco con el cultivo son el falso trébol (*Oxalis sp.*), la lengua de vaca (*Rumex sp.*) y el diente de león (*Taraxacum sp.*) en el invierno (Burtnik, 2006). De realizar siembras se podrían incluir cultivos como abonos verdes con uso de doble propósito como las de los géneros *Crotalaria*, *Mucuna*, *Canavalia* como se utilizan con éxito en Paraguay y Brasil (Figura 1).



Figura 1: Cultivo de Yerba Mate con uso de cubiertas verdes.

Estrategia en experimentos de labranza para definir los efectos sobre las propiedades inherentes del suelo

Para seleccionar las prácticas de labranza que se adaptan mejor a un agroecosistema dado, es necesario considerar: cuanto podrían llegar a declinar los parámetros edáficos de mayor relevancia y hasta qué punto, dicha disminución afecta a los rendimientos. Hasta donde, los cambios negativos de los parámetros edáficos, se deben a las labranzas y la exposición del suelo a los elementos climáticos y cuanto de ello se debe a la disminución de la materia orgánica del suelo. Para dar respuesta a esto se deberán estudiar parámetros edáficos mejor definidos y evaluados en una amplia variedad de situaciones.

Usar solo el crecimiento o rendimiento del cultivo como el integrador de todos los factores en una investigación de labranza, cuando se compara un grupo de sistemas o implementos en diferentes suelos, y es la única variable dependiente que se mide, puede llegar a ser muy empírico. Con ello, se hace difícil identificar los efectos que diferentes condiciones climáticas y propiedades del suelo además de la labranza, han tenido sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Podrían predecirse mejor los efectos y probabilidades de resultados positivos y negativos de diferentes alternativas de cultivos y sistemas de labranza para cada clima, suelo y cultivo, cuando se evalúan y comprenden mejor los efectos de la labranza sobre las propiedades del suelo. Con esto, se podrían seleccionar *a priori* los sistemas de labranza con más probabilidades de éxito para cada situación y definir el número apropiado de ensayos a campo necesarios. Los modelos de simulación que integren información pertinente de suelos, clima y cultivos pueden ser de gran ayuda para evaluar rápidamente los efectos potenciales de diferentes prácticas de labranza (Lal *et al.*, 1997).



La labranza, y la sostenibilidad de los recursos

Para la mayoría de los suelos agrícolas, los procesos de degradación y las prácticas conservacionistas suceden simultáneamente. A medida que los procesos de degradación prosiguen y se hacen más intensos, hay una disminución de la productividad de los suelos. A la inversa, las prácticas de mejoramiento y conservación tienden a incrementar la productividad del suelo (Homick & Parr, 1987). Una de las investigaciones más recientes en yerba se orienta al aislamiento de bacterias y hongos micorrizos que ayudan a aumentar la productividad del cultivo y disminuir la degradación de suelos (Bergottini *et al.*; 2017).

Del resultado de las relaciones entre productividad de suelos, los procesos de degradación (pérdida de materia orgánica, compactación, encostramiento, erosión, pérdida de nutrientes por escurrimiento y lavado, acidificación, acumulación de tóxicos, y desertificación) y las prácticas de conservación de suelos (manejo de rastrojos, conservación del agua, labranzas conservacionistas, rotación de cultivos, uso de terrazas, fertilización química y orgánica, mejoramiento del ciclo de nutrientes y de los cultivares) se logrará la sostenibilidad del sistema.

La productividad del suelo en un sistema agrícola es dinámica, cambiando como resultado de las relaciones que ocurren simultáneamente entre los procesos positivos y negativos. Un verdadero sistema de producción sostenible es aquel donde los efectos de las prácticas de conservación sean iguales o excedan los efectos de los procesos de degradación. Este concepto es igualmente válido para sistemas de bajo y alto ingreso de insumos. La baja disponibilidad de recursos no es un motivo que impida la implementación de prácticas de manejo que aminoren los procesos de degradación de los suelos de los yerbales.

Al evaluar parámetros edáficos afectados por las labranzas hay que esperar suficiente tiempo (generalmente más de 5 años) para que los efectos se expresen claramente y sean representativos del sistema probado. Las propiedades físicas del suelo, además de ser influidas por las labranzas, juegan un papel primordial en determinar el tipo, la frecuencia e intensidad de labranza requerida. Para ello, debe tomarse en cuenta la tendencia de los suelos a erosionarse y compactarse, las condiciones de drenaje y otros factores.

Puede decirse que las predicciones de los efectos de las labranzas sobre las propiedades del suelo para mantener la sostenibilidad y los rendimientos del cultivo son la base para decidir las mejores prácticas de labranza y manejo de suelos en general, o las alternativas más eficientes para cada situación.

Ante problemas de compactación de suelos, de momento hay dos alternativas a considerar, primeramente la más recurrida y empleada que es la remediación por descompactación mecánica con diferentes tipos de implementos agrícolas y la biológica,

con un costo recuperable por posibles incrementos en los rendimientos. Otra alternativa que siempre debe ser considerada es la “prevención de la compactación”, detallada en este capítulo, que disminuye la recurrencia a la primera elección citada y que aumenta el margen bruto que queda para el productor.

Erosión hídrica y sistematización del terreno

Al iniciarse los procesos erosivos en los suelos rojos, en sus diversas variantes, como ser erosión laminar, en surcos o en cárcavas, para su control y conservación del suelo se requiere entre otras medidas emplear obras de protección mecánica de las tierras arables que eviten la pérdida de toneladas de suelo, que justifican plenamente el costo y tiempo necesarios para su construcción. Muchas veces se subestima la importancia de la pérdida de suelo de un lote, pero perder un centímetro de suelo por año, con una densidad aparente de 1 g cm^{-3} (para facilitar los cálculos), implica que en una hectárea por año perdemos 100.000 kg de suelo. Con ello se pierde una gran cantidad de la capa arable del suelo que es el más rico en nutrientes y que necesitó, como mínimo, 300 años para formarse. Si ese suelo tiene un contenido intermedio de materia orgánica como por ejemplo 3%, sin llegar a un contenido ideal para un suelo rojo (Ultisoles o Alfisoles rojos de Corrientes o Misiones) se pierden 3.000 kg de materia orgánica, y un equivalente a 150 kg de nitrógeno total, sin considerar el resto de nutrientes que no estamos mencionando en este momento como ser entre otros fósforo o potasio de mucha importancia para la nutrición de un yerbal. Para reponer esa pérdida de nitrógeno deberíamos aplicar 326 kg de urea por hectárea cada año que transcurra con el costo que ello implica. Si impedimos dicha pérdida de suelo y nutrientes, estarían disponibles para la plantación. De no frenar este proceso erosivo que se produce anualmente seguiremos perdiendo la parte más fértil del suelo año tras año, y nos quedaremos con las capas más profundas de condiciones menos adecuadas para las raíces con menos nutrientes para las plantas.

Para la toma de decisiones a adoptar, debemos considerar las características donde se encuentra emplazado un lote y los factores que influyen en este proceso degradativo, como ser la pendiente, y las clases por pendientes que se definen según las siguientes características:

Las áreas muy suavemente a suavemente onduladas: son las que pueden incluir sectores planos de muy poca extensión. El escurrimiento es lento a medio, relacionándose a áreas donde el agua se desplaza o se derrama sobre la superficie del suelo y se elimina lentamente, por lo que puede permanecer cierto lapso cubierto de agua, salvo que se infiltre o sea que entre en el suelo. En el caso de escurrimientos medios se los considera así, cuando el agua de las lluvias solo puede permanecer sobre el suelo por cortos períodos, o sea pocos días en épocas muy lluviosas. Los gradientes varían entre 0 y 1%. Cuando dominan gradientes de más de medio por ciento se recomendará un adecuado manejo de residuos con los surcos del cultivo transversales a la pendiente general del lote para evitar la erosión.



Las áreas suaves a moderadamente onduladas con escurrimiento medio a rápido, se consideran que cuentan con escurrimiento rápido y no sufren encharcamiento ni anegamiento sino muy excepcionalmente. El agua de las lluvias, que no se infiltra, corre rápidamente sobre la superficie del suelo y el riesgo de erosión puede ser moderado o alto. Los gradientes pueden encuadrarse entre 1 y 3%.

Debido a que los suelos varían mucho en erodabilidad, o sea la susceptibilidad a erosionarse, y depende de otros caracteres del suelo, al estar expuesto a una lluvia intensa cuando mayor sea su erodabilidad mayor pérdida de suelo tendrá. Entre los factores que más influyen, figuran las características físicas del suelo como ser la textura. Valores elevados de limo y arena muy fina aumentan la tendencia a la erosión, como bajos contenidos de materia orgánica, estructuras desfavorables, degradación de la estructura y reducido movimiento del agua dentro del perfil aumentan la escorrentía y la pérdida de agua y de suelo. Si bien con pendientes hasta 3 a 4%, puede operarse con cualquier tipo de maquinaria agrícola, siempre que haya peligro de erosión se debería recomendar el cultivo en contorno o en curvas de nivel para evitarla.

En las áreas fuertemente onduladas e inclinadas se cuenta con un escurrimiento rápido. En las pendientes mayores dentro de esta clase, puede haber cierta dificultad en el uso de maquinarias grandes o de gran porte. Los límites de gradientes de esta clase son de 3 a 10%. Para suelos con las pendientes menores de este rango hasta 4%, y longitudes de pendientes menores a 100 m, podrían llegar a aconsejarse el cultivo en contorno, pero con numerosos cuidados según las características del suelo, ya que la erodabilidad depende de varios caracteres del suelo y las posibilidades de erosionarse dependen de las prácticas de manejo usadas. Con pendientes mayores de 4% sería apropiado emplear terrazas para lograr un mayor margen de seguridad.

En áreas fuertemente inclinadas o colinadas con pendientes al 10 al 15%, el escurrimiento es muy rápido, la maquinaria común presenta cierta dificultad para su uso y para proteger los suelos se deben construir terrazas o bancales.

Curvas de nivel

Los cultivos en curvas de nivel (Figura 2), si bien es una técnica básica para la conservación de suelo, debe ir acompañada de otras prácticas de manejo para controlar la erosión hídrica. Para la labranza del suelo en curvas de nivel el arado de tipo reversible es una herramienta de mucha utilidad tanto para trabajos en curvas de nivel y para la construcción de terrazas (Figura 3).

Para la marcación de las curvas de nivel se debería hacer un reconocimiento del lote a trabajar seleccionado el sector más elevado del terreno para nivelar.

Para definir la pendiente de un terreno en dirección de escurrimiento del agua: Instalar el nivel de anteojo en un punto intermedio de la pendiente y de allí hacer una

lectura en la mira parlante (punto A: 0,30 m) puesta en la cima de la loma, y otra lectura pendiente hacia abajo del terreno (punto B: 0,70 m). La diferencia entre ambas será el desnivel del terreno.

Lectura hacia el bajo: 0,7 m – lectura en la loma: 0,3 m = 0,4 m de desnivel en la distancia empleada entre ambos puntos A y B, por ejemplo 20 m. En 100 m de distancia nos daría una pendiente de 2%.

Hasta ese valor se recomienda emplear un espaciamiento de curvas de nivel de 40 m. En pendientes hasta 3% el espaciamiento a emplear debería ser de 35 m.

Una vez definido el espaciamiento entre curvas de nivel, desde la cima de la loma hasta la primera curva (pendiente abajo) tendremos el primer punto P1 a 40 m de la cima, lugar donde debe ir la primera curva de nivel con una lectura por ejemplo de 0,9 m, a fines figurativos. Luego debemos desplazarnos hacia ambos lados de dicho punto 1 (P1) en sentido transversal a la pendiente buscando lecturas de igual cota (0,9 m) con la mira parlante cada 20 m, por ejemplo, cortando la pendiente y marcando con una estaca cada punto. De este modo, tendremos una sucesión de puntos en sentido transversal a la pendiente del lugar que será la primera curva de nivel.



Figura 2: Yermal en curvas de nivel.



La segunda curva de nivel la empezaremos a marcar a partir del espaciamiento definido en base a la pendiente del lugar, hacia abajo de la primera curva. Establecidos en el punto 2 (P2) nos desplazamos con la mira parlante a ambos lados de dicho punto en sentido transversal a la pendiente, a la derecha y a la izquierda buscando puntos de igual cota al P2 (como fue explicado precedentemente).

Cuando el terreno tiene baja infiltración y permeabilidad las líneas de plantación y las calles van paralelas a la curva superior y terminan en la línea de la siguiente curva de nivel inferior, hacia abajo en la pendiente. En suelos de mayor infiltración y permeabilidad, se realiza la marcación de las líneas de plantación paralelas partiendo de la curva de nivel inferior hacia arriba de la curva de nivel anterior, las filas de plantas parten de la curva de nivel inferior y terminan en la curva de nivel superior, donde terminarán las calles muertas para retener los excesos de lluvia.

Cuando las pendientes del lugar son de 4% y mayores se aconsejan para yerbales en Ultisoles y Alfisoles rojos recurrir a la construcción de terrazas.



Figura 3: Tractor con arado de discos reversibles.

Terrazas de base angosta en yerbales de suelos rojos

La terraza es un medio para controlar los excesos de escorrentía. Es una práctica de ingeniería, denominadas también como prácticas mecánicas o estructurales (Suárez de Castro, 1980), y se fundamentan en el uso o construcción de una estructura indicada para mitigar la intensidad máxima media probable de las lluvias de esa región cuando sean superiores para un intervalo de recurrencia considerado generalmente de diez años.

La terraza está formada por un lomo (camellón o bordo) de baja altura y un canal construido en sentido perpendicular a la pendiente del terreno a fin de interceptar el agua de escurrimiento de tal modo que se desplace a baja velocidad, o velocidad no erosiva para evitar la pérdida de suelo y del agua, aumentando simultáneamente las posibilidades que entre al suelo y se acumule en el perfil para ser absorbida por las raíces.

Ante problemas de erosión hídrica (Figura 4 y 5) las curvas de nivel tanto como las terrazas como medidas aisladas no son la solución, pues deben ir acompañadas de un grupo de prácticas de manejo del suelo, que habría que evaluar si al aplicarlas son suficientes para disminución de la formación de sellos superficiales, para aumentar la infiltración del agua del suelo evitando la escorrentía y la erosión provocada por el agua.



Figura 4: Cima de la loma con erosión en surco.



Las terrazas pueden ser a nivel o de absorción, cuando retienen el agua hasta que se infiltre al suelo (en climas de bajas precipitaciones o suelos de baja permeabilidad); las terrazas con gradiente o de drenaje que se emplean en climas con precipitaciones elevadas, para interceptar el agua, conduciendo el exceso del agua de escorrentía sin que produzca erosión o las de doble finalidad, con una parte de absorción y uno o dos tramos en los extremos para drenar el exceso de agua.

De acuerdo a la base de las terrazas se clasifican en base estrecha (3 m de ancho aproximadamente), de base media (3-6 m) y de base ancha (6-12 m).

Dado que la finalidad de estas protecciones es conducir el exceso del agua de escorrentía, los canales deberían descargarse en un curso fluvial o construirlos previamente, con suficiente anticipación logrando un cauce protegido con vegetación para evitar la erosión.

Para el diseño de las terrazas debemos definir el intervalo vertical (IV) que es la diferencia de altitud entre terrazas adyacentes y el intervalo horizontal (IH) que es la distancia horizontal entre ellas.



Figura 5: Erosión hídrica en el entrelíneo de un manejo convencional

El Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos calcula el Intervalo Vertical IV igual a la pendiente del lugar por “x” (la capacidad potencial erosiva de las lluvias), más un factor “y” que depende del suelo, del cultivo y de las prácticas de manejo del suelo.

La capacidad potencial erosiva de las lluvias “x” varía de 0,4 con lluvias torrenciales en zonas subtropicales a 0,8 para lluvias menos intensas, o sea para altas y bajas precipitaciones respectivamente (Velasco Molina, 1983; Hudson, 2006). En el NE de Corrientes y Misiones se emplea 0,4.

El factor “y” varía de 1 para condiciones de alto potencial de escorrentía y 4 para la situación inversa (Cisneros *et al.*, 2012). El resultado se multiplica con el coeficiente 0,305 para pasar de unidades inglesas al sistema métrico decimal.

$$IV = ((x \text{ Pendiente}) + y) 0,305$$

El intervalo horizontal se calcula dividiendo el intervalo vertical por la pendiente por 100.

$$IH = (IV / \text{Pendiente}) 100$$

Existe la posibilidad de ajustar el IH entre terrazas en base al múltiplo del ancho de las maquinarias que se ocuparían para facilitar las operaciones dentro del área o “paño” demarcado entre las terrazas.

En la Provincia de Misiones, la Cooperativa Tabacalera de Além (Anderson, 2000 *com. pers.*) emplean exitosamente en suelos rojos como intervalo vertical 3 m y de intervalo horizontal 40 m, y fueron puestos a prueba luego muchos años de implementarlo en la dicha zona.

Las terrazas de base angosta de drenaje y las que poseen una sección de absorción y otra de drenaje se pueden usar para el cultivo de la yerba mate, en suelos rojos y las características climáticas imperantes de la zona.

Como fue expresado anteriormente, si bien la pendiente es uno de los factores decisivos para determinar la elección tanto de una curva de nivel como una terraza, debemos tener presente que cuando no es factible controlar la erosión hídrica con prácticas de manejo (mucho más económicas), entonces se construyen terrazas que son prácticas más costosas. Para ello:

- Evaluar las propiedades del suelo en cuestión, características de estructura, estabilidad, e infiltración de agua.
- Analizar la ubicación de los desagües naturales.
- Para la construcción de terrazas es preciso iniciar las tareas, teniendo en consideración la posibilidad de entrada de agua de escorrentía proveniente de lotes aledaños a la propiedad. De ser factible el ingreso de una cantidad extra de agua de



inmuebles linderos, se puede generar la ruptura de las terrazas construidas en el lote, para lo cual debe realizarse un canal de desvío para derivar y evitar que lleguen esos excesos al primer paño de la terraza. De no tener en cuenta este aspecto, el exceso de las aguas que arriben desbordará la primera terraza generando la ruptura del camellón en el punto más débil, descargando el agua retenida, colapsando incluso las siguientes terrazas aguas abajo destruyéndose como un castillo de naipes. Dicha ruptura puede generar mayores pérdidas de suelo y agua que si no se hubiesen construido estas estructuras.

- Considerar el régimen pluviométrico de la zona, si existiera.
- Emplazamientos de caminos de la propiedad.
- Superficie a emplear.
- Cálculos.

En base a una revisión de roturas de terrazas en el mundo, se demostró que los daños y las rupturas tendían a producirse en terrazas largas, por lo cual se recomienda que la longitud de las mismas sean de 400 a 600 m (USSCS, 1957; Hudson, 2006) evitando que sean demasiado largas.

La pendiente del canal debe permitir que el agua recogida sea conducida al desagüe. Si la pendiente es insuficiente, la velocidad será lenta, obligando a aumentar exageradamente la sección y si es muy elevada provocará erosión en el canal.

La sección del canal está condicionada por la disponibilidad de herramientas y la funcionalidad de la terraza. La sección recomendada es de aproximadamente 1 m².

En las terrazas de drenaje se transporta agua a velocidades no erosivas menores de 1 m/seg si es un suelo arcilloso desnudo y si tuviera cubierta vegetal puede conducirse a 1,7 m/seg. Para mantener una velocidad que permita el drenaje adecuado del paño sin que afecte al suelo, se suele dar un desnivel variable a la línea de trazado comenzando con el mínimo en la parte superior y terminando con el máximo desnivel posible en cercanía del desagüe. Este sistema permite aumentar la capacidad del canal sin aumentar la sección del mismo economizando en su construcción (Tabla 1). La pendiente habitualmente se modifica cada 100 a 150 m. Al final de la terraza en los últimos 20 m puede aumentarse la pendiente para facilitar la evacuación del agua. Dependiendo de las características físicas de los suelos, por ejemplo: en los de baja estabilidad de agregados, valores de 0,4% de pendiente pueden ser negativos empezando a presentar erosión, debiéndose usar pendientes menores. Cuando la estructura es buena y la estabilidad alta como en Ultisoles y Alfisoles rojos, puede aumentarse más llegando a 0,6%.

En suelos con buena estabilidad de los agregados de la Provincia de Misiones se usan desniveles de 0,8% sin afectar al suelo (Anderson, 2000 *com. pers.*).

Es aconsejable contar con una buena disponibilidad de estacas para marcar el lote a sistematizar y que esté preparado con la mayor uniformidad posible para facilitar la nivelación.

Tabla 1: Desnivel de terrazas en función de la longitud para Ultisoles y Alfisoles de Corrientes con aptitud yerbatera.

DISTANCIA (m)	PENDIENTE O GRADIENTE HACIA EL DESAGÜE (%)
0 - 100	0,1
100 - 200	0,2
200 - 300	0,3
300 - 400	0,4
400 - 500	0,5

Establecer previamente en gabinete los desagües naturales del lote para ubicar las descargas de las terrazas.

Fijar la primera estación del nivel de anteojo en una parte elevada del terreno, realizando la lectura de la mira parlante en la cima de la loma con la menor lectura posible y hacer las siguientes lecturas pendiente abajo hasta lograr el intervalo vertical (Figura 6), que en este caso será de 3 m de desnivel, marcando con una estaca en el terreno que indicará la primera terraza a construir.



Figura 6: Nivelación con nivel óptico y mira parlante desplazándola hasta la cota del intervalo vertical.



De ser necesario, cambiar el nivel de estación para continuar la marcación de las siguientes terrazas cada 3 m de IV y así sucesivamente en la pendiente a trabajar hasta finalizar la última terraza. Si quedara entre esta última y el final del lote una distancia menor de 50 m, valor muy próximo al IH empleado (40 m), sería innecesario marcar una nueva terraza.

Marcadas todas las terrazas, estacionamos el nivel junto a la primer estaca de la primera terraza y desplazamos la mira parlante 10 m hacia un lado buscando una lectura 1 cm más alta que la anterior, logrando una pendiente de 0,1% para los primeros 100 m. Para los siguientes 100 m, o sea de 100 a 200 m se le da una pendiente de 0,2% y de igual modo hasta llegar a los 0,5% (lectura de 5 cm más en 10 m de distancia) si estamos en el tramo de la terraza de 400 a 500 m (Tabla 1).

De igual modo se marcan el resto de las terrazas que quedaron marcadas con las estacas, en la pendiente hacia abajo.

Antes de construcción de las terrazas puede ser necesario rectificarla las líneas sin afectar mayormente al camellón o al canal, con la finalidad de eliminar curvas muy pronunciadas que afectarán y complicarían el trabajo de las maquinarias dentro del paño



Figura 7: Construcción de la terraza de base angosta de drenaje con arado de disco reversible.

Si bien podría parecer una redundancia aclarar, la construcción de las terrazas se deben empezar a construir desde las ubicadas con la mayor cota en la loma, hacia el bajo, para evitar que si hubiera una lluvia en el momento en que aún no se finalizó la construcción de todas las terrazas, se destruyan por un exceso de agua acumulada en los niveles de cotas superiores.

La construcción de las terrazas las podemos hacer con un arado de discos alomando, tirando el suelo desde abajo hacia arriba en la primera pasada sobre la línea marcada con las estacas y regresando sobre la misma línea tirando suelo desde la parte más alta hacia abajo. Esta tarea se ve favorecida si se emplea un arado reversible (Figura 7).

Siempre se remueve el suelo tirando hacia el centro del camellón y se profundiza la labor (2-3 cm) un poco más que la vez anterior para facilitar el movimiento de suelo. Repitiendo estas series a siete veces aproximadamente, o más, hasta ir completando su construcción (Bertoni & Lombardi Nieto, 2008).

Cabe aclarar que para el normal funcionamiento de las obras es fundamental el mantenimiento. Es crucial el cuidado de los canales de desagües cuando se los cruza o transita con herramientas de distintos tipos. En las terrazas de base angosta es importante no dañar la cubierta vegetal para su protección.



BIBLIOGRAFÍA:

- Baver, L.D.; Gardner, W.H. & W.R. Gardner. 1991. Física de Suelos. UTEHA. México. 529 pp.
- Bergottini, V.M.; Hervé, V.; Sosa, D.A.; Otegui, M.B. & P. Junier. 2017. Exploring the diversity of the root-associated microbiome of *Ilex paraguariensis* St. Hil. (Yerba Mate). Applied Soil Ecology 109: 23-31.
- Bertoni, J. & F. Lombardi Nieto. 2008. Conservação do Solo. 6° Edição. Icone editorial. San Pablo, Brasil. 355 p.
- Burtnik, O. J. 2006. Yerba mate: Manual de producción del Yerbatero Correntino (3rd ed.). Corrientes, Argentina. INTA. 52 p.
- Chamen, W.C.; Moxey, A.P.; Towers, W.; Balana, B. & P.D. Hallett 2015. Mitigating arable soil compaction: A review and analysis of available cost and benefit data. Soil & Tillage Research 146: 10–25.
- Cisneros, J., Cholaky, C.; Cantero Gutiérrez, A.; González, J.; Reynero, M.; Diez, A. & L. Bergesio. 2012. Erosión hídrica. Principios y Técnicas de manejo. UniRio Editora. UNRC. 1era. Edición. Rio Cuarto, Argentina. 287 p.
- Collins, H.P., Elliott, L.F. & R.I. Papendick. 1990. Wheat straw decomposition and changes in decomposability during field exposure. Soil Science Society of America Journal 54: 1004-1016.
- Dalurzo, H.C.; Serial, C.; Vazquez, S. & S. Ratto. 2004b. Indicadores químicos y biológicos de calidad de suelos en Oxisoles de Misiones (Argentina) con enmiendas orgánicas. Argentina. Cartagena. XVI Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Asociación Latinoamericana de la Ciencia del Suelo. www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2001/5-Agrarias/A-073.pdf
- Dalurzo, . C.; Vazquez, S. & S. Ratto. 2004a. Indicadores físicos de calidad de suelos en Oxisoles de Misiones (Argentina). XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, y II Simposio Nacional sobre Suelos Vérticos, Paraná (Entre Ríos). www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2002/05-Agrarias/A-016.pdf
- Dalurzo, H.C. 2002. Agregado de residuos orgánicos en suelos Ferralíticos. Efecto sobre variables que estiman sustentabilidad”. Tesis de Magíster Scientiae en Ciencias del Suelo – (UBA), 250 p.
- Eibl, B.; Fernandez, R.A. & J.C. Kozarik. 2000. Agroforestry systems with *Ilex paraguariensis* (American holly or yerba mate) and native timber trees on small farms in Misiones, Argentina. Agroforestry Systems. 48: 1-8.
- Gill, W.R. & G.E. Van der Berg. 1967. Soil dynamics in tillage and traction. U.S. Dept. Agric., Agric. Handbook 316. 511 p.
- Hakansson, I & W.B. Voorhees. 1997. Soil Compactation. En: Lal, R.; Blum, W.H. & B.A. Stewart (Eds.), Advance in Soil. Methods for Assessment of Soil Degradation. Advances in Soil Science. CRC Press. Boca Raton. New York. p. 167-179.
- Hakansson, I. 1990. A Method for characterizing the state of compactness of the plough layer. Soil & Tillage Research 16:105-120.

- Hornick, S.B. & J.F. Parr. 1987. Restoring the productivity of marginal soils with organic amendments. *American Journal of Alternative Agriculture* 2: 64–68.
- Hudson, N. 2006. *Conservación del suelo*. Editorial Reverté S.A. Barcelona, España. 335 p.
- Ilany, T.; Ashton, M.S. & F. Montagnini. 2010. Using agroforestry to improve soil fertility: effects of intercropping on *Ilex paraguariensis* (yerba mate) plantations with *Araucaria angustifolia*. *Agroforestry Systems* 80: 399-409.
- Lal, R.; Blum, W.H.; Valentine, C. & B.A. Steward. 1997. *Methods for assessment of soil degradation*. *Advances in Soil Science*. CRC Press. Boca Raton. New York. 558 p.
- Larson, W.E.; Gupta, S.C. & R.A. Useche. 1980. Compression of agricultural soils from eight soil orders. *Soil Science Society of America Journal* 44: 450-457.
- Pla, I & F. Ovalles. 1993. Reunión Bienal de la Red Latinoamericana de Labranza Conservacionista (2. 1993). Guanare, Acarigua Venezuela. Efecto de los sistemas de labranza en la degradación y productividad de los suelos. Eds. Pla, I & F. Ovalles. Maracay, Ven. FONAIAP – FAO – ISSS – UNELLEZ – RELACO. Serie Especiales N° 32. 336 p.
- Reissmann, C.B.; Radomski, M.I. & R.M. Bianchini de Cuadros. 1999. Chemical composition of *Ilex paraguariensis* St. Hil. under different management conditions in seven localities of Paraná state. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 42 (2): 1-7.
- Satur, C.; Dalurzo, H.C.; Vazquez, S. & H.G. Andersson. 1998. Relaciones entre las propiedades edáficas y diferentes niveles de rendimientos en yerbales de L.N. Alem y San Javier (Misiones). XVI Congreso de la Ciencia del Suelo, Carlos Paz (Córdoba). Actas del Congreso. p. 131-132.
- Schafer, R.L. & C.E. Johnson. 1982. Changing soil conditions the soil dynamics or tillage. En: Krall, D.M.; Hawkin, B.; Unger, P.W. & D.W. Van Doren (Eds.), *Predicting tillage. Effects on soil physical properties and processes*. American Society of Agronomy. Madison WI. Spec. Publ. 44. p. 13-28.
- Soil Science Society of America Journal. 1987. *Glossary of Soil Science Terms*. Soil Sci. Soc. Am., Madison, EE.UU.
- Stepniewski, W.; J. Glinski & B.C. Ball. 1994. Effects of compaction on soil aeration properties. En: Soane, B.D. & C. van Ouwerkerk (Eds.), *Soil Compaction in Crop Production*. Elsevier, Amsterdam. p. 167-189.
- Suárez de Castro, F. 1980. *Conservación de Suelos*. Instituto Interamericano de Ciencias. Agrícolas. IICA. San José, Costa Rica. 315 p.
- USSCS. 1957. U.S. Soil Conservation Service. National Engineering. *Handbook of Hydrology for Engineers*, McGraw-Hill, Nueva York, EE.UU.
- Velasco Molina, H. 1983. *Problemario. Uso y Manejo del Suelo. Teoría y Laboratorio*. Editorial Limusa. México. 113 p.

