



Frambueso: consideraciones para un exitoso establecimiento del cultivo

Editora:
Carmen Gloria Morales Alcayaga

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

BOLETÍN INIA / N° 432



ISSN 0717-4829





Frambueso: consideraciones para un exitoso establecimiento del cultivo

Editora
Carmen Gloria Morales Alcayaga
Centro Regional de Investigación Raihuén



Editora

Carmen Gloria Morales Alcayaga
Ingeniera agrónoma, M.Sc. Fisiología Vegetal
Investigadora y Extensionista INIA Raihuén

Correctores técnicos

Patricio Hinrichsen Ramírez
Bioquímico, Dr.
Investigador Biotecnología INIA La Platina

Gamaliel Lemus Sepúlveda
Ingeniero Agrónomo, M.S.
Líder Grupo de Especialidad Frutales INIA Rayentué

Robert Pierre Andrés Giovanetti Machuca
Ingeniero agrónomo
Representante macrozonal O´Higgins y Maule
Fundación para la Innovación Agraria - FIA

Director Regional INIA

Rodrigo Avilés Rodríguez

Cita bibliográfica correcta

Morales A. Carmen Gloria (Ed.) 2020. "Frambueso: consideraciones para un exitoso establecimiento del cultivo". Boletín INIA N°432, 74p., Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Villa Alegre, Chile.

ISSN 0717-4829

Este Boletín fue desarrollado en el marco del "Programa de extensión, capacitación, investigación e innovación en berries para la región del Maule" PYT-2017-0835, desarrollado entre los años 2017-2021 con el apoyo de la Fundación para la Innovación Agraria (FIA) y Gobierno Regional del Maule.

Editado por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación INIA Raihuén, Ministerio de Agricultura.

Permitida su reproducción total o parcial citando la fuente y editora.

Edición de textos

Hugo Rodríguez A.

Diseño y Diagramación

M&C Agencia de Publicidad y Medios

Impresión

Impresos Santal, cantidad de ejemplares: 300

Villa Alegre, Chile, diciembre 2020.

Autores de capítulos

Patricio Abarca Reyes

Ingeniero agrónomo, M.Sc.
Transferencia Tecnológica y Extensión
INIA Rayentué

Ricardo Javier Chilian

Licenciado en genética, Dr.
Investigador INIA Quilamapu

Carmen Gloria Morales Alcayaga

Ingeniera agrónoma, M.Sc. Fisiología Vegetal
Investigadora y Extensionista
INIA Raihuén

Abelardo Villavicencio Poblete

Ingeniero agrónomo, M.Sc.
Transferencia Tecnológica y Extensión
INIA Quilamapu

Índice

Prólogo	5
Capítulo 1	7
Importancia de la calidad del material vegetal para un huerto productivo de frambueso	
1.1. Cultivo <i>in vitro</i> de frambuesas	11
1.2. Método de micropropagación <i>in vitro</i> de frambuesa, variedad Heritage	13
1.3. Consideraciones finales	18
Literatura consultada	19
Capítulo 2	21
Técnicas de preparación de suelo para mayor productividad del frambueso	
2.1. Condiciones de humedad para laboreos de suelo	24
2.1.1. Suelo en estado cementado	24
2.1.2. Suelo en estado friable	24
2.1.3. Suelo en estado plástico	24
2.2. Consideraciones previas a la preparación de suelo	24
2.2.1. Revisión del perfil de suelo a través de calicatas	24
2.2.1.1. Profundidad efectiva	25
2.2.1.2. Compactación	25
2.2.1.3. Problemas de drenaje	25
2.2.1.4. Textura de suelo	26
2.3. Preparación de suelo previo a la plantación	26
2.3.1. Rompimiento de estratas compactadas	26
2.3.2. Labranza para nivelación de terreno	30
2.3.2.1. Aradura	30
2.3.2.2. Rastraje con rastra de discos	31
2.3.2.3. Vibrocultivador	32
2.4. Uso de camellones	33
2.5. Plantación	35
2.6. Laboreos de suelo post plantación	35
Literatura consultada	37

Capítulo 3	39
Plantación del frambueso: aspectos importantes desde pre plantación a la conducción	
3.1. Temperatura ambiental y fotoperiodo: fundamentales para decidir ubicación del huerto y variedad en el frambueso	41
3.2. Manejo pre plantación del frambueso	42
3.3. Distancias de plantación para el frambueso	43
3.4. Época de plantación	45
3.5. Calidad de plantas para un buen resultado en plantación	46
3.6. Sistema de conducción	46
3.6.1. Cruceta simple	47
3.6.2. Cruceta doble	48
3.6.3. Cruceta en tres o más secciones	48
3.6.4. Sistema en forma de "H" simple	49
3.6.5. Sistema en "H" con dos o más secciones	49
3.6.6. Sistema en lira	50
3.6.7. Espaldera	50
Literatura consultada	51

Capítulo 4	53
Metodología para determinar la velocidad de infiltración en suelos al establecimiento	
4.1. Fundamento teórico	55
4.2. Modelos matemáticos para caracterizar el proceso de infiltración	56
4.2.1. Velocidad de infiltración (I)	56
4.2.2. Infiltración acumulada (Iac)	57
4.2.3. Infiltración promedio (Ip)	58
4.2.4. Infiltración básica	58
4.3. Caracterización del área de estudio	59
4.3.1. Toma de datos	59
4.3.2. Ajuste de los datos	61
4.4. Análisis de datos de campo	65
4.4.1. Velocidad de infiltración	65
4.4.2. Infiltración acumulada (cm)	66
4.4.3. Infiltración básica	68
4.4.4. Infiltración promedio	68
4.5. Conclusiones	69
Literatura consultada	70

Prólogo

El ingreso al negocio de la frambuesa implica diversas consideraciones en el ámbito comercial, pero sobre todo decisiones a nivel de campo para garantizar productividad, calidad y un mayor tiempo de vida útil del cultivo. En general, es una especie que resulta ser atractiva dado el rápido inicio de la producción comercial y altos retornos en un corto plazo, sin embargo, la proyección a largo plazo no resulta, en algunos casos, ser una prioridad para los involucrados sino más bien una pronta respuesta productiva y retornos a corto plazo.

En este sentido, dada la relevancia del cultivo del frambueso desde la Región del Maule hacia el sur y el tiempo que compromete el uso del suelo, resulta necesaria la proyección a largo plazo, considerando una base mínima de seis años como horizonte productivo, utilizando un manejo acorde a la variedad, hábito de floración y requerimientos en nutrición, riego y aspectos fitosanitarios, que resguarden la condición de la corona para garantizar la emisión de nuevos brotes de reemplazo y en efecto la mayor vida activa del cultivo. Si embargo, las decisiones al momento del establecimiento del frambueso, definirán los aspectos claves en términos de longevidad, productividad y calidad.

Debe destacarse que el presente boletín surge en el marco del Programa de Extensión Berries Maule, iniciativa financiada por el Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR) del Gobierno Regional del Maule, a través de la Fundación para la Innovación Agraria (FIA) y ejecutada por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA Raihuén), el cual busca ser un apoyo técnico y promover el fortalecimiento de las capacidades especializadas en asesores del sector de los berries, agricultores, académicos del área de los frutales menores y otros para los que sea este tema de interés.

Carmen Gloria Morales Alcayaga

Editora





Capítulo 1

Importancia de la calidad del material vegetal para un huerto productivo de frambueso

Capítulo 1

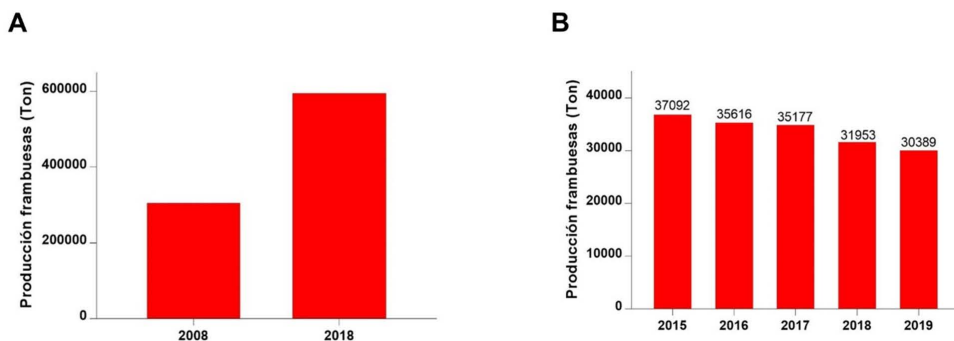
Importancia de la calidad del material vegetal para un huerto productivo de frambueso

Ricardo Javier Chilian
jchilian@inia.cl

En Chile se cultiva el frambueso rojo (*Rubus idaeus* L.) de manera comercial desde la década de 1970, sin embargo, no es sino hasta la década del 90 y primera década del 2000 que el país se consolida como líder exportador de frambuesas. Este auge, debido principalmente a que el país es productor de fruta de contraestación, permitió acceder a mercados externos en el período en que los stocks de berries bajan en el hemisferio norte. Esta oportunidad de mercado fomentó el cultivo de frambuesas y generó negocios atractivos con fruta de calidad, lo que posicionó al país como uno de los mayores oferentes de frambuesas, a nivel mundial.

Por eso, cuando en los últimos 10 años la demanda por berries casi se duplicó, al pasar desde 310.000 toneladas en 2008 a 590.000 en 2018 (Figura 1.1.), esto hacía suponer que la producción de frambuesas en el país también sufriría un incremento directo en función de la demanda, sin embargo, en los últimos años la participación de Chile en la oferta de frambuesa ha disminuido en forma drástica, con una permanente baja de producción y exportaciones (González *et al.*, 2016). Si en 2010 en Chile se cosecharon 59.331 toneladas, para 2019 esta cifra había bajado a casi 30.000 toneladas (Redagráfica, 2019) (Figura 1.1.).

Figura 1.1. Producción de frambuesas: A) producción a nivel mundial, B) producción en Chile.



Paralelamente, y según datos de la Subsecretaría de Relaciones Económicas Internacionales, los valores de exportación han caído 43% en cinco años. En 2014 se registraron envíos de frambuesas por US\$120 millones; sin embargo, a partir de 2016, la cifra fue descendiendo año a año, y en 2019 el registro fue de US\$69 millones.

Cuando se analiza el porqué de esta disminución, una de las principales razones que surgen es la forma en la cual los agricultores propagan su material vegetal. Cuando llegó el momento de renovar los huertos o iniciar otros nuevos, los productores reprodujeron el material entre ellos, ya sea como cañas o brotes de primer año, o bien lo obtuvieron de proveedores sin las certificaciones adecuadas, y por lo tanto heredaron y multiplicaron las enfermedades presentes en las plantas de origen. Esto trajo como consecuencia tener huertos establecidos con plantas de mala calidad y con bajos potenciales de rendimiento, ya que además de estar envejecidas, estaban enfermas con diversos agentes patógenos, como hongos, virus y bacterias. Estas plantas, al estar en contacto con el resto del cultivo, generaron mayores problemas, afectando a la plantación completa, tanto del huerto nuevo como al huerto original.

En la práctica, y considerando los rendimientos de la variedad más representativa en el país, Heritage, esto se tradujo en que al día de hoy el rendimiento medio nacional es de 9.803 kg/ha, con valores máximos y mínimos de 15.500 kg/ha y 3.333 kg/ha, respectivamente (González y Morales, 2020) (Cuadro 1.1.). Considerando que esta variedad tiene un potencial de rendimiento de hasta 18.000 kg por hectárea, queda claro que existe una brecha productiva que superar, lo que confirma la importancia de la calidad del material vegetal de partida para iniciar un huerto de frambuesa.

Cuadro 1.1. Brecha de rendimiento en productores de frambuesas en la Región del Maule.

Análisis de brecha de frambuesas Heritage				
Potencial kg/ha 18.000*	Actual kg/ha	Brecha (potencial-actual) kg/ha	Brecha (brecha/potencial) %	Relativo actual (actual/potencial) %
Promedio	9.803	8.197	46	54
Máximo	15.455	2.545	14	86
Mínimo	3.333	14.667	81	19

Por otra parte, con respecto al envejecimiento de las plantas, este material produce fruta de menor tamaño (Foto 1.1.), por lo que se puede observar una baja en el rendimiento final y disminución de la calidad, con fruta de menor calibre y con pérdida de dulzor, lo que corresponde a factores negativos para su comercialización y dificulta la disponibilidad de mano de obra, debido a que los cosecheros colectan una menor cantidad de fruta por bandeja. La calidad del fruto también se ve afectada por un desarrollo anómalo del hipanto, que en las plantas envejecidas adquiere una forma ovalada y en casos más críticos una curva pronunciada en la zona de adherencia al pedicelo, lo que obliga a ejercer mayor fuerza para desprender el fruto al momento de la cosecha (Foto 1.1.).



Foto 1.1. Forma tradicional del hipanto en frambuesa cv Heritage, cambio a forma redondeada es señal de envejecimiento del material.

Para abordar este problema, la estrategia más recomendable según diversos expertos es la renovación de huertos de frambueso, con plantas que aseguren un mayor rendimiento y mejor calidad de fruta y para ello la mejor forma es partir con plantas provenientes de cultivo *in vitro*, lo que puede garantizar la sanidad y certificación genética del material de partida.

1.1. Cultivo *in vitro* de frambuesas

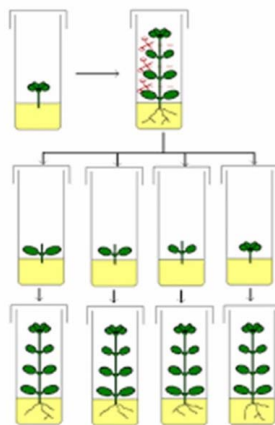
El término *in vitro* significa, en términos simples, “en vidrio”, lo que hace alusión a las primeras etapas de este procedimiento, cuando las plantas crecen dentro de un frasco de vidrio, en un ambiente artificial (Foto 1.2.). El cultivo de tejidos vegetales se basa en el principio de la totipotencialidad celular, que corresponde a la capacidad de una célula vegetal de formar una planta completa, bajo ciertas condiciones químicas y físicas, a partir de trozos de tejido, ápices meristemáticos o incluso células aisladas (Hewstone y Reyes, 1999; Tapia y Vega, 2018).



Foto 1.2. Plantas de frambuesa creciendo en medio de cultivo en un recipiente de vidrio.

Una de las aplicaciones más generalizadas del cultivo *in vitro*, es la micropropagación o propagación clonal, donde a partir de tejidos de una planta madre y en condiciones asépticas de laboratorio y utilizando medios de cultivo adecuados se obtiene una descendencia uniforme, con plantas genéticamente idénticas, denominadas clones (Figura 1.2.). Esta práctica permite aumentar aceleradamente el número de plantas derivadas de un genotipo seleccionado, reducir el tiempo de multiplicación, multiplicar un gran número de plantas en un espacio reducido, controlar el estado sanitario del material vegetal y facilitar el transporte del material propagado *in vitro*. Los tejidos más utilizados para esta estrategia son las yemas vegetativas.

Esquema micropropagación vegetal



<http://www.argenbio.org>

Figura 1.2. Esquema de multiplicación *in vitro* utilizando la estrategia de micropropagación.

Los pasos fundamentales para la micropropagación eficiente de una especie son: a) establecimiento aséptico del cultivo; b) multiplicación, y c) el enraizamiento y preparación para su trasplante al suelo.

A continuación, se presenta el protocolo utilizado para la micropropagación de frambuesa de la variedad Heritage. Es importante señalar que para trabajar con otras variedades quizás sea necesario realizar ajustes a esta metodología, ya que la capacidad de regeneración muchas veces está condicionada por el componente genético y por lo tanto diferentes genotipos pueden requerir de otra combinación de fitohormonas y de otras condiciones ambientales.

1.2. Método de micropropagación *in vitro* de frambueso, variedad Heritage

Fase 0: Preparación y mantenimiento de plantas madres

Las plantas madre de frambueso se encuentran establecidas y se mantienen debidamente identificadas en huertos e invernaderos de INIA Raihuén (Foto 1.3.). Las mismas cuentan con el adecuado manejo agronómico, en cuanto a riego y fertilización para permitir un crecimiento vigoroso. Se mantiene además el manejo fitosanitario para el control de plagas y enfermedades, especialmente hongos, que pueden tener un impacto negativo en el posterior establecimiento *in vitro*.



Foto 1.3. Plantas madre de frambueso cv Heritage mantenidas en condiciones de A) invernadero y B) campo.

Fase 1: Preparación de tejidos para su introducción *in vitro*

Desde las plantas madre se cortan ramillas con un par de segmentos nodales y en el laboratorio se separan en segmentos uninodales, con al menos una yema axilar, y se enjuagan con agua potable para limpiarlos de impurezas. Posteriormente se colocan en un vaso de precipitado con una solución fungicida y se incuban durante 15 minutos en un agitador orbital. Luego se lavan con agua corriente y se llevan a la cámara de cultivo. Aquí se sumergen durante un minuto en una solución de etanol diluido al 70% (v/v) y a continuación se colocan en una solución de cloro comercial al 20% (v/v) más unas gotas de Tween 20, por 15 minutos. Finalmente se realizan tres enjuagues con agua destilada estéril antes de introducirlos en el medio de cultivo para su establecimiento *in vitro* (Foto 1.4.).

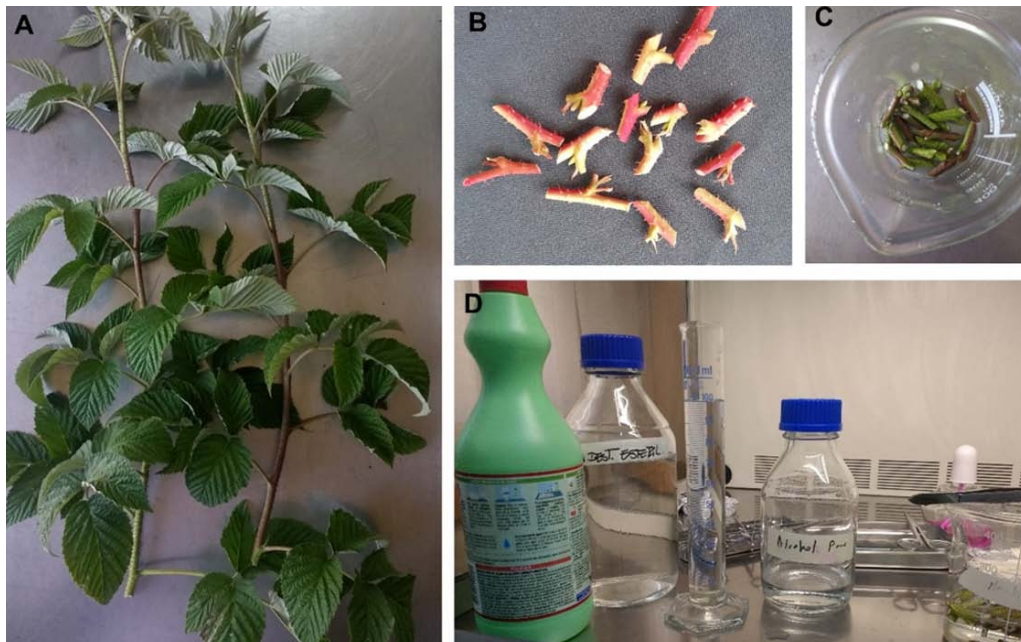


Foto 1.4. Preparación de tejidos para su introducción *in vitro*. A) Ramillas colectadas desde plantas madre, B) Estacas uninodales, C) Desinfección inicial de material, D) Desinfección de tejido en cámara de flujo laminar.

Fase 2: Establecimiento de los explantes en condiciones *in vitro*

El material vegetal seleccionado, se coloca en un medio de cultivo estéril que contiene los nutrientes y fitohormonas necesarias para que se inicie el proceso de regeneración de los nuevos tejidos. Como medio de cultivo base se utiliza el medio Murashige y Skoog (Medio MS) (Murashige y Skoog, 1962), que contiene macro y micronutrientes, sales y vitaminas y que se ajusta a pH 5,8. A este medio se le adicionan los diferentes reguladores de crecimiento (fitohormonas), de acuerdo con cada fase de desarrollo: iniciación, multiplicación, enraizamiento. Todos los materiales que ingresan a la cámara de cultivo, incluido el medio, deben ser esterilizados en autoclave a 121°C y 1,2 k/cm² de presión, por 20 minutos.

Fase de iniciación: en esta etapa, las estacas uninodales son sembradas en medio MS suplementado con las hormonas BAP (0,5 mg/L), IBA (0,1 mg/L) y KIN (0,5 mg/L), con sacarosa 3% y agar (6,5 g/L) como gelificante (convierte el medio líquido en sólido). Los frascos que contienen las estacas se colocan en cámaras de cultivo a temperaturas entre los 21 y 23°C, con un fotoperiodo de día largo (16 horas de luz y 8 de oscuridad) y con una intensidad lumínica de radiación fotosintética activa (PAR) 20, que corresponde a una intensidad lumínica intermedia. Las hormonas añadidas aseguran la proliferación de las yemas axilares (Foto 1.5.). Aproximadamente a los 21 días de iniciado el cultivo se diferencian los nuevos brotes.



Foto 1.5. Establecimiento de material *in vitro*. A) Estacas uninodales son introducidas en frascos con medio de cultivo, B) Estacas uninodales creciendo en condiciones controladas de luz y temperatura, C y D) diferenciación de nuevos brotes.

Fase de multiplicación: esta etapa consiste en aumentar exponencialmente el número de plantas, a partir de los brotes generados de la yema introducida inicialmente. Con las hormonas utilizadas fue posible obtener un promedio de cinco nuevos brotes por cada yema inicial. Estos brotes fueron separados y traspasados a nuevos frascos con el mismo medio de cultivo utilizado en la etapa anterior, los nuevos frascos son mantenidos en la misma condición ambiental que en la fase de iniciación. De esta forma, nuevamente a los 21 días, cada uno de ellos originó un promedio de cinco nuevas plantas, pudiendo iniciar el ciclo otra vez. Para el experimento aquí descrito, este proceso se repitió cuatro veces, por lo que a partir de cada yema inicial fue posible regenerar 200 nuevos brotes.

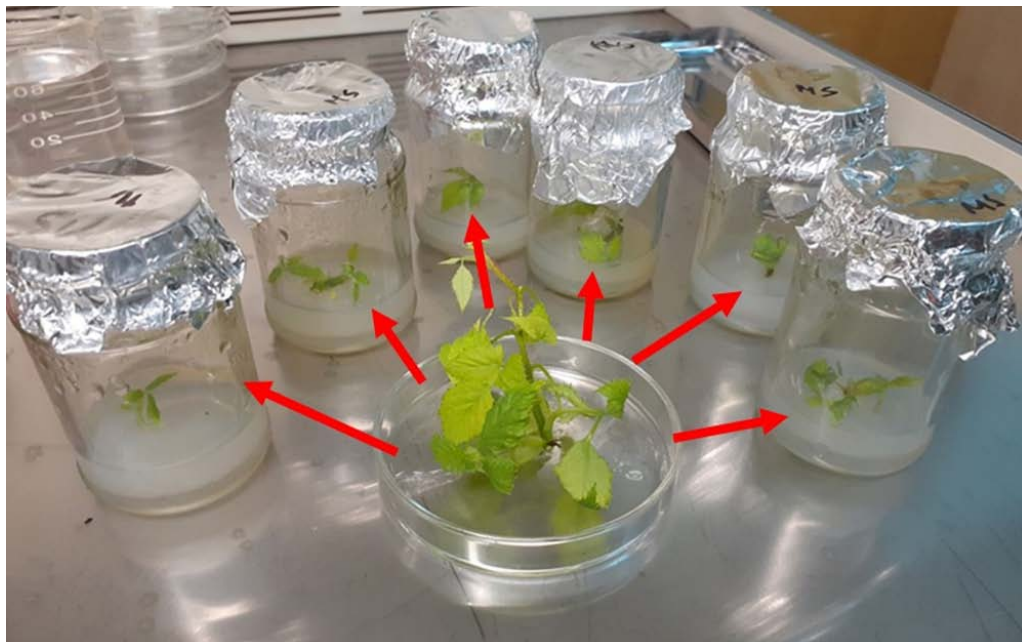


Foto 1.6. Fase de multiplicación. De cada yema introducida *in vitro*, es posible obtener un promedio de cinco nuevos brotes.

Fase de enraizamiento: trascurrida la etapa de multiplicación, los brotes de mayor tamaño son transferidos regularmente a frascos con medio de cultivo MS suplementado con ácido indol-3-acético (AIA) 1 mg/L, hormona que favorece la producción de raíces (Foto 1.7.).



Foto 1.7. Fase de enraizamiento. Los vástagos regenerados *in vitro* son transferidos a medios con hormonas para inducir la formación de raíces.

Fase 3: Preparación para su trasplante a suelo

Aclimatación. Una vez desarrollado el sistema radicular, las plantas se retiran del medio de cultivo y se lavan, retirando todo el agar. El cambio de un ambiente cerrado, como lo contenedores de vidrio, a una maceta, puede resultar severo para las plantas recién producidas, por lo que se hace necesario una etapa de rusticación o aclimatación, en la cual las plantas son primero trasplantadas en bandejas con sustrato estéril, compuesto por tres partes de suelo, dos partes de turba y una parte de vermiculita y mantenidas en cámaras de aclimatación (las plantas aún están cubiertas) con control de humedad (80%), temperatura (22°), y luz (PAR 20) similares a las condiciones *in vitro*. Después de cinco a siete días, las plantas son transferidas a macetas individuales y mantenidas en sombreaderos y/o invernaderos para su aclimatación final durante tres o cuatro semanas, antes del trasplante a campo.



Foto 1.8. Fase de aclimatación de plantas en sustrato. A) Los nuevos brotes enraizados *in vitro* son transferidos a contenedores que permitan regular la humedad de las plantas. Las plantas aclimatadas son transferidas a B) bandejas con sustrato y/o C) macetas individuales en cámaras de aclimatación y posteriormente, en D) son mantenidas en condiciones de sombreadero hasta su posterior traslado a campo.

1.3. Consideraciones finales

Si un agricultor busca tener éxito productivo con su huerto de frambueso, debe iniciar su cultivo con plantas cuyo origen garantice la calidad sanitaria y genética de las mismas. En este contexto la propagación *in vitro*, garantiza la calidad genética y sanitaria de las plantas de frambueso, lo que permite que las mismas se expresen con mayor vigor en campo y entreguen un mejor calibre del fruto. Sin embargo, si bien el 50% del éxito de un cultivo depende de la genética de la planta, es necesario mantener un buen manejo agronómico del huerto, con un óptimo manejo del riego, nutrición y sanidad a través de un permanente monitoreo.

Literatura consultada

- Argenbio, 2020. Cultivos celulares. Consultado en http://www.argenbio.org/images/La_biotecnologia/Cap_2/Cultivos_celulares_II.pdf
- González U., Jorge; Villavicencio P. Abelardo; y Morales A., Carmen Gloria (Eds.). 2016. "Línea Base de Pequeños Productores de Berries en la Zona Centro Sur Contextos productivo, económico y comercial". Villa Alegre, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 336, 76p.
- Hewstone, N. y Reyes, MA. 1999. Cultivo de Tejidos en la Agricultura. Tierra Adentro 24: 30-33.
- Morales A. Carmen y González U. Jorge (Eds.) 2020. "Arándanos y frambuesa en la Región del Maule: caracterización sectorial y análisis varietal". Boletín INIA 431. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Villa Alegre. Chile, 136p.
- Murashige, T; Skoog, F. 1962. A Revised Medium for Rapid Growth and Bio Assays with Tobacco Tissue Culture. *Physiol Plantarum*. 15:473-497.
- Redagrícola, 2020. Cultivos celulares. Consultado en <https://www.redagricola.com/cl/la-perdida-de-competitividad-de-la-frambuesa-en-chile/>
- Tapia, G. y Vega, M.V. 2018. Multiplicación *in vitro* de frutilla blanca. En C. Céspedes (Ed) "Rescate y valorización de la frutilla blanca en el territorio de Nahuelbuta". Boletín INIA N° 363, 178 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chillán, Chile.





Capítulo 2

Técnicas de preparación de suelo para mayor productividad del frambueso

Capítulo 2

Técnicas de preparación de suelo para mayor productividad del frambueso

Patricio Abarca R.
patricio.abarca@inia.cl

Un factor relevante a considerar para el éxito del establecimiento de cualquier cultivo frutal, es la previa preparación de suelo para la plantación. Un suelo mal trabajado puede traer consecuencias, que difícilmente pueden ser corregidas cuando el cultivo ya esté establecido o en producción. Los problemas más recurrentes a nivel de suelo, suelen ser; la compactación, mala infiltración de agua, exceso de piedras, entre otros, en consecuencia, el manejo de suelo debe estar orientado especialmente al buen crecimiento radical de las plantas, donde se favorezca la aireación de raíces, la buena absorción de agua y nutrientes y, especialmente, la profundidad efectiva, la cual será fundamental en el crecimiento y sostén de la planta.

El cultivo del frambueso, si bien, puede establecerse en varios tipos de suelo, pero como la mayoría de los frutales, presenta mejores rendimientos en suelos con texturas francas, a franco - arenosas, una profundidad efectiva para el crecimiento de raíces y una buena percolación de agua, de al menos 70 a 80 cm y con un buen contenido de materia orgánica.

Con la preparación del terreno no se puede modificar la textura del suelo, es decir, las proporciones de arena, limo y arcilla que la componen, pero se puede cambiar la estructura del mismo. En muchos casos, el uso intensivo de maquinaria agrícola en los predios perjudica la estructura, más aún, si las labores se realizan en condiciones no adecuadas de humedad. La estructura del suelo es muy importante en el desarrollo de un cultivo agrícola, considerando a esta, como la asociación de las partículas en agregados de mayor tamaño (terrones) y condiciona el espacio poroso que queda entre ellos, permitiendo el movimiento del agua, aire, nutrientes, como, la microfauna que se desarrolla en el suelo. Por una parte, la estructura se ve mejorada por procesos propios de las plantas con el suelo, la incorporación de materia orgánica y los procesos biológicos desarrollados por la fauna nativa, por otra parte, la estructura se ve perjudicada por el laboreo con algunos equipos de labranza, al disminuir considerablemente el tamaño de los agregados. Por ejemplo, el paso continuo de tractores en múltiples labores (pulverización, cosechas, etc.), ocasiona compactación del suelo, esta presión de la maquinaria contra el suelo, aumenta la densidad aparente y disminuye los espacios porosos, provocando una disminución en el crecimiento de raíces, encharcamiento de agua y, consecuente muerte de plantas por enfermedades asociadas al exceso de humedad (Carrasco *et. al*, 2010).

Por lo anterior, es esencial que tanto las labores de preparación de suelo antes del establecimiento o intervenciones durante el desarrollo del cultivo, se realicen en condiciones ideales de humedad, de lo contrario, se empeorará la estructura de suelo y por ende el buen crecimiento del cultivo.

2.1. Condiciones de humedad para laboreos de suelo

2.1.1. Suelo en estado cementado

Suelo con bajo porcentaje de humedad, firme y con alta resistencia a la entrada de implementos de labranza. Se necesita alta potencia y firmeza de maquinaria para romper el suelo. Cuando se realiza, se originan grietas desde la punta de los implementos hacia la superficie, formando grandes terrones sobre ella, lo que posteriormente, dificulta otras labores en el terreno. Este estado (cementado), es recomendado para labores de subsolado, donde se requiera mejorar infiltración de agua por rompimiento de capas compactadas naturalmente o por pie de arado. Para este tipo de labores se necesita de maquinaria con gran potencia, ya sea, tractores o excavadoras tipo bulldozer con garra hidráulica.

2.1.2. Suelo en estado friable

Este estado presenta mayor porcentaje de humedad que el anterior. El suelo friable es ideal para la mayoría de las labores de labranza primaria y secundaria realizadas en la preparación de suelos, ya que, el paso de implementos requiere de una menor potencia y los agregados del suelo se desintegran con facilidad en otros de menor tamaño sin desnivelación del terreno. Al tomar una porción de suelo con la mano, este se disgrega con facilidad y no queda adherido en ella.

2.1.3. Suelo en estado plástico

Este estado presenta una saturación de humedad en el suelo. Por una parte, el suelo se pega en los implementos de labranza, dejando, además, grandes trozos de suelo en la superficie, que al secarse posteriormente deja terrones de gran tamaño y el terreno desnivelado, por otra parte, una alta humedad es contraproducente al paso de maquinaria, provocando compactación, perjudicando el crecimiento de raíces, falta de oxígeno y baja movilidad de agua y nutrientes hacia las plantas (Riquelme y Morales *et. al*, 2017a).

2.2. Consideraciones previas a la preparación de suelo

2.2.1. Revisión del perfil de suelo a través de calicatas

Previo a efectuar cualquier trabajo o laboreo de suelos, es necesario realizar calicatas para conocer las características y condiciones del perfil, específicamente para observar limitaciones, capas compactadas, problemas de infiltración de agua, piedras, entre otros (Carrasco *et. al*, 2017), (Foto 2.1.). Las calicatas normalmente tienen dimensiones de 1 m de ancho, 1 m de largo y 1 metro de profundidad, para cultivos de berries es suficiente para visualizar la profundidad efectiva y real crecimiento de raíces. Es recomendable que al menos se realice una calicata por cada hectárea de cultivo. Dentro de los criterios a evaluar en una calicata, se mencionan los siguientes aspectos:



Foto 2.1. Calicata de 1 m³ para observar perfil de suelo y extracción de muestras para determinar parámetros físicos de suelo.

2.2.1.1. Profundidad efectiva

Es la capa de suelo que permite el crecimiento de raíces sin dificultades naturales, ya sean, piedras, compactación, presencia de napas superficiales, entre otros. Para berries, una profundidad efectiva de 80 cm sería suficiente para el buen crecimiento de la masa radical.

2.2.1.2. Compactación

Es probable que, al observar las paredes de una calicata se pueda presenciar estratas compactadas, debido principalmente al tránsito de maquinaria agrícola en condiciones de suelo con alta humedad o el uso reiterativo de implementos de labranza a una misma profundidad. Es común en suelos agrícolas de producción hortícola o de cultivos bajos trabajados por muchos años con arados de vertedera o de discos, los cuales, al pasar siempre a la misma profundidad, generan una compactación llamada "pie de arado".

2.2.1.3. Problemas de drenaje

La mala infiltración de agua de lluvia o de riego, ya sea por condiciones propias del terreno o por malas prácticas mencionadas anteriormente, perjudica el desarrollo de raíces, especialmente por falta de oxígeno y por la incidencia de enfermedades fungosas. Es necesario detectar posibles problemas de drenaje antes de cualquier tipo de plantación, esto permitirá realizar trabajos para mejorar la infiltración de agua en el perfil del suelo, por ejemplo, subsolado, camellones o sistemas de drenaje que saquen el agua fuera del predio.

2.2.1.4. Textura de suelo

Entiéndase como textura a las proporciones de arena, limo y arcilla que componen el suelo. Se extraen muestras desde el interior de la calicata y en laboratorio se puede determinar con exactitud la textura, no obstante, al momento de observar la calicata se puede moldear con la mano un poco de suelo, si este se suelta con facilidad aun estando con alta humedad, nos encontraremos con un suelo tipo arenoso, por el contrario, si al apretar el suelo, forma una masa uniforme, compacta y se pega en las manos, tendremos un suelo tipo arcilloso. Para la mayoría de los cultivos, es conveniente suelos tipo franco, los cuales tienen una adecuada relación de arena, limo y arcilla. Estos suelos permiten una buena infiltración de agua y una buena oxigenación a nivel de raíces, permitiendo el buen desarrollo radical y una menor incidencia de enfermedades asociadas al exceso de agua. También, es importante revisar en una calicata, la presencia y cantidad de piedras, las cuales, en gran cantidad perjudicarán el crecimiento de raíces y labores de preparación de suelos (Carrasco *et. al*, 2017).

2.3. Preparación de suelo previo a la plantación

Una vez observado el perfil a través de calicatas, se obtendrá información real e importante en la toma de decisiones respecto a los equipos e implementos que se utilizarán para la preparación de suelo y el establecimiento de las plantas. Si en las calicatas se observan problemas de compactación, será obligatorio el uso de maquinarias que ayuden a romper las capas compactadas y, de acuerdo a la profundidad en la cual se encuentre esta estrata, se seleccionará el tipo de maquinaria y la potencia requerida para ello. Lo anteriormente descrito, tiene el propósito de remover y soltar el suelo para mejorar la estructura, acomodar los agregados y lograr un equilibrio entre una buena infiltración y retención de agua, aumentar el espacio poroso y la aireación que permitirá un buen crecimiento radical de las plantas.

2.3.1. Rompimiento de estratas compactadas

La presencia de pie de arado o de estratas compactadas de origen natural, obligará al uso de maquinaria para romper el suelo duro y mejorar los espacios porosos a nivel de raíces. Si la capa u horizonte compacto se encuentra hasta los 45 cm de profundidad, se utilizarán arados subsoladores o escarificadores, los cuales logran trabajar en promedio hasta los 40 a 45 cm, y la potencia requerida dependerá exclusivamente de: la resistencia que oponga el suelo al corte del equipo; la profundidad de trabajo y el número de brazos que tenga el implemento (Foto 2.2.). Si la estrata compactada está por sobre los 45 cm de profundidad se deberá romper con maquinaria pesada, generalmente con bulldozer u orugas con garra hidráulica, pues en algunos casos, los subsoladores ante una resistencia mayor (raíz, piedra, etc.) los brazos se levantan y no logran el trabajo deseado (Foto 2.3.).



Foto 2.2. Rompimiento de estratas compactadas con arado subsolador. (Fotografía gentileza Carrasco, 2020).



Foto 2.3. Uso de maquinaria pesada con garra hidráulica para remover suelo y romper capa compactada.

El trabajo de subsolado consiste en pasar un arado subsolador a la profundidad de la estrata compactada en condiciones de suelo seco, ya que, en este estado el suelo podrá generar las grietas tanto en forma horizontal, como vertical al paso del implemento. El trabajo de subsolado normalmente se utiliza para profundidades entre los 30 a 45 cm, y dependerá de la profundidad de trabajo, el tipo de suelo y la cantidad de brazos que tenga el implemento, la demanda de potencia hacia el tractor, normalmente se utilizan tractores entre 95 hasta 140 HP. La potencia requerida también está ligada a la velocidad de avance del tractor (a mayor velocidad, mayor potencia requerida), y para este tipo de labores es recomendable que el avance sea entre 1 a 2 km/h, además, una velocidad mayor podría provocar daños en el arado e incluso en el tractor.

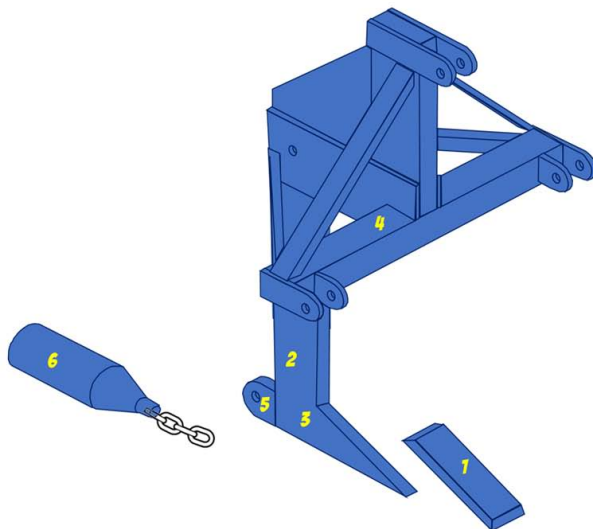


Figura 2.1. Esquema arado subsolador con aditamento de balín. 1) Cuchilla de corte; 2) Brazo, hoja subsoladora o pie de corte; 3) Bota; 4) Chasis de conexión al sistema hidráulico; 5) Enganche para balín; 6) Balín para túnel de drenaje (Fuente: elaboración propia).

Se recomienda para aquellos suelos que presenten estratas compactadas, ya sea de origen natural o por pie de arado, realizar subsolado en todo el terreno antes de plantar, en lo posible, en el lugar y dirección donde se establecerá la hilera y entre ellas.

Una alternativa al subsolado, es el escarificado. Este es un arado que mezcla las técnicas de un subsolador y un arado de cincel. El escarificador, normalmente presenta 5 o 7 brazos, por una parte, mantiene la rigidez y firmeza de los brazos de un subsolador, por otra parte, tiene el ángulo de ataque y resortes vibratorios de un cincel (Foto 2.4.). La ventaja de este arado, es que el ángulo de ataque de 45° aproximadamente del cuchillo basal y parte del brazo, permite menor resistencia del implemento al suelo, eso significa menor demanda de potencia en comparación a un subsolador de la misma cantidad de brazos, por su parte, los resortes permiten la constante vibración de los brazos en el avance, permitiendo un mayor número de grietas en el perfil del suelo. La desventaja, es que al tener un ángulo agudo de ataque (menor a 90°), levanta mayor número de terrones y los deja en la superficie, desnivelando considerablemente el terreno. Esto último, se ha mejorado con escarificadores de tiro, lo cuales presentan aditamentos para la preparación de suelo, tanto adelante, como atrás de los brazos (Foto 2.5.), de lo contrario, se hace necesario el trabajo de otros implementos (como las rastras de discos) para disminuir el tamaño de los terrones en superficie y su nivelación.



Foto 2.4. Trabajo de escarificado en suelo seco con grandes terrones en superficie (Fotografía gentileza Carrasco, 2020).



Foto 2.5. Trabajo de escarificado con aditamento de preparación de suelo (discos de corte en la parte anterior y rodillo desmenuzador en la parte posterior).

En el caso que el campo presente un suelo muy arcilloso y con problemas de drenaje, se podrá optar por la construcción de túneles de desagüe a una profundidad de 40 a 45 cm. Para ello, se utiliza el mismo arado subsolador con un aditamento ubicado en la parte posterior de la bota, llamado bala o balín, el cual, va sujeto por una cadena al cuerpo del subsolador (Figura 2.1.). Esta labor se favorece en suelos muy arcillosos y con una humedad de suelo mayor a la de capacidad de campo, de esta forma el balín genera un túnel cilíndrico al paso del arado (Riquelme y Morales *et. al*, 2017b).

2.3.2. Labranza para nivelación de terreno

Posterior al uso de subsoladores, y en mayor caso al de escarificadores, es habitual la desnivelación del terreno por grandes terrones en la superficie, los cuales, impiden el establecimiento de cualquier cultivo, por ello, es que se hace necesario el trabajo de nivelación y la disminución del tamaño de los agregados (terrones). Para esta labor, es conveniente que el suelo se encuentre en estado friable, si el suelo permanece seco, los implementos no lograrán penetrar.

Para aminorar el tamaño de terrones y mejorar la nivelación, se puede utilizar arados de vertedera, rastras de discos y vibrocultivadores, no obstante, dependerá el tipo de suelo, rastros sobre la superficie y/o la presencia de piedras en el terreno, la selección de uno u otro implemento (Cuadro 2.1.).

Cuadro 2.1. Criterios de selección de arados e implementos más adecuados para la preparación de suelos (Adaptado de Riquelme *et al.*, 2010).

Incorporación de residuos vegetales, enmiendas y fertilizantes	Presencia de malezas de reproducción vegetativa	Suelos con presencia de piedras	Romper compactaciones tipo pie de arado	Facilitar la infiltración de agua en el perfil	Mantener el micro relieve del suelo	Infiltración instantánea (cm/min)	Velocidad de infiltración (cm/h)	Lámina infiltrada Acumulada (cm)
Arado de vertedera	Arado cincel	Arado de discos	Arado de cincel	Arado de cincel	Arado cincel			
Arado de discos	Arado de vertedera	Arado de cincelos herramientas flexibles	Arado subsolador	Arado subsolador	Arado de vertedera	2,3	135,0	4,5
Arado rotativo	Arado subsolador		Arado escarificador	Arado escarificador	Rastra de discos	2,0	120,0	6,5
Rastra de discos	Arado escarificador				Vibro cultivador			

2.3.2.1. Aradura

Una vez que se ha disminuido el tamaño de los terrones con rastras de discos, se recomienda una labranza primaria con arados de vertederas (Foto 2.6.), lo cuales se justifican con una profundidad de suelo arable de 30 a 40 cm de profundidad y en estado de humedad friable. Estos implementos presentan la ventaja de disminuir el tamaño de terrones e incorporar rastros o malezas que se presentan en superficie, sin embargo, pueden sacar semillas en estado de latencia y dejarlas en mejores condiciones de germinación sobre la superficie.



Foto 2.6. Labor de labranza primaria con arado de vertedera (Fotografía gentileza Aguirre, 2020).

2.3.2.2. Rastraje con rastra de discos

Las rastras de discos trabajan a una profundidad de 10 a 15 cm aproximadamente, logrando disminuir el tamaño de agregados, nivelar el suelo, cortar rastrojos e incorporar malezas que se encuentren en la superficie. Se puede realizar más de una pasada del implemento, en caso que en la primera no se cumpla el objetivo. Las rastras de discos más utilizadas son la de tipo off-set, estas cuentan de un chasis con dos ejes con discos (dos cuerpos). Los ejes de una rastra off-set presentan una forma de "<" mirado desde arriba, de tal modo que, los cuerpos sean solidarios al mullimiento de los terrones. Para el caso de suelo con abundante rastrojo de cultivos anteriores o malezas, es recomendable el uso de discos dentados (escotados), los cuales tienen mayor acción de corte e incorporación.

La acción y eficiencia de una rastra de discos dependerá exclusivamente de: condición de humedad del suelo; cantidad de rastrojo o maleza en superficie; el tipo de discos utilizado; ángulo de disposición entre los cuerpos; peso total del implemento; nivelación longitudinal; potencia del tractor según tamaño de la rastra; experiencia del operador.

En ocasiones, a una rastra de discos se le conecta un aditamento en la parte posterior para romper terrones y nivelar, esto consta de un par de cadenas atadas al chasis de la rastra y en el otro extremo una madera pesada (durmiente), o un perfil de fierro. La regulación de las cadenas condicionará que la madera aplane, o en su defecto y de forma negativa, levante suelo por encima de ella.



Foto 2.7. Laboreo de suelo con rastra de discos tipo off-set.

2.3.2.3. Vibrocultivador

Uno de los últimos trabajos de mullimiento o disgregado de terrones, es el paso de un vibrocultivador. Este implemento, al igual que los arados de cinceles, realizan una labranza tipo vertical (no invierten el suelo), pero lo hacen a una menor profundidad, entre 10 a 15 cm. Consta de un bastidor o chasis que sostiene en todo su cuerpo y de forma intercalada, dientes vibratorios en forma de S. La vibración generada por la forma del diente, escarba y suelta el suelo, dejando los terrones de tamaño medio en superficie, los cuales serán disgregados por un rodillo en su parte posterior (Foto 2.8). El vibrocultivador, en suelo franco a franco arcillosos, deja terrones de tamaño medio a pequeño (2 a 4 cm en promedio), ideales para lograr buena estructura en plantación de frutales, así mismo, son utilizados para incorporar herbicidas residuales, dejando el producto en los primeros centímetros de suelo.

Algunos productores antes de la plantación utilizan arados rotativos o rotofresas, no obstante, en texturas arcillosas, el suelo queda muy mullido (estado de polvo), no adecuado para hacer camellones, y su mayor desventaja, es que con la lluvia o el riego, el suelo se sella, impidiendo la infiltración de agua y movimiento de oxígeno en el perfil de suelo



Foto 2.8. Uso de vibrocultivador para mullir suelo (Fotografía: Interempresas, 2020).

2.4. Uso de camellones

El uso de “camellones” para la plantación de frutales, es una alternativa en suelos que no presenten la calidad suficiente para el buen crecimiento de la masa radical. Normalmente se utiliza en suelos que no ofrecen una profundidad mínima efectiva para la expansión de las raíces, como también, en suelos de baja fertilidad, mal drenaje y baja temperatura.

Para frutales menores (frambuesas, arándanos) se recomienda construir camellones de unos 30 a 45 cm aproximadamente de altura, por unos 70 a 100 cm de ancho. Las principales funciones de un camellón son: generar mayor profundidad de las raíces; aumentar temperatura a nivel de raíces en zonas más frías; mejorar drenaje de agua en zonas muy lluviosas; disminuir incidencia de enfermedades asociadas a alta humedad; optimizar el uso de fertilizantes vía riego; aumentar la altura base de la planta para mejorar la aplicación de plaguicidas, entre otros.

La construcción de camellones puede realizarse con diversos tipos de implementos agrícolas, desde los clásicos arados de vertedera hasta “acamellonadores”, estos últimos varían la forma y dimensiones del camellón dependiendo el propósito o tipo de cultivo (Foto 2.9.). Lo más habitual, resulta el volteo de suelo hacia el interior con algún tipo de vertedera simple o arados con un par de discos de distinto tamaño sobre un mismo eje, el cual, el primer disco (más pequeño) genera un surco, a su vez, traspasa suelo al segundo (más grande) y este último va construyendo el camellón. En algunos casos, estos camellones se definen con una pala de cola, la cual, va paralela al suelo, pero inclinada respecto al paso del tractor. La forma de los camellones varía dependiendo del tipo de cultivo, siendo más habituales y más eficientes, los de tipo trapecio isósceles (cama aplanada), estos generan mayor uniformidad del bulbo de riego y más eficientes al aplicar algún tipo de enmienda orgánica (Riquelme y Morales, 2017 b).

En algunos frutales, arándanos, por ejemplo, para cumplir totalmente la función del camellón, se adiciona algún tipo de cubierta, pudiendo ser mulch plásticos o biológicas como aserrín de pino, corteza de pino, cascarilla de arroz u otro tipo de enmienda orgánica que mejore las condiciones de humedad, fertilidad, estructura y pH del suelo.



Foto 2.9. Construcción de camellones con “acamellonador”.



Foto 2.10. Confección de camellones previo al establecimiento de las plantas (Fotografía: Riquelme y Morales, 2017).

2.5. Plantación

Al momento de la plantación, el suelo debe estar en estado friable, es decir, tener suficiente humedad, pero al tomarlo y apretarlo en la mano, debe disgregarse con facilidad y no pegarse en ella. Independiente del estado de humedad del suelo, es necesario que se disponga de un sistema de riego inmediatamente realizada la plantación, a modo de asegurar el buen establecimiento y contacto de las raíces con el suelo, especialmente si esta labor se realiza en primavera.

Para la plantación, se puede abrir el suelo prácticamente de dos formas, con ahoyadora agrícola o un surcador, dependiendo del número de plantas, mano de obra, pendiente del terreno y/o maquinaria disponible.

Antes de abrir suelo para la plantación, será necesario “cuadrar” el terreno para definir el número de plantas y, el número, disposición y orientación de las hileras. En Chile, es frecuente para cultivos frutales (si el terreno y otras condiciones lo permiten) la orientación de noroeste a sureste o de norte a sur, esto favorece que ambas caras de la hilera reciban similar cantidad de radiación, por otra parte, el viento predominante circule por entre las hileras, favoreciendo la aireación del cultivo para un mejor control preventivo de enfermedades fungosas.

En terrenos planos y sin necesidad de camellones muy altos, se puede abrir suelo con un arado surcador por todo el largo de la hilera, a una profundidad suficiente donde las raíces queden estiradas y bien ordenadas en todos los ángulos. Para la distancia de las plantas en la sobre hilera, se utilizan lienzas gruesas de algodón, marcadas con pintura o cinta adhesiva para cada planta, la lienza se estira de igual forma en cada hilera.

Para terrenos con lomajes o pendientes suaves, es más habitual el uso de ahoyadoras. Estas cuentan con conexión al sistema integral hidráulico del tractor (tres puntos) y con la toma de fuerza del mismo, se acciona un sinfín que realiza un orificio en el suelo. Las brocas pueden llegar hasta 20 pulgadas de diámetro, suficiente para plantas pequeñas y que sus raíces queden totalmente extendidas en la base del hoyo. Para realizar este tipo de labor, el suelo debe estar en estado friable, si existe un exceso de humedad se provocará compactación en el contorno y base del hoyo realizado, además, el suelo quedará pegado en las aletas del sinfín.

2.6. Labores de suelo post plantación

Uno de los problemas frecuentes en mayoría de los huertos frutales, después del establecimiento del huerto, es la compactación provocada por el paso continuo de maquinaria agrícola, especialmente por el tránsito en invierno con suelo húmedo. “Se ha comprobado que el efecto del tráfico de la maquinaria sobre el suelo, aumenta la densidad volumétrica y la resistencia al esfuerzo cortante, disminuye la porosidad y permeabilidad al aire y agua, por lo tanto, aumenta el agua que escurre superficialmente sobre el suelo, favoreciendo con ello la erosión” (Carrasco *et al.*, 2010). Este tipo de inconvenientes, perjudican el crecimiento de raíces hacia la entre hilera, cierran los espacios porosos en los primeros centímetros de

suelo, provocando encharcamiento de agua y mayor incidencia de enfermedades por exceso de agua a nivel de raíces. La compactación por el tránsito de maquinaria agrícola (tractores, pulverizadores, carros cosecheros, entre otros) es más frecuente en condiciones de suelos arcillosos, con alto contenido de humedad al momento del tránsito, también, en suelos removidos (arados) o sin cubierta vegetal, por lo tanto, para evitar la compactación por paso de maquinaria, se recomienda el uso de camellones en la sobre hilera, no laboreo de suelos en la entre hileras (rastraje o araduras), neumáticos de alta flotación, evitar el tránsito en épocas de alta humedad de suelo y mantener cubiertas vegetales o enmiendas en la entre hilera que mejoren la nutrición, estructura y biología del suelo.

Para el caso huertos frutales establecidos que no hayan tomado medidas preventivas para evitar la compactación, es recomendable el uso de subsoladores de 3 patas en la entre hilera, procurando que las puntas laterales rompan el suelo en el mismo lugar de la huella que ha provocado el tractor y otros equipos. La profundidad de esta labor, siempre deberá ser definida de acuerdo a la observación previa de calicatas, para posteriormente realizarla en el período de poscosecha y con bajo contenido de humedad de suelo.

Literatura consultada

- Carrasco, J., García - Huidobro, J., Valenzuela, F. 2010. El suelo y su relación con el manejo (cap. 2, pp. 47 - 70). En Carrasco, J., Jorge y Riquelme S., Jorge (eds.) Manejo de suelos para el establecimiento de huertos frutales. Rengo, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, CRI Rayentué, 128 p. (Colección Boletines INIA N°207).
- Carrasco, J., Riquelme, J., Abarca, P. 2017. Manejo de suelos para el establecimiento y cultivo de duraznero. (cap. 3, pp 29 - 48). En Abarca, P. (ed.) Manual de manejo del cultivo de duraznero. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 130 p. (Colección de manuales INIA N°08).
- Feria Virtual Interempresas. Imagen vibrocultivador [En Línea]
<http://www.interempresas.net/Agricola/FeriaVirtual/Producto-Vibrocultivador-con-brazo-50-x-12-Vila-VBCR-VER-160669.html> [Consulta: 11 de agosto de 2020]
- Riquelme, J., Morales, C. G., 2017 a. Preparación de suelo (cap. 4, pp 26 - 30). En Morales C. G. (ed.) Manual de manejo agronómico del arándano. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 98 p. (Colección de manuales INIA N°06).
- Riquelme, J., Morales, C. G., 2017 b. Preparación de suelo (cap. 6, pp 33 - 39). En Morales C. G. (ed.) Manual de manejo agronómico del frambueso. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 114 p. (Colección de manuales INIA N°07).



A photograph showing a row of young raspberry plants in a field. The plants are vibrant green with serrated leaves and are growing in a row covered with black plastic mulch. The soil on either side of the mulch is brown and appears to be recently tilled. The plants are in various stages of growth, with some showing small developing fruit clusters.

Capítulo 3

Plantación del frambueso: aspectos importantes desde pre plantación a la conducción

Capítulo 3

Plantación del frambueso: aspectos importantes desde pre plantación a la conducción

Carmen Gloria Morales A.
carmengloria.morales@inia.cl

La plantación del frambueso debe realizarse considerando diferentes variables que van desde la correcta elección del suelo y la preparación en profundidad del mismo, como la conducción acorde a la variedad y objetivos productivos. En las próximas líneas se detallan las consideraciones a tener en cuenta para el éxito del cultivo en términos de rendimientos, cercanos al potencial productivo definido según cada variedad, atributos deseados en calidad y extensión del horizonte de la vida útil del huerto, que se ven influenciados o bien dependen de las decisiones al momento del establecimiento.

3.1. Temperatura ambiental y fotoperiodo: fundamentales para decidir ubicación del huerto y variedad en el frambueso

La morfología del frambueso contempla una estructura subterránea perenne, que implica que permanece funcional por varios años, desde la cual se emiten cada año nuevos brotes de reemplazo, que el primer año se observan en estado vegetativo que con las bajas temperaturas invernales se lignifican tornándose en un aspecto leñoso. En términos de floración y fructificación, las variedades remontantes son aquellas que florecen en cañas y en retoños durante la misma temporada, es decir, presentan dos cosechas en la temporada, a diferencia de las variedades no remontantes que florecen y fructifican sólo en caña, una vez en la misma temporada.

Estas respuestas de la planta, si bien, están predefinidas a nivel genético, también son una expresión de la incidencia de factores climáticos, siendo la temperatura y al fotoperiodo los principales responsables de los comportamientos tanto vegetativos como reproductivos, con mayor sensibilidad de reacción a estados de latencia y de floración.

El buen desarrollo fisiológico y productivo de este cultivo, se encuentra en zonas con rango de temperatura entre los 14°C y 19°C, aunque también producen en zonas con mayores o menores temperaturas con el consecuente costo en la calidad del fruto, en la estructura vegetativa y en el rendimiento. Otros factores como humedad relativa o viento, no son limitantes, pero pueden, según la intensidad y frecuencia del evento, incidir negativamente en el cultivo; en el primer caso es favorable una condición por sobre 60% y menor a 75%, en cosecha cerca de 40% de humedad relativa; en el caso del viento si es intenso se inhibe la yema apical limitando el crecimiento en altura con la consecuente emisión de laterales frutales cortos y abundantes y, por otra parte, aumento de la deshidratación del tejido vegetal.

Importante es el efecto de la temperatura como el mayor determinante para el buen desarrollo del frambueso, entre las razones a destacar está el requerimiento en horas frío que difiere ampliamente desde 350 a 1700 horas, por otra parte, destacar la respuesta vinculada al grado de rusticidad de la variedad, que en términos ambientales, por ejemplo, está dado por el nivel de sensibilidad a eventos que involucran descensos bruscos de temperatura que se manifiesta con daños en la zona apical de los brotes más vigorosos del primer año, que corresponde a material vegetal no lignificado, así también pérdida importante de las yemas vegetativas y zonas necróticas cuando el evento es de mayor intensidad y duración, producto de la muerte del tejido vegetal. El momento en el que ocurra el evento climático de bajas temperaturas podría afectar considerablemente a la planta dado el desorden fisiológico que conlleva el estrés por daño; en estado de latencia durante los meses de junio y julio la ocurrencia de eventos de heladas con temperaturas menores a -15°C provocarían daño y eventualmente pérdida de la planta; en yema hinchada, momento visualizado a partir de agosto la temperatura límite es -5°C y en yema abierta es -3°C . También se evidencia daño en el desplegado de hojas y aparición de los retoños cuyo registro límite es $-1,7^{\circ}\text{C}$. En floración pudiese tolerar en botón cerrado $-1,3^{\circ}\text{C}$, en flor abierta $-0,7^{\circ}\text{C}$ y en cuaja $-0,7^{\circ}\text{C}$. Por el contrario, temperaturas máximas por sobre los 32°C también provocan efecto en la fisiología, dado el cierre estomático y disminución del metabolismo con efecto directo en el calibre del fruto por el menor tiempo entre los estados fenológico de cuaja, desarrollo y madurez de fruto.

Es preciso destacar que cuando la relación entre la temperatura es baja y el fotoperiodo es corto, las yemas permanecen inactivas y la estructura leñosa (caña) no sufre daño, sin embargo, al aumentar la temperatura al avanzar la temporada se estimula la brotación y pierde la tolerancia a las bajas temperaturas. Al presentarse nuevos momentos de bajas temperaturas la planta no retorna al estado de tolerancia anterior, por ende, el nivel de daño se verá incrementado si las oscilaciones diarias son de mayor amplitud, y el daño será acumulativo. En la medida que las temperaturas aumentan, la respuesta fisiológica se acelera incrementando el metabolismo y el movimiento de los fotosintatos por ende la actividad fotosintética.

Considerando lo anterior, la elección de la variedad debe ser en directa relación a las características edafoclimáticas del predio en el que se establecerá, es decir, conocer cuál sería la respuesta de la variedad seleccionada a dichas condiciones. Favorablemente la oferta de variedades cada vez es más amplia, con gran ventaja las variedades del tipo remontante por sobre las no remontantes, dada la opción de la primera de contar con dos periodos de cosecha en la misma temporada.

3.2. Manejo pre plantación del frambueso

Al frambueso le acomoda un suelo liviano con buen laboreo, profundo y con alto contenido de materia orgánica. Si no es el caso, se deberán realizar labores de pre plantación que permitan la mejor expresión del potencial productivo en la mayor extensión de tiempo posible. Si el suelo es arcilloso se recomienda confeccionar camellones altos, por sobre 30 cm, e incorporar en la parte alta, enmiendas orgánicas como compost u otro biopreparado para mejorar la estructura y aumento de la biomasa.

En establecimiento del frambueso puede ser en suelos nuevos, pero también podría ser el caso una renovación del huerto en la misma unidad física de suelo, para lo cual lo ideal es considerar en la planificación intrapredial un periodo de descanso del suelo. En este último escenario se recomienda sembrar avena permitiendo con ello lograr la limpieza del suelo si la deja hasta la generación de semilla o bien incorporarla como abono en verde. Otras opciones a considerar previo a plantación son las alternativas orgánicas como es el uso de *Trichoderma* sp como estrategia para proteger las raíces o la biofumigación como la solarización que es posible realizarla sólo en verano ya que requiere altas temperaturas para lograr el efecto deseado. La opción química de desinfección del suelo resulta ser la última alternativa recomendada, en este segmento las opciones que existen en el mercado son aplicables en el periodo invernal entre las que destacan Metan Sodio, Disulfuro de C y Basamid, pudiendo existir otro autorizado para usar en el cultivo, lo cual debe ser validado según norma actualizada. Entre las opciones físicas de desinfección de suelo destacan el vapor de agua, que sólo es recomendable en bajas superficies como es el caso de viveros, y no abiertamente a unidades productivas comerciales al aire libre, dado a que es más complejo y requiere equipamiento especializado.

3.3. Distancias de plantación para el frambueso

Es muy común en huertos de frambueso que, para optimizar el espacio disponible e incorporar un mayor número de plantas, se decida erradamente, disminuir la distancia entre las hileras. La distancia ideal es de 3 m, siendo aceptable hasta 2,5 m. Si la idea es usar maquinaria como tractor con equipamiento deberá considerar 3,5 m. Esto favorece una buena distribución de la luminosidad un mayor tiempo a lo largo del día y permite una mejor aireación desde la zona basal (Foto 3.1). Se debe considerar que a medida que las plantas presenten mayor vigor, mayor debe ser la distancia entre las hileras, esto con el fin de no afectar la condición sanitaria del huerto y, evitar el entrecruzamiento que impida el libre tránsito al momento de la cosecha y pérdidas económicas por fruta no cosechada.



Foto 3.1. Vista entre hilera de huerto de frambueso. Morales, 2020.

Respecto a la distribución sobre la hilera, al momento del establecimiento puede variar entre 30 cm a 50 cm. Es usual el uso de alta densidad de plantación con mayor número de plantas por metro lineal cuando no se cuenta con una cobertura sobre el camellón (Foto 3.2.) o la hilera que con el transcurso de los años pasará a cubrir toda la zona de manera continua, pero excesiva cuando no se realiza una buena práctica de poda invernal y raleo primaveral.



Foto 3.2. Distancia inicial de plantación del frambueso sobre camellón sin cubierta. Morales, 2020.

Siempre que use cubierta, como malla antimaleza o un mulch orgánico (Foto 3.3.), es mejor usar 2 plantas por metro lineal (50 cm cada una). En este caso, la zona alta del camellón tendrá una emisión controlada de brotes por cada espacio abierto uniformemente en el mulch (Foto 3.4.), lo que permitirá contar con un mejor control de la densidad del seto, que igualmente podrá cubrir el espacio de manera continua sobre la hilera de cultivo.



Foto 3.3. Plantas de frambueso sobre camellón con cubierta orgánica. Morales, 2020.



Foto 3.4. Distribución de plantas en huerto en plena producción con cubierta sobre el camellón. Morales, 2020.

Se recomienda siempre establecer sobre un camellón de al menos 50 cm de ancho y no inferior a 30 cm de altura con surcos a ambos lados orientados en el sentido de los vientos predominantes en la zona, independiente del método de riego a utilizar, ya que servirán para drenar el agua de lluvia durante el invierno y así evitar que exista agua libre a nivel del cuello de las plantas, condición que favorece el desarrollo del pseudohongo *Phytophthora* spp manifestando sintomatología estival de la enfermedad muy característica en frambueso. El largo de la hilera que no supere los 100 m, ello facilitará la logística al momento de cosecha.

La optimización de los componentes del rendimiento parte desde la decisión de la densidad de plantación, la variabilidad puede ir desde un número de plantas de 6.667 si se dejan 2 plantas por metro lineal a 11.111 por hectárea si la decisión es dejar 3 plantas por metro lineal. El número de plantas por metro lineal no debe excederse en el sentido de dar suficiente espacio para la expresión de los laterales frutales que tendrán la tarea de producir y sostener la producción.

3.4. Época de plantación

Es recomendable realizar la plantación del frambueso en primavera, de preferencia a partir del mes de octubre siempre que sea directamente en el suelo y al aire libre. Sin embargo, bajo los nuevos sistemas productivos en los cuales se utiliza mayor tecnología como son cubiertas protectoras y/o contenedores, es posible realizar la plantación durante el periodo invernal incluso en otoño si se cuenta con el material en óptimo desarrollo vegetativo para su trasplante. Lo importante es contar con la disponibilidad de agua para suministrar la hidratación inicial al sustrato o al suelo y, una planta de calidad tal como se describe en el próximo punto para garantizar el buen prendimiento en el establecimiento en el lugar definitivo.

3.5. Calidad de plantas para un buen resultado en plantación

Para garantizar el buen arraigamiento y óptimo prendimiento de las plantas al momento del establecimiento en el sitio definitivo, éstas no deben exceder los 20 cm de altura, con 5 a 6 hojas desplegadas a nivel aéreo considerando plantas de crecimiento equilibrado entre la parte aérea y las raíces. Dichas plantas deben ser idealmente obtenidas desde brotes etiolados o de producción *in vitro* desde viveros debidamente certificados. Nunca se debe sacar material vegetal del huerto comercial para nuevas plantaciones, esta acción promoverá la aparición de enfermedades disminuyendo la vida productiva del frambuesal; ni tampoco establezca las cañas enraizadas que resultan ser material de desecho de la poda invernal, y es material envejecido y probablemente contaminado con patógenos indeseados en el cultivo.

Una vez establecidas las nuevas plantas en campo o en contenedores como son macetas de un volumen no inferior a los 25 L, el riego no se debe descuidar requiriendo ser distribuido en turnos frecuentes con volúmenes de bajo caudal, verificando que no genere asfixia radicular ni que el bulbo de mojamiento esté fuera de la zona de raíces de la planta establecida.

Las plantas se desplegarán alcanzando alturas entre los 70 a 80 cm, momento en el que se debe dividir visualmente el brote en tres partes iguales, y sólo realizar un corte de poda que permita eliminar las dos terceras partes superior del mismo; por ejemplo, si el brote alcanza una altura 90 cm en el mes de diciembre, deberá realizar un corte a los 30 cm contabilizándolos desde el suelo, eliminando 60 cm de la porción vegetativa aérea superior. Esta labor evita que las yemas que dan origen a laterales frutales se desarrollen y no permitan la acumulación de reservas en la corona, estructura subterránea perenne, que favorecerá la emisión de retoños. Esta acción se recomienda sólo para el primer año, en el establecimiento, ya que ello permitirá una mayor longevidad del huerto.

Se recomienda que una vez realizada la plantación revisar el nivel de prendimiento de las plantas establecidas y proceda al respectivo reemplazo de las mismas en el caso de aquellas que no lograron sobrevivir al trasplante. Esta medida correctiva le permitirá optimizar el espacio predial y reemplazar oportunamente el material vegetal con problemas de arraigamiento o con escaso vigor vegetativo.

3.6. Sistema de conducción

La distancia de plantación debe ser complementada con un buen sistema de conducción, esto implica definir la mejor distribución del seto en consideración al hábito de crecimiento vegetativo de la planta del frambueso y distribución de la floración a lo largo del brote del año llamado "retoño", y del brote lignificado conocido como "caña", características que están definidas en el genoma el cual difiere según la variedad. La segunda referencia a tener en cuenta es la densidad de plantación, es decir, la distancia entre las hileras y sobre el camellón.

El momento de la instalación del sistema de conducción dependerá del hábito de crecimiento de la variedad, en aquellas con hábito vertical erguido y producción de fruta en el tercio superior

de la caña o del brote se puede implementar el sistema de conducción en el segundo año de la plantación, en cambio variedades con hábito de fructificación a lo largo de todo el brote, altamente productivas o que tienden a ser decumbentes, con tallos que se doblan fácilmente, requieren el soporte y guía a partir del primer año, si la decisión es obtener cosecha del retoño en el año mismo del establecimiento.

Los sistemas de conducción tradicionalmente usados corresponden a simple y doble cruceta. Otros menos usados, que resultan ser interesantes por sus buenos resultados, son en "H" de dos secciones y lira. En sistemas altamente intensivos se usa la conducción en "H" con 3 o 4 secciones lo que facilita la cosecha. La espaldera también se usa, con algunas restricciones, dada la limitante de acceso lumínico y baja ventilación al interior del seto.

Al ser una inversión post plantación, en algunos casos, resulta no ser de relevancia para el agricultor, siendo la decisión en base a definiciones del ámbito económico, eligiendo aquel sistema de menor costo y no aquel que le otorgue mayor beneficio. Las distintas opciones de conducción se describen adelante.

3.6.1. Cruceta simple

Este sistema también denominado en " T " es comúnmente utilizado cuando el hábito de crecimiento de la planta es vertical y la floración se concentra en el tercio superior. Consiste en la instalación de postes, metálicos o de madera, distribuidos desde la cabecera cada 7 m cuando el vigor de las plantas es medio y, a menor distancia (5 m) cuando el vigor es alto, enterrados a una profundidad mínima de 0,5 m procurando que el anclaje de los tirantes se ubique en la zona interna de la hilera. La altura efectiva del poste no debe ser inferior a 1,5 m en la cual se instala un travesaño de 0,6 o 0,8 m de ancho a 1,3 m de altura (Figura 3.1.). En cada extremo de este se ubica un alambre tensado que permita sostener el peso de la fruta, el cual debe ser revisado cada temporada dado a que irá perdiendo tensión de tal manera que no cumplirá el objetivo de soporte.

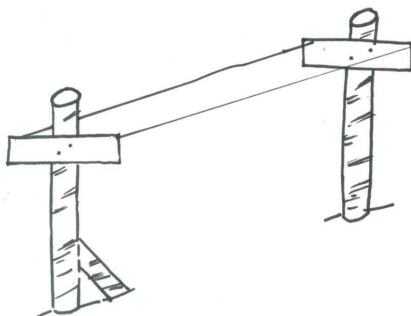


Figura 3.1. Sistema de conducción en cruceta simple. Gentileza F. Ramirez, 2020.

3.6.2. Cruceta doble

Este sistema de conducción del seto sigue el mismo criterio al de cruceta simple, sin embargo, brinda mejor soporte. Para implementarlo se requiere instalar, igualmente, postes metálicos o de madera. La diferencia se traduce en el uso de líneas de alambre usando dos travesaños, el primero ubicado a 0,6 m desde el suelo de un ancho de 0,4 m y el segundo de 0,6 m de ancho ubicado a 1,3 m desde el suelo (Figura 3.2.). Se fijan los alambres a los travesaños usando grampas o bien a través de una apertura en el mismo soporte que permita guiar el alambre tensado. Importante considerar los mismos aspectos de instalación de los postes respecto a las distancias y profundidad de instalación que en el caso de la cruceta simple.

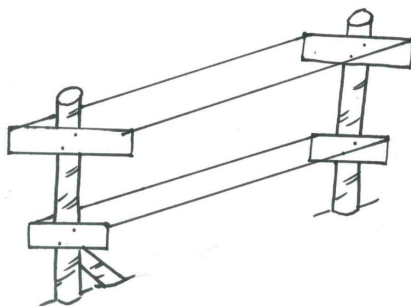


Figura 3.2. Sistema de conducción en cruceta doble. Gentileza F. Ramirez, 2020.

3.6.3. Cruceta en tres o más secciones

El principio es el mismo que en cruceta simple y doble, la diferencia se enmarca en el establecimiento de más travesaños del mismo ancho a lo largo del poste, partiendo desde los 0,6 m con una separación vertical de 0,4 m entre cada uno, permitiendo organizar el seto de manera de contar con pisos productivos (Figura 3.3.).

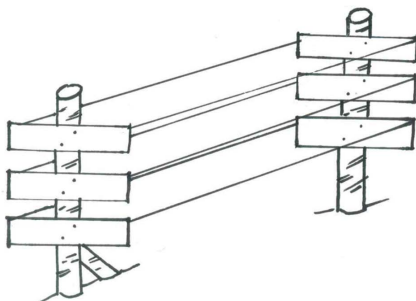


Figura 3.3. Sistema de conducción en cruceta con tres o más secciones. Gentileza F. Ramirez, 2020.

3.6.4. Sistema en forma de "H" simple

Consiste en la instalación de dos postes, uno a cada lado del camellón a una distancia de 0,8 m con un travesaño a 1 m, a una profundidad de 0,6 m y de 1,5 m de altura (Figura 3.4). Dado a que requiere dos hileras paralelas de postes, el costo se duplica, por lo que no es muy promovido ni utilizado en los frambuesales.

La principal ventaja es que favorece la ventilación del seto continuo y un mayor ingreso de la luz al interior de la planta, permitiendo obtener fruta de mejor calidad respecto a sabor y color. Se recomienda cuando la densidad de plantación es baja (6.500 plantas/ha), plantas con producción de fruta a lo largo del todo el brote y usan sistemas de mulch sobre la hilera.

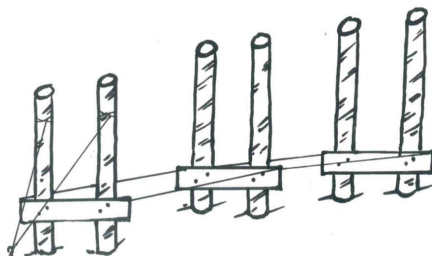


Figura 3.4. Sistema de conducción en forma de "H" simple. Gentileza F. Ramirez, 2020.

3.6.5. Sistema en "H" con dos o más secciones

Igual que el sistema "H" que incluye un mayor número de travesaños, permitiendo organizar el cultivo a través de secciones o "pisos" con una muy buena resistencia al peso del follaje y frutos (Figura 3.5). El inconveniente es que, al tener dos hileras de postes, se incrementa al doble el costo de implementación, sin embargo, favorece la ventilación e ingreso de la luz al interior de la planta y da excelente soporte en aquellas variedades que presentan hábito de crecimiento decumbente. Se usa en sistemas intensivos bajo cubierta como macrotúnel.

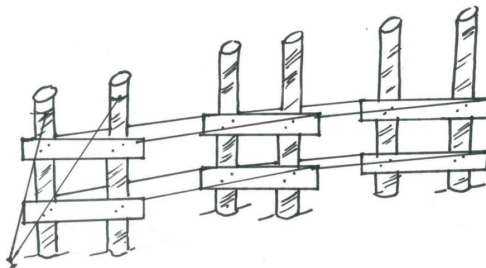


Figura 3.5. Sistema de conducción en forma de "H" con más de dos secciones. Gentileza F. Ramirez, 2020.

3.6.6. Sistema en lira

Conocido también como conducción en "V". Consiste en definir dos paredes de follaje ubicadas de manera paralela, que parten en un punto en común desde la base para luego separarse en la zona apical a una distancia de 1 m, con ubicación oblicua.

El alambre, inicialmente, se puede instalar en la parte inferior a 0,6 m y luego, a medida que crece la planta se ajusta a 0,9 m y finalmente a 1,3 m debidamente tensados que le permita sostener el peso del brote o caña con sus respectivos ramilletes florales (Figura 3.6.). Este sistema es mucho más resistente que el sistema de cruceta, sin embargo, el alto costo evita que se use masivamente. Existen casos en que los alambres no van fijos, sino que se amarran de acuerdo a la altura según va creciendo la planta.

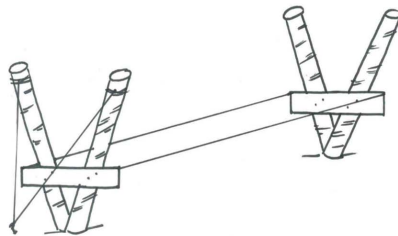


Figura 3.6. Sistema de conducción en forma de "V" o lira. Gentileza F. Ramirez, 2020.

3.6.7. Espaldera

Utilizada en variedades de hábito de crecimiento rastrero. Se utilizan dos líneas de alambres del ancho del poste central, una línea de alambre a 0,6 m desde el suelo y la segunda a una altura de 1,3 m (Figura 3.7.). Se forma una especie de muro de follaje de crecimiento ascendente guiado con sistemas de amarras. Los alambres también pueden ser móviles, es decir, su sistema de enganche puede ajustarse según altura de la planta. En algunos casos, es posible usar doble espaldera, estableciendo dos muros paralelos en la misma hilera separados por 0,8 m entre ellos (Figura 3.8.).

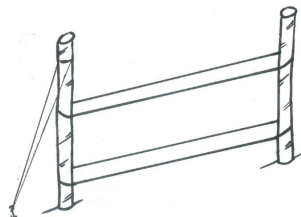


Figura 3.7. Sistema de conducción en espaldera simple. Gentileza F. Ramirez, 2020.

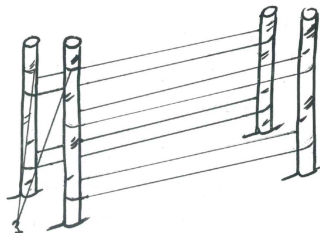


Figura 3.8. Sistema de conducción en espaldera doble. Gentileza F. Ramirez, 2020.

Literatura consultada

- Morales A., C. (Ed), 2017. Manual de manejo agronómico del frambueso. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA e Instituto de Desarrollo Agropecuario. Boletín INIA N°372. 114 p.
- Morales, C., Pino, M.T. y del Pozo, A. 2013. Phenological and physiological responses to drought stress and subsequent rehydration cycles in two raspberry cultivars. *Scientia Horticulturae* 162 (2013) 234-241 <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2013.07.025>
- Sudzuki, F. 1993. Proyecto "Frutales menores: nuevas alternativas de cultivo". Informe Final Registro N°27/85 Convenio FIA Universidad de Chile. Santiago, Chile. 269 pág.





Capítulo 4

Metodología para determinar la velocidad de infiltración en suelos al establecimiento

Capítulo 4

Metodología para determinar la velocidad de infiltración en suelos al establecimiento

Abelardo Villavicencio P.
avillavi@inia.cl

Al momento de establecer un huerto frutal es de alta relevancia la consideración de diversos factores que influyen directamente en el éxito de la plantación. Uno de estos aspectos es el diseño del sistema de riego más adecuado a la especie, para lo cual se debe contar con información técnica en lo posible, tomada desde el campo mismo donde se establecerá la plantación. En efecto, existe un gran número de variables a considerar para un correcto diseño de un sistema de riego, en este capítulo se abordará la dinámica del movimiento del agua en el suelo, para lo cual es importante conocer la velocidad con que el agua avanza dentro del perfil, aspecto que en ingeniería del riego se denomina velocidad de infiltración. Este parámetro aporta información valiosa tanto para el diseño de sistemas, como su posterior manejo, ya que provee de información necesaria para calcular la velocidad de aplicación o precipitación de agua por el equipo, así como también para definir tiempos de riego que eviten pérdidas de agua por escorrentía superficial y/o percolación.

La infiltración es una propiedad hidrodinámica, que considera el movimiento vertical del agua en el suelo, estrechamente relacionada con los procesos de capilaridad y de las fuerzas asociadas con la adhesión y la cohesión de las partículas del suelo (Orjuela-Matta, 2010).

Dado el escenario actual, cada vez más restrictivo en la disponibilidad de recursos hídricos, se hace necesario implementar pruebas de infiltración que tienen como objetivo generar información necesaria para interpretar la dinámica del movimiento de agua en el suelo y para el diseño y manejo de sistemas de riego localizado, definiendo velocidad de infiltración, infiltración básica e infiltración acumulada, para ello se requiere realizar pruebas de campo, que permitan determinar los coeficientes de ajuste empíricos para un modelo en particular. La disponibilidad de esta información, permite mejorar el grado de precisión en el diseño y manejo de sistemas de riego localizado y contribuye a mejorar la eficiencia en el uso de los recursos hídricos intraprediales.

4.1. Fundamento teórico

Se denomina infiltración al paso del agua al suelo, a través de su superficie, antes de alcanzar las condiciones de saturación. Se pueden identificar dos fuerzas que actúan en el proceso, en su comienzo dominan fuerzas de succión del suelo que dependen de su contenido de humedad y la fuerza de gravedad que actúa progresivamente con el transcurrir del tiempo. Esto explica que al comienzo del proceso de infiltración su valor es alto, pero con una marcada tendencia a decrecer en función del tiempo, hasta hacerse casi constante, por esto en suelos secos el agua presenta una velocidad de infiltración mayor que en un suelo húmedo. Conforme avanza el proceso, el gradiente de succión en la parte alta del perfil decrece hasta llegar a ser

despreciable, con lo cual la gravedad es la única fuerza que permite el movimiento de agua en la parte más superficial del perfil. Cuando el gradiente llega a ser la unidad (potencial mátrico = 0) la infiltración tiende a ser constante e igualar a la conductividad hidráulica vertical (k) que es el factor limitante del proceso. Por lo tanto, el valor de infiltración depende no solamente del contenido de humedad sino del valor de k. (Negro, 1998).

Factores que afectan el proceso de infiltración:

1. Sellamiento superficial por pérdida de estructura del suelo.
2. Compactación del suelo: por labores de preparación de suelo (pie de arado), tránsito de maquinaria con suelo húmedo.
3. Partículas o grietas del suelo: suelos de textura fina tienden a formar grietas en estado seco, al humedecerse las partículas aumentan de volumen y sellan estas grietas disminuyendo significativamente la velocidad de infiltración.
4. Materia orgánica y rotación de cultivos: estos factores influyen positivamente en la porosidad del suelo, por lo que mantienen o mejoran su velocidad de infiltración.
5. Sales del suelo y del agua: su acumulación en el perfil dificulta el movimiento del agua.
6. Sedimentos en el agua de riego: partículas de limo y arcilla en suspensión producen encostramiento del suelo.
7. Perfil del suelo: presencia de estratas con diferente grado de permeabilidad, presencia de arenas o arcillas en el perfil (Gurovich, 1985).

4.2. Modelos matemáticos para caracterizar el proceso de infiltración

Existe gran cantidad de modelos que buscan representar el proceso de infiltración en un suelo, a través de formulaciones matemáticas usando algunos supuestos y simplificaciones, entre los que se puede mencionar a Horton (1933, 1939), Green y Ampt (1911), Kostiakov (1932). Entre las fórmulas propuestas por estos investigadores, se destaca el modelo de Kostiakov, expresión empírica que predice bastante bien el proceso de infiltración en un horizonte de tiempo acotado (Benítez *et al*, 2017), (Pérez, 2008).

4.2.1. Velocidad de infiltración (I)

Al disponer de datos de campo, es posible ajustar los valores al modelo de Kostiakov que define la ecuación de velocidad de infiltración (I) como:

$$I = k * t^n \quad (1)$$

donde

I = velocidad de infiltración, en cm/h. k = factor numérico adimensional, representa la velocidad de infiltración en cm/h durante el intervalo inicial, se obtiene analítica o gráficamente y es el parámetro del ajuste de los datos de campo al modelo. n: exponente que varía entre 0 y -1. Representa la tasa de cambio de la variable dependiente (I) respecto de la variable independiente (t), explicando la disminución de la I con el t. Cuando se grafican los datos de campo y se ajustan al modelo, es la pendiente de la curva de ajuste. t = tiempo de infiltración, en minutos.

Esta expresión no debe usarse en intervalos de tiempo mayores a 24 horas, (cosa que no ocurre en manejo del riego), ya que se invalida al llegar a condiciones de saturación, debido a su carácter netamente empírico. (Negro, 1998). Aun cuando esta fórmula no tiene un fundamento físico, ni es dimensionalmente homogénea, se ajusta y representa adecuadamente el fenómeno de infiltración, dentro de los límites agronómicos, (Fernández, 1971 citado por Pérez 2008).

4.2.2. Infiltración acumulada (Iac)

La ecuación de infiltración acumulada (Iac), se obtiene integrando I entre los límites de tiempo $t = 0$ y $t = t$

$$Iac = \int_0^t I \, dt = \int_0^t k * t^n$$

$$Iac = \frac{k}{(n + 1)} * t^{(n+1)}$$

Considerando que I está definida en cm/h, y t en minutos, hay que introducir un factor de corrección (60), en el cociente de la expresión de Iac:

$$Iac = \frac{k}{(n + 1) * 60} * t^{(n+1)} \quad (2)$$

Con lo que la ecuación de lámina infiltrada o infiltración acumulada queda de la siguiente forma:

$$Iac = k * t^N \quad (3)$$

donde

Iac = infiltración acumulada, en cm .

K = factor parámetro de la ecuación, surge de la integración, calculado como $K = k / 60 (n+1)$, da una idea sobre el contenido de humedad al inicio del proceso;

N = exponente parámetro, calculado en la integración como $N = n + 1$, representa la tasa de cambio de la variable dependiente Iac respecto del t, explica el crecimiento de Iac con el tiempo, a medida que continúa el proceso de infiltración. Este parámetro da una idea sobre el ritmo decreciente de la infiltración en el tiempo, generalmente su valor está entre 0 y 1.

t = tiempo de oportunidad o tiempo de contacto del agua con el suelo (min).

Esta expresión permite estimar el tiempo requerido para que se infiltre una determinada dosis (lámina) de riego en el perfil de suelo.

4.2.3. Infiltración promedio (I_p)

La velocidad de infiltración promedio I_p se determina calculando la media de velocidades de infiltración ocurridas en un intervalo de tiempo dado. Si se desea la I_p de todo el período en que ocurrió el proceso de infiltración, podrá calcularse haciendo el cociente entre la lámina total infiltrada y el tiempo total en que se acumuló la infiltración.

$$I_p \left(\frac{cm}{h} \right) = \frac{lac_{(cm)}}{t_{(h)}} \quad (4)$$

O también, puede calcularse reemplazando (3) en (4), generando la ecuación (5).

$$I_p \left(\frac{cm}{h} \right) = \frac{lac}{t} = \frac{K * t^N}{t} = K * t^{N-1} = K * t^n \quad (5)$$

4.2.4. Infiltración básica

De las expresiones anteriores es posible obtener un parámetro de alta relevancia para el diseño y manejo del riego, como es la velocidad de infiltración básica, que se define como el valor instantáneo de la velocidad de infiltración cuando la tasa de cambio, para un período estándar, es el 10 % o menos de la velocidad de infiltración. Se considera alcanzada la infiltración básica cuando la velocidad de infiltración se hace constante respecto del tiempo (Orjuela-Matta *et al*, 2010).

Para calcular el tiempo en el cual $I = I_b$, se debe obtener la primera derivada de la ecuación de I y esta se iguala a $-0.1 * I$. Entonces,

$$\begin{aligned} \frac{di}{dt} &= -0.1 * I \\ \frac{di}{dt} &= -0.1 * k * t^n \\ n * k * t^{n-1} &= -0.1 * k * t^n \\ t_b &= -10 * n \end{aligned} \quad (6)$$

donde: t_b = tiempo en que ocurre la I_b , en minutos.

Cuando I está dado en cm/h, entonces:

$$t_{b (min)} = -600 * n \quad (7)$$

$$\text{por lo que } I_b = k * (-600 * n)^n \quad (8)$$

I_b = velocidad de infiltración básica, en cm/h.

4.3. Caracterización del área de estudio

El presente estudio fue realizado en dependencias de INIA Raihuén, comuna de Villa Alegre, en un suelo de la serie Perquin, delgado con profundidad ente 25 a 50 cm, plano con pendiente cercana a 1%, sin erosión, de clase IV con limitantes de drenaje y humedad en el perfil.

4.3.1. Toma de datos

Para realizar las pruebas, los elementos usados fueron: dos cilindros metálicos, uno de 30 y otro de 50 cm de diámetro y 33 cm de altura, combo, regla de al menos 30 cm, 2 bidones o baldes de agua de 20 litros, bolsa plástica, cinta adhesiva, reloj. Los anillos se insertaron en el suelo entre 5 y 7 centímetros de profundidad, ambos se inundaron con la misma altura de agua para disminuir los efectos de frontera en el anillo interior y se midió en tiempos sucesivos, la tasa de descenso del agua en el cilindro interior (Benítez *et al*, 2017).

El tiempo de duración de la prueba se definió en función de la variación del valor de infiltración instantánea, cuando la diferencia entre dos mediciones sucesivas indicó una variación de menos del 10%, se dio por finalizada la prueba, lo que arrojó tiempos de observación superiores a 2,5 horas. La prueba de campo se realizó en época estival (enero) sobre suelo seco. El procedimiento para la operación en campo fue el siguiente:

1. Selección de lugar representativo del terreno. Se limpió y despejó el sitio sin disturbar el suelo, sacando hojas, pasto u otros elementos que impidieran el flujo normal del agua.
2. Emplazamiento de cilindros enterrados entre 7 a 10 cm de la forma más vertical posible. Para esto se ubicó una tabla sobre el cilindro y luego se martilló en forma pareja por todo su borde.
3. Ubicación de la regla verticalmente en el anillo interior para medir el nivel del agua y fijar con cinta adhesiva la regla al cilindro.
4. Cubrir el interior del cilindro con una bolsa de plástico, para amortiguar la caída de agua y no alterar el fondo del suelo. Vaciar los bidones o baldes con el agua que normalmente se usa para riego, hasta que el nivel del agua quede entre 15 a 20 cm.
5. Registro inmediato de tiempo y nivel de agua. Al principio, los intervalos de tiempo entre dos mediciones son más frecuentes (uno o dos minutos), luego es posible distanciar este intervalo en función de la tasa de descenso observada en el cilindro.

6. Continuar registrando hasta que la tasa de descenso se haya estabilizado y la variación entre dos medias sucesivas sea inferior a 10%.
7. Las lecturas se registraron según la planilla adjunta, y se calcularon láminas parciales infiltradas, lámina acumulada, tiempo parcial y acumulado, así como también los valores de relleno al valor constante de lámina. (Cox, 2006).

Cuadro 4.1. Indicadores de toma de datos en prueba de infiltración de agua en perfil de suelo.

Hora	Lectura (cm)	Relleno (cm)	Lámina parcial (cm)	Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (min)	Velocidad de Infiltración (cm/h)	Lámina infiltrada Acumulada (cm)
------	--------------	--------------	---------------------	----------------------	------------------------	----------------------------------	----------------------------------



Foto 4.1. Cilindro infiltrómetro de doble anillo.

4.3.2. Ajuste de los datos

Luego de aplicada la metodología de cilindro infiltrómetro, explicada anteriormente, se obtuvieron los siguientes datos, Cuadro 4.2.

Cuadro 4.2. Registro de datos de campo.

Hora	Lectura (cm)	Relleno (cm)	Lámina parcial (cm)	Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (min)	Infiltración instantánea (cm/min)	Velocidad de infiltración (cm/h)	Lámina infiltrada Acumulada (cm)
	16,5							
11:09:00	12,0		4,5	2,0	2,0	2,3	135,0	4,5
11:10:00	10,0		2,0	1,0	3,0	2,0	120,0	6,5
11:11:00	9,0	21,5	1,0	1,0	4,0	1,0	60,0	7,5
11:13:00	20,0		1,5	1,0	5,0	1,5	90,0	9,0
11:16:00	16,5		3,5	3,0	8,0	1,2	70,0	12,5
11:18:00	14,5		2,0	2,0	10,0	1,0	60,0	14,5
11:22:00	12,5		2,0	4,0	14,0	0,5	30,0	16,5
11:24:00	11,5	25,0	1,0	2,0	16,0	0,5	30,0	17,5
11:28:00	22,0		3,0	4,0	20,0	0,8	45,0	20,5
11:36:00	17,0		5,0	8,0	28,0	0,6	37,5	25,5
11:51:00	12,0		5,0	15,0	43,0	0,3	20,0	30,5
11:58:00	10,0		2,0	7,0	50,0	0,3	17,1	32,5
12:00:00	9,0	23,2	1,0	2,0	52,0	0,5	30,0	33,5
12:24:00	16,0		7,2	24,0	76,0	0,3	18,0	40,7
12:34:00	14,0		2,0	10,0	86,0	0,2	12,0	42,7
12:46:00	11,5	22,0	2,5	12,0	98,0	0,2	12,5	45,2
13:00:00	19,0		3,0	14,0	112,0	0,2	12,9	48,2
13:08:00	17,0		2,0	8,0	120,0	0,3	15,0	50,2
13:13:00	16,0		1,0	5,0	125,0	0,2	12,0	51,2
13:27:00	14,5		1,5	14,0	139,0	0,1	6,4	52,7
13:31:00	14,0	21,0	0,5	4,0	143,0	0,1	7,5	53,2
13:57:00	16,0		5,0	26,0	169,0	0,2	11,5	58,2

A partir de la información obtenida en campo, y mediante ajuste por mínimos cuadrados en planilla Excel, se graficaron los datos usando un modelo de tendencia exponencial, (función "Agregar línea de tendencia") con lo que se obtuvieron los parámetros empíricos del modelo de Kostiakov para las ecuaciones de velocidad de infiltración instantánea y de Infiltración acumulada, así como también sus respectivos coeficientes de determinación, el procedimiento se detalla a continuación.

Una vez transcritos los datos de campo a una planilla Excel, se selecciona columna "Tiempo acumulado" como variable independiente y luego la columna "Velocidad de infiltración" como variable dependiente, esto es, los valores de x en la primera y los valores de y en la segunda columna, a continuación, seleccionamos todas las celdas, este será el aspecto de la hoja.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
		Hora	Lectura (cm)	Relleno (cm)	Lámina parcial (cm)	Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (min)	Infiltración instantánea (cm/min)	Velocidad de infiltración (cm/h)	Lámina infiltrada Acumulada (cm)
2										
3		11:07:00	16,5							
4		11:09:00	12,0		4,5	2,0	2,0	2,3	135,0	4,5
5		11:10:00	10,0		2,0	1,0	3,0	2,0	120,0	6,5
6		11:11:00	9,0	21,5	1,0	1,0	4,0	1,0	60,0	7,5
7		11:13:00	20,0		1,5	1,0	5,0	1,5	90,0	9,0
8		11:16:00	16,5		3,5	3,0	8,0	1,2	70,0	12,5
9		11:18:00	14,5		2,0	2,0	10,0	1,0	60,0	14,5
10		11:22:00	12,5		2,0	4,0	14,0	0,5	30,0	16,5
11		11:24:00	11,5	25,0	1,0	2,0	16,0	0,5	30,0	17,5
12		11:28:00	22,0		3,0	4,0	20,0	0,8	45,0	20,5
13		11:36:00	17,0		5,0	8,0	28,0	0,6	37,5	25,5
14		11:51:00	12,0		5,0	15,0	43,0	0,3	20,0	30,5
15		11:58:00	10,0		2,0	7,0	50,0	0,3	17,1	32,5
16		12:00:00	9,0	23,2	1,0	2,0	52,0	0,5	30,0	33,5
17		12:24:00	16,0		7,2	24,0	76,0	0,3	18,0	40,7
18		12:34:00	14,0		2,0	10,0	86,0	0,2	12,0	42,7
19		12:46:00	11,5	22,0	2,5	12,0	98,0	0,2	12,5	45,2
20		13:00:00	19,0		3,0	14,0	112,0	0,2	12,9	48,2
21		13:08:00	17,0		2,0	8,0	120,0	0,3	15,0	50,2
22		13:13:00	16,0		1,0	5,0	125,0	0,2	12,0	51,2
23		13:27:00	14,5		1,5	14,0	139,0	0,1	6,4	52,7
24		13:31:00	14,0	21,0	0,5	4,0	143,0	0,1	7,5	53,2
25		13:57	16,0	20,0	5,0	26,0	169,0	0,2	11,5	58,2

Figura 4.1. Selección de variable dependiente e independiente.

Luego en "Insertar" se va a la sección "Gráfico" del menú de barra y se selecciona la opción "Dispersión".

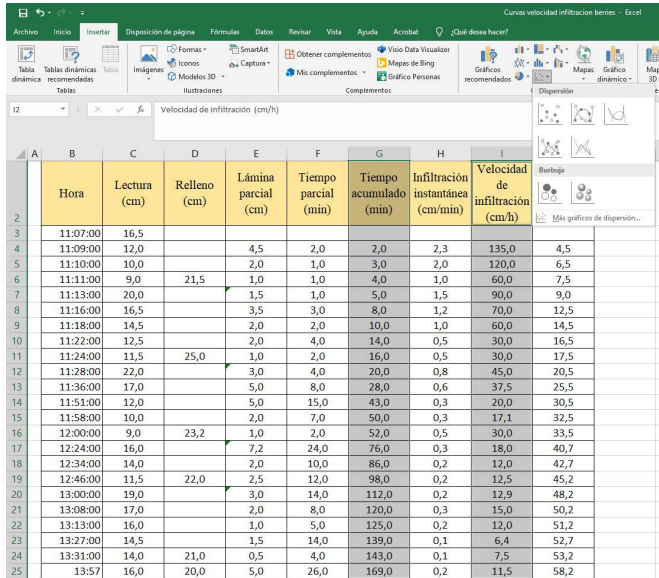


Figura 4.2. Selección de gráfico nube de dispersión.

Haciendo click en el gráfico se abren diferentes opciones de formato. También es posible asignar nombre a los ejes.

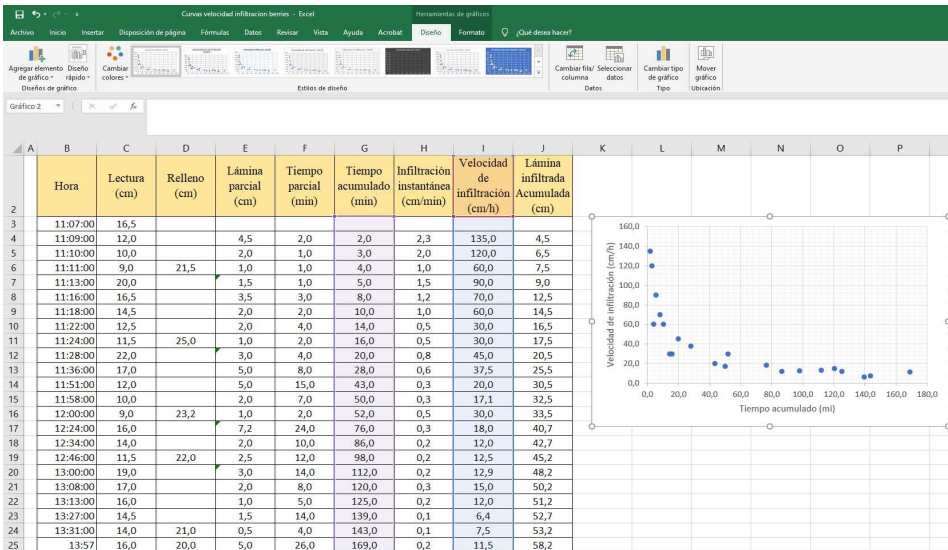


Figura 4.3. Opciones de formato de gráfico.

Pinchando un punto de la curva con el botón derecho se despliega menú y se selecciona "Agregar línea de tendencia".

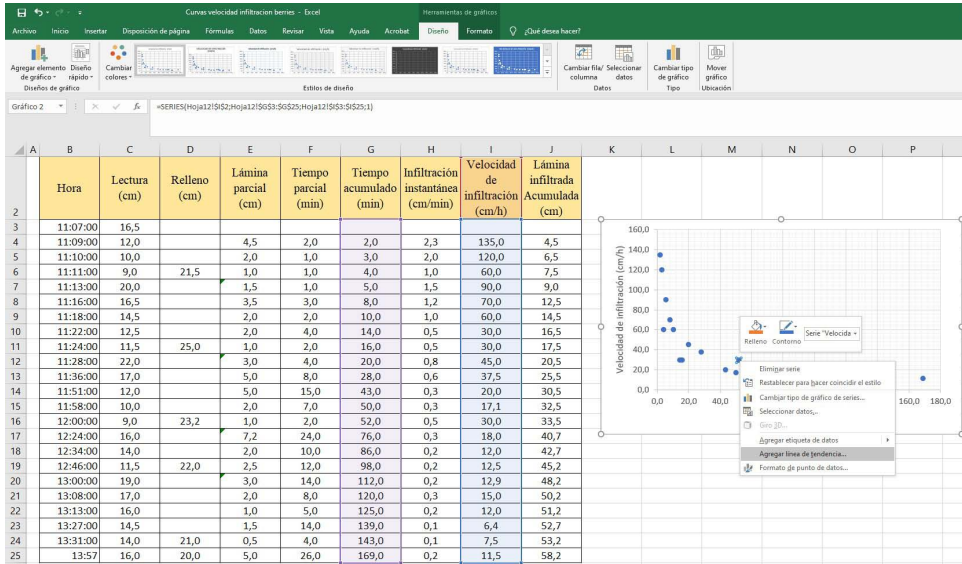


Figura 4.4. Construcción de línea de tendencia en nube de dispersión.

Del cuadro de diálogo, se selecciona “Potencial” y se marcan las casillas de “Presentar ecuación en el grafico” y “Presentar R² en el gráfico” con lo que se termina el proceso de ajuste por mínimos cuadrados en Excel.

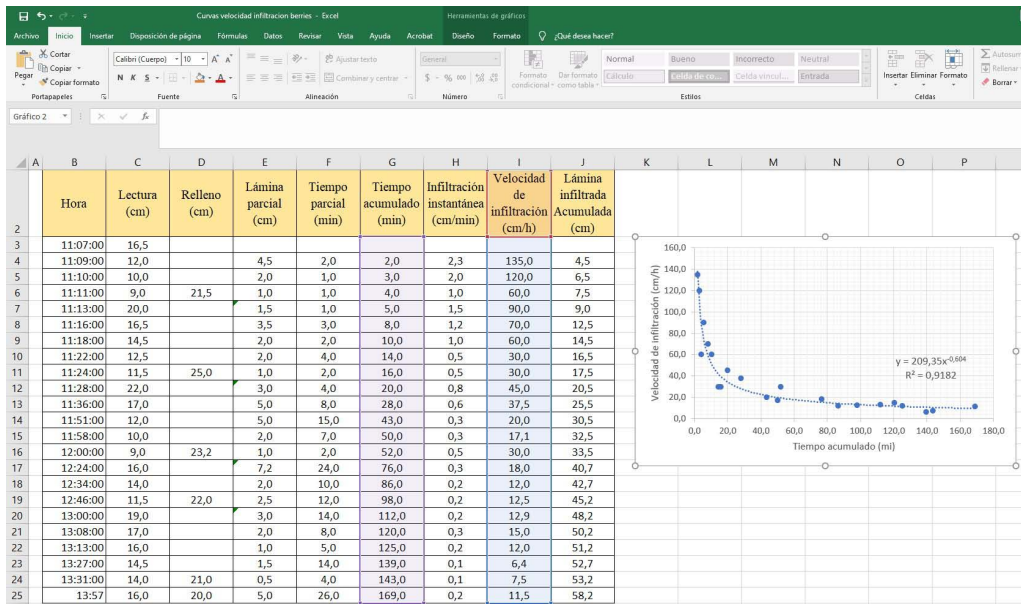


Figura 4.5. Determinación de ecuación y juste de mínimos cuadrados.

4.4. Análisis de datos de campo

4.4.1. Velocidad de infiltración

La Figura 4.6. muestra la velocidad de infiltración (cm/h) de comportamiento típicamente decreciente en el tiempo.

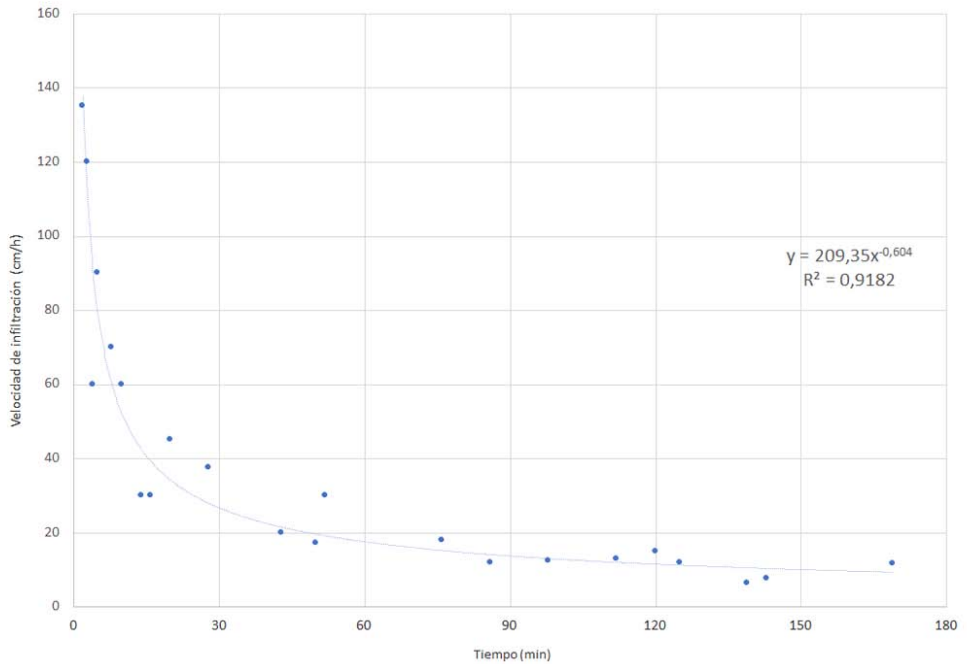


Figura 4.6. Velocidad de infiltración (cm/h).

La ecuación que representa este proceso de infiltración es

$$I_{ac} = 209,35 * t^{-0,604}, \text{ con un } R^2 \text{ de } 0.9182$$

4.4.2. Infiltración acumulada (cm)

La Figura 4.7. muestra la curva de infiltración acumulada (cm).

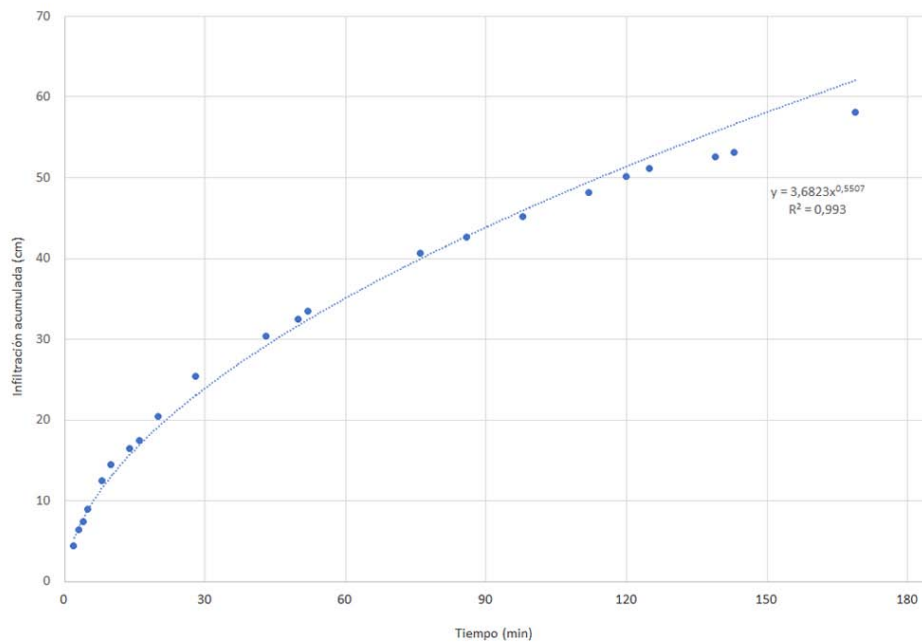


Figura 4.7. Infiltración acumulada (cm).

La ecuación que representa el proceso de infiltración acumulada es

$$I_{ac} = 3,6823 * t^{0,5507}, \text{ con un } R^2 \text{ de } 0,993$$

De las dos figuras anteriores se desprende lo siguiente:

a) La velocidad de infiltración es decreciente en el tiempo, llegando a una velocidad constante (velocidad de infiltración básica). Para el ejemplo esta velocidad se alcanza a partir de los 140 minutos de infiltración (riego), aproximadamente.

b) La infiltración acumulada es la altura de agua que ha entrado al perfil del suelo en un tiempo determinado. La importancia de conocer cuál es la velocidad de infiltración, para un momento determinado, es que nos indicará cual es la máxima velocidad con la cual se aplique una carga de agua al suelo, impidiendo el escurrimiento superficial. Si en un riego, la altura de agua que se tiene que aplicar es de 15 cm, aplicando la expresión 9, y usando los coeficientes incluidos en la Figura 4.7. se tiene:

$$t_{min} \left(\frac{I_{ac}}{K} \right)^{1/N} \quad (9)$$

Reemplazando:

$$t_{min} = (15/3,6823)^{1/0,5507}$$
$$t_{min} \approx 13 \text{ mi}$$

Lo anterior indicaría que en el tiempo de 13 minutos se infiltraría al suelo una columna de 15 cm de agua. En otras palabras, estos 13 minutos corresponderían al tiempo de riego, ya que sería el tiempo que debiera estar regándose el cultivo para que se aplicara la carga de riego que es requerida. Debido a la heterogeneidad de los suelos, habría que hacer varias mediciones de infiltración y sacar un promedio. En caso que los suelos tengan valores de infiltración significativamente distintos, se recomienda definir sectores de riego distintos.

4.4.3. Infiltración básica

En la Figura 4.7. se observa que la velocidad de infiltración (I) tiende a hacerse constante en el tiempo. Esa velocidad se denomina "Infiltración básica" (I_b). Este dato es importante para diseño y manejo de algunos métodos de riego, como goteo, microaspersión o aspersión.

Para determinar el tiempo (t_b) al que ocurre la I_b y considerando que I está expresada en cm/h, se tiene:

$$t_b = -600 * n$$

$$t_b = -600 * -0.604 = 362 \text{ min}$$

Para obtener la infiltración básica se reemplaza t_b en la ecuación de I :

$$I_b = k * (-600 * n)^n$$

$$I_b = 209.35 * (362)^{-0.604}$$

$$I_b = 5.9 \text{ cm/h}$$

4.4.4. Infiltración promedio

Si se desea estimar la velocidad de infiltración promedio al cabo de 169 minutos, se realiza el cociente entre la lámina total infiltrada y su tiempo, con los datos se tiene:

$$I_{ac} = 3,6823 * t^{0.5507}$$

$$I_{ac} = 3,6823 * 169^{0.5507} = 62 \text{ cm}$$

$$I_p \text{ (cm/h)} = 62 / 2.82 \text{ h} = 22 \text{ cm/h}$$

O también, se puede calcular con la ecuación (5) para un tiempo de 169 minutos:

$$Ip \left(\frac{cm}{h} \right) = \frac{lac}{t} = \frac{K * t^N}{t} = K * t^{N-1} = K * t^n \quad (5)$$

$$Ip \left(\frac{cm}{h} \right) = 3,6823 * 169^{0,5507-1}$$

$$Ip (cm/h) = 0.36739 (cm/mi) * 60 mi/h = 22 cm/h$$

4.5. Conclusiones

El conocimiento de la teoría, los cálculos y la determinación de velocidad de infiltración tiene gran importancia al momento de diseñar sistemas de riego (aspersión, goteo, tendido, bordes). Un criterio de diseño en riego localizado, es que la precipitación del sistema no debe superar la velocidad de infiltración básica del suelo, para evitar acumulaciones de agua en superficie y pérdidas de agua por escorrentía, con efectos negativos como disminución de la eficiencia en el uso del agua o incremento en el riesgo de erosión.

Por otra parte, la expresión para infiltración acumulada permite estimar el tiempo que demora una lámina de agua en alcanzar una determinada profundidad de raíces en el perfil de suelo, lo que permite manejar de forma más eficiente los tiempos de riego que se den al cultivo, con el consiguiente ahorro de agua y energía en cada evento de riego.

Literatura consultada

- Benítez, W.; O. Castillo y P. Montaña. 2017. Comportamiento de la infiltración del agua en los suelos de Yesera Centro, en función al tiempo base. *Agrociencias* 2(4): 20-30.
- Cox, C.2006. Determinación de la Conductividad Hidráulica en la Zona No Saturada con el Infiltrómetro de Anillo. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile. 10 p. Recuperado en :<https://es.scribd.com/document/416133774/Guia-Estudiantes-Infiltrometro-pdf>. Consultado abril 2020.
- Fernández, P.C.; J.A. Luque & J.D. Paoloni. 1971. Análisis de la infiltración y su aplicación para diseños de riego en el Valle Inferior del Río Colorado. *RIA. Serie 3, Clima y Suelo, Vol. VIII, N° 1, 1971.*
- Gurovich, L. 1985. *Fundamentos y Diseño de Sistemas de Riego*. Editorial IICA, San José Costa Rica, 433p.
- Negro, V. 1998. *Apuntes de infiltración. Cátedra de hidrología Agrícola. Universidad Nacional de Lomas de Zamora Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias.* 11p. Recuperado en <https://es.slideshare.net/VicNeg/infiltracion-10217844>. Consultado el 4 de abril de 2020.
- Orjuela-Matta, H.M.; Y. Rubiano.; J. Camacho-Tamayo. 2010. Modelos de infiltración. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 13 (2): 31-39.
- Pérez, G. 2008. *Uso de cilindros infiltrómetros de diferente diámetro en la determinación de infiltración en el campo. Tesis Ingeniero Agrónomo, mención Irrigación. Torreón, México: Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro".* 47 p.



BOLETÍN INIA / Nº 432

www.inia.cl

