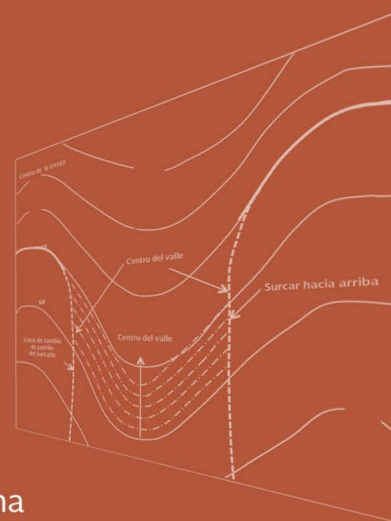




# MANUAL TÉCNICO DISEÑO HIDROLÓGICO DEL TERRENO (SISTEMA *KEYLINE*), EN PARCELAS AGRÍCOLAS CON PRECIPITACIÓN LIMITADA



Héctor G. Cortés Torres y J. Javier Ramírez Luna







# **Diseño Hidrológico del Terreno (Sistema *Keyline*), en Parcelas Agrícolas con Precipitación Limitada**

**MANUAL TÉCNICO**

---

333.7616 Cortés Torres, Héctor G.  
C24 *Diseño hidrológico del terreno (sistema Keyline) en parcelas agrícolas con precipitación limitada* / Héctor G. Cortés Torres y J. Javier Ramírez Luna.. -- Jiutepec, Mor. : Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, ©2013. 70 pp.

ISBN: 978-607-9368-00-5

1. Diseño hidrológico 2. Conservación del agua 3. Agricultura sostenible 4. Uso eficiente del agua

---

Coordinación técnica:

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Coordinación de Riego y Drenaje.

Subcoordinación de Conservación de Cuencas y Tecnología Forestal.

Coordinación editorial:

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Coordinación de Comunicación,

Participación e Información.

Subcoordinación de Vinculación, Comercialización  
y Servicios Editoriales.

Diseño editorial:

Gema Alín Martínez Ocampo

Formación:

Luis Enrique Nájera Zamora

Ilustración de portada:

Óscar Alonso Barrón

Primera edición: 2013.

Colección: "Manuales"

D.R. © Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Paseo Cuauhnáhuac 8532

62550 Progreso, Jiutepec, Morelos

MÉXICO

[www.imta.gob.mx](http://www.imta.gob.mx)

ISBN: 978-607-9368-00-5

Impreso en México - Printed in Mexico

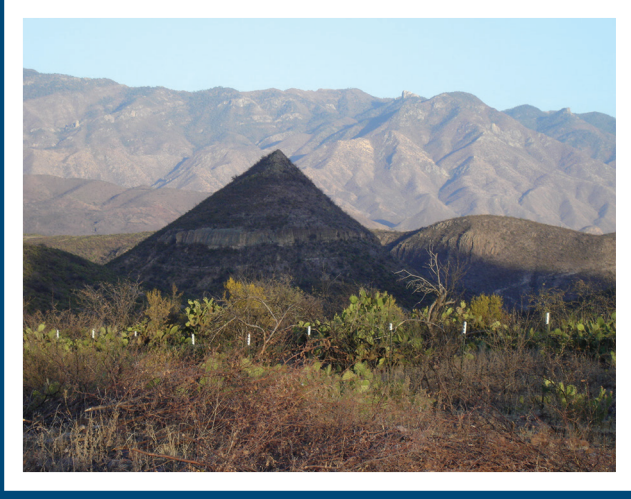
# Índice

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUCCIÓN .....                                        | 5  |
| 2. CONCEPTOS BÁSICOS DEL DISEÑO HIDROLÓGICO DEL TERRENO..... | 9  |
| 3. CONDICIONES DONDE APLICA LA PRÁCTICA .....                | 15 |
| 4. CONSIDERACIONES Y ALCANCES DEL MÉTODO .....               | 19 |
| 5. EL DISEÑO DEL SISTEMA Y SU TRAZO .....                    | 23 |
| 5.1 Localización y trazado de la Línea Clave .....           | 23 |
| 5.2 Diseño del trazo en gabinete .....                       | 25 |
| 5.3 Diseño del trazo en campo .....                          | 30 |
| 6. ESTABLECIMIENTO DEL SISTEMA EN CAMPO .....                | 39 |
| 6.1 Detalles en el establecimiento del sistema en campo..... | 50 |
| 7. EQUIPO PARA IMPLEMENTAR EL SISTEMA.....                   | 59 |
| 8. VENTAJAS Y DESVENTAJAS .....                              | 67 |
| 8.1 Ventajas .....                                           | 67 |
| 8.2 Desventajas .....                                        | 68 |
| 9. RECOMENDACIONES.....                                      | 69 |
| BIBLIOGRAFÍA.....                                            | 70 |





El suelo y la tierra son la base para la producción de alimentos y plataforma para el desarrollo de cualquier país. En México, de las 198 millones de hectáreas (ha) que conforman la superficie territorial, 22 millones se dedican a la agricultura.



## Introducción

El suelo y la tierra son la base para la producción de alimentos y plataforma para el desarrollo de cualquier país. En México, de las 198 millones de hectáreas (ha) que conforman la superficie territorial, 22 millones se dedican a la agricultura. De esta superficie, 6.3 millones cuentan con infraestructura de riego y los otros 16 millones corresponden a agricultura de temporal, donde la producción es influenciada directamente por la presencia o no de las lluvias.

En este contexto, más de la mitad del territorio nacional presenta condiciones áridas y semiáridas, y en gran parte de estas áreas se practica la agricultura de temporal. Bajo este panorama, el sector agrícola enfrenta dos grandes amenazas: la escasez de lluvia y la erosión del suelo. Mientras que grandes superficies agrícolas se dejan de cosechar año con año por la presencia de sequías que, influenciadas por el cambio climático tienden a presentarse más frecuentemente y con mayor intensidad, el manejo del suelo y su labranza en muchas ocasiones acelera la erosión, aumentando así los procesos de degradación y limitando su capacidad productiva.

Por otra parte, si bien es cierto que una de las prioridades del país en el desarrollo nacional

a largo plazo es la sostenibilidad ambiental y la conservación de los recursos naturales, no se puede dejar atrás otra prioridad indiscutible: la erradicación de la pobreza, donde el desarrollo agrícola y rural tiene un papel preponderante. Para apoyar este compromiso es necesario que, además del empleo de maquinaria y equipo agrícola apropiado y moderno, se lleven al campo el conocimiento y la innovación tecnológica para que se incremente su productividad y competitividad.

Este manual presenta el diseño hidrológico del terreno con el método de la Línea Clave o *Keyline*, el cual permite diseñar y manejar el patrón de laboreo del suelo (en su aplicación a escala de una parcela agrícola) de una manera tal que permite captar y almacenar el agua de lluvia en él, lo que hace posible maximizar el recurso hídrico y restituir al suelo su profundidad y fertilidad.

La información presentada en este documento, en realidad, no significa el descubrimiento de algo nuevo. Proviene de un sistema de manejo del suelo con enfoque holístico, desarrollado en los años cincuenta del siglo pasado por P. A. Yeomans, en Australia, con el propósito de construir suelo de forma natural; un suelo fértil y de alta productividad sin necesidad de fertilizantes químicos. El sistema,





sin embargo, es prácticamente desconocido en México. Dado las grandes ventajas que ofrece el método para superar problemas tales como la variabilidad climática, al conservar la humedad de la lluvia por más tiempo en el suelo y reducir la erosión, tiene un gran potencial en todo el altiplano y semiárido mexicano. Por lo anterior, la tecnología ha sido probada y llevada a la práctica por la Subcoordinación de Conservación de Cuencas y Tecnología Forestal, de la Coordinación de Riego y Drenaje del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, en la región oriente del estado de Morelos y es, con base en esa experiencia, que se elaboró el presente manual.

Este manual tiene varios objetivos:

- Dar a conocer y aplicar en una parcela agrícola los principios del diseño hidrológico del terreno con el método *Keyline* o Línea Clave, para aumentar la captación y

almacenamiento de agua en el suelo, así como para reducir la erosión.

- Mostrar que existen alternativas para el manejo de las tierras agrícolas en áreas de escasa precipitación para favorecer la infiltración del agua de lluvia, beneficiando al suelo, la vegetación, el medio ambiente y al propietario del terreno.
- Alentar a los agricultores, técnicos e investigadores del campo para adoptar otros enfoques y probar métodos de labranza distintos a los tradicionales que permitan mejorar la tierra, obtener una productividad mayor y más sostenible en la agricultura de temporal.
- Contribuir a prácticas más efectivas de desarrollo agrícola en zonas de temporal del país, de tal forma que se coadyuve en el logro de la seguridad alimentaria y mejoren los niveles de vida de los agricultores y sus familias.







Para entender y desarrollar el diseño hidrológico del terreno (DHT) con el sistema *Keyline* o Línea Clave, es necesario aprender a leer el paisaje y descubrir las líneas naturales del agua y las curvas de nivel del terreno.



## Conceptos Básicos del Diseño Hidrológico del Terreno

Para entender y desarrollar el diseño hidrológico del terreno (DHT) con el sistema *Keyline* o Línea Clave, es necesario aprender a leer el paisaje y descubrir las líneas naturales del agua y las curvas de nivel del terreno. En un paisaje natural hay que identificar el parteaguas, las crestas o lomos y los valles en las geoformas naturales del terreno. Al voltear la vista al horizonte y ver la cresta de las montañas que interrumpen la vista del cielo, esa es la cresta principal. Las crestas o lomos que salen hacia los lados de la cordillera principal son las crestas primarias. Y las partes bajas entre dos crestas primarias son los valles primarios. Estas geoformas son básicas para entender y aplicar el sistema. Los valles y crestas del paisaje definirán las unidades primarias del terreno que también son de importancia fundamental para el diseño hidrológico del terreno. Una unidad primaria del terreno es la porción de tierra que existe entre una cresta y otra del terreno. Los conceptos antes mencionados son mejor entendidos al observar la figura 1 y la fotografía 1.

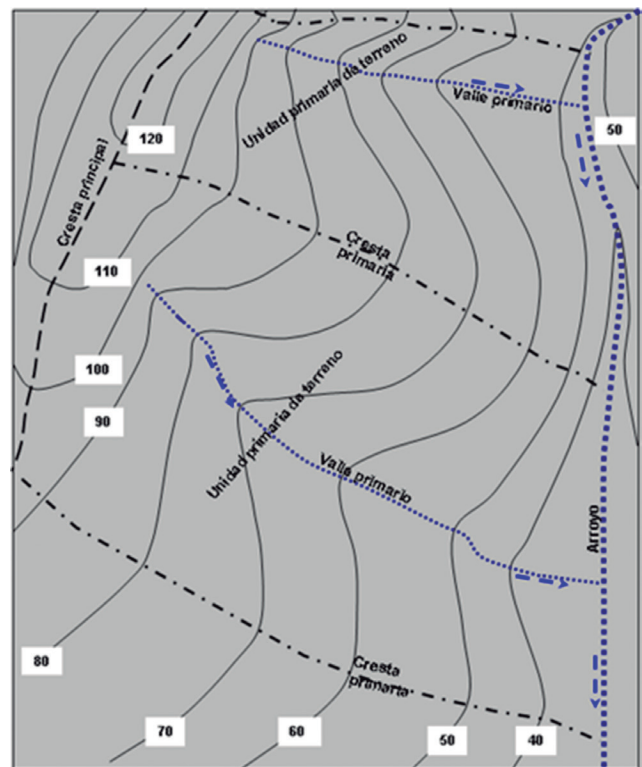
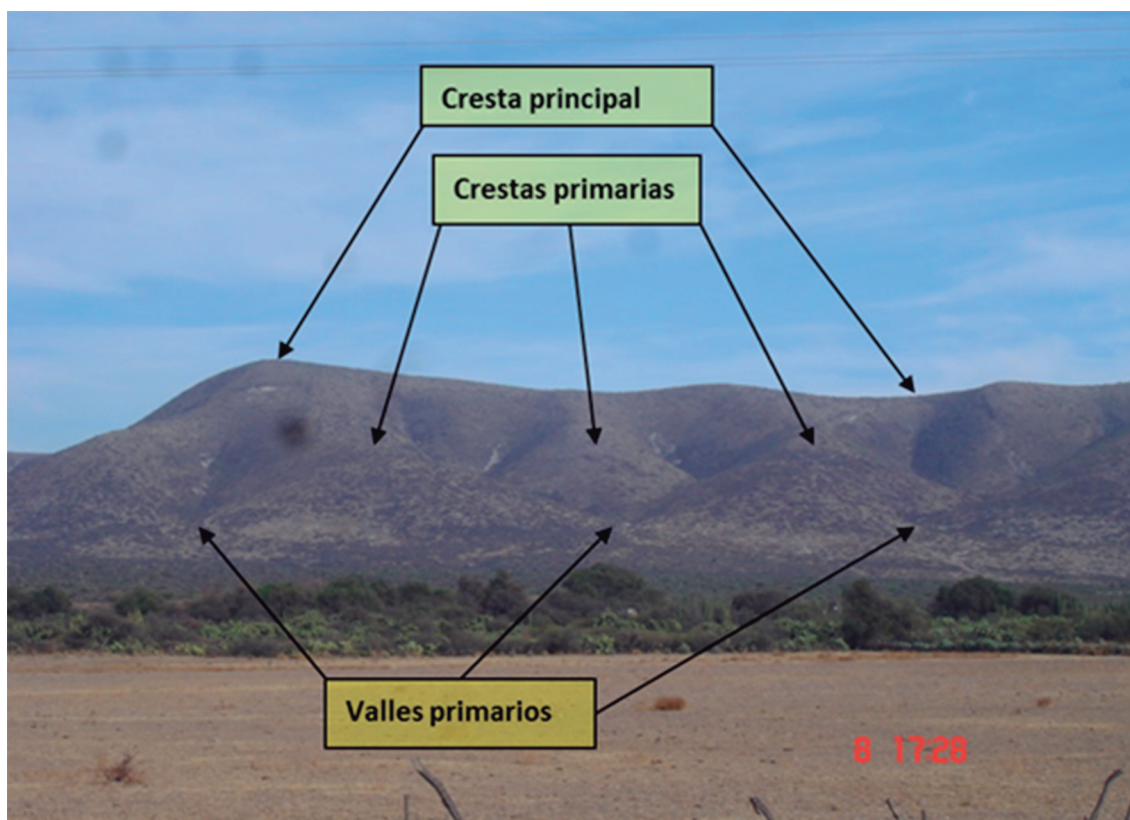


Figura 1. Plano de curvas a nivel que identifican crestas y valles.





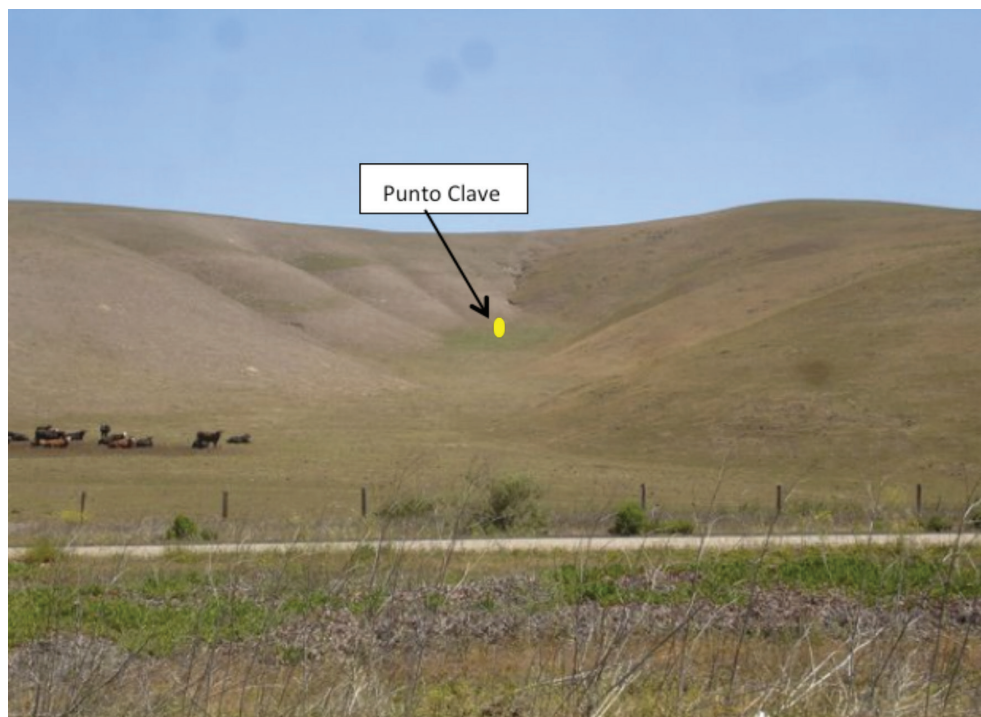
Fotografía 1. Crestas y valles en el paisaje del terreno.

Por lo antes dicho y razón natural, se entiende que con la lluvia el agua fluye de las partes altas (lomos o crestas) hacia las partes bajas (valles); por lo tanto, los valles se mantienen más húmedos que las crestas del terreno. Pues bien, con el diseño hidrológico del terreno con el método del *Keyline* o Línea Clave, este patrón natural de flujo de agua cambia; ahora el agua de lluvia tenderá a moverse hacia las partes altas del terreno, permaneciendo entonces más húmedas que en las condiciones naturales. La aplicación de este principio a escala de una parcela agrícola es lo que se mostrará en este manual.

Avanzando en los conceptos básicos del DHT, se dirá que en una ladera es aquel lugar donde

ocurre un cambio de mayor a menor pendiente y se puede marcar con un punto. A ese punto se le llama “Punto Clave”, “Punto de Inflexión” o “*Keypoint*” (denominación original en inglés) (fotografía 2).

En un mapa topográfico, el Punto Clave se localiza donde las curvas de nivel cambian visiblemente su distancia entre sí (figura 2). Si se tiene una cierta distancia entre las curvas de nivel, y de pronto esta distancia aumenta de manera visible, ello indica que se está cambiando de una pendiente fuerte, a una más suave. En el sistema de Línea Clave, la curva de nivel que pasa por el Punto Clave se denomina Línea Clave o *Keyline* (figura 3), y es la base para desarrollar el diseño hidrológico del terreno.



Fotografía 2. Identificación del Punto Clave en el terreno.

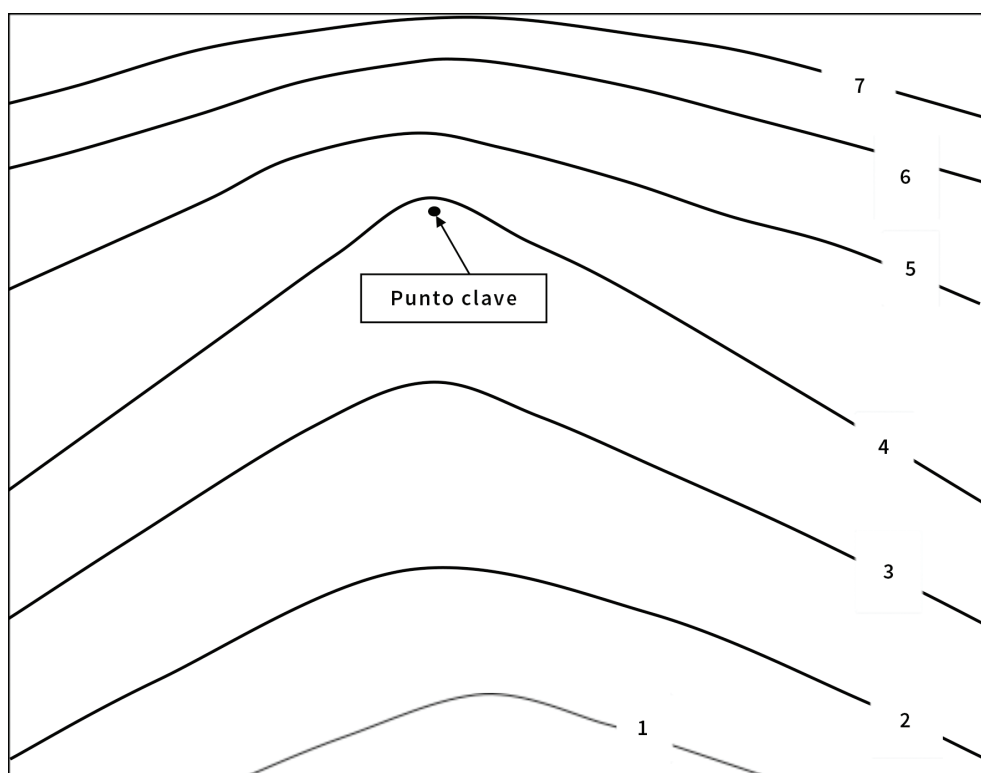


Figura 2.Plano de curvas a nivel identificando el Punto Clave.

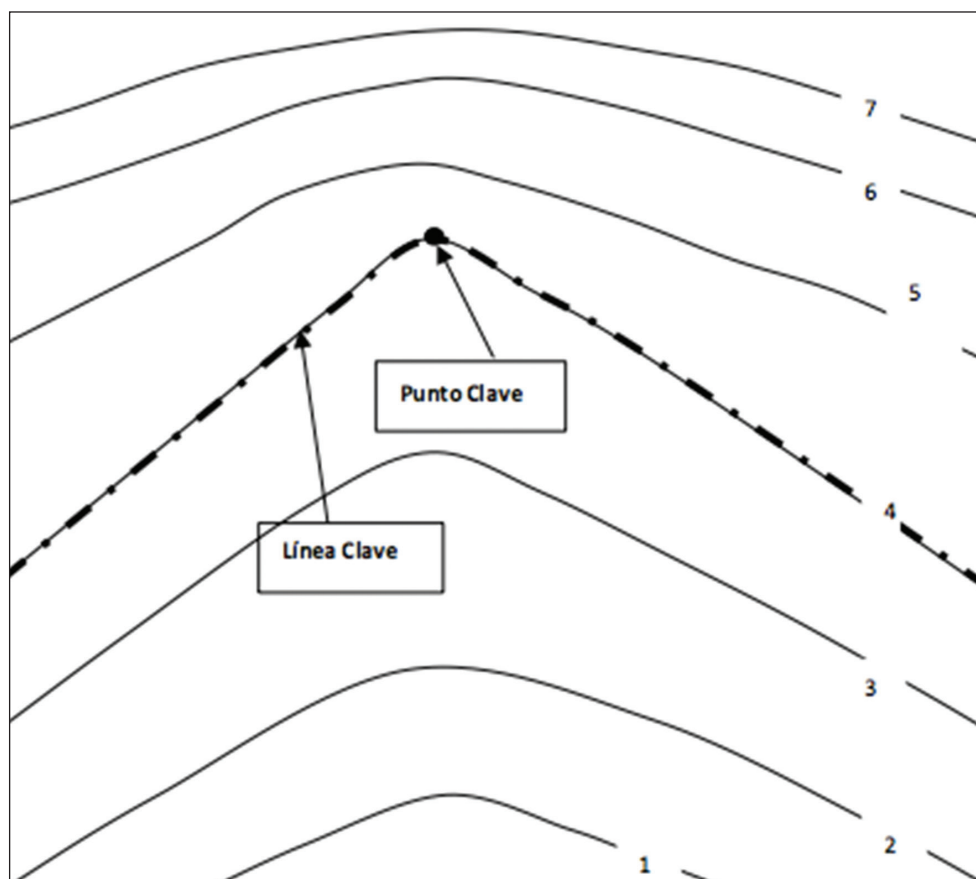


Figura 3. Plano de curvas a nivel identificando la Línea Clave.

El empleo del método de la Línea Clave en una parcela agrícola implica simplemente hacer el surcado paralelo a la Línea Clave, tanto hacia arriba como hacia abajo de la misma. De esta forma, se garantiza que el recorrido del agua de lluvia (o riego) irá de los valles hacia las crestas del terreno, con los beneficios que ello implica.

Posteriormente, se verá la importancia de una correcta identificación del Punto Clave que, como se ha dicho, es el punto del terreno donde hay un cambio en su topografía, de mayor a menor pendiente. El Punto Clave se encuentra sólo en los valles; no existe un Punto Clave en las crestas o lomos del terreno. Igualmente, aunque de manera general se dice que el surcado de un predio se

puede hacer hacia arriba o hacia debajo de la línea clave, en el capítulo 6 “Establecimiento del sistema en campo”, de este mismo manual, se verá que hay ocasiones en que el surcado únicamente se podrá hacer hacia arriba, o bien, hacia abajo de la Línea Clave, pero no hacia ambos lados, como de manera general se menciona.

El propósito del patrón de cultivo de una parcela con el método aquí propuesto, es dirigir hacia las partes altas del terreno el agua de lluvia y que se infiltre y almacene en el suelo, en lugar de permitir que escurra superficialmente hacia los valles y salga del predio o forme charcos que no son de utilidad ni para el suelo, ni sus recursos asociados, ni para el propietario del predio.







La metodología surge como una necesidad de captar y almacenar el agua de lluvia en el suelo, por lo que su aplicación es ideal para zonas de escasa precipitación.



## Condiciones donde Aplica la Práctica

Los orígenes de la tecnología denominada DHT, con el método de la Línea Clave, se ubican en Australia. A su creador, Percival Alfred Yeomans, o “P.A.”, como a él le gustaba que le llamaran y basado en su experiencia del manejo del agua en trabajos de minería, se le ocurrió que sus conocimientos tenían aplicación en la agricultura. Captar y almacenar agua en el suelo es algo que beneficia de manera fundamental al suelo y a los cultivos, especialmente en las zonas de escasa precipitación. Él fue, tal vez, el primero en pensar y fomentar lo que pudiera ser una “agricultura sustentable”, antes incluso de que el concepto fuera acuñado. Así entonces, aunque el origen del método es en las zonas áridas, los principios en que se basa hacen posible su aplicación en todo tipo de clima y terreno.

La metodología surge como una necesidad de captar y almacenar el agua de lluvia en el suelo, por lo que su aplicación es ideal para zonas de escasa precipitación. Su área de aplicación en México es, entonces, enorme; más del 50% del país puede considerarse como de zonas áridas y semiáridas. En regiones con precipitación media anual inferior a los 700 mm (prácticamente

todo el norte de México), la metodología resulta de aplicación directa. En aquellos lugares con precipitaciones superiores a la mencionada, deben hacerse algunas adecuaciones, pero los principios del método indudablemente que aplican con toda propiedad.

Algo similar ocurre en cuanto a la topografía del terreno. Su aplicación es ideal para aquellos terrenos del semiárido con topografía ondulada y terrenos con pendientes menores al 8%. No obstante, se puede utilizar en terrenos con pendientes mayores a la cifra anotada.

En lo que se refiere al uso del suelo, no hay limitantes. El método encaja perfectamente en zonas de pastizales y agostaderos. Su uso es también excelente en la agricultura, en suelos forestales y en fruticultura. Su mayor potencial es en zonas de temporal, pues el método considera la construcción de bordos para almacenamiento de agua. Apoyándose en la topografía del terreno, se hacen canales de conducción para dirigir el agua de lluvia hacia el bordo o bordos contruidos. Posteriormente, y a partir del bordo de almacenamiento, se trazan los canales de



riego que permiten establecer pequeñas áreas de riego en zonas llamadas “de temporal”. Es decir, dentro de un rancho o predio con agricultura de temporal, es posible tener secciones bajo riego. Debe decirse que, aunque el método nace en las zonas de escasa precipitación, su aplicación por supuesto que también es posible en el trópico mexicano, pues aunque son zonas lluviosas, se hay periodos de sequía, lo que hace necesario la captación de agua para su uso posterior en las explotaciones agrícolas. Puede entonces decirse, con toda propiedad, que la metodología tiene aplicación en todo tipo de clima e implementarse

en cualquier suelo; es de utilidad para todos los usos del suelo.

En el presente instructivo se hablará de la aplicación del método en una parcela agrícola, pero la técnica abarca mucho más. Sirve para definir en un predio las áreas de captación de agua, áreas de infiltración, áreas de riego, ubicación de canales, caminos, líneas de árboles, etc. Siguiendo los principios, se puede diseñar cualquier unidad de producción, del tamaño que sea, e incluso, puede usarse en la planeación de centros de población y ciudades.

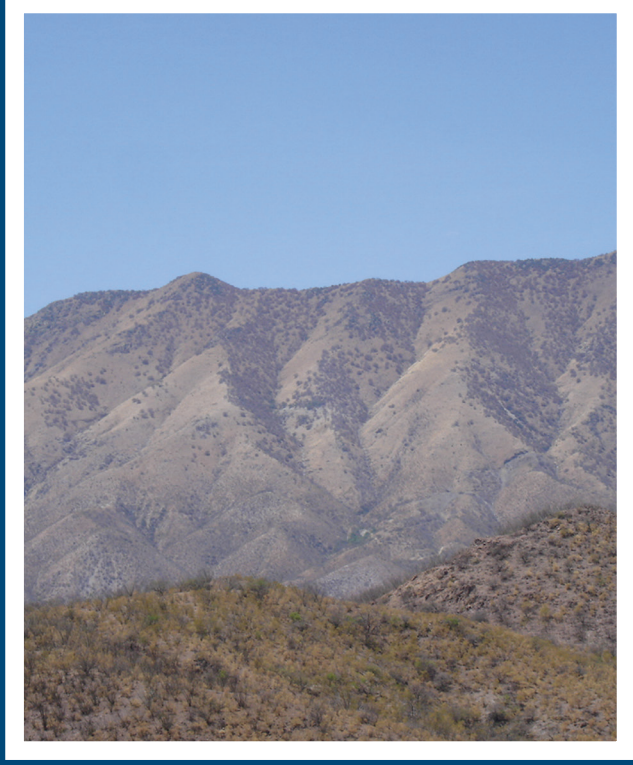








El método de la Línea Clave utiliza un concepto denominado “escala de permanencia” para priorizar el diseño de la unidad de trabajo que, como se ha dicho, puede ser una parcela, un rancho, o hasta una ciudad.





## Consideraciones y Alcances del Método

El método de la Línea Clave utiliza un concepto denominado “escala de permanencia” para priorizar el diseño de la unidad de trabajo que, como se ha dicho, puede ser una parcela, un rancho, o hasta una ciudad. Esta escala de permanencia no es otra cosa que un orden que se sigue en la planeación, en la cual el eje rector es la permanencia relativa de cada uno de los componentes que integran la unidad objeto del plan (parcela, rancho, etc.). Esta escala de permanencia es:

- a) El clima.
- b) La topografía y forma del terreno.
- c) El agua.
- d) Los caminos.
- e) Los árboles.
- f) Las construcciones (establos, bodegas, casas).
- g) Las subdivisiones.
- h) El suelo.

Como puede verse, los primeros dos factores son prácticamente inamovibles y el agua es, entonces, lo primero que se toma en cuenta al diseñar la unidad de trabajo en cuestión. Una vez que se ve como se habrá de manejar el agua para su mejor aprovechamiento, viene luego el diseño de los

caminos; después los árboles y, detrás, las casas. En condiciones naturales, es fácil que un árbol perdure por más tiempo que una casa. Finalmente, vienen las cercas y divisiones del terreno o los usos del mismo y, por último, se considera el suelo. En el ámbito de hacer el diseño para un rancho o propiedad, se dice de manera simple que las prioridades son: primero, lo azul (agua); luego, lo verde (vegetación) y, al final, lo café (el suelo).

Aquí se observa el gran contraste que existe con la escuela de conservación de suelos americana que, por el contrario, hace una clasificación para el aprovechamiento del suelo acorde con su “capacidad de uso”. Hay ocho clases, siendo la primera clase: tierra con suelo profundo y casi plano, que puede ser cultivada con métodos ordinarios de trabajo, sin limitaciones o riesgos para su uso. La octava clase engloba, en cambio, aquellas tierras inapropiadas para fines agropecuarios y forestales, útiles sólo para vida silvestre y recreación. Es decir, usar el suelo como está, sin suponer la posibilidad de mejorarlo, cosa fundamental en el método de la Línea Clave. En este sistema, el suelo se coloca al final de la escala, dado que se considera que el suelo es perfectible y puede y debe mejorarse. De manera escueta se dice:

“con este método no se trata de conservar, sino de generar suelo”.

Los párrafos anteriores tienen la intención de mostrar la amplitud y visión del método de la Línea Clave. En el caso particular, se explica su aplicación en una parcela agrícola, donde el surcado se hace de acuerdo con este método, tomando en cuenta

que su eje fundamental es favorecer la absorción de agua por el suelo, al considerar que el mejor lugar para almacenar el agua de lluvia en una parcela es el suelo mismo. Con este método se tendrá la misma lluvia en la parcela, pero se conservará más agua, por más tiempo y mejor distribuida en el terreno, beneficiando así al suelo mismo y al cultivo establecido.











Un agricultor que maneja su terreno de forma responsable y que conoce el método de la Línea Clave, seguramente con el paso del tiempo tendrá una mejor propiedad. Esto desafortunadamente no es lo más común en el agro mexicano.





## El Diseño del Sistema y su Trazo

Un agricultor que maneja su terreno de forma responsable y que conoce el método de la Línea Clave, seguramente con el paso del tiempo tendrá una mejor propiedad. Esto desafortunadamente no es lo más común en el agro mexicano. Muchos agricultores influenciados, por un lado, por su carencia de conocimientos y, por el otro, por sus necesidades económicas, no tienen interés en mejorar las condiciones de sus predios. Ellos se interesan sólo en producir más, aunque ello implique el uso de agroquímicos de manera desequilibrada, lo que no es benéfico para el suelo, ni para la vegetación, ni para el medio ambiente.

El productor conocedor de sus terrenos, interesado en mejorar su producción y hacer una explotación acertada de su patrimonio, seguramente cuenta con planos de sus predios y alguna información de las características de los suelos. Es también muy probable que cuente con un plano topográfico de sus parcelas. Un plano del terreno con curvas a nivel es información simple, pero de gran apoyo para la planeación de los trabajos en el campo. Para el DHT con el método de la Línea Clave, un plano de curvas a nivel es el insumo fundamental. Con base en un mapa topográfico se puede definir

cuáles serán las áreas de captación de lluvia, cuáles serán las zonas de cultivos y dónde irán las líneas de árboles. Se puede, asimismo, ubicar y construir bordos de agua, situar secciones de cultivo bajo riego, definir los caminos y la división de parcelas, entre otras cosas. A nivel de parcela agrícola, el plano de curvas a nivel (con el método de la Línea Clave) sirve también para orientar el surcado en el terreno, de tal forma que se capte una mayor cantidad de agua de lluvia y se distribuya adecuadamente en el suelo. Esto, además de evitar que se pierda el agua como escurrimiento superficial, reduce la pérdida de suelo por erosión. El plano topográfico, es pues, componente primordial para diseñar y trazar el surcado en una parcela con el método de la Línea Clave.

### 5.1. Localización y trazado de la Línea Clave

El primer elemento necesario para el trazo del sistema en gabinete y, posteriormente, en campo, es disponer de un plano del sitio de interés con

curvas a nivel. Un plano de curvas a nivel con equidistancia de medio metro (curvas cada 0.50 m de desnivel) es muy adecuado, aunque, dependiendo de la pendiente en el terreno, puede ser menor si el terreno es muy plano y de un metro o más, si la pendiente del sitio es relativamente fuerte.

Una vez que se dispone del plano con curvas a nivel, lo que sigue es hacer una observación detallada del mismo. Se identifican en el plano las partes bajas, las partes altas, los bajíos o valles y las crestas o lomos del terreno. Para localizar el Punto Clave, debe fijarse la atención en los valles o partes bajas, mismas que se identifican por el

sentido de la curvatura de las curvas a nivel, al ver el plano con las cotas menores en la parte inferior de la hoja y las cotas mayores en la parte de arriba de la misma (figura 4). Los valles o partes bajas del terreno, que es por donde escurrirá el agua si se tiene un evento de lluvia considerable, se identifican porque las curvas forman un arco, ante la vista del observador. Las crestas o lomos del terreno se forman donde las curvas, vistas por el ojo del observador, forman una especie de letra “u” o un columpio. En la figura 4, por ejemplo, se observa que al centro, en dirección vertical, se tiene la parte baja del terreno mostrado. En un evento de lluvia en exceso, el agua correría de arriba hacia abajo, por el centro del predio.

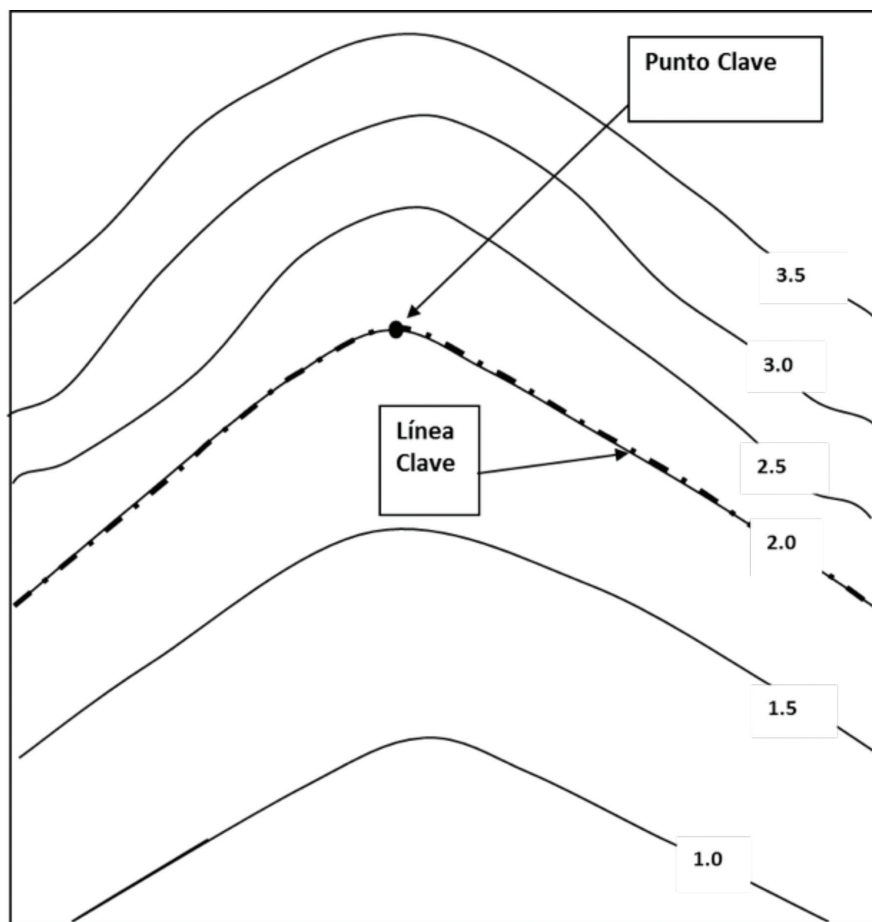


Figura 4. Localización del Punto Clave y Línea Clave en el plano de una parcela.



Otra forma de identificar el Punto Clave es ver las curvas de nivel del plano, y donde se advierte que la distancia entre curvas aumenta, ahí se localiza el Punto Clave. Este lugar es el punto de inflexión de la pendiente del terreno o, dicho de otra forma, es donde el terreno muestra un cambio de una pendiente fuerte a una más suave. Una vez identificado el Punto Clave, definir la Línea Clave es algo muy simple: la Línea Clave (*Keyline*) será aquella curva de nivel que pasa por el Punto Clave. Esto es, la curva de nivel en la que se identificó el Punto Clave se llamará ahora “Línea Clave”. Esta línea clave o línea guía es la base para el desarrollo de toda la metodología.

## 5.2. Diseño del trazo en gabinete

Antes de implementar el trabajo de DHT en campo, es necesario hacer el diseño y trazo en gabinete. En esta etapa se hacen las propuestas y revisiones del diseño y trazo de los surcos, de forma tal que se verifique que el agua fluya en la dirección deseada en las distintas partes del terreno. La fase de mayor importancia en la aplicación de este método es la definición de la Línea Clave. A partir de esta línea se hará el trazo de los surcos, paralelos a dicha línea, tanto hacia arriba como hacia abajo de la misma. El trabajo de gabinete se realizará mejor si se hacen recorridos de campo para identificar en el terreno las características topográficas detectadas en los planos disponibles o los generados en el proceso del trabajo. En un buen plano de curvas a nivel del sitio de trabajo, puede verse claramente que con el sistema de la Línea Clave el flujo del agua va de la parte del valle hacia la cresta del terreno, filosofía del método: que el agua se mantenga en las áreas del terreno que ‘normalmente’ son más

secas y así almacenar por más tiempo el agua en el suelo, con los consecuentes beneficios para el establecimiento de la vegetación.

En la figura 5 puede verse que el Punto Clave se ubica en la cota de nivel de 4 m. Esta curva de nivel se transforma, entonces, en la Línea Clave, misma que puede identificarse en la figura como la línea punteada con un negro más intenso que el resto de las líneas. La misma figura muestra que al trazar los surcos (identificados por líneas punteadas) paralelos a dicha línea, ya sea hacia arriba o hacia abajo de la misma, se propicia que el flujo del agua sea del valle hacia la loma o cresta del terreno, propósito del método. Para entenderlo mejor, tal vez ayude decir que en la figura mostrada, en función de las curvas de nivel, se tiene la parte baja del predio en la parte central de la figura. La parte más baja tiene dirección vertical (norte-sur) y las crestas o lomos del predio se localizan hacia los lados de la parcela.

Para expresar el sentido del flujo del agua en la parcela, en caso de una lluvia en exceso, se marcan sobre los surcos las flechas que indican la dirección que seguiría el agua. Puede verse que va del centro hacia los lados del predio; es decir, va del valle hacia las crestas del terreno, que es lo deseado.

Debe mencionarse que, por motivos didácticos, el ejemplo mostrado presenta una topografía sencilla. Existen zonas donde las curvas de nivel tienen bastantes cambios, lo que dificulta entonces la elección del Punto Clave y, por consecuencia, la Línea Clave. En estos casos, el diseño del surcado también se complica. Es por eso que se recomienda hacer el diseño en

gabinete y no irse directamente a campo. En esta etapa (diseño en gabinete), hay que verificar que con el trazo que se propone para los surcos el agua va hacia la dirección conveniente. De no ser así, hay que revisar el trazo y, de ser necesario, modificarlo. Puede ser que el diseño propuesto funcione adecuadamente en una parte del predio, es decir, envía el agua del valle hacia

la cresta; pero puede haber otras zonas donde ello no se cumpla. En estos casos, hay que analizar la situación y volver a proponer otro diseño hasta que se asegure que efectivamente el agua se enviará hacia las partes altas del predio, lo que permitirá que estas zonas del terreno, generalmente más secas, permanezcan húmedas por un mayor tiempo.

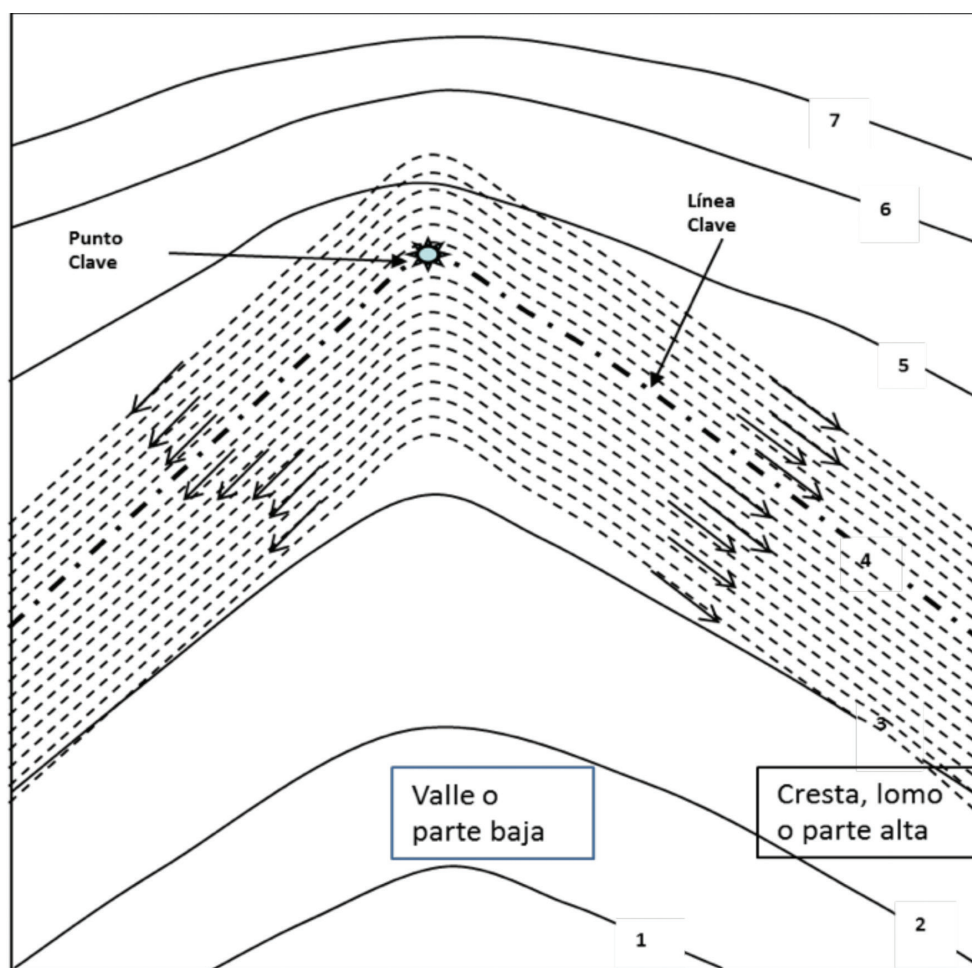


Figura 5. Diseño del surcado en Línea Clave.

La importancia del surcado con el método de la Línea Clave para una mejor distribución del agua en el suelo puede verse en la parte inferior de la figura 6, donde se muestra el mismo predio

que en la figura 5. Se observa que si se hace el surcado paralelo a la curva de nivel con cota 2 m, por ejemplo, el flujo del agua (indicado por las flechas) será hacia el centro del valle, algo



indeseable, pues se envía el agua hacia la parte más baja del terreno y ahí se puede concentrar como flujo y causar erosión.

Este ejemplo sirve también para enfatizar la importancia de la correcta identificación de la Línea Clave. Si alguien dijera que la línea clave es la cota de 2 m y hace el surcado tomando como base dicha línea, los resultados serían desastrosos.

Otra enseñanza del ejemplo mostrado en la figura 6 es que el surcado con el método de la Línea Clave supera el surcado a curvas a nivel o surcado en contorno. En el surcado a curvas de nivel, es común elegir una línea guía en la parte alta del predio y luego otra en la parte baja, y realizar el surcado del predio siguiendo en una parte una curva de nivel y en otra parte, otra. Lo que muchas

veces ocurre, debido a que las curvas de nivel generalmente no son paralelas, es que el surcado a “curva de nivel” pronto deja de ser surcado a nivel y puede generar problemas de encharcamientos de áreas del predio o rotura de surcos, ocasionando incluso la formación de pequeñas cárcavas dentro de la parcela. Es decir, si no se tiene cuidado y experiencia, el surcado en curvas a nivel puede generar más problemas de los que resuelve.

Esto por supuesto que también aplica al surcado con el método de la Línea Clave. Si no se identifica correctamente el punto y Línea Clave, es probable que en lugar de ayudar al productor a captar y almacenar agua en su parcela, se le provoquen problemas de erosión hídrica; una complicación que en teoría se resuelve con el DHT del terreno y el método de la Línea Clave.

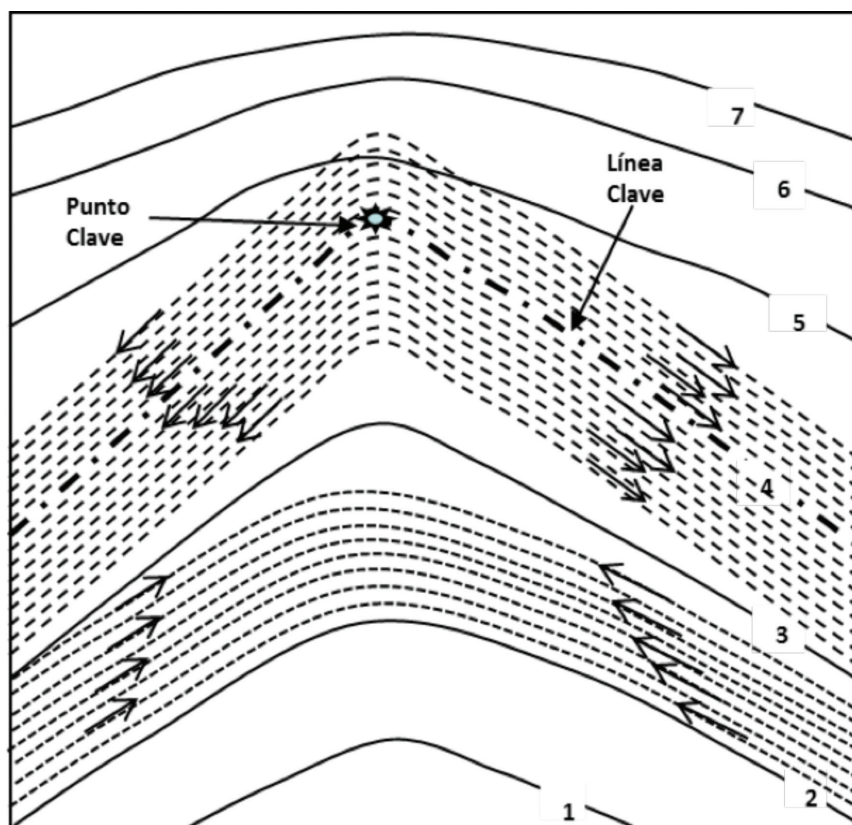


Figura 6. Suroado en línea clave (arriba) y en curvas a nivel (abajo).

Una forma de asegurar o “forzar” el flujo del agua del valle hacia la cresta (de la parte “baja” a la parte “alta” del terreno), es que la Línea Clave no siga fielmente la curva de nivel que pasa por el punto clave y seleccionada como línea guía, sino que hay que subirse un poco en el centro del valle y bajarse un poco a medida que la curva de nivel se extiende hacia los costados del valle. Se le puede dar una pendiente muy suave, de 0.25 a 0.33% (caída de 1:400 a 1:300), y hacer el surcado paralelo a esta línea “ajustada”, garantizando así un flujo lento del agua que, por un lado, evita encharcamientos, rotura de bordos de los surcos y problemas de erosión, mientras que por el otro permite que

el agua se infiltre en el suelo, logrando mayor humedad en el terreno.

Para llevar a cabo esto en la práctica, se parte del estacado de la curva de nivel seleccionada como Línea Clave o línea guía; se mide en el terreno la distancia en la que hay que moverse hacia arriba de la curva en el centro del valle y se clavan estacas, al lado del estacado original, marcando la nueva línea guía: la línea “forzada”. Se tendrá uno o varios puntos en que las estacas originales permanecen y luego vendrán puntos en que el estacado nuevo irá ahora, poco a poco, un tanto por debajo de la línea guía original. La fotografía 3 permite ver este caso en una aplicación en campo.



Fotografía 3. “Forzado” de línea clave para asegurar el flujo deseado del agua.



Para finalizar, el tema del diseño en gabinete se presenta, a manera de ejemplo, en un predio donde se realizó el surcado con el método de la Línea Clave (figuras 7 y 8). En la primera de las figuras se presenta el plano con curvas a nivel a cada 0.50 m y se marca la curva identificada como Línea Clave. En la figura 8 aparece el mismo predio donde, con color rojo y línea punteada, se identifica la curva de nivel seleccionada como línea clave. En color negro y en raya continua aparece la línea clave ya

suavizada. Las líneas punteadas y de menor grosor representan el diseño del surcado con el método de la Línea Clave. Las curvas de nivel de la figura 7 ya no se marcan para evitar confusiones y facilitar la apreciación del diseño de los surcos. Debe también decirse que es común suavizar al trazo de la curva de nivel elegida como Línea Clave o línea guía. Ello, con propósito del trazo de los surcos, ya en campo. Sobre esto, se amplía la información en páginas posteriores.

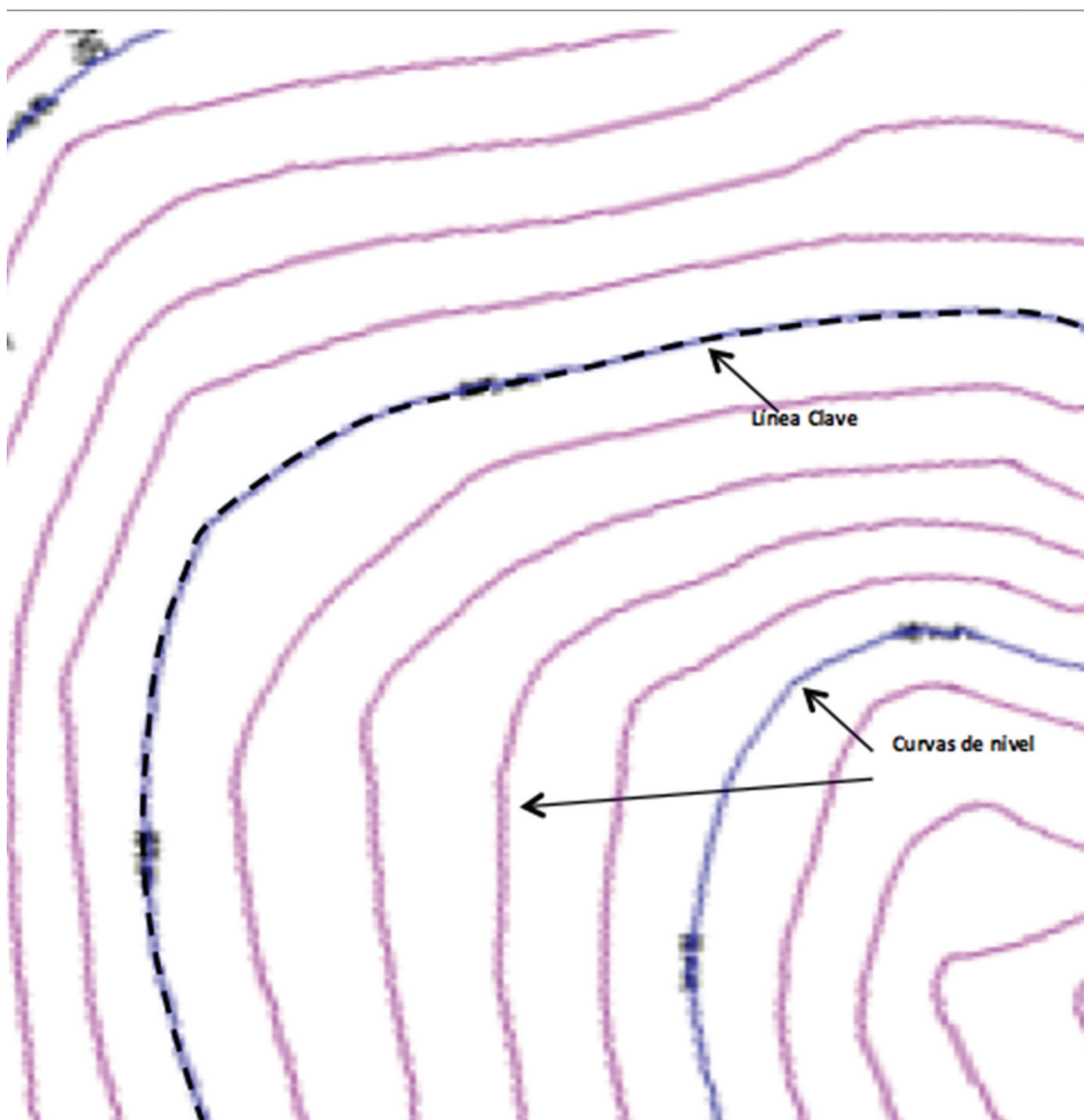


Figura 7. Predio con curvas a nivel y Línea Clave.

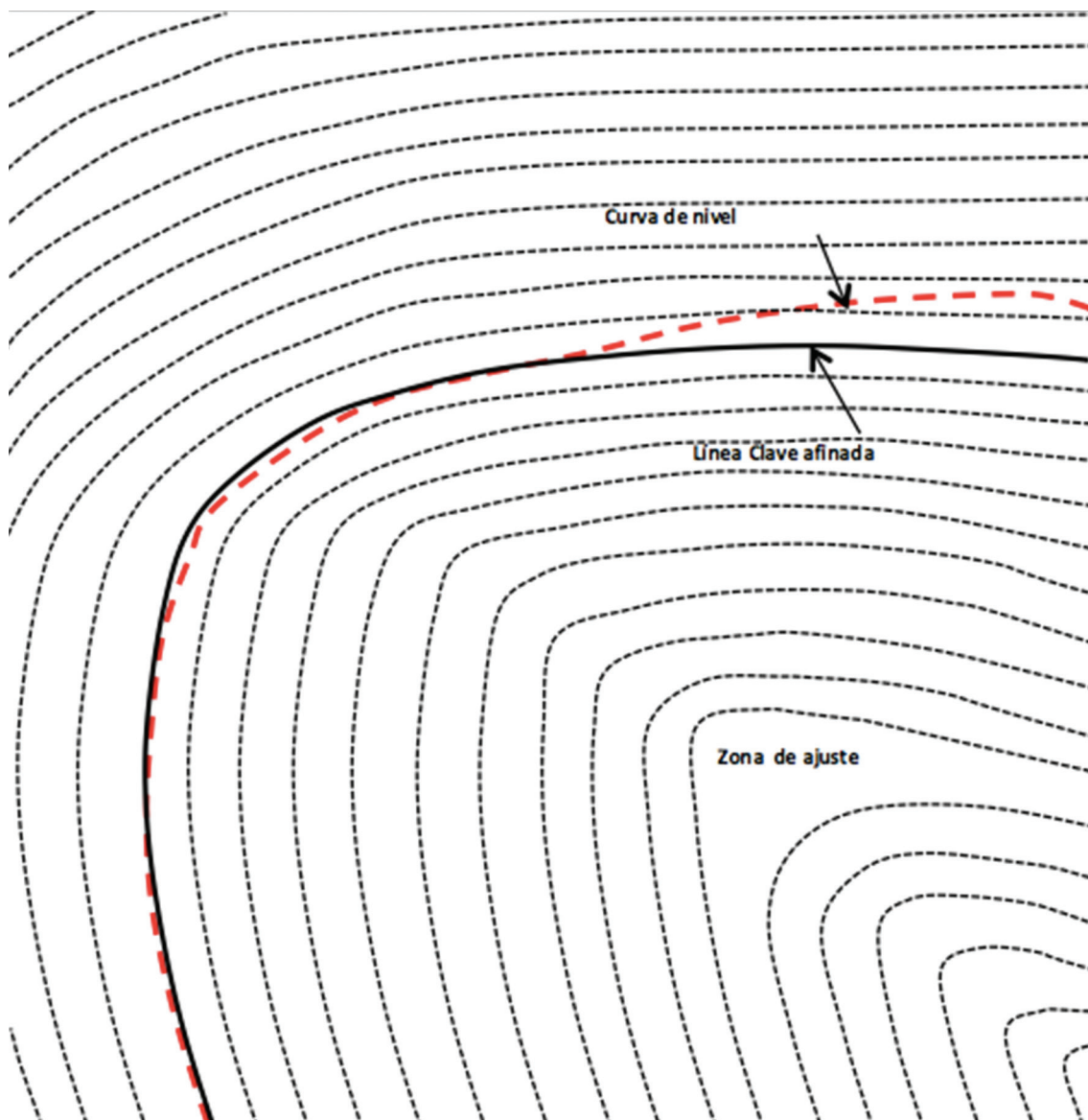


Figura 8. Predio con surcado en Línea Clave.

### 5.3. Diseño del trazo en campo

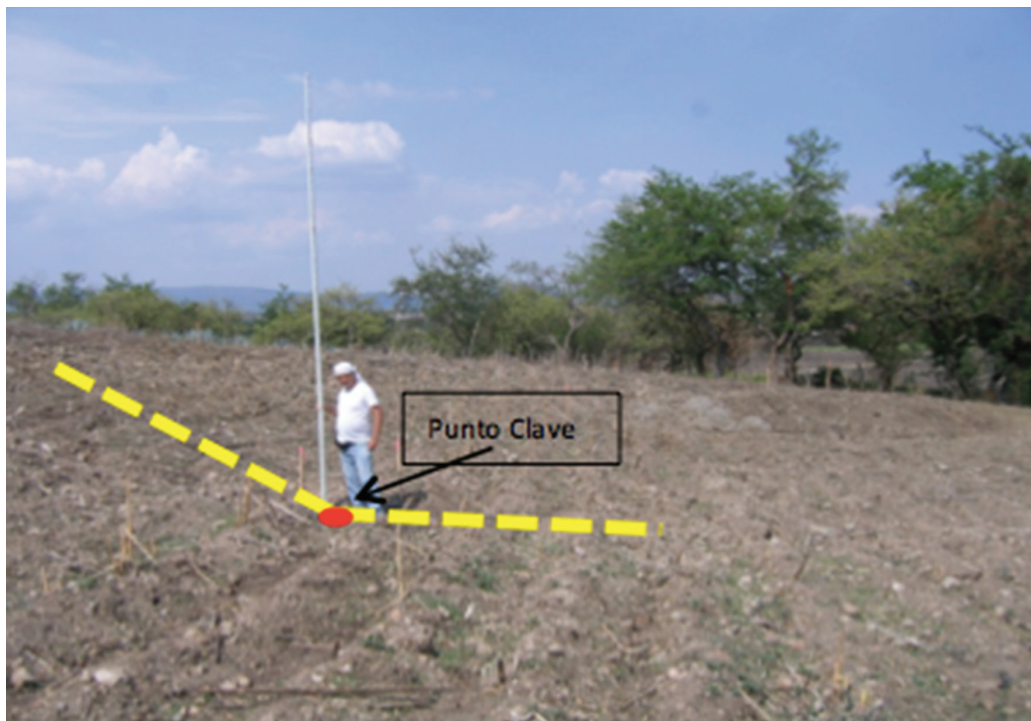
Una vez que se tiene el diseño del surcado en gabinete, lo que sigue es trasladar el trabajo al campo. Para esto, es de gran apoyo equiparse con un nivel topográfico y un sistema de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés). En el terreno no es necesario marcar cada curva de nivel; basta con marcar la Línea Clave (o líneas claves, si el

predio es grande y/o la pendiente no es uniforme) previamente identificada en gabinete. Para marcar esta línea en campo se procede así: con el plano del diseño realizado en gabinete se identifica en el terreno el Punto Clave (fotografía 4); identificado el punto, se obtiene la curva de nivel que pasa por ese punto y se marcar con estacas, cruzando todo el terreno de cultivo. Esa curva de nivel será la Línea Clave. La nivelación se puede hacer con



el nivel que se tenga al alcance de la mano; puede ser desde un nivel de albañil o manguera, el nivel

tipo "A", hasta una estación topográfica total o un nivel láser.



Fotografía 4. Identificación del Punto Clave en el terreno (cambio de pendiente).



Fotografía 5. Marcando curva de nivel con nivel de manguera.



Fotografía 6. Marcando curva de nivel en Punto Clave con nivel de mano.

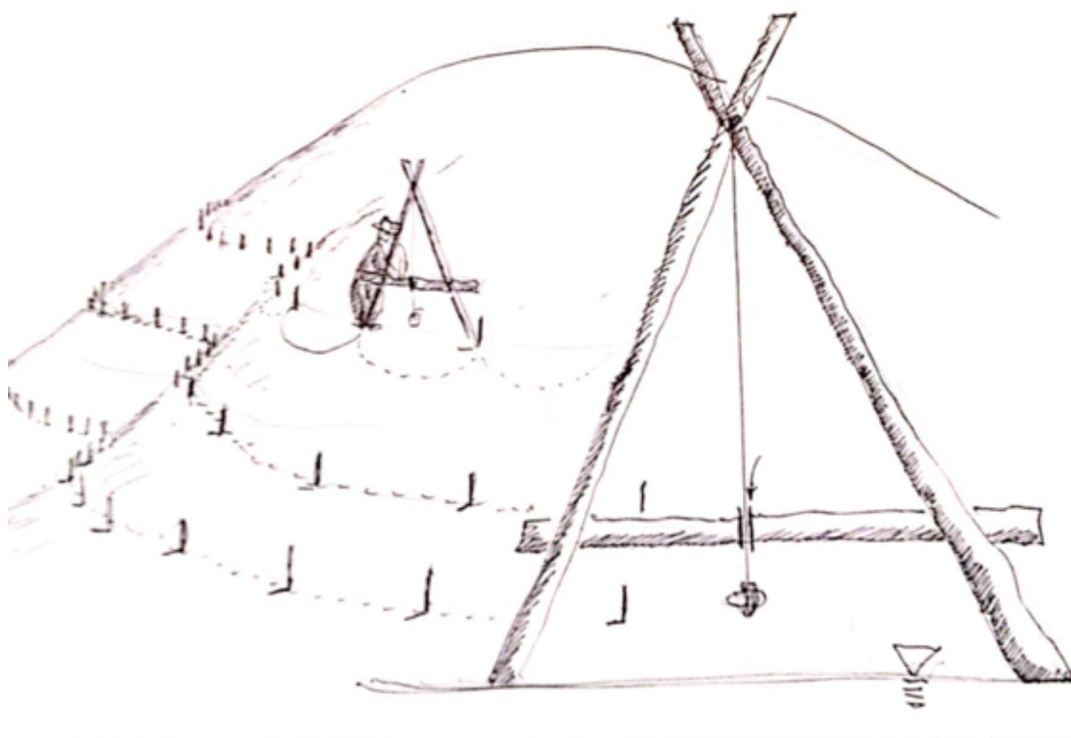


Figura 9. Forma de obtener curvas de nivel en el terreno con el nivel "A".





Fotografía 7. Obtención de la curva de nivel en el terreno con el nivel "A".



Fotografía 8. Obtención de la curva de nivel en el terreno con estación total.





Fotografía 9. Obtención de la curva de nivel en el Punto Clave con nivel láser.

Para marcar la curva de nivel que pasa por el punto clave o (Línea Clave) generalmente se usan estacas de madera de poco más de un metro de altura, para que pueda verse la estaca aun habiendo hierbas o pasto en el terreno (Fotografía 10). Es también recomendable pintar de un color visible la parte superior de la estaca o usar un listón o tela de color que se amarra en la parte superior de la misma para facilitar su visualización.



Fotografía 10. Estacas a curva de nivel con distintivo rojo para facilitar visualización.



Es conveniente mencionar que, una vez marcada la curva de nivel, que será la Línea Clave, se debe revisar su trayectoria y, si hay partes en que la dirección de la línea cambia muy bruscamente, hay que suavizarla de tal forma que los quiebres no sean muy marcados. La forma de hacerlo en el campo es ir colocando nuevas estacas a los lados de las estacas originales que marcan la curva de nivel (fotografía 11). El encargado de

hacer la suavización de la curva irá clavando las nuevas estacas, de manera que los cambios de dirección de la curva no sean muy bruscos y faciliten el laboreo, ya sea que se efectúe con yunta o con tractor. Al final de esta labor, se retiran las estacas que marcaban fielmente la curva de nivel y quedará una línea de estacas con curvas más estilizadas que facilitarán el trazo de los surcos.



Fotografía 11. El doble estacado para suavizar la curva de nivel o Línea Clave.

Así entonces, esta línea suavizada (figura 10) será la Línea Clave que servirá como guía al hacer el surcado. La modificación que se hace para seguir fielmente el nivel del terreno es mínima y no afecta la eficacia del método, pero en cambio sí facilita el tránsito del tractor o la yunta al hacer el surcado. El surcado se hará entonces

de forma paralela a la Línea Clave, tanto hacia arriba como hacia abajo de dicha línea (figura 5) hasta cubrir toda la parcela. Si el terreno es muy grande, es conveniente buscar otra línea guía, aproximadamente cada 400-500 m. Esta distancia será menor si el terreno presenta ondulaciones topográficas en distintas direcciones. También

es necesario definir más de una línea guía si el terreno tiene varios cambios de pendiente. Es posible que en algún predio, ya sea por el tamaño de la propiedad o por la topografía del terreno, no se identifique en la parcela un Punto Clave. En estos casos, entonces: ¿no se tendrá una Línea

Clave? ¿Qué se hace entonces para iniciar el surcado aplicando el método aquí propuesto? Es conveniente mencionar que el método considera también estas situaciones y, en párrafos posteriores, se explica a detalle la aplicación del sistema en estos casos.

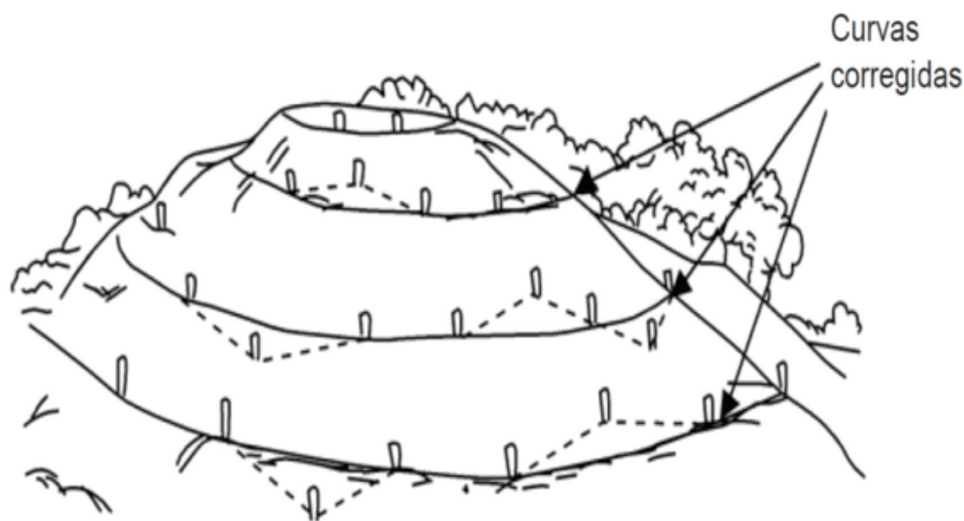


Figura 10. Suavizando las curvas de nivel.

La fotografía 12 muestra una imagen donde pueden verse las estacas marcando la Línea Clave

ya suavizada, que habrá de servir como guía para que se inicie ahí el surcado.



Fotografía 12. Terreno con Línea Clave "suavizada", marcada con estacas.







Trazada la primera línea, la vuelta de regreso será en dirección paralela al primer trazo, tanto hacia arriba como hacia abajo de la línea clave.





## Establecimiento del Sistema en Campo

Una vez marcado el terreno con la Línea Clave o línea guía, se indica a la persona que dirige la yunta o al tractorista (si el trabajo se hace con maquinaria) que realice el surcado siguiendo la

línea de estacas (fotografías 13 y 14). Trazada la primera línea, la vuelta de regreso será en dirección paralela al primer trazo, tanto hacia arriba como hacia abajo de la línea clave.



Fotografía 13. Realizando el trazo del surcado en Línea Clave con yunta.

Este proceso se repite hasta terminar de arar la parcela o hasta que se encuentre otra Línea Clave o línea guía auxiliar para que, a partir de ella, se inicie un nuevo patrón de surcado. Debe tenerse presente que en terrenos grandes y con topografía no homogénea puede ocurrir que se identifique

más de una Línea Clave o líneas guías auxiliares. En estos casos, lo que se hace es que una parte del terreno se surca tomando como base una Línea Clave y, otra parte del área, será regida por otra Línea Clave u otra línea guía si es que ya no hay líneas clave identificables.



Fotografía 14. Iniciando trazo de surcado en Línea Clave.

En los casos en que se tienen en la parcela más de una Línea Clave o líneas guía de surcado, es posible que se tengan en el predio uno o más sitios intermedios donde ocurren “lunares” que no permiten el surcado siguiendo una Línea Clave u otra. De ser así, se cruzarían los surcos, situación que nunca debe ocurrir. En situaciones tales, lo que se recomienda es dejar estas pequeñas áreas aquí llamadas “áreas de ajuste” (figura 11) sin surcar,

según el patrón de surcado de la Línea Clave, y surcar esas pequeñas superficies en la dirección que más se le facilite a la yunta o al tractorista (considerando las maniobras con el tractor), y de manera aislada a los trazos en Línea Clave. Si el trazo general del surcado en Línea Clave es correcto, estas pequeñas áreas se pueden surcar en cualquier sentido sin perjudicar la funcionalidad del método.



Es también conveniente subrayar que, al realizar el surcado del terreno, nunca debe permitirse que dos o más surcos desemboquen en uno solo, ya que trae como consecuencia que el surco tenga que conducir o contener un volumen de agua

mayor al de su capacidad. Lo anterior puede ocasionar encharcamientos y hasta rotura de bordos y problemas de formación de cárcavas y erosión del suelo; precisamente, lo que se quiere evitar.

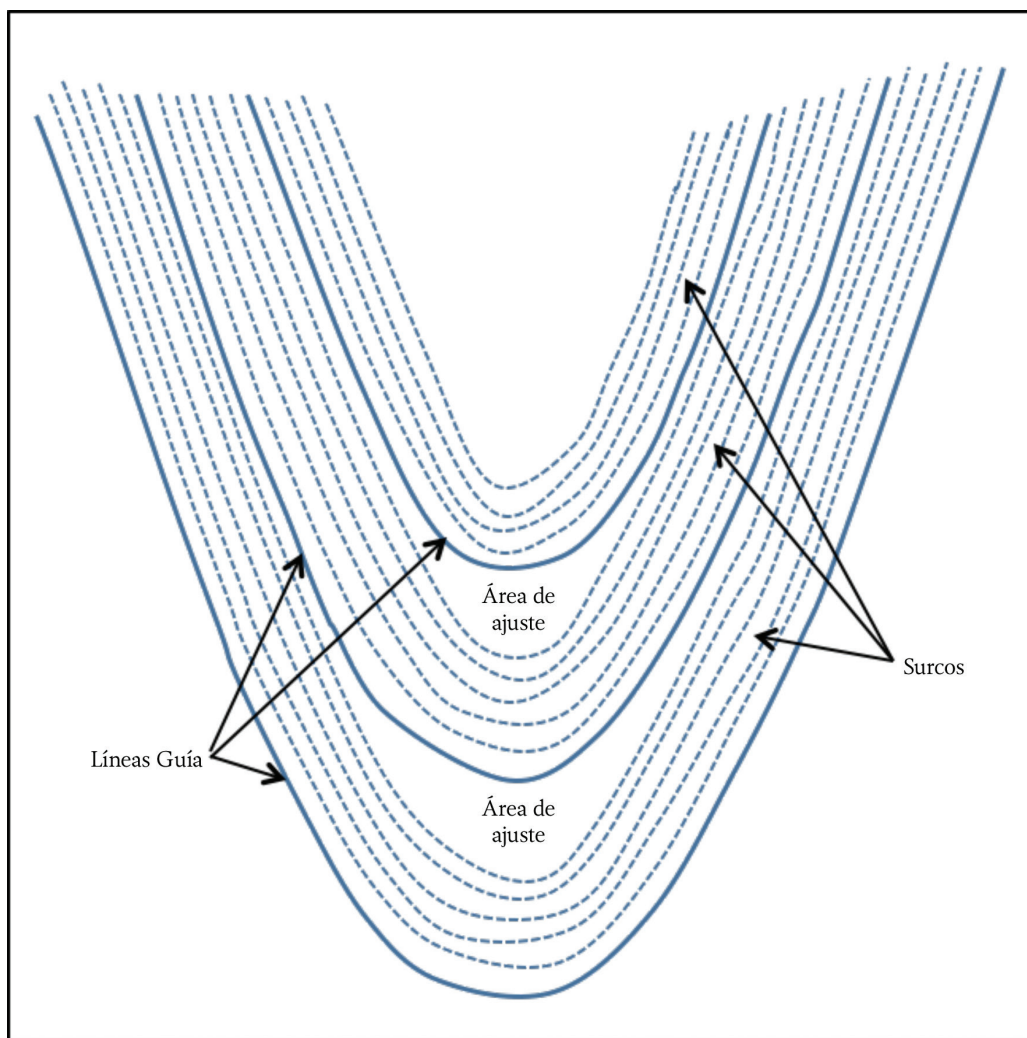


Figura 11. Suroado en terreno con varias Líneas Guía.

Es importante mencionar que el método de la Línea Clave, en su concepción original, se refiere al surcado en una dirección determinada sobre el terreno, pero sin voltear el suelo. El método tiene como filosofía no romper los ciclos de vida de la biología del suelo con el uso de implementos que inviertan la tierra, ya

sean arados de vertedera o de disco. En su idea original, el método sugiere que la superficie del terreno permanezca casi inalterada y que en el subsuelo se hagan una especie de microtúneles (tipo drenes topo), por donde correrá el agua de los valles hacia las crestas cuando ocurran las lluvias.

La propuesta del método consiste en sembrar sin hacer surcos, como tradicionalmente sucede. Es más acorde con lo que se conoce como “labranza de conservación” o “labranza mínima”. Dado que en el campo mexicano los agricultores continúan haciendo surcos para sus siembras, hay que tener cuidado con el trazo de los mismos y hacer ajustes al método de la Línea Clave, sobre todo en lugares de “alta” precipitación (mayor de 700 mm) y suelos con bajas velocidades de infiltración. Si se hace el trazo fielmente a la Línea Clave y se tienen lluvias con intensidades muy altas, se pueden tener problemas de rotura de surcos. Entonces, es recomendable calcular el volumen que puede captar el surco (longitud, ancho y alto del bordo) y, si la cantidad de lluvia precipitada resulta mayor, debe modificarse el sistema para dar salida al agua hacia los extremos de la parcela, de tal forma que fluya fuera de ésta de manera controlada. Para estos cálculos es necesario conocer la cantidad de lluvia máxima diaria que ocurre en el sitio de trabajo para un periodo de retorno de, al menos, cinco años.

Dicho de otra forma, el método considera que se haga la siembra pero sin formar surcos y bordos profundos. De hecho, el autor del método introdujo también un implemento especial para este propósito. El propósito es que el agua se mueva de manera subsuperficial hacia las áreas deseadas (crestas o lomos de la parcela), sin mover demasiado el suelo. Al no haber bordos y surcos, se evita el problema que se menciona párrafos arriba, que bajo lluvias intensas se tengan roturas de surcos y bordos y se formen cárcavas, propiciando así la erosión del suelo.

Las fotografías siguientes muestran ejemplos de parcelas laboreadas con el método de la Línea Clave. Los predios mostrados corresponden a cultivos de sorgo y maíz establecido en las regiones sur y oriente del estado de Morelos en distintos años. En el primer bloque de fotografías (fotografías 15 a 18) puede verse el proceso del surcado. La fotografía 19 presenta un predio donde ya se ha terminado el trabajo de surcado (siembra de maíz). En la fotografía 20 puede verse cómo queda la humedad del suelo en el terreno surcado con este método, después de unos días de ocurrida la lluvia. Para contrastar la diferencia entre el surcado en Línea Clave y el surcado tradicional en cuanto a retención de agua y suelo, se presentan las fotografías 21 y 22, donde se muestra un panorama de las parcelas después de un evento de lluvia.

Las fotografías 23 y 24 presentan imágenes de cultivos (sorgo y maíz) sembrados con el método de la Línea Clave, en las primeras etapas de su desarrollo. En esta etapa todavía se puede apreciar la dirección de los surcos, que en general son curvados y no en línea recta, como es la tradición en el campo mexicano: cultivar en líneas rectas.

Finalmente, se incluye un par de imágenes (fotografías 25 y 26) que muestran un panorama de los cultivos (nuevamente sorgo y maíz) ya en pleno desarrollo. En esta etapa del ciclo del cultivo no es posible identificar la dirección de los surcos, pero puede verse, en cambio, que los cultivos presentan un excelente desarrollo. Debe recordarse que se habla de cultivos de temporal; la captura y retención de agua en el propio suelo definitivamente tienen un impacto positivo en la evolución del cultivo.





Fotografía 15. Otro ejemplo del surcado en Línea Clave.



Fotografía 16. Siembra de sorgo con surcado en Línea Clave.





Fotografía 17. Otra vista de inicio de surcado en Línea Clave.



Fotografía 18. Surcando el terreno con el método de la Línea Clave.





Fotografía 19. Predio surcado con el método de la Línea Clave.



Fotografía 20. Surcado con el método de la Línea Clave conserva humedad.





Fotografía 21. Surcado con el método de la Línea Clave después de una lluvia.



Fotografía 22. Surcado tradicional después de un evento de lluvia.





Fotografía 23. Primeras etapas de cultivo de sorgo con el método de la Línea Clave.



Fotografía 24. Cultivo de maíz a los 18 días de sembrado, con el método de la Línea Clave.





Fotografía 25. Cultivo de sorgo en etapa de llenado de grano, sembrado con el método de la Línea Clave.



Fotografía 26. Cultivo de maíz cuarenta días después de sembrado con el método de la Línea Clave.



El sistema de la Línea Clave es un DHT con enfoque holístico y dentro de su filosofía considera, además de captar agua, generar suelo. Para ello, lo que propone es que el sistema se aplique al menos por tres años y la profundidad del implemento se vaya incrementando lentamente. Lo que se sugiere es que en un primer año la aradura sea 6 cm por debajo de la profundidad del trabajo normal. El segundo año, 6 cm más abajo que el primero y en el tercer año, otros 6 cm por abajo del segundo. Lo que justifica estas profundidades es que cada año los microorganismos del suelo trabajarán para que las raíces puedan profundizar un poco más cada año. No tiene caso romper el suelo a una profundidad mayor, pues los microorganismos no serán capaces de hacer su trabajo en una capa del suelo demasiado gruesa. Después del tercer año, se puede hacer el surcado ya sin necesidad de aumentar la profundidad del implemento.

La figura 12 muestra gráficamente lo antes indicado. Puede verse que cada año se hace el surcado un poco más profundo y ligeramente desfasado respecto al año anterior, así se irá ayudando a la microbiología del suelo a hacer su labor e ir aumentando la profundidad del suelo año con año. En la figura, a la izquierda se ve el trabajo realizado con el arado (idealmente arado Yeomans, que es una especie de cincel modificado) y, a la derecha, se presenta la reacción de la vegetación ante la nueva rotura de suelo más profunda cada año. El ejemplo es especialmente adecuado para terrenos de pastoreo de ganado (leguminosas y gramíneas), aunque es también aplicable en terrenos de usos agrícola, forestal y frutícola. Con este trabajo, el suelo, ayudado por la vegetación y los microorganismos, se transforma de un suelo muerto, a un suelo vivo.

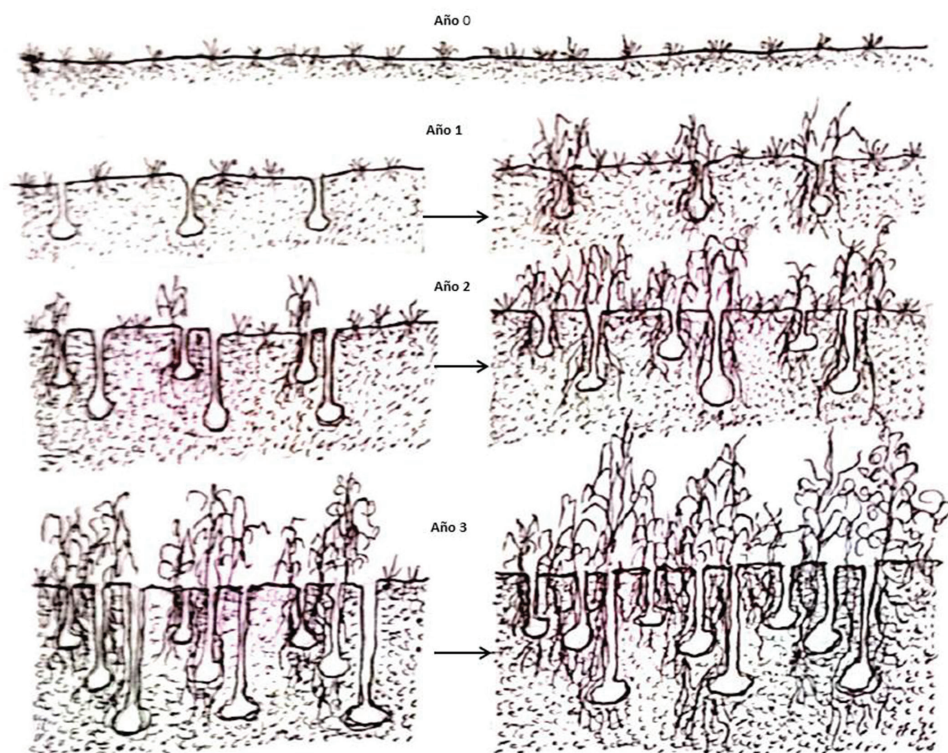


Figura 12. Laboreo propuesto por Yeomans para acelerar el desarrollo del suelo.

## 6.1. Detalles en el establecimiento del sistema en campo

Al momento de la implementación del sistema en campo pueden surgir algunas dudas en función de la topografía del terreno o del tamaño de la propiedad. Si el predio es muy pequeño o de una topografía uniforme, es posible que no se encuentre un cambio de pendiente que permita identificar el Punto Clave y, por tanto, la Línea Clave. Si el terreno es, en cambio, muy grande o de topografía variada, es posible entonces que se tengan varios valles, varias crestas y varias líneas clave, y puede haber duda sobre cómo pasar el surcado de un valle a otro, o de una Línea Clave a otra. A continuación, se presentan algunas recomendaciones para resolver estos casos.

### *Predio con topografía plana*

Al presentar la metodología se ha dicho que para implementar el sistema debe localizarse un punto de inflexión en la topografía del terreno; un cambio de una pendiente “fuerte” a una más “suave”. Se dijo, asimismo, que ese punto se denomina “Punto Clave” y que la curva de nivel que pasa por ese punto es llamada “Línea Clave”. Al trazar el surcado del terreno en dirección paralela a esa Línea Clave, tanto hacia arriba como hacia abajo de la misma, se realiza ya lo que aquí se ha llamado “diseño hidrológico del terreno” y los beneficios que este sistema conlleva: una mejor distribución y permanencia del agua de lluvia en el terreno, además de reducir la erosión. Pero el método se puede aplicar muy bien en terrenos aparentemente planos, en los que no se pueda identificar ni un solo Punto Clave y, por tanto, ninguna Línea Clave (fotografía 27).



Fotografía 27. Terreno de cultivo aparentemente plano.



La realidad es que los terrenos, generalmente, no son planos. Lo que ocurre es que tienen una topografía muy homogénea, pero sí hay un sentido en la pendiente, aunque ésta puede ser muy suave. En estos casos, al no haber una sola “Línea Clave”, lo que se hace es, preferentemente en el extremo más alto de la parcela, identificar un punto (Punto Guía) y luego trazar una curva de nivel y designar esta línea como “Línea Guía”. Esta curva de nivel será entonces, en sustitución de la Línea Clave, la que sirva como guía para hacer el surcado, mismo que se hará

de la manera ya indicada; es decir, paralelo a la Línea Guía. La diferencia, en comparación con un terreno que sí tiene Línea Clave y donde se traza el surcado paralelo a ella, tanto hacia arriba como hacia abajo de la misma, consiste en que el surcado se hace sólo hacia el lado de abajo de la curva de nivel elegida (figura 13). Aquellas pequeñas porciones del terreno que queden sin surcar se pueden arar en el sentido que más se facilite, aunque no sigan el patrón de la Línea Clave y que, de cualquier modo, no afectan la funcionalidad del sistema.

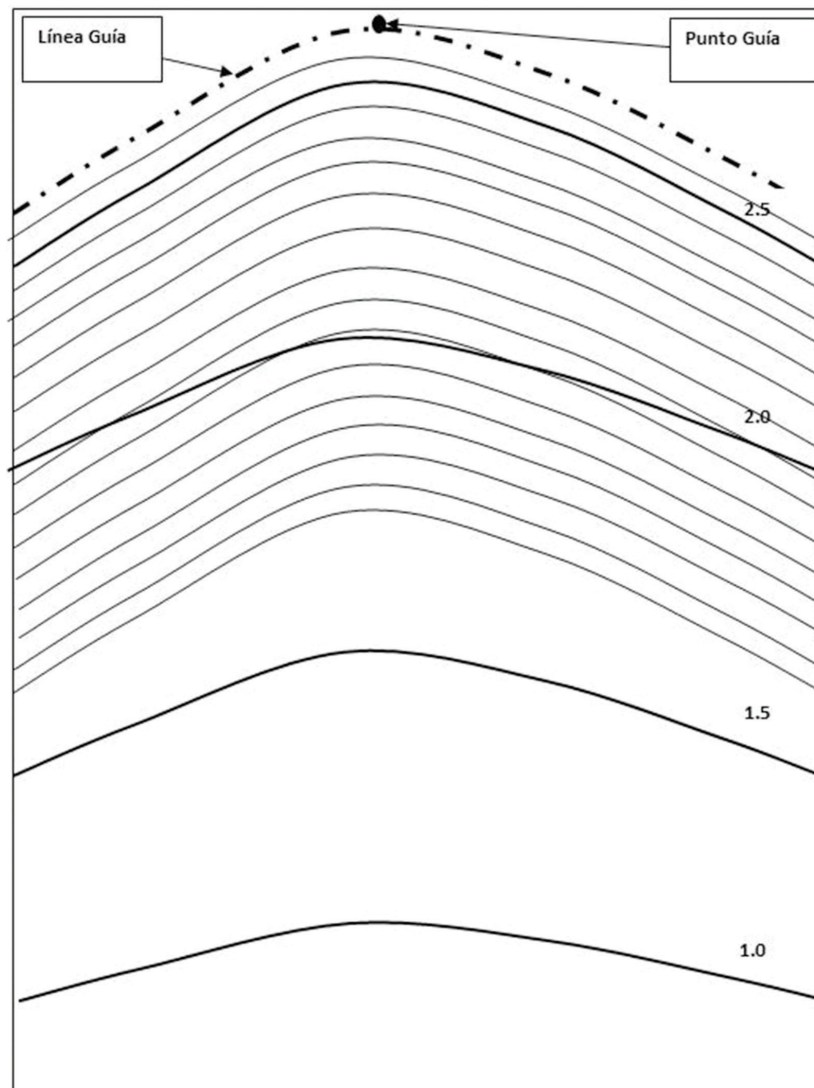


Figura 13. Predio en un terreno muy plano. El surcado envía el agua hacia las crestas.

Si el predio es muy grande, es conveniente que después de una distancia de alrededor de 350 m se trace otra “Línea Guía” y se inicie un nuevo patrón de surcado de ahí hacia abajo. Al unirse un patrón de surcado con otro, puede ser que queden pequeñas áreas del predio sin surcar. Esas partes, como se ha dicho, pueden surcarse en la forma que más se facilite, sin afectar la eficiencia del sistema. Lo que debe evitarse es que al unirse el surcado que sigue una Línea Guía con el surcado que sigue otra Línea Guía, los surcos se traslapen. Nunca debe permitirse que dos o más surcos desemboquen en un solo surco; esto traerá problemas de encharcamientos, rotura de bordos y aceleración de la erosión hídrica. Cuidando estos detalles, el método puede

entonces emplearse perfectamente en terrenos planos.

#### ***Predio ubicado en una cresta o lomo del terreno***

Para el caso donde, por el tamaño del predio o por la topografía del terreno la parcela de trabajo no tiene un Punto Clave (y, por tanto, ni Línea Clave), y se ubique en un lomo o cresta del terreno, identifique una curva de nivel apropiada en la parte más baja del predio. Esta curva de nivel será su Línea Guía. Haga entonces el trazo del surcado paralelo a dicha línea de ahí hacia arriba (figura 14). Como se ha mencionado antes, aquellas partes del predio que queden sin surcar, se pueden surcar sin seguir el patrón de la Línea Clave sin afectar la eficiencia del método.

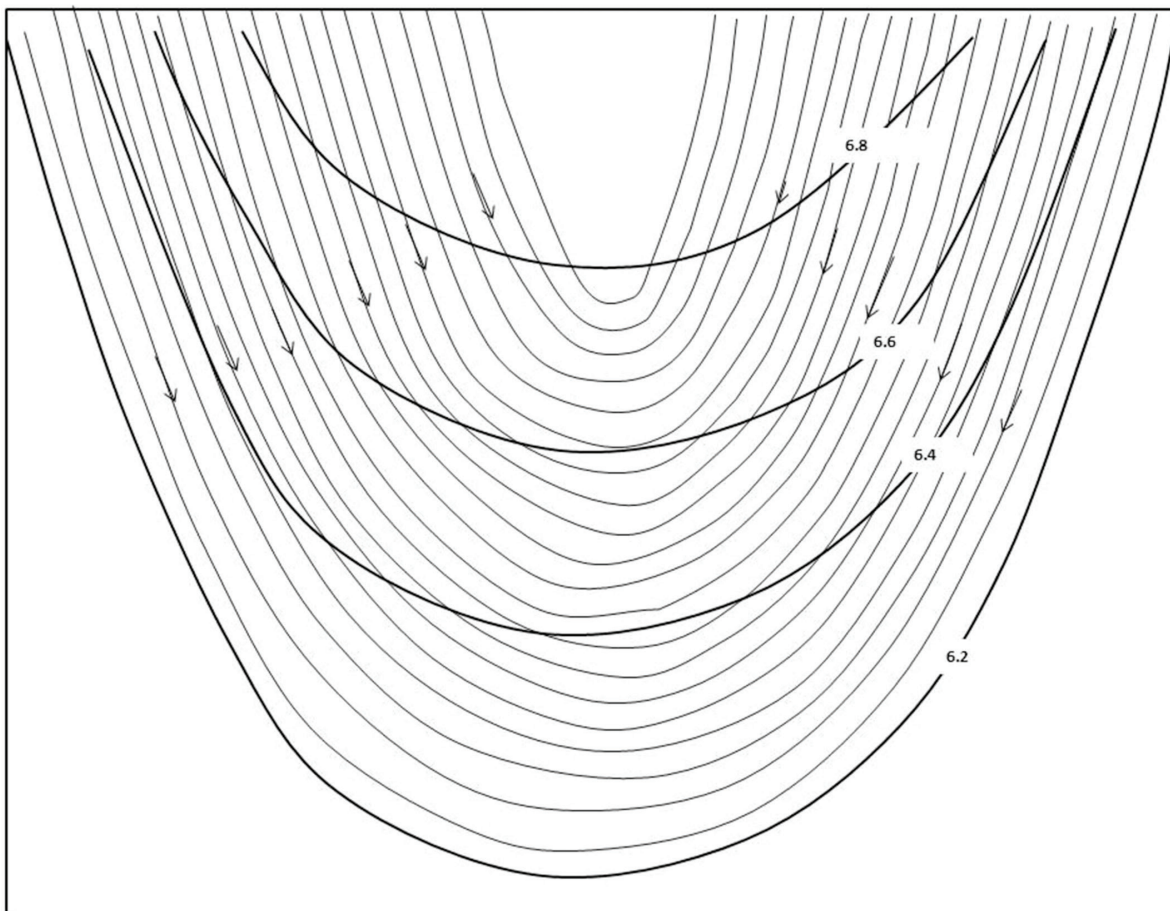


Figura 14. Predio en una cresta o lomo. El surcado envía el agua hacia la cresta.



### ***Predio ubicado en un valle del terreno***

Si por el contrario, el predio de trabajo se localiza en un valle, identifique entonces una curva de nivel adecuada en la parte más alta posible del predio, que será su Línea Guía, y haga el trazo ahora de arriba hacia abajo (figura 15). Puede decirse entonces que esta es la clave, cuando por el tamaño de su parcela o por la topografía en la misma no existe un Punto Clave en su predio. Si se ubica en una cresta o lomo, identifique una línea clave en la parte más baja y haga el trazo del surcado, de ahí hacia arriba. Si resulta que su

parcela está en un valle, elija una curva de nivel en la parte más alta posible y surque de ahí hacia abajo. Siguiendo esta regla el método funciona perfectamente: enviando el agua de los valles hacia los lomos o crestas del predio. En las figuras citadas (figuras 14 y 15) las líneas delgadas indican el patrón del surcado, y las de mayor grosor son curvas a nivel. En el primer caso trazadas cada 0.20 m de desnivel y, en el segundo, cada medio metro. Las cotas que se anotan pueden parecer exageradas o no, pero tienen la intención de que se entienda el sentido de la pendiente.

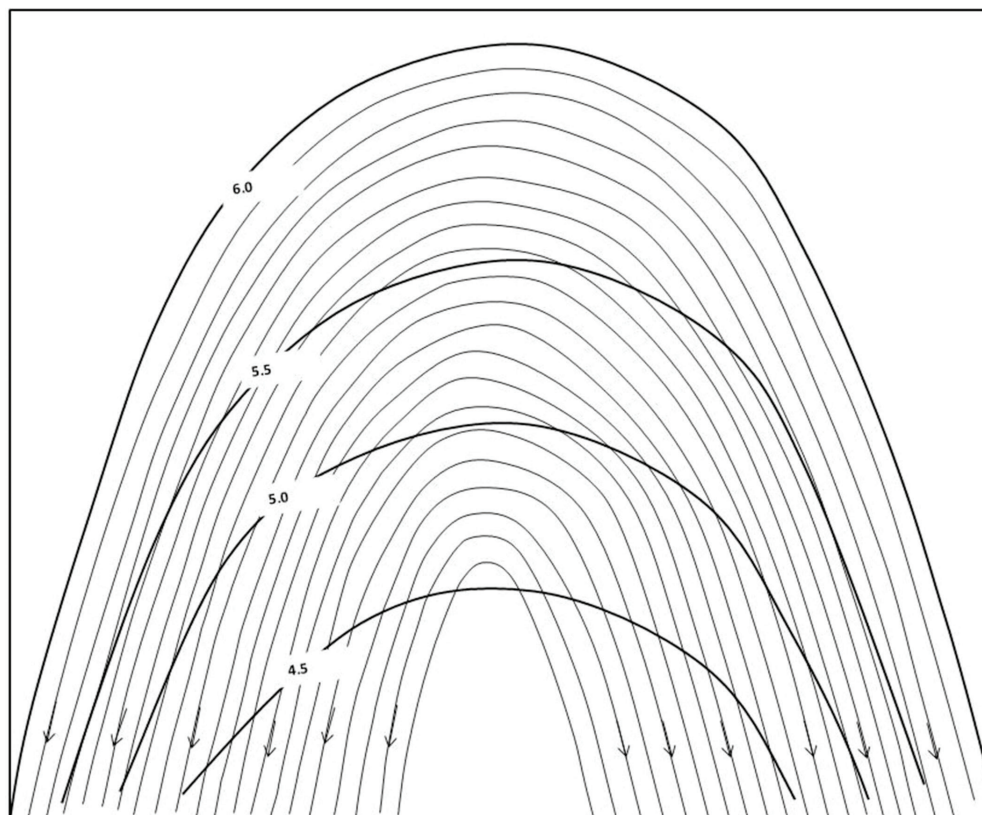


Figura 15. Predio en un valle. El surcado envía el agua hacia sus lados, rumbo a la cresta.

### ***Predio con varias crestas y valles en el terreno***

Otro caso es cuando el predio tiene varios valles y crestas y cuenta con más de una Línea Clave o Línea Guía para el inicio de un patrón de surcado. El diseño del surcado tiene que hacerse

considerando esas geoformas. En estos casos hay que observar con detalle el terreno y el plano de curvas a nivel. Se verá que entre el valle y la cresta del terreno hay una parte, en la lateral de la cresta, en la parte de mayor pendiente de la ladera, donde

ocurre una línea de transición; donde el valle pasa a convertirse en cresta, o viceversa, donde el lomo se transforma en valle. Esta línea será la que indique la terminación entre un patrón de cultivo y otro. Es decir, si se inicia el surcado en una cresta (que ya se dijo debe elegirse una curva de nivel de

las de más abajo y surcar de abajo hacia arriba) y se hace el diseño del trazo, este patrón terminará en la línea de transición (figura 16), y de ahí hacia el otro lado de esa línea se hará el surcado acorde con la Línea Clave que viene del valle adjunto (figura 17).

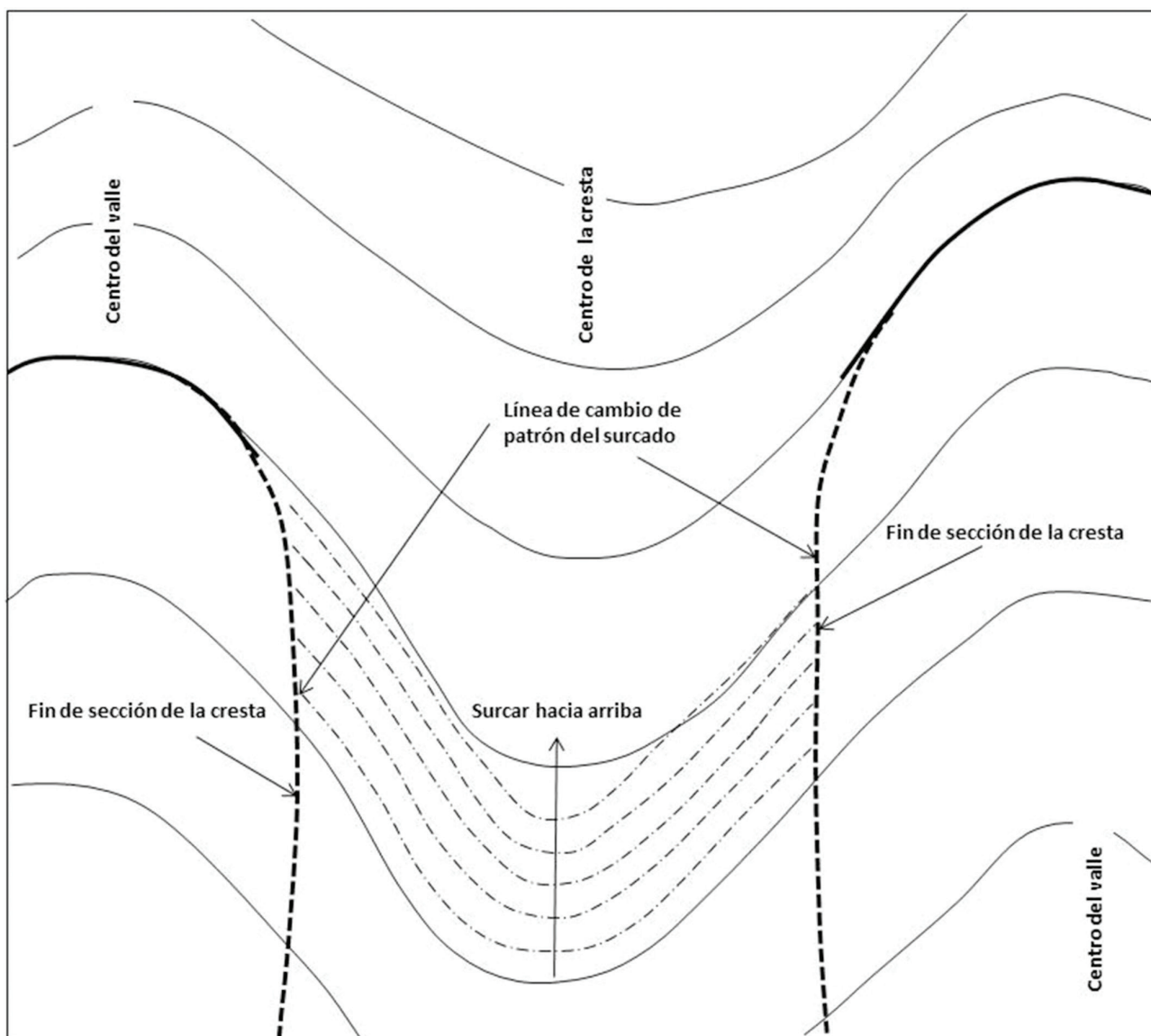


Figura 16. Predio donde se muestra la línea frontera entre cresta y valle, e inicio del surcado.



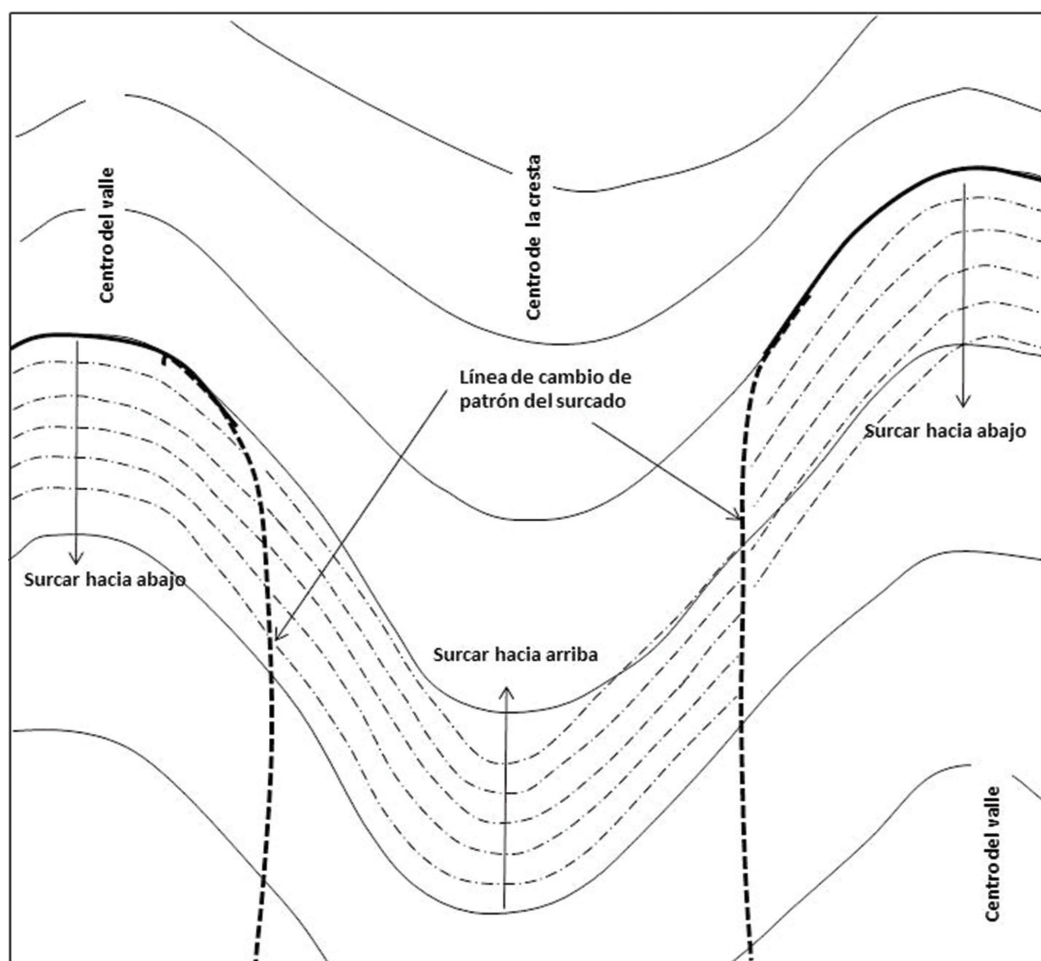


Figura 17. Predio donde se muestra línea frontera entre cresta y valle, y cambio de patrón del surcado.

Cabe aclarar que si el diseño está bien realizado, el cambio de patrón del surcado es prácticamente inadvertido, por lo que al momento de arar, se puede continuar de un lado a otro sin parar el tractor (o yunta). También debe decirse que en un terreno donde domina una geoforma, por ejemplo un valle, y hay una pequeña cresta, no tiene caso hacer la diferenciación indicada. Se identifica la Línea Clave para el valle y con este patrón se hace el diseño del trazo general del surcado, sin tomar en cuenta la pequeña cresta. Lo mismo se hace si el terreno es dominado por una cresta y tiene un pequeño valle; aquí se seguirá el diseño del trazo general para la cresta y se ignorarán las

particularidades (pequeño valle), sin afectar la efectividad del sistema.

### ***Predio con inicios o residuos de erosión en el área de cultivo***

Es también posible que se tenga un predio, sea que esté en un valle, en una cresta, o que incluya valles y crestas en su área y que se tenga el problema de que hay inicios de cárcavas o ciertos hoyos causados por la erosión hídrica. En estos casos, por supuesto que también se puede aplicar el método de la Línea Clave para distribuir mejor el agua de lluvia en el suelo y detener el problema erosivo.

Para explicar este caso, supóngase que se tiene una parcela donde el centro de la misma es dominado por un valle y se tienen algunos hoyos ocasionados por el fenómeno erosivo. Aquí lo que se recomienda es trazar el surcado acorde a como se ha mencionado antes. Esto es, localizar el Punto Clave, marcar la Línea Clave, hacer el diseño del surcado e implementarlo en campo. En la parte superior a los hoyos, realizar el surcado en Línea Clave normal. Al llegar a la zona donde están las depresiones/hoyos del terreno, detener el arado un poco antes del hoyo y regresar hacia el mismo lado, surcando de manera paralela a los surcos ya trazados. Terminar un lado de la parcela y luego trazar el otro lado siguiendo el mismo procedimiento: de la orilla de la parcela hasta el lugar donde están los hoyos. Finalmente, en la parte inferior, continuar el trazado de surcos de forma normal, de manera completa desde un lado

hasta el otro de la parcela. La figura 18 muestra gráficamente lo que aquí se ha expresado.

Al llevar a cabo la aradura del suelo de esta manera, con el paso del tiempo el problema se irá eliminando. Con la dirección del surcado propuesta, el agua de lluvia casi no llegará hasta la zona de los hoyos, salvo en lluvias muy intensas. Es claro que la solución es mejor y más rápida si se llenan los hoyos con tierra. Si el llenado es total, entonces se puede hacer el surcado de manera completa de lado a lado de la parcela y con la casi certeza de que ya no se volverán a formar esos hoyos en el predio, como consecuencia del proceso erosivo. Si con lluvias muy intensas pudiera presentarse el proceso de erosión otra vez, se tiene la absoluta seguridad de que el problema será mucho menor y se presentará con menor frecuencia, todo gracias al sistema del DHT con el método de la Línea Clave.

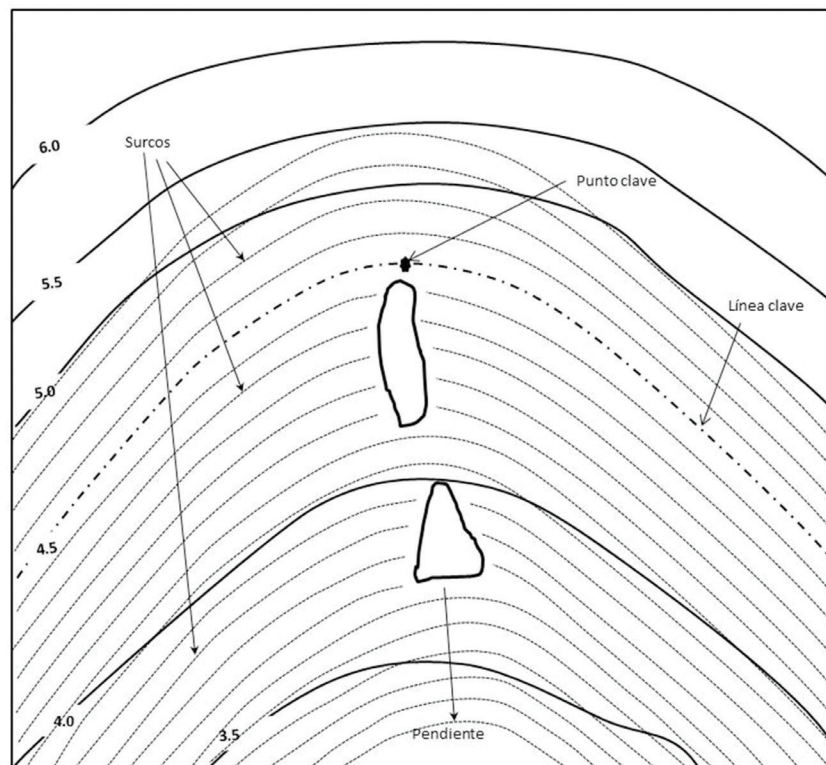


Figura 18. Forma de surcar en un predio en un valle con hoyos en parte baja.



### ***Predio de forma alargada y angosta***

Se presenta, por último, el caso de un terreno agrícola localizado en un bajío, o valle muy largo y angosto. En estas condiciones, al hacer el DHT, el patrón de laboreo puede resultar con líneas alargadas que tengan una vuelta muy “cerrada” y que sea difícil para el tractor (o incluso para la yunta) dar las vueltas. Ante esta situación, lo que se recomienda es hacer el diseño del surcado de manera normal; esto es, definir la Línea Clave o elegir una curva de nivel de las de más arriba, si es que no se tiene una Línea Clave en la parcela, y hacer el surcado paralelo a esta línea. Si el problema es que la vuelta de la curva es muy “cerrada”, entonces se hace el surcado en dos partes. Para la definición de las partes, se toma el centro del valle como línea divisoria del patrón de surcado y se surca entonces, primero, una mitad y, luego, se sigue con la otra mitad, hasta terminar todo el predio. La figura 19 muestra

gráficamente este caso, para mejor entendimiento del procedimiento.

Lo que se hace en campo es tomar como base la Línea Clave o Línea Guía e iniciar el surcado hacia abajo y paralelo a dicha línea; llegar al centro de la parcela, que se puede marcar con estacas si se considera necesario, detener ahí el surcado y regresar surcando de forma paralela al surco ya trazado. Continuar este proceso hasta finalizar el primer lado elegido. Una vez terminado el trabajo de un lado, se procede a hacer lo mismo con el otro lado de la parcela. Esta forma de laboreo facilita el trabajo de campo y asegura que el flujo del agua de lluvia será el buscado por el método propuesto: ir de los valles hacia las crestas del terreno. Como ya se ha mencionado, de esta forma se capta y almacena el agua de lluvia en el propio perfil del suelo y se reduce el escurrimiento superficial y la erosión hídrica.

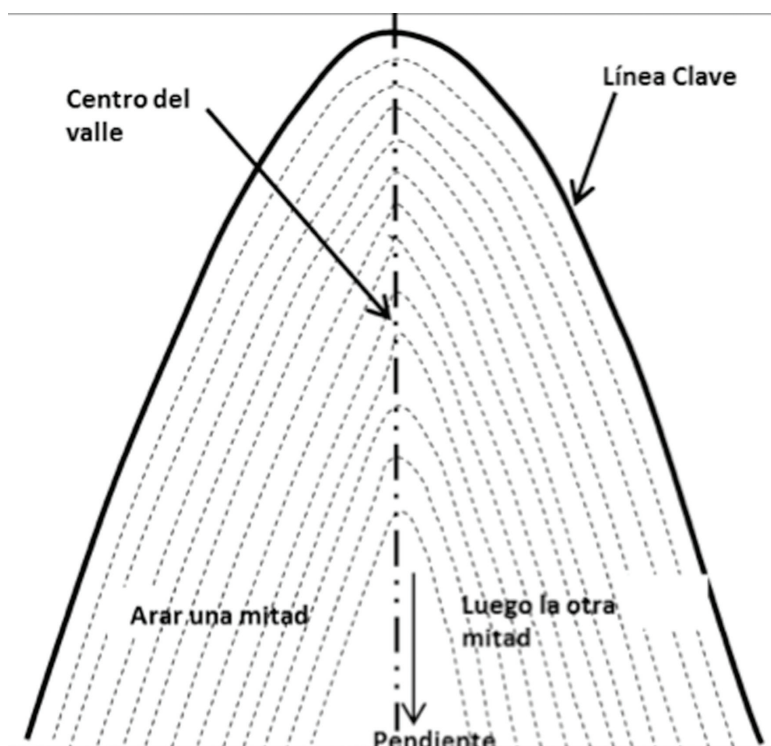


Figura 19. Predio en valle alargado. Se puede laborear por separado cada mitad.

El método de la Línea Clave (*Keyline*) tuvo una evolución de varios años. Para su implementación en campo, en sus inicios se usaron los arados de cinceles y subsoladores existentes en el mercado.





## Equipo para Implementar el Sistema

El método de la Línea Clave (*Keyline*) tuvo una evolución de varios años. Para su implementación en campo, en sus inicios se usaron los arados de cinceles y subsoladores existentes en el mercado. Luego de observar que, por un lado, la abertura superficial del suelo era demasiada y que, por el otro, no era necesario roturar el suelo a demasiada

profundidad, P.A. Yeomans, autor de la metodología, decidió diseñar su propio implemento. El arado Yeomans (fotografías 28 y 29), así comercializado. Consiste en un brazo o timón de acero altamente resistente, que se adhiere a un cuadro o barra portaherramienta tradicional, el cual se conecta a los tres puntos de tracción del tractor.



Fotografía 28. El arado Yeomans con disco abridor y sembradora.

El brazo o timón es casi recto, con una altura de 22 pulgadas. El grosor del elemento es de una pulgada y  $\frac{3}{8}$ , y funciona como una navaja vertical, haciendo entonces el corte muy delgado en la parte superior del suelo, pues el propósito del implemento es abrir

el suelo para permitir la entrada del agua de lluvia, pero sin “voltear” el suelo, como normalmente lo hace un arado de vertedera o de discos. Incluso, el cincel normal disturba el suelo más de lo deseado, según esta metodología.



Fotografía 29. Otra vista del arado Yeomans con disco abridor y sembradora.

Para evitar el desgaste de este elemento se usa una “espinillera”, que es la que tiene el contacto con el suelo y la que se habrá de desgastar y reponer cuando sea necesario (de color rojo en las fotografías citadas, en la parte frontal del brazo, quedando justo atrás del disco abridor). La forma en punta hacia delante (el elemento visto lateralmente asemejaría a una letra “L”, o una

letra “J” vista del otro lado) mide 14 pulgadas y, sobre ella, se monta una “zapatilla” con alas laterales. Esta parte del implemento es la que hace la oquedad, galería o microtúnel en el subsuelo, por donde se pretende que fluya el agua. Esta pieza (“zapatilla”) es la que se desgastará con el uso del implemento, pudiendo reemplazarse, sin dañar el timón o brazo principal (fotografía 30).





Fotografía 30. “Zapatilla” o elemento abridor en el arado Yeomans.

El elemento base del implemento es entonces un brazo o timón vertical con una punta hacia adelante (fotografía 31), fabricado de una sola pieza, con una aleación especial de metales, de tal forma que es altamente resistente a roturas. En

la parte frontal es donde se montan los elementos que rompen propiamente el suelo; en la parte del arco o curvatura se inserta la “espinillera” y en la parte terminal o punta del brazo, se ensambla la “zapatilla”.



Fotografía 31. El arado Yeomans sin “espinillera” y sin “zapatilla”.



Fotografía 32. Arado Yeomans con “espinillera”, “zapatilla” y disco abridor.



Fotografía 33. Arado Yeomans con “mariposa” o navaja cortadora de raíces de malezas.



Puede también adicionársele botes sembradores, para sembrar sin hacer los surcos tradicionales y así alterar lo menos posible al suelo, pues la idea es evitar afloramientos del subsuelo. Otro añadido, también usado por Yeomans, es colocar botes que contengan té de composta o simplemente composta e ir agregando ésta al suelo, de tal forma que se ayude al trabajo de los microorganismos para regenerar el suelo y aumentar así su profundidad. Idealmente, se irá sembrando y fertilizando al momento que se hace el surcado en Línea Clave, con lo que se reduce el paso de maquinaria sobre el terreno. De manera tradicional, pueden pegarse tres elementos a un tractor de 90 HP sin problema alguno, pero es posible, con equipo de mayor caballaje, montar más implementos en una barra portaherramientas. Es también posible poner un solo elemento, en caso de tener un tractor muy pequeño, o si el laboreo es para reforestación o árboles frutales.

Respecto a la disponibilidad del implemento, al momento no se tienen distribuidores en el país. Una opción, entonces, es utilizar en sustitución

del implemento original un arado de cinceles, que también funciona de manera aceptable. Otra opción es hacerle algunas modificaciones a dicho arado, agregando algún aditamento al frente (solera o ángulo en “L”) para que la apertura del suelo sea angosta y colocar algo en la punta del cincel con el objeto de que haga un orificio mayor en el fondo.

Quizá la mejor opción es platicar con alguna empresa fabricante de implementos agrícolas y decirle lo que se desea hacer. Ellos tienen los conocimientos y la experiencia suficientes para diseñar un implemento adecuado. En Manuel Doblado, Guanajuato, existen empresas muy reconocidas en el agro mexicano. Una de ellas elaboró un implemento que efectúa el trabajo requerido, aunque la apariencia del arado es diferente al original de Yeomans. El equipo fabricado está constituido por un bastidor que sostiene timones de acero que penetran en forma inclinada el suelo, reduciendo la resistencia al avance del apero, requiriendo por tanto menos fuerza de tracción (fotografía 34).



Fotografía 34. Arado “Dobladense” para el método de la Línea Clave.

Al igual que el arado Yeomans, el equipo no invierte el pan de tierra (fotografías 35 y 36), respeta la estructura del suelo y sólo lo abre en la parte superior, dejando en el fondo un orificio de mayor

tamaño que permite el flujo del aire y el agua. Se facilita así el trabajo de los microorganismos del suelo y se acelera la formación de más y mejor suelo.



Fotografía 35. Arado “Dobladense” surcando con el método de la Línea Clave.



Fotografía 36. Operación de arado mexicano para el método de la Línea Clave.





El método de la Línea Clave, con un fuerte enfoque holístico y de aplicación tanto en zonas áridas como semiáridas, templadas y tropicales, tiene una gran efectividad en cuanto a captación de agua, reducción de la erosión hídrica y regeneración de suelos.





## Ventajas y desventajas

El método de la Línea Clave, con un fuerte enfoque holístico y de aplicación tanto en zonas áridas como semiáridas, templadas y tropicales, tiene una gran efectividad en cuanto a captación de agua, reducción de la erosión hídrica y regeneración de suelos. Como es de esperarse y aunque dominan las ventajas del método, su aplicación puede tener también algunas desventajas. Las principales de ellas, en la aplicación e nivel de parcela agrícola, se listan a continuación:

### 8.1 Ventajas

- Se aprovecha de manera eficiente el agua de lluvia a nivel parcela, evitando su pérdida como escurrimiento superficial.
- Entendido el principio, su implementación en campo es relativamente sencilla.
- Se puede aplicar tanto en cultivos agrícolas como en pecuarios, forestales y frutícolas.
- Puede realizarse con maquinaria agrícola o con yunta, en función del tamaño del área y de la situación económica del productor.
- Su implementación no representa gastos extras exorbitantes para el agricultor, pues aunque el equipo original es poco conocido, se puede usar el arado tradicional de cinceles.
- El agua de lluvia se distribuye de forma más homogénea en el terreno, humedeciendo más y por un mayor tiempo las partes altas del terreno.
- El agua permanece en el terreno por más tiempo, promoviendo una mayor infiltración, con sus consecuentes beneficios para el suelo y los cultivos establecidos. Esto es, aumenta la eficiencia del uso del agua de lluvia.
- Se reduce de manera eficiente la pérdida de suelo por erosión hídrica y evita la formación de cárcavas en terrenos con pendiente.
- Se previene y hace reversible el proceso de degradación del suelo por erosión hídrica.
- Se reduce la velocidad del escurrimiento superficial y el transporte de sedimentos y contaminantes del agua.
- Se reduce el riesgo de pérdida de cosechas por causa de la sequía.
- Facilita y acelera la regeneración del suelo al crear condiciones que reactivan

la biología del suelo (agua, aire, calor y microorganismos), mejorándolo en su profundidad, aumentando la materia orgánica e incrementando su fertilidad.

- Permite la regeneración de suelos, tanto agrícolas como de uso pecuario, al recuperar tierras degradadas y poco productivas.
- Se incrementa la productividad y mejora la economía y el bienestar social del productor.
- En su sentido amplio, el método permite diseñar el terreno de acuerdo con el paisaje natural, permitiendo aprovechar de la mejor manera el agua de lluvia: ubicar la posición de bordos de agua, zonas de captación de lluvia, áreas de cultivo con riego, zonas arboladas, caminos y construcciones dentro de la unidad de producción.

## 8.2 Desventajas

- El método es casi desconocido en México.
- No existe en el país, comercialmente, el implemento recomendado para su aplicación en campo.
- Es difícil vencer la costumbre que existe en el agro mexicano de arar los terrenos en dirección del lado más largo del predio, sin tomar en cuenta la topografía del mismo.
- La falta de conciencia en los productores de la necesidad de conservar el recurso suelo-agua y demás recursos asociados. Debido tal vez a sus necesidades económicas, el productor busca beneficios monetarios a corto plazo y no planea para el largo plazo.
- El método puede ser confundido con trabajar el terreno en curvas a nivel, una práctica más difundida en el país. La Línea Clave no es cultivar en curvas a nivel.



## Recomendaciones

- Aunque el método no tiene limitantes por el factor topográfico, es más factible su implementación en áreas de lomeríos y terrenos con pendientes no abruptas.
- Sin que la precipitación implique restricciones para su aplicación, el método muestra mayores impactos en áreas con lluvia anual en el rango de 350 a 700 mm, por lo que es altamente recomendable para el altiplano mexicano y la región del semiárido del noroeste del país. En sitios con precipitación anual menor a 500 mm, el método debiera aplicarse siempre, pues evitaría la pérdida de agua al ser captada y almacenada en el suelo mismo.
- El sistema de la Línea Clave es apto para todo uso de suelo: pecuario, agrícola, forestal y frutícola.
- Si el implemento recomendado para el método no se encuentra disponible (arado Yeomans), se puede hacer una adaptación al arado de cinceles; lo que se busca es abrir el suelo sin voltearlo y dejar una especie de túnel subsuperficial por donde fluirá el agua.
- Aunque el tema no se incluye en este manual, el método es ideal para la captación de agua en bordos individuales o en serie, permitiendo tener áreas bajo riego en zonas de temporal.
- En terrenos con pendiente muy fuerte (mayor al 10%) es conveniente apoyarse con otras prácticas de conservación de suelos y agua, como pueden ser barreras vivas, construcción de bordos de agua o construcción de terrazas.
- En zonas de alta precipitación o lluvias intensas y terrenos con baja tasa de infiltración o muy delgados, el método debe modificarse y darle una pendiente al patrón de surcado, de tal manera que se permita la salida del agua hacia fuera de la parcela. Una pendiente del 0.2 al 0.3% es adecuada, pues permite salida al agua sin provocar la erosión del suelo.
- En zonas de escasa precipitación, el método puede complementarse con el sistema de contreo en surcos (pileteo); esto ayudará a retener agua y promover su infiltración al suelo.

## Bibliografía

- Gras, Eugenio (2010), *Cosecha de agua y tierra*. Diseño con Permacultura, Ediciones COAS (Consejeros en Agricultura Regenerativa y Permacultura. Brasil-Colombia-México), México, 230 pp.
- MacDonald-Holmes, J. (s/f), *The Geographical and Topographical Basis of Keyline*, 47 pp.
- Yeomans, P. A. (1993), *Water for Every Farm*. Yeomans Keyline Plan, Griffin Press Pty Limited, Netley, South Australia, 261 pp. + Index.
- \_\_\_\_\_ (1971), *The City Forest*, P. A. Yeomans Pty Limited, Sidney, Australia, 82 pp.
- \_\_\_\_\_ (1958), *The Challenge of Landscape*, Keyline Publishing Pty Limited, Sidney, Australia, 273 pp.
- \_\_\_\_\_ (1954), *Keyline Plan*, Waite and Bull, Sidney, Australia, 125 pp.





