

Gestión eficiente del recurso hídrico

en predios ganaderos
del trópico alto nariñense



Jose Libardo Lerma Lasso | Diego Hernán Meneses Buitrago | Edwin Castro Rincón



AGROSAVIA
Corporación colombiana de investigación agropecuaria



Gestión eficiente del recurso hídrico

en predios ganaderos
del trópico alto nariñense

Jose Libardo Lerma Lasso. jlerma@agrosavia.co

Profesional de apoyo a la investigación, C. I. Obonuco.

Diego Hernán Meneses Buitrago. dmeneses@agrosavia.co

Investigador M. Sc., C. I. Obonuco.

Edwin Castro Rincón. ecastro@agrosavia.co

Investigador Ph. D. Asociado, C. I. Obonuco.



Lerma Lasso, José Libardo

Gestión eficiente del recurso hídrico en predios ganaderos del trópico alto nariñense. / José Libardo Lerma Lasso; Diego Hernán Meneses Buitrago y Edwin Castro Rincón. -- Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2022.

40 páginas (Colección Alianzas AGROSAVIA)

Incluye tablas, ilustraciones y referencias bibliográficas

ISBN: 978-958-740-561-3

ISBN e-Book: 978-958-740-562-0

1. Ganado de leche 2. Forrajes 3. Suelos agrícolas 4. Riego 5. Cambio climático 6. Seguridad alimentaria.

I. Meneses Buitrago, Diego Hernán II. Castro Rincón, Edwin.

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura -Agrovoc
Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA

Centro de Investigación Obonuco, Km. 5, vía Pasto - Obonuco, Nariño. Código postal 520038, Colombia.

Esta publicación se deriva del proyecto de Ciencia Tecnología e Innovación financiado con Sistema General de Regalías, denominado: "Mejoramiento de la oferta forrajera, optimización de sistemas de alimentación y aseguramiento de calidad e inocuidad de leche en el trópico alto del departamento de Nariño", identificado con el código BPIN n.º 2013000100279.

Autores

Jose Libardo Lerma Lasso
Edwin Castro Rincón
Diego Hernán Meneses Buitrago

Gobernación de Nariño

Jhon Alexander Rojas Cabrera
GOBERNADOR DE NARIÑO

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural

Jairo Arley Chamorro Ger
SECRETARIO DE AGRICULTURA

Colección Alianzas AGROSAVIA

Tipología: Manual

Dirección editorial

Astrid Verónica Bermúdez Díaz

Adecuación pedagógica

Nathalia Castañeda Aponte

Diseño y diagramación

Mónica Cabiativa Daza

Ilustración

Luz Patricia Colorado Correa

Fotografías

Alcira Delgado, Filadelfo Hernández, Jose Libardo Lerma Lasso.

Impresión

DGP Editores

DOI: <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7405620>

Citación sugerida: Lerma Lasso, J. L., Castro Rincón, E., & Meneses Buitrago, D. H. (2022). *Gestión eficiente del recurso hídrico en predios ganaderos del trópico alto nariñense*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA.

Publicado en Mosquera, Cundinamarca

Primera edición, agosto de 2022, 400 ejemplares

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones e información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, y declaran, en este último supuesto, que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación; igualmente, declaran que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente, frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros relativa a los derechos de autor u otros derechos que se hubieran vulnerado como resultado de su contribución.

Línea de atención al cliente: 018000121515

atencionalcliente@agrosavia.co

www.agrosavia.co



https://co.creativecommons.org/?page_id=13

Contenido

Presentación	4
1. Gestión eficiente del recurso hídrico a nivel predial en el trópico alto de Nariño.....	6
2. Características físicas del suelo.....	8
¿Qué es el suelo?	8
Propiedades físicas del suelo	9
3. Sistema agua-suelo	14
¿Cómo se encuentra el agua en el suelo?	15
Medida del contenido de humedad del suelo	16
4. Sistema agua-planta-atmósfera	21
Factores que afectan la evapotranspiración	22
Determinación de la evapotranspiración	23
5. Sistema de riego por aspersión.....	28
Componentes del sistema de riego por aspersión	29
Clasificación de los sistemas de riego por aspersión	31
Ventajas y desventajas del sistema de riego por aspersión	37
Referencias	38



Presentación

En Colombia, el departamento de Nariño presenta una muy baja vulnerabilidad a la escasez de agua. Sin embargo, en las zonas de sistemas ganaderos de lechería especializada de trópico alto, este recurso se ve limitado por la **variabilidad climática** y los **efectos del cambio climático**. Esto afecta la oferta forrajera y, por ende, la producción de leche.

Ante esta problemática, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA a través del macroproyecto de investigación *Mejoramiento de la oferta forrajera, optimización de sistemas de alimentación y aseguramiento de la calidad e inocuidad de la leche en el trópico alto del departamento de Nariño*, financiado por el sistema general de regalías (SGR) con la participación de la Universidad de Nariño (UDENAR), la Sociedad de Agricultores y Ganaderos de Nariño (SAGAN) y otras entidades participantes vinculadas a la alianza para el desarrollo de este proyecto, propone y promueve tecnologías para la gestión integral del recurso hídrico en los sistemas ganaderos de lechería especializada adaptadas a la variabilidad climática y el cambio climático, como apoyo al bienestar económico y social de los productores de la región.

Este manual propone **alternativas y recomendaciones** para hacer **uso eficiente del agua** en los sistemas ganaderos de lechería especializada del trópico alto del departamento de Nariño.

El **capítulo I** contextualiza al lector sobre cómo la variabilidad climática, el cambio climático y las malas prácticas agronómicas influyen en la estacionalidad de la oferta forrajera en los sistemas de lechería especializada, y cómo a partir del manejo integral del recurso hídrico se logra disminuir el problema.

El **capítulo II** define las propiedades físicas del suelo involucradas en el manejo del riego y la relación que tiene con la producción de pastos y forrajes.

El **capítulo III** define los componentes del sistema agua-suelo y cómo a través de estos se pueden responder preguntas como: ¿cuál es el contenido de humedad actual del suelo? ¿Cuál es la capacidad de almacenamiento de agua que posee el suelo? ¿Cuándo regar?

El **capítulo IV** define los componentes del sistema agua-planta-atmósfera y permite responder preguntas como: ¿cuánto regar?

El **capítulo V** profundiza en el sistema de riego por aspersión, y menciona las ventajas y desventajas de utilizarlo en los sistemas de lechería especializada.



Gestión eficiente del recurso hídrico a nivel predial en el trópico alto de Nariño

En Colombia, la **ganadería** es la actividad más importante del sector agropecuario. Aporta el 21,8 % del Producto Interno Bruto (PIB) agropecuario y el 48,7 % del PIB pecuario nacional. Los sistemas dedicados a la producción de leche participan con el 9,1 % del PIB del sector agropecuario, con cerca de 350.000 productores en el territorio nacional.

La producción de leche creció 2,3 % en 2018; al año siguiente, presentó un **crecimiento moderado** de 0,6 % respecto al año anterior. Esta disminución se atribuye a **la variabilidad climática** y a los **efectos del cambio climático**, ya que causaron una **disminución de fuentes hídricas**, lo que afectó los **rendimientos en la producción de pastos y forrajes**, bases de la alimentación de los rumiantes.

En la región Andina, específicamente en el departamento de Nariño, los sistemas de lechería especializada ubicados en altitudes comprendidas entre 2.000 y 3.000 m s. n. m. con régimen bimodal, es decir, dos temporadas húmedas y dos secas, la producción de pastos y forrajes, principalmente de **azul orchoro** (*Dactylis glomerata* L.), **kikuyo** (*Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone) y **falsa poa** (*Holcus lanatus* L.), y en menor proporción **raigrases anuales o perennes** (*Lolium* sp.), **alfalfa** (*Medicago sativa* L.), **brasileño** (*Phalaris* sp.) y **trébol** (*Trifolium* sp.), se ve afectada por la **disminución del recurso hídrico** y el consecuente **cambio en las características biológicas, físicas y químicas de los suelos**.

El **equilibrio del sistema RASPA** permite garantizar la **disponibilidad de agua y nutrientes** para que los cultivos expresen su potencial productivo,

El suelo es la base fundamental de la producción de pastos y forrajes para la alimentación de los rumiantes. Por ello, es importante mantener un equilibrio en el sistema RASPA: agua-suelo-planta-atmósfera y hacer un correcto manejo agronómico.



y el correcto **manejo agronómico** que se utilice en el sistema productivo permite conservar las propiedades fisicoquímicas del suelo.

Como el crecimiento y rendimiento de los pastos depende de **garantizar el suministro de agua eficientemente** a los cultivos **en épocas de bajas precipitaciones**, la **aplicación eficiente del riego** es una alternativa para contrarrestar los problemas de estacionalidad forrajera. Sin embargo, esta depende de:

- la disponibilidad fuentes hídricas.
- la frecuencia e intensidad de la precipitación.

Por lo anterior, los productores de leche de la región requieren **capacitarse en el uso de tecnologías** que permitan aprovechar eficientemente los recursos hídricos para, así, evitar las pérdidas económicas.



Capacitación a productores de leche de la zona sur de Nariño sobre gestión integral del recurso hídrico, finca “El Remanso”, Ipiales, Nariño.



Características físicas del suelo

¿Qué es el suelo?

El **suelo** es uno de los recursos naturales más **dinámicos e importantes** para los sistemas de producción de leche debido a que es el **componente base para la producción de pastos y forrajes**, fuente más económica para la alimentación de los rumiantes.

Desde el punto de vista **biológico**, se define como la capa superficial de la tierra, donde **interactúan componentes bióticos y abióticos**, compuesta por minerales (arena, limo y arcilla), materiales orgánicos, agua y aire.

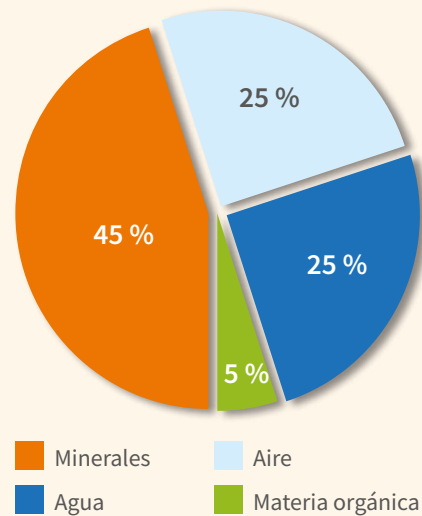


Suelos andisoles del C. I. Obonuco, Nariño.

Desde el punto de vista físico, el suelo está compuesto por un medio poroso constituido por tres fases: sólida, líquida y gaseosa, cuya distribución varía según la vocación del uso del suelo.

En los sistemas de lechería especializada, **para garantizar un adecuado desarrollo de los cultivos forrajeros**, se requiere que:

- La **fase sólida** del suelo constituya el 50 % del volumen, distribuido en 45 % de componentes minerales (arena, limo y arcilla) y un 5 % de componente orgánico.
- La **fase líquida** corresponda al 25 % del volumen del suelo.
- La **fase gaseosa** sea el 25 % del volumen del suelo.



Fuente: Adaptado de Jaramillo (2002).
Composición física ideal del suelo.

Propiedades físicas del suelo

Las **propiedades físicas del suelo condicionan su uso**, debido a que:

- Están asociadas con las fases gaseosa y líquida.
- Determinan el intercambio de aire entre el suelo y la atmósfera.
- Inciden en el movimiento del agua.
- Influyen en el desarrollo radicular de los cultivos forrajeros.
- Inciden en las características químicas y biológicas del suelo.



Textura

La textura se refiere al **porcentaje de partículas de arena, limo y arcilla** que conforman el suelo. Esta propiedad **influye en la capacidad de retención de humedad, el contenido de materia orgánica y la fertilidad**.

- En un suelo con **mayor proporción de arena**, la capacidad de retención de agua, el contenido de materia orgánica y la fertilidad son **bajos**.
- En un suelo con **mayor proporción de arcilla**, la capacidad de retención de agua, el contenido de materia orgánica y la fertilidad son **altos**.

Para la producción de pastos y forrajes en los sistemas de producción de leche, la clase textural apropiada es **franco**, ya que contiene la proporción idónea de arena, limo y arcilla.

Tipos de suelos según textura	Clase textural	A (%) arena	L (%) limo	Ar (%) arcilla
Suelos arenosos (textura gruesa)	Arenoso	86-100	0-14	0-10
	Franco arenoso	70-86	0-30	0-15
Suelos francos (textura moderadamente gruesa)	Franco arenoso	50-70	0-50	0-20
Suelos francos (textura mediana)	Franco	23-52	28-50	7-27
	Franco limoso	20-50	74-88	0-27
	Limoso	0-20	88-100	0-12
Suelos francos (textura moderadamente fina)	Franco arcilloso	20-45	15-52	27-40
	Franco arenoso arcilloso	45-80	0-28	20-35
	Franco limoso arcilloso	0-20	40-73	27-40
Suelos arcillosos (textura fina)	Arcilloso arenoso	45-65	0-20	35-55
	Arcilloso limoso	0-20	40-60	40-60
	Arcilloso	0-45	0-40	40-100

Fuente: Adaptado de SSDS (1993).

Rango de variación de los contenidos de arena, limo y arcilla en las diferentes clases texturales, de acuerdo con el tipo de suelo.



Estructura

La estructura del suelo se define por la **forma como las partículas sólidas** (arena, limo y arcilla) **se agrupan para formar unidades de mayor tamaño llamadas agregados o peds**.

Esta propiedad determina la fase gaseosa (aireación) y líquida (almacenamiento y movimiento de agua). Para preservarla, es importante realizar la **labranza en régimen de humedad adecuado**.

Densidad del suelo

Como en cualquier cuerpo físico, la densidad del suelo se determina como la **masa por unidad de volumen**. Debido a su porosidad, es importante diferenciar entre la densidad de sus componentes sólidos (**densidad real**) y el conjunto del suelo (**densidad aparente**).



Estructura subangular de suelos andisoles, C. I. Obonuco.

Densidad real

Peso de las partículas sólidas (minerales y materia orgánica) relacionado con el volumen que ocupan, sin tener en cuenta su distribución. Para fines prácticos, se asume el valor de $2,65 \text{ g.cm}^{-3}$.

Densidad aparente

Se determina considerando el espacio ocupado por los poros (macro, meso y micro) al cuantificar el volumen de la muestra. Esta propiedad también depende de la textura y estructura del suelo.

Clase textural	Densidad aparente (g.cm^{-3})
Arenas	1,4 – 1,6
Francos	1,3 – 1,4
Arcillas	1,1 – 1,3
Suelos orgánicos	0,7 – 1,1

Fuente: Adaptado de Cortés y Malagón (1984).

Valores promedios de densidad aparente según su clase textural.

Porosidad

La porosidad del suelo está definida por el porcentaje de huecos existentes con respecto al volumen total, es decir, la **porción de suelo no ocupada por las partículas sólidas** (minerales y orgánicas).

En suelos de textura **arenosa**, los **poros son grandes y continuos**, mientras que en suelos de textura **arcillosa** son **pequeños y más abundantes**.

Tipos de poros	Tamaño (mm)	Textura	Función
Macroporos	0,2	Arenosa	Permiten que el agua drene y que entre el aire.
Mesoporos	0,2-0,02	Franco	Retienen la mayor parte del agua que puede ser usada por las plantas.
Microporos	0,02-0,002	Arcillosa	Retiene el agua que no puede ser usada por las plantas.

Fuente: Adaptado de FAO (2020).

Funciones y tamaño de los poros según su clase textural.

Infiltración

La infiltración es el proceso a través del cual **el agua presente en la superficie del suelo**, producto de la precipitación o el riego, **entra al suelo**. La **velocidad de infiltración** es la relación entre la lámina de agua infiltrada en el suelo y el tiempo que tarda en hacerlo; es decir, la **velocidad con que el agua entra al suelo**. Su unidad de medida es mm.h-1.



Cuando el suelo está completamente seco y llueve o se aplica riego, la velocidad de infiltración es máxima en los primeros instantes debido a que los poros se encuentran ocupados por aire; pero a medida que el aire es desplazado por el agua, esta disminuye. Así, **según la textura del suelo, la velocidad de infiltración será lenta, moderada o rápida**.

Clasificación	Magnitud (mm.h ⁻¹)	Textura del suelo
Rápida	>25,0	Arenosa
Media	17,5-25,0	Arenosa - Limosa
Lenta	2,5-17,5	Franco arcillosa
Muy lenta	< 2,5	Arcillosa

Fuente: Adaptado de Ortiz y Ortiz (1980).

Clasificación de la magnitud de la infiltración en el suelo dependiendo de la textura.

Determinar la capacidad de infiltración de un suelo es relativamente sencillo con el **método infiltrómetro de doble cilindro**:

1. Instalar en el lugar de interés, previamente limpio de cobertura vegetal, dos cilindros de acero forjado con huecos en el centro, aproximadamente de 40 cm de alto, y 30 y 55 cm de diámetro, respectivamente.
2. Usar un mazo y una placa de acero para nivelar.
3. Enterrarlos a 10 cm de profundidad.
4. Llenar de agua el anillo externo y cubrir el interno con una bolsa plástica adherida a las paredes.
5. Medir con una regla la altura de la columna de agua.

La prueba inicia cuando se retira rápidamente la bolsa plástica, se mide la altura de la columna de agua y se registra el tiempo. Deben tomarse diferentes lecturas, en intervalos, por un periodo de 1 a 3 horas. Cuando el nivel de agua no varíe, la prueba habrá terminado.

Se utilizan dos anillos cilíndricos porque el anillo externo lleno de agua impide que el agua del anillo interno fluya horizontalmente, ya que el principio de este método es el flujo vertical.



Prueba de infiltración por el método de doble anillo infiltrómetro, C. I. Obonuco.



Sistema agua-suelo

El **contenido de agua o humedad** del suelo se refiere a la **cantidad de agua presente en él**. Esta influye en el **crecimiento y desarrollo de los cultivos forrajeros**. Ya que la estructura celular de las plantas está constituida por 90 % de agua, adicionalmente, está **involucrada en el proceso de fotosíntesis y el movimiento de nutrientes** desde el suelo hasta el interior de la planta.

En el trópico alto del departamento de Nariño, cuando un suelo presenta bajo contenido de humedad, el proceso de transpiración del cultivo forrajero cae porque el agua está adherida fuertemente a las partículas del suelo, quedando no disponible para sí mismo, lo que genera marchitamiento.



Es importante que los productores de leche conozcan cómo se almacena el agua, cómo se mide y cómo los cultivos forrajeros la toman del suelo, para realizar una programación eficiente de las prácticas de riego.



¿Cómo se encuentra el agua en el suelo?

Agua gravitacional (AG)

Agua que **drena en el suelo por la fuerza de gravedad**.

- En suelos de textura arenosa, el drenaje es rápido, a diferencia de los suelos de textura arcillosa.
- Se encuentra en una pequeña proporción en la zona de las raíces cuando el suelo tiene una buena estructura.

Punto de marchitez permanente (PMP)

Agua que **no puede extraerse del suelo**, causando el **marchitamiento**.

- Está adherida fuertemente a las partículas del suelo a una presión de 15 atm.
- No está disponible para los cultivos forrajeros.

Capacidad de campo (CC)

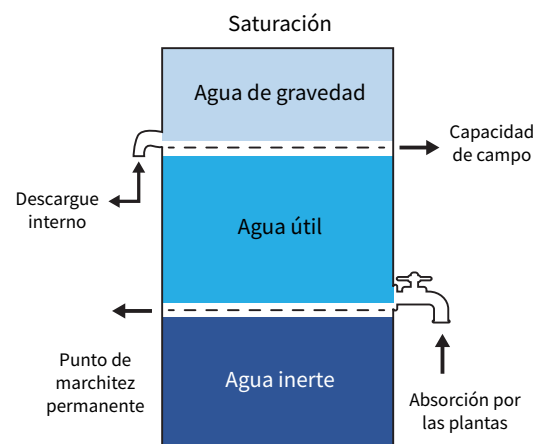
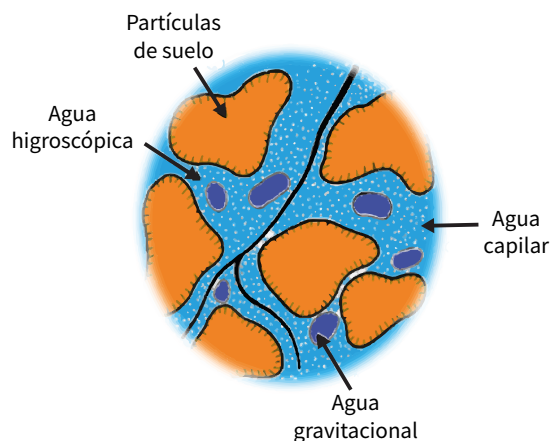
Agua en el suelo que **está disponible para los cultivos forrajeros a una presión de 0,3 atm**.

- Pasa a los cultivos cuando el agua presente en la superficie se ha drenado libremente por un periodo de 48 a 72 horas después de un evento de lluvia.

Agua aprovechable (AA)

Agua en el suelo que **puede ser aprovechable por los cultivos forrajeros**.

- Ocurre como producto de la diferencia entre la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP).



Fuente: Adaptado de Edafologia.net (2022).
Contenidos de humedad del suelo.

Medida del contenido de humedad del suelo

La **medición constante del contenido de agua o humedad** que presenta el suelo es la mejor forma para resolver eficientemente el problema de las necesidades de riego de los cultivos forrajeros, ya que **optimiza el consumo de agua y mejora los rendimientos**.

Al contar con esta información, el productor puede **definir la cantidad de agua** que debe aplicar para el correcto funcionamiento de los cultivos forrajeros. Existen **métodos directos e indirectos para determinar el contenido de humedad**; los primeros se basan en medir el contenido de humedad expresado en volumen y los segundos, en medir la tensión a la que está retenida el agua en el suelo.



Los
métodos para
determinar el contenido
de humedad del suelo son
utilizados para programar el
riego en sistemas de
aspersión.

Métodos directos

Permiten **determinar en campo (al tacto) y/o laboratorio (gravimétrico)** el contenido de agua que posee el suelo. La decisión de utilizar uno u otro depende de la habilidad y experiencia de quien toma la muestra.

Método al tacto

Es un método práctico y sencillo de utilizar. La exactitud dependerá de la experticia de quien lo realiza.



El primer paso es **tomar la muestra**; posteriormente, **se amasa entre los dedos y se comprime**; finalmente, **se hacen bolas** y, según la forma que conserve, se determina el contenido de humedad, así:

Falta de humedad	Textura gruesa (arena francosa)	Textura gruesa moderada (franco arenosa)	Textura media (franco)	Textura fina o muy fina (franco-arcillosa)
% Capacidad de campo	Cuando se comprime, no sale agua de la porción de terreno, pero queda una huella húmeda de la pella de la tierra en la mano.	Cuando se comprime, no sale agua de la porción de terreno, pero queda una huella húmeda de la pella de la tierra en la mano.	Cuando se comprime, no sale agua de la porción de terreno, pero queda una huella húmeda de la pella de la tierra en la mano.	Cuando se comprime, no sale agua de la porción de terreno, pero queda una huella húmeda de la pella de la tierra en la mano.
cm.m ⁻¹	0,0	0,0	0,0	0,0
0-25 %	Tendencia a aglomerarse, o bien ligeramente, a veces y bajo presión, permite la formación de una bolita que se disgrega fácilmente.	Se puede tomar una bolita con dificultad, pero se rompe fácilmente y no es untuosa, es decir, no se adhiere a la mano.	Se puede formar una bolita que se moldea fácilmente y es muy untuosa si hay un contenido relativamente alto de arcilla.	Se forma un cilindro con facilidad cuando se amasa entre los dedos y tiene un tacto untuoso.
cm.m ⁻¹	0,0 a 1,7	0,3 a 3,4	0,0 a 4,2	0,0 a 5
25-50 %	Seco en apariencia, no se puede formar una bolita amasándola.	Se puede llegar a formar una bolita bajo presión, pero no suele mantenerse compacta.	Se puede formar una bolita relativamente plástica que resulta algo untuosa cuando se presiona con los dedos.	Se forma una bolita o pequeño cilindro cuando se amasa entre el pulgar y el índice.
cm.m ⁻¹	1,7 a 4,2	3,4 a 6,7	4,2 a 8,3	5 a 10

50-75 %	Seco en apariencia; no puede formarse una bolita empleando únicamente la presión.	Seco en apariencia; no puede formarse una bolita empleando únicamente la presión.	Se amigaja, pero se mantiene relativamente compacto cuando se le somete a presión.	Relativamente moldeable, forma una bolita cuando se presiona un poco de terreno.
cm.m ⁻¹	4,2 a 6,7	6,7 a 10	8,3 a 12,5	10 a 15,8
75-100 %	Seco, suelo en granos, se disgrega entre los dedos.	Seco, suelto, se disgrega entre los dedos.	Polvoriento, seco a veces, se encuentra en pequeñas costras que se reducen a polvo al romperlas.	Duro, muy seco, apretado, tiene costras que se disgregan en la superficie.
cm.m ⁻¹	6,7 a 8,3	10 a 12,5	12,5 a 16,7	15,8 a 20,8

Fuente: Adaptado de Israelsen y otros (1981).

Guía para determinar cuánta humedad en cm/m puede agregarse para que el suelo quede a capacidad de campo.

Método gravimétrico

Este es el **método patrón**, que se utiliza como punto de comparación con respecto a los otros. También se utiliza para **calibrar los métodos indirectos**. Consiste en **tomar una muestra de suelo, pesarla y secarla en una estufa de aire forzado** a 105 °C durante 24 horas. Posteriormente, se aplica la siguiente fórmula:

$$\% Ps = (Psh - Pss / Pss) * 100$$

Donde:

% Ps = porcentaje de humedad.

Psh = peso de suelo húmedo (g).

Pss = peso de suelo seco (g).



Métodos indirectos

Son métodos de fácil operación que se han modificado con el tiempo para perfeccionar su precisión. Se basan en el **uso de dispositivos en campo**.

Tensiómetro

Este método es el más preciso para determinar la humedad del suelo. Consiste en **medir la tensión a la que está retenida el agua del suelo**. Este instrumento está compuesto por una cápsula porosa, un tubo y un manómetro.



Tensiómetro para medición del contenido de humedad del suelo.

El proceso es el siguiente:

- Antes de instalar el tensiómetro en campo, es importante **poner a saturar la cápsula porosa** durante 24 horas.
- Posteriormente, con una bomba de vacío **se extrae el aire**.
- Finalmente, **se instala cerca de la zona de las raíces**.

El registro de la lectura del tensiómetro se hace al día siguiente de la instalación, cuando el suelo pierde humedad. El agua dentro del tensiómetro es succionada por el suelo, generando un vacío parcial que es registrado por el manómetro. Los valores de humedad varían dependiendo del tipo de textura.

Textura	Estado de humedad del suelo	Rango (cb)
Arena, limo, arcilla	Saturación	0-10
Arena, limo, arcilla	Capacidad de campo	10-20
Arena	Aplicación de lámina de riego	20-30
Limo		30-50
Arcilla		50-60
Arena, limo, arcilla	Punto de marchitez permanente	60-80

Fuente: Adaptado de Hargreaves y Samani (1991).
Rangos de operación del tensiómetro.



La instalación del tensiómetro debe hacerse a una profundidad que represente el contenido de agua dentro de la zona activa de raíces. En riego por aspersión, se ubica el tensiómetro en una zona donde no sea alcanzado por el agua.





Sistema agua-planta-atmósfera



Las características fisiológicas y morfológicas de las plantas responden a cambios en las condiciones edafoclimáticas, como el contenido de humedad del suelo, la precipitación, la temperatura, la radiación solar, el viento, etc.

El agua y el dióxido de carbono (CO_2) son factores importantes en la **fotosíntesis** de las plantas, ya que por medio de este proceso **convierten la energía lumínica en química**. Este proceso inicia cuando las plantas, por medio de sus raíces, toman agua y sales minerales presentes en la solución del suelo para transportarlas hasta las hojas. En ellas se encuentran las estomas, que se abren para capturar el CO_2 de la atmósfera y liberar el O_2 como un subproducto para formar moléculas de glucosa y otros azúcares. En esta fase, una pequeña parte del agua es utilizada en el proceso de fotosíntesis y el resto se pierde por **transpiración**.

Un factor que influye en el proceso de transpiración es el **contenido de agua en el suelo**, porque este se ve afectado por la radiación solar debido a que se reduce su volumen por el proceso de **evaporación**. Esta situación **no permite** que las plantas **compensen el déficit hídrico**, lo que causa su mal funcionamiento y afecta sus rendimientos.



La transpiración y la evaporación ocurren simultáneamente y dan lugar a la **evapotranspiración**. Este es el proceso por el cual el **agua cambia de estado líquido a gaseoso**, es decir, por el cual a través de las plantas regresa a la atmósfera en forma de vapor. Con el fin de intervenir en los procesos productivos de las plantas, deben conocerse ampliamente **los factores que afectan la evapotranspiración**.

Factores que afectan la evapotranspiración

Características intrínsecas de las plantas

Las plantas difieren en su **fisiología y morfología**. Estas características influyen en los procesos de evapotranspiración.

A nivel **fisiológico**, las **plantas C3** son **ineficientes en el uso del agua** durante el proceso de fotosíntesis porque no cuentan con adaptaciones para reducir la fotorrespiración. Es decir que, cuando se someten a temperaturas altas, dejan de absorber CO_2 y comienzan a capturar O_2 para compensar esta pérdida. En la fijación de CO_2 , se ven obligadas a mantener sus estomas abiertos, perdiendo importantes volúmenes de H_2O por evapotranspiración estomática. Por esta razón, **requieren gran cantidad de agua**.

Por el contrario, las **plantas C4** son **más eficientes en el uso del agua**. Por esta razón, son más competitivas en escenarios de secano. Presentan una anatomía foliar tipo Kranz, es decir, tienen dos células diferentes para el proceso de fotosíntesis y **no tienen problemas para reducir la fotorrespiración**. Entonces, fijan el CO_2 de manera eficiente y logran mayores tasas fotosintéticas.



A nivel **morfológico**, las plantas modifican y adaptan sus órganos al medio donde viven. Las características del **sistema radicular** facilitan o dificultan la **capacidad para absorber agua y sales minerales en la zona efectiva de raíces**. Las etapas fenológicas y la especie de planta también determinan los requerimientos de agua.

Factores climáticos

Los factores climáticos que influyen en la evapotranspiración son: **precipitación, humedad relativa, radiación solar, temperatura y viento**.

Las **variaciones en la temperatura** pueden **bloquear el proceso de transpiración** al inactivar enzimas o movilizar inhibidores que afectan el uso eficiente del agua. Asimismo, las **altas radiaciones incrementan** el proceso de **transpiración**.

De igual forma, las **variaciones en las precipitaciones** no suplen los requerimientos de las plantas durante todo el año. Son útiles las lluvias $\geq$ a 15 mm debido a que solo el 25 % puede ser utilizado por las plantas. Sin embargo, **tanto la escasez como el exceso de agua afectan la transpiración**.

La misma influencia tienen la humedad relativa y el viento: **a menor humedad relativa, mayor** es el proceso de **transpiración** y **a mayor velocidad del viento, mayor** es el proceso de **transpiración**.

Determinación de la evapotranspiración

Calcular la evapotranspiración del cultivo es una tarea difícil. Sin embargo, puede determinarse con **instrumentos específicos**, con la **medición de variables climáticas** de forma precisa y con el **balance de agua del suelo**. A continuación, se describen dos métodos muy utilizados en sistemas ganaderos de lechería especializada.





El método a utilizar depende de los recursos económicos con que se cuenta.

Método de Blanney-Criddle

Fue desarrollado en 1950 para determinar la evapotranspiración de referencia de los **cultivos forrajeros (Eto)**, es decir, para **conocer las necesidades de agua de un cultivo**.

Este método se utiliza particularmente en zonas agroecológicas donde **el único dato climático disponible es la temperatura**. Requiere del cálculo de un factor de consumo (f) a partir de la temperatura del aire (t) y el porcentaje total de horas de luz diurna anuales (p) de un periodo determinado, y un coeficiente de consumo de agua (k) de acuerdo a la etapa fenológica en la que se encuentra el cultivo.

$$\text{Requimientos hídricos} = k * \left(\frac{p * t}{100} \right)$$

Donde:

k = coeficiente de consumo de agua del cultivo forrajero.

p = porcentaje total de horas de luz diurna.

t = temperatura media (°F).

Para **obtener un cálculo más aproximado** de las necesidades de agua del cultivo, el método de Blanney-Criddle se modifica **agregando algunas variables climáticas** (humedad relativa, radiación solar y viento) con el objetivo de lograr una **mejor predicción del efecto del clima** sobre la evapotranspiración.

$$Eto = c [p (0,46 t + 8)]$$

Donde:

Eto = evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹).

c =factor de ajuste, que depende de la humedad relativa, las horas de sol y la velocidad del viento.

t = temperatura media diaria en °C.

c = porcentaje medio diario del total de horas diurnas anuales para una latitud y un mes determinados, según la siguiente tabla.

Latitud Norte	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Latitud Sur	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.
60°	0,15	0,20	0,26	0,32	0,38	0,41	0,40	0,34	0,28	0,22	0,17	0,13
58°	0,16	0,21	0,26	0,32	0,37	0,40	0,39	0,34	0,28	0,23	0,18	0,15
56°	0,17	0,21	0,26	0,32	0,36	0,39	0,38	0,33	0,28	0,23	0,18	0,16
54°	0,18	0,22	0,26	0,31	0,36	0,38	0,37	0,33	0,28	0,23	0,19	0,17
52°	0,19	0,22	0,27	0,31	0,35	0,37	0,36	0,33	0,28	0,24	0,20	0,17
50°	0,19	0,23	0,27	0,31	0,34	0,36	0,35	0,32	0,28	0,24	0,20	0,18
48°	0,20	0,23	0,27	0,31	0,34	0,36	0,35	0,32	0,28	0,24	0,21	0,19
46°	0,20	0,23	0,27	0,30	0,34	0,35	0,35	0,32	0,28	0,24	0,21	0,20
44°	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,35	0,34	0,31	0,28	0,25	0,22	0,20
42°	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,34	0,34	0,31	0,28	0,25	0,22	0,21
40°	0,22	0,24	0,27	0,30	0,32	0,34	0,33	0,31	0,28	0,25	0,22	0,21
35°	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,32	0,30	0,28	0,25	0,23	0,22
30°	0,24	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,31	0,30	0,28	0,26	0,24	0,23
25°	0,24	0,26	0,27	0,29	0,30	0,31	0,31	0,29	0,28	0,26	0,25	0,24
20°	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,30	0,29	0,28	0,26	0,25	0,25
15°	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,25
10°	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,29	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,26
5°	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27
0°	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27

Fuente: Adaptado de FAO. *Necesidades de agua de los cultivos, riego y drenaje*. Documento 24. Promedio porcentaje diario de horas diurnas anuales para diferentes latitudes.

Finalmente, para determinar la evapotranspiración del cultivo (Etc), se emplean la evapotranspiración de referencia (Eto) y el coeficiente de cultivo (kc).

$$Etc = Eto * kc$$

Observe este ejemplo que muestra cómo se determinan los **requerimientos hídricos** del mes de **julio** de un **cultivo de raigrás Colombia** (*Lolium Hybridum*) localizado en el municipio de **Ipiales** (Nariño) bajo los **parámetros agroclimáticos promedio**, mediante el **método de Blanney-Criddle**.

Municipio	Localidad	Coordenadas	Altitud (m s.n.m)	Temperatura media anual (°C)	Precipitación media anual (mm)	Textura de suelo
Ipiales	Finca El Remanso	N 0° 50' 34,21"	2.851	13,2	1.089	Franco arenoso
		W 77° 37' 14,51"				

Fuente: [Climate-Data.org](https://climate-data.org) (2020).

Localización y parámetros agroclimáticos del cultivo.

1

Calcular la evapotranspiración de referencia (Eto).

$$Eto = [0,27 (0,46 * 13,2) + 8]$$

$$Eto = 3,8 \text{ mm.día}^{-1}$$

2

Calcular la evapotranspiración del cultivo, utilizando el coeficiente de consumo de agua de 0,95 para el raigrás Colombia.

$$Etc = 0,95 * 3,8 \text{ mm.día}^{-1}$$

$$Etc = 3,6 \text{ mm.día}^{-1}$$



Así, se obtiene que los requerimientos hídricos del cultivo durante el mes de julio son de 3,6 mm.día⁻¹, y en total son de 111,89 mm.día⁻¹.

Método FAO Penman-Monteith

Fue desarrollado en 1990, a partir de los métodos de **Penman-Monteith** y de **resistencia aerodinámica y superficial** para determinar la evapotranspiración de referencia de **cultivos forrajeros (ET₀)**.

Se utilizó un cultivo hipotético de referencia (pasto) con una altura uniforme de 0,12, una resistencia superficial de 70 s.m⁻¹ y un albedo de 0,25.

Calcular la evapotranspiración de referencia (ET₀).

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

Donde:

- ET₀** = Evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹) de agua del cultivo forrajero.
- R_n** = Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻² día⁻¹).
- R_a** = Radiación extraterrestre en la superficie del cultivo (mm día⁻¹).
- G** = Flujo del calor de suelo (MJ m⁻² día⁻¹).
- T** = Temperatura media del aire a 2 m de altura (°C).
- u₂** = Velocidad del viento a 2 m de altura (m s⁻¹).
- e_s** = Presión de vapor de saturación (kPa).
- e_a** = Presión real de vapor (kPa).
- e_s - e_a** = Déficit de presión de vapor (kPa).
- Δ** = Pendiente de presión de vapor (kPa °C⁻¹).
- γ** = Constante psicométrica (kPa °C⁻¹).

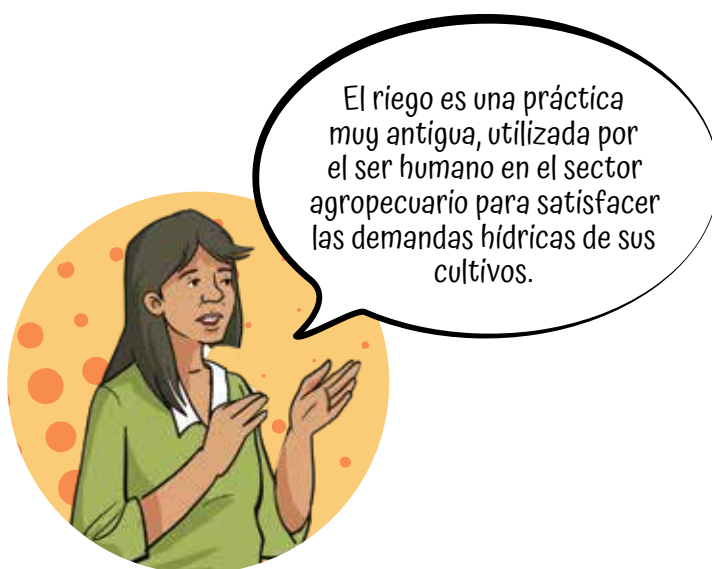
Fuente: [FAO \(1998\)](#).

Ecuación de FAO Penman-Monteith.

Este método **utiliza datos climáticos** como temperatura (°C), radiación solar (w.m⁻²), humedad relativa (%) y velocidad del viento (m.s⁻¹). Es el **método estándar** que mejor representa el proceso de evapotranspiración.



Sistema de riego por aspersión



El riego es una práctica muy antigua, utilizada por el ser humano en el sector agropecuario para satisfacer las demandas hídricas de sus cultivos.

Durante el **siglo XIX**, países como India y Egipto avanzaron enormemente en el componente de diseño hidráulico, lo que permitió iniciar la construcción de **distritos de riego a gran escala**. Esto se transformó en un aumento de 6 veces la capacidad instalada de riego en estos países.

En el **siglo XX**, después de la Segunda Guerra Mundial, la construcción de sistemas de riego incrementó, en particular el **sistema de riego por aspersión**. Este consiste en **aplicarle agua al suelo en forma de lluvia**. Para esto, se utilizan dispositivos de emisión de agua denominados **aspersores**, los cuales se encargan de transformar el agua presurizada en **rocío**. Esto sucede porque el agua presurizada es impulsada por una motobomba a través de una red de tuberías, ganando presión al llegar al aspersor.



Componentes del sistema de riego por aspersión

Motobomba

Las motobombas se utilizan en sistemas de riego por aspersión para **elevar agua y regar por procedimientos gravitacionales**.

La selección de la bomba se hace en consideración con el caudal requerido y las pérdidas en tubería y accesorios en la construcción del sistema.



Motobomba centrífuga modelo 15AQ/F300 de 6,7 HP (línea HY-FLO™) monoblock diesel.

Tuberías

Para la selección del diámetro de la tubería, se debe tener en cuenta el **caudal de agua a aplicar**.

Las tuberías de **mayor diámetro** tienen mayor costo y requieren una motobomba de menor potencia, mientras que las tuberías de **menor diámetro** tienen menor costo pero requieren una motobomba de mayor potencia.



Tubería de PVC de 2" RDE 51.

Aspersores

Existen diferentes tipos de aspersores, los cuales **varían en caudal y presión**. Para la selección, se debe tener en cuenta el caudal de diseño del sistema y el diámetro húmedo que puede proporcionar el mismo.



Fuente: [Adaptado de Senniger.com](https://www.senniger.com)
Aspersor Senniger irrigation serie 30.

Accesorios

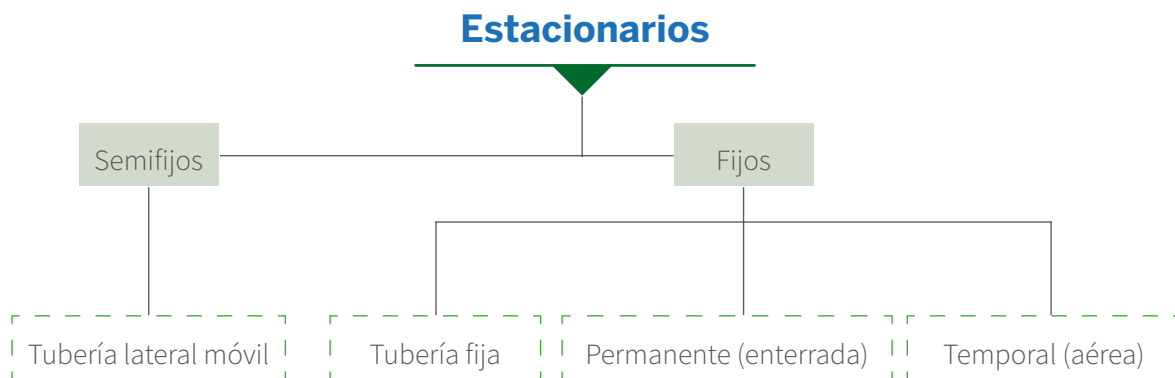
Se requieren accesorios como uniones, reducciones, válvulas antirretorno, etc. para realizar **conexiones en el sistema de riego** y garantizar su correcto funcionamiento.



Accesorios utilizados en la construcción del módulo de riego.

Clasificación de los sistemas de riego por aspersión

Los sistemas de riego por aspersión **se clasifican en función de la movilidad de los diferentes elementos** que conforman el sistema.



Clasificación de los sistemas de riego por aspersión.

En esta clasificación están los **sistemas fijos**, que se basan en un sistema de tuberías que cubre completamente el área de riego y los **sistemas semifijos**, que se basan en dejar fija la estación de bombeo y la tubería principal.

Observe este ejemplo que muestra cómo se realiza el **diseño de un sistema de riego por aspersión para un cultivo de raigrás Columbia** (*Lolium Hybridum*) localizado en el municipio de Ipiales (Nariño) bajo los parámetros agroclimáticos promedio.



Recursos disponibles	Datos
Nombre de la finca	El Remanso
Localización	N 0° 50' 34.21" W 77° 37' 14.51"
Altitud	2.851 m s.n.m
Cultivo	Raigrás Columbia (<i>Lolium Hybridum</i>)
Fuente hídrica	Pozo subterráneo
Precipitación anual	1.089 mm
Temperatura promedio	13,2 °C
Velocidad de viento	1,38 m.s ⁻¹
Evapotranspiración del cultivo (Etc)	3,6 mm.día ⁻¹
Textura	Franco arcillosa
Infiltración básica (Ip)	10 mm.h ⁻¹
Capacidad de campo (CC)	27 %
Punto de marchitez permanente (PMP)	13 %
Humedad disponible	14 %
Densidad aparente (Da)	1,3 g.cm ⁻³
Profundidad efectiva de raíces (Pe)	0,15 m

Localización y parámetros agroclimáticos del cultivo.



1

Formular el diseño agronómico, ya que determina la **cantidad de agua que debe transportarse** por el sistema, correspondiente a las necesidades brutas de riego.

Lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA)

$$LARA = (W_{cc} - W_{pp}) * D_a * Pe * f$$

$$LARA = (0,27 - 0,13) * 1,3 * 150 \text{ mm} * 0,3$$

$$LARA = 8,19 \text{ mm}$$

Lámina bruta (Lb)

$$Lb = \frac{LARA}{Ef \text{ aplic.}}$$

$$Lb = \frac{8,19 \text{ mm}}{0,75}$$

$$Lb = 10,92 \text{ mm}$$

Frecuencia de riego

$$F_R = \frac{LARA}{ET}$$

$$F_R = \frac{8,19 \text{ mm}}{(3,6 * 0,6) \text{ mm.día}^{-1}}$$

$$F_R = 3,8 \text{ días} \approx 4 \text{ días}$$

2

Seleccionar el aspersor.

Caudal máximo (Qmax)

$$Q_{max} = \text{Dist. entre aspersores } (S_L) * \text{Dist. entre laterales } (S_m) * I_p$$

$$Q_{max} = 18 \text{ m} * 24 \text{ m} * \left(10 \frac{\text{mm}}{h} * \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ m}} \right)$$

$$Q_{max} = 4,32 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \approx 1,2 \text{ lps}$$

Tipo de aspersor seleccionado: Senninger 7025RD – I; Q = 1,07 lps; presión: 40 psi; radio = 20,88 m.

$$l_{pmax} = \frac{Q_{aspersor}}{S_L * S_m}$$

$$l_{pmax} = \frac{3,852 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}}{18 \text{ m} * 24 \text{ m}}$$

$$l_{pmax} = 8,92 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Tiempo de operación: 1 h y 14 min. Tiempo total por posición de riego: 2 h; tiempo de trabajo.día⁻¹: 10 h.

3

Hacer el chequeo de viento.

Velocidad de viento: 1,38 m/s

Chequeo: S_{Lmax} : 55 % DH y S_{mmax} : 65 % DH

$$S_L = 0,55 * 41,76$$

y

$$S_M = 0,65 * 41,76$$

$$S_L = 22,97 \text{ m}$$

$$S_M = 27,14 \text{ m}$$

4

Realizar el diseño hidráulico.

Selección de la tubería

Se definen 6 aspersores por lateral y 4 laterales para 1 ha, teniendo en cuenta que el área total de trabajo son 2 ha.

Tramo	Caudal (lps)	Longitud (m)	Diámetro (in)
Lateral	6,42	99	2
Secundaria	25,68	72	4
Hidrante	25,68	1,5 a la secundaria	4
Principal	51,36	900	6

Diámetro de tubería PAVCO RDE 21 seleccionada para los tramos de acuerdo a su caudal.

Cálculo de pérdidas en tubería

Tramo	Longitud (m)	hf (m.m ⁻¹)	Repeticiones	hf Real (m.c.a)
Elevador A1	0,5	0,1438	8	0,5752
Elevador A2	0,5	0,0771	8	0,3084
Elevador A3	0,5	0,051	8	0,204
Elevador A4	0,5	0,0299	8	0,1196
Elevador A5	0,5	0,0141	8	0,0564
Elevador A6	0,5	0,0039	8	0,0156
A6-A5	18	0,0039	8	0,5616
A5-A4	18	0,0141	8	2,0304
A4-A3	18	0,0299	8	4,3056
A3-A2	18	0,051	8	7,344
A2-A1	18	0,0771	8	11,1024
A1-Secundaria	9	0,1438	8	10,3536
Secundaria	72	0,0676	2	9,7344
Secundaria-H	1,5	0,0676	2	0,2028
MB-H9	840	0,0371	1	31,164
H9-H10	99	0,0144	1	1,4256
TOTAL (m.c.a)	79,5036			

Pérdidas en tuberías, asumiendo el funcionamiento de 2 lotes simultáneamente en punto crítico.

Cálculo de pérdidas en accesorios

Accesorio	Cantidad	K	hf (m.c.a)	hf total (m.c.a)
Codo 90° 4"	4	0,51	0,2466	0,9865
Codo 90° 2" A6	8	0,57	0,0062	0,0493
Tee 2" A1	8	1,14	0,4440	3,5524
Tee 2" A2	8	1,14	0,3084	2,4669
Tee 2" A3	8	1,14	0,1974	1,5788
Tee 2" A4	8	1,14	0,1110	0,8881
Tee 2" A5	8	1,14	0,0493	0,3947
Tee 4"	6	1,02	0,4932	2,9595
Válvula Check oscilante	1	0,75	1,4504	1,4504
TOTAL (m.c.a)	14,3267			

Pérdidas menores en el sistema.

5

Seleccionar la motobomba.

Potencia neta

$$CV = \frac{51,744 \text{ lps} * 93,82 \text{ m.c.a}}{75}$$

$$CV = 64,73 \approx 63,84 \text{ HP}$$



Ventajas y desventajas del sistema de riego por aspersión

El éxito del sistema de riego por aspersión está condicionado por **factores climáticos** y la **uniformidad de la aplicación**.



Ventajas

- Permite aplicar riegos de forma rápida y frecuente.
- Permite la incorporación de fertilizantes líquidos para la práctica de fertirriego.
- Realiza el lavado de sales presentes en el suelo.



Desventajas

- El alto costo inicial para su implementación.
- El viento dificulta la distribución uniforme del agua sobre la superficie de un suelo.
- El aumento de enfermedades fitosanitarias por riegos excesivos en la parte aérea de las plantas.
- Las variaciones frecuentes de caudal durante su funcionamiento.

Referencias

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. y Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and drainage paper 56*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Apráez, J. E., Gálvez, A., Tapia, E., Jojoa, L., León, J., Zambrano, D., Zambrano, H. R., Obando, V. y Aux, Y. (2012). *Determinación de los factores edafoclimáticos que influyen en la producción y calidad del pasto Kikuyo (Pennisetum clandestinum) en condiciones de no intervención*. Nariño: Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Pecuarias.
- Benavides, A. (2003). *Fotosíntesis: Diferencias en las vías metabólicas C3, C4 y CAM*.
- Carrasquilla, M. y Morillo, J. (1994). Contaminación hídrica industrial en Colombia. 93-125. En: Sánchez, E. y Uribe, E. (Eds.). *Contaminación industrial en Colombia*. Departamento Nacional de Planeación (DNP) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Bogotá.
- Cisneros, A. R. (2001). *Manual de Suelos Agrícolas con un Enfoque en el Riego y el Drenaje*. Manual de difusión publicado por Facultad de Ingeniería. México: U. A. S. L. P.
- Climate-Data.Org. (2020). *Clima: Ipiales*. Climate-Data.Org.
- Cortés, A. y Malagón, D. (1984). *Los levantamientos agrológicos y sus aplicaciones múltiples*. Bogotá: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Doorenbos, J. y Pruitt, W. O. (1975). Guidelines for predicting crop water requirements. *Estudio de Riego y Drenaje No. 24*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Edafología. *Lección 3. Constituyentes del suelo. El agua y los gases*. (2022, 26 mayo). www.edafologia.net/introeda/tema03/tema.htm
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2020). Propiedades Físicas | *Portal de Suelos de la FAO* | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/
- FAO. (2000). El Riego en América Latina y el Caribe en Cifras. *Water Reports 20*. Roma.

- FAO. (2006). *Enfoques: Las repercusiones del ganado en el medio ambiente*. www.fao.org/ag/esp/revista/0612sp1.htm
- FEDEGAN. (2017). Cifras de referencia del sector ganadero colombiano. *Fedegan*. https://estadisticas.fedegan.org.co/DOC/download.jsp?pRealName=Cifras_Referencia_2017.pdf&ildFiles=641
- FEDEGAN. (2020). Cifras de referencia del sector ganadero colombiano. *Fedegan*.
- Fonseca, C. (2015). *Efecto de la frecuencia de defoliación en la respuesta agronómica y calidad nutritiva de Pennisetum Clandestinum* (Hochst.Ex Chiov.). Tesis de maestría. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile.
- Gavande, S. A. (1972). *Física de suelos: Principios y aplicaciones* (No. 631.43 G383F.). México: Limusa-Wiley.
- Hargreaves, G. H. y Merkle, G. P. (2000). *Fundamentos del riego. Un Texto de Tecnología Aplicada para la enseñanza del riego a nivel intermedio*. Water Resources Publications, LLC. U. S. A.
- Hargreaves, G. H. y Samani, Z. A. (1991). *Programación del riego* (un manual bilingüe). Las Cruces, Estados Unidos: Editts.
- Israelsen y Hansen. (1981). *Principios y aplicaciones del Riego*. España: Ed. Reverte.
- Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*.
- Martínez, V., Alarcón, S., Ea, M. M., Avellaneda, A., El, Y., De, J. y Yesid, C. (2018). Kikuyu, present grass in ruminant production systems in tropic Colombian highlands. *CES Medicina veterinaria y zootecnia*, 13(2), 137–156. <https://doi.org/10.21615>
- Murgueitio, R. E. (2003). Environmental impact of milk production systems in Colombia and alternative solutions. *Livestock Research for Rural Development*, 15(10). <https://doi.org/0121-3784>
- Portillo, P. A., Meneses, D. H., Morales, S. P., Cadena, M. M. y Castro, E. (2019). Evaluación y selección de especies forrajeras de gramíneas y leguminosas en Nariño, Colombia. *Pastos y Forrajes*, 42(2), 93-103. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942019000200093&lng=es&tlng=es



- Soil Science Society of America SSSA. (2020). Sobre suelos | *Soil Science Society of America*. www.soils.org/about-soils
- Solarte, C. E. (2009). Caracterización y evaluación genética de la población bovina lechera del trópico alto de Nariño. Grupo de Investigación Producción y Sanidad Animal, Línea de Genética y Mejoramiento Animal. *Informe final*. Pasto: Universidad de Nariño.
- Unidad de planificación rural agropecuaria (UPRA). (2014). *Presentación institucional*. www.minagricultura.gov.co/Documents/UPRA_Oferta_Institucional.pdf.
- Sánchez, L. y Villaneda, E. (2009). *Renovación y manejo de praderas en sistemas de producción de leche especializada en el trópico alto colombiano*. Bogotá: CORPOICA; Colciencias; FEDEGÁN; Produmedios, 23 p.
- Santos, B., Saavedra, O., Suárez, T., Coello, A. y Solaz, C. (2017). *¿Cómo tomar muestras de suelos?* Cabildo de Tenerife, España, Agro Cabildo. www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/otro_537_diptico.pdf
- Torres Dugan, M. (2016). *Análisis de suelos: una herramienta clave para el diagnóstico de fertilidad de suelos y la fertilización de cultivos*. fertilizando.com/articulos/Analisis%20de%20Suelo%20-%20Herramienta%20Clave.asp
- Vergara, R. (2006). *Collaria: Insecto dañino del kikuyo –Métodos de control*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Colanta. http://biblioteca.colanta.com.co/pmb/opac_css/doc_num.php?explnum_id=886
- Villalobos, L. y Sánchez, J. (2010). Evaluación agronómica y nutricional del pasto raigrás perenne tetraploide (*Lolium perenne*) producido en lecherías de las zonas altas de Costa Rica. I. Producción de Biomasa y Fenología. *Agronomía Costarricense* 34 (1). 31-42. <file:///D:/Escritorio/Regalías%20leche/Cartilla/Rye%20grass%20Columbia/Dialnet-EvaluacionAgronomicaYNutricionalDelPastoRaigrassPe-3307892.pdf>

Ante los interrogantes que tienen los productores ganaderos de lechería especializada de trópico alto del departamento de Nariño sobre cuáles son los volúmenes de agua requeridos para la producción de biomasa como pasturas o praderas, y en función de las condiciones agroclimáticas de la región cuál es el nivel o potencial para la producción de biomasa, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, por medio del manual *Gestión eficiente del recurso hídrico en predios ganaderos del trópico alto nariñense*, propone alternativas y recomendaciones para resolver dichos interrogantes y mejorar la competitividad y sostenibilidad del sistema productivo.

AGROSAVIA
EDITORIAL