

MANEJO DEL SUELO Y EL AGUA EN PRADERAS DEL TRÓPICO ALTO

Cesar Terán C.
Edgar Villaneda.

INTRODUCCIÓN

Uno de los aspectos más débiles en la producción ganadera del trópico alto es el manejo de suelo y agua en praderas; en general el ganadero presta muy poca atención a estos recursos, o no cuenta con suficiente información sobre el tema. En el mejor de los casos, se aplican fertilizantes sin tener en cuenta los nutrientes deficientes en el suelo, para el caso del manejo del agua se adquirió el equipo de riego, pero no se recibió la asesoría requerida por parte de la firma comercializadora para un manejo adecuado del mismo. Dada la importancia de estos recursos en las lecherías especializadas, el proyecto "Renovación y manejo de praderas degradadas en el trópico alto" incorpora los componentes mencionados para el manejo integral de las praderas en hatos de lechería especializada, con el fin de demostrar la racionalidad del uso de estos recursos y formular recomendaciones para su manejo técnico en la empresa ganadera.

Dentro del desarrollo del proyecto se han entregado informes parciales y realizado días de campo para ilustrar a los ganaderos sobre los procesos tecnológicos y se

entregó una caracterización inicial de los suelos y la disponibilidad hídrica de las fincas estudiadas.

En este capítulo se presentan y analizan algunos conceptos básicos del manejo de los recursos suelo y agua, se presentan los resultados obtenidos dentro del proyecto en las dos empresas ganaderas, en comparación con las condiciones iniciales y se discute los efectos de las tecnologías aplicadas en comparación con las estrategias que aplican los productores en cada una de las fincas.

El Clima. Los componentes del clima son factores importantes a considerar para el manejo a nivel predial de la empresa ganadera; para ello es necesario conocer los elementos que lo conforman y lo caracterizan, a saber: Precipitación, temperatura, radiación solar, velocidad del viento y su dirección, grado de nubosidad existente, y la evaporación, entre otros factores.

Existen dos factores que determinan los requerimientos hídricos de las praderas,

ellos son: La precipitación y la Evapotranspiración (ET). Este último término un tanto misterioso, solo trata de representar el nivel de consumo hídrico que tienen las plantas en un lugar determinado (por ejemplo la Finca) dadas unas condiciones de clima, suelo y de las praderas.

El Suelo. El suelo es el medio en el cual se reúnen las condiciones de sustento de las especies vegetales. Dentro de dichas condiciones están los nutrientes como por ejemplo: nitrógeno, fósforo, y potasio, sin embargo, ninguno de los nutrientes podrían pasar a nutrir a los vegetales si no existiera el agua como elemento fundamental para su disolución y para la nutrición de las plantas.

Además de los anteriores, en las dos fincas

se caracterizaron los siguientes elementos: Ca, Mg, S, y los elementos menores: Fe, Cu, Mn, Zn y B. además de los análisis de pH, acidez intercambiable, conductividad eléctrica y saturación de sodio.

Existen algunas características físicas del suelo que permiten el movimiento del agua. El suelo debe tener una relación adecuada de poros los cuales contienen tanto aire como agua. El suelo puede imaginarse como una esponja dentro de la cual existen en cierta proporción agua y aire, que deben mantenerse proporciones óptimas.

Estas características se pueden medir a través de los siguientes análisis: Capacidad de retención de humedad, densidad aparente, grado de compactación, porosidad, textura, estructura, y velocidad de infiltración del agua dentro del suelo, entre otras (Figura 2.1)



medición de la infiltración



toma de muestra inalterada para determinación de retención de humedad y densidad aparente.

Figura 2.1. Pruebas hidrodinámicas del suelo

Capacidad de retención de humedad se mide humedeciendo un suelo hasta saturarlo completamente y luego extrayendo el agua que contiene en un proceso que consiste en succionar el agua e ir midiendo la fuerza que requiere la planta para extraer el agua en los diferentes contenidos de humedad. Sin embargo existen dos límites naturales fuera de los cuales no es posible que la planta pueda extraer el agua del suelo estos son: "Punto de Marchitez Permanente" es el nivel mínimo por debajo del cual la planta no puede recuperarse y "Capacidad de Campo" es el nivel máximo, de humedad por encima del cual el agua correrá libremente por la superficie del suelo, en cuyo caso hay exceso de humedad en el lote y por lo tanto poca aireación.

Por esta razón el suelo debe estar con un contenido de humedad oscilando entre estos dos límites, para evitar problemas de excesos o déficit de agua que afectan las condiciones de la capa vegetal.

Una adecuada textura del suelo está asociada con la presencia de buenas porosidades que contribuyen a mejorar el nivel de retención de humedad del suelo.

La velocidad de infiltración del agua se refiere a la facilidad de acceso del agua dentro del suelo; cuando es muy baja tiende a producir encharcamientos, es común en suelos pesados o arcillosos y una alta infiltración ocurre en suelos más arenosos tiende a dejar pasar fácilmente el agua, por lo cual el suelo tiende a retener menos agua.

La Disponibilidad hídrica en la Finca

Un aspecto muy importante en la Finca es la existencia de fuentes de agua, ya sea superficiales o subterráneas. Dentro de las fuentes superficiales se encuentran los ríos, acequias, arroyos, lagos, lagunas, etc. Entre las fuentes subterráneas más

frecuentes están: los nacimientos o nacederos, pozos, aljibes, fuentes artesianas, etc. No se descartan las fuentes de agua artificiales como canales, tuberías, reservorios, presas y embalses.

Es necesario evaluar dichas fuentes, lo que se consigue determinando los niveles de caudal que tienen las fuentes de la finca, es decir midiendo el agua que pasa por ella en un tiempo determinado. Solo estableciendo el caudal se pueden proyectar las obras de captación para determinar el área que se podría regar.

Nivel de consumo de agua de las praderas

El nivel de consumo de agua en la finca se mide a través de la "Evapotranspiración" (ET) la cual en modo figurado es el opuesto a la precipitación, se mide en mm. El agua que se necesita reponer en el suelo y que es consumida por la planta se llama "Transpiración", y la que se evapora directamente del suelo "Evaporación". Pues bien, la transpiración sumada a la evaporación conforman lo que se conoce como evapotranspiración del cultivo (ET).

Todos los cultivos tienen niveles diferentes de ET que varían con el clima donde se desarrolla el cultivo. Existen varios métodos para el cálculo de la ET; sin embargo; un método muy fácil es la medición de la fracción de evaporación de una superficie de agua estándar (Tanque Tipo A), la cual se combina con investigaciones de campo sobre los niveles de transpiración de los cultivos en zonas agroecológicas determinadas.

La ET se estima teniendo en cuenta la evaporación observada multiplicada por un coeficiente (Kc) que representa los niveles de consumo del cultivo que para el caso de los pastos la FAO ha estimado a través de su ciclo vegetativo en valores que varían desde 0.3 hasta 1.25. (J.Doorenbos y W.O. Pruitt, FAO 24, 1994.)

La información de evaporación del Tanque Tipo A se puede buscar en estaciones climáticas cercanas a la finca.

Formas de medición de la humedad del suelo

No es suficiente con llevar la contabilidad del agua que entra (precipitación) y la que sale (ET), es necesario contabilizar también el agua que se queda en el suelo para saber si el nivel disponible para las plantas es adecuado.

Por esta razón es necesario evaluar la humedad del suelo, para ello existen varios métodos: el método gravimétrico o directo, y los aparatos de medida *in situ* como el TDR, el dispersor de neutrones, los tensiómetros, etc. Estos métodos permiten obtener el porcentaje de humedad del suelo, mediante el cual se infiere el volumen de agua que tiene en un momento dado.

¿Cómo se Aplica el Riego?

El sistema de riego debe ser apropiado a la finca: La elección del sistema de riego para la finca no debe hacerse al azar, sino dependiendo de las condiciones de la finca, la mayoría de los aspectos técnicos mencionados anteriormente contribuyen a que se elija uno u otro sistema de riego y de una buena elección depende el éxito del sistema y de su efectividad. El riego por aspersión es uno de los más usados en fincas ganaderas.

El sistema de riego debe ser diseñado también a partir de las condiciones inherentes a la finca, es decir que un sistema de riego de una finca no puede ser llevado a otra similar sin antes hacer un rediseño apropiado para dicha finca.

¿Cuánto Regar?

Para saber la cantidad de riego a aplicar es necesario hacer un Balance Hídrico; esto se logra con la confrontación de las entradas de agua contra las salidas o

consumos de esta, es decir la precipitación con la ET. Este balance hídrico se puede hacer durante el ciclo vegetativo del cultivo, en el caso de los pastos el balance se hace continuamente, es decir que durante todo el tiempo se están observando los niveles de precipitación a los cuales se les resta los niveles de ET observados y se mide la **humedad del suelo con el fin de evaluar los niveles de agua que debe suministrarse por riego.**

Existe un nivel determinado bajo el cual no es aconsejable dejar agotar el agua pues muy seguramente esto causaría lesiones a la planta por falta de agua, este nivel se denomina: "nivel de agotamiento" del agua en el suelo.

El espacio que ocupa el agua del suelo desde el nivel de agotamiento hasta el punto de saturación o "Capacidad de Campo" es el volumen que se debe regar.

¿Cuándo Regar?

Nuevamente es necesario conocer el balance hídrico de la finca para responder esta pregunta. Pero lo que se hace es evaluar o monitorear la humedad del suelo con el fin de determinar cuándo se está llegando al nivel de agotamiento del agua en el suelo, para nuevamente suministrar el agua faltante hasta la condición de Capacidad de Campo.

Los niveles de Capacidad de Campo, y Punto de Marchitez Permanente, dependen fundamentalmente del suelo y del cultivo, pero el nivel de agotamiento depende principalmente del sistema de riego. El nivel de agotamiento también determina la frecuencia de riego, la que puede ser de días para los sistemas de aspersión.

¿Cómo se Riega Bien?

Es necesario distribuir homogéneamente el agua en el predio pues de lo contrario se estarían superando los niveles críticos de PMP y CC en los diferentes sectores del lote, es decir que en algunos sectores estaría más o menos seco, (por

debajo de CC, o incluso acercándose peligrosamente al nivel de PMP) y en otros sectores podría superar los niveles de CC, ocasionando encharcamientos o incluso escorrentía superficial. Al regar de esta forma se estaría botando el agua es decir aumentando los costos y también minimizando la eficiencia de aplicación de agua del sistema de riego.

Para saber como regar mejor en un sistema de riego por aspersión o cañón se determina el diámetro promedio de alcance del aspersor y se ubican en forma de cuadrícula unos recipientes de tal forma que capten la precipitación aportada por el aspersor, la totalidad de los volúmenes de agua captados se analizan para determinar su homogeneidad por medio del coeficiente de uniformidad, el cual determina la eficiencia de aplicación del agua, esta eficiencia se acepta siempre y cuando supere por lo menos el 75%.

Para mejorar el grado de eficiencia del sistema de riego por aspersión o cañón se reduce la distancia entre aspersores o se mejora el arreglo o patrón de traslape en el cubrimiento de los círculos cubiertos por los aspersores ubicados en el campo.

Dependiendo del sistema de riego y de los requerimientos de la pradera se determina el tiempo de riego, este se mejora substancialmente con un buen sistema de riego y un coeficiente de uniformidad alto.

Ejemplo del cálculo del riego:

Para la finca La Carolina de propiedad de Don Gonzalo Ramírez, es necesario evaluar la cantidad de tiempo que se deja prendido el equipo de riego, la distancia entre aspersores, y cada cuanto se debe regar.

Para responder estas preguntas es necesario conocer la finca habiéndola caracterizado, para lo cual es deseable contar con un plano topográfico de la finca tanto en planimetría (área) como altimetría (altitudes)

En primer lugar se determina el balance hídrico restando la ET de la precipitación que se presentó en la última semana.

$$Bh = P - ET \quad P = 0.0 \text{ mm} \\ ET = 3.572 \text{ mm/día luego;}$$

$Bh = 0.0 - 3.572 \text{ mm/día} = -3.572 \text{ mm/día}$, es decir que por cada día que pasa existe un déficit de tres y medio milímetros de agua, por lo cual se debe regar.

Para saber cuánto debo regar se evalúan las condiciones del suelo teniendo:

$$PMP = 37.69 \% \text{ de humedad en volumen} \\ CC = 46.11 \% \text{ de humedad en volumen}$$

La lámina de agua a regar se evalúa por la siguiente ecuación:

$$L_{aa} = \frac{(CC - PMP)}{100} \times pr = \frac{(46.11 - 37.89)}{100} \times$$

$$0.2 \text{ m} = 0.01644 \text{ m} = 16.44 \text{ mm.}$$

L_{aa} : se le llama lámina de agua aprovechable, pero a esta se le debe evaluar un nivel de agotamiento el cual para riego por aspersión se supone del 50% = 0.5.

Pr = profundidad radical

$$L_n = (1 - 0.5) \times 16.44 \text{ mm} = 8.22 \text{ mm}$$

Ahora se puede evaluar la frecuencia del riego:

$$Fr = \frac{L_n}{ET} = \frac{8.22 \text{ mm}}{3.572 \text{ mm/día}} = 2.3 \text{ días} \approx 3 \text{ días}$$

Debido a que el sistema de riego por aspersión sólo alcanza una eficiencia de aplicación del 75% se tiene que la lámina bruta a aplicar es de:

$$L_b = \frac{8.22 \text{ mm}}{0.75} = 10.96 \text{ mm}$$

Es decir que debe aplicar una lámina de riego de 11 mm cada 3 días.

Sin embargo después de un análisis del sistema de riego que posee la finca se determinó que el sistema sólo puede aplicar a una velocidad de 14.2 mm/hr; Por lo cual, la recomendación final para el riego que se debe aplicar es un mínimo de 46.3 minutos dos veces por semana en cada sitio de ubicación del aspersor o cañón.

Haciendo un ensayo de campo se determinó que la distancia entre aspersores para alcanzar un coeficiente de uniformidad apropiado debía ser de por lo menos 35 x 35 m con lo cual se logra una eficiencia de aplicación de agua del 76%; sin embargo la eficiencia mínima aceptada para un sistema de riego por aspersión es de 75%.

Resultados Obtenidos dentro del Proyecto en las Fincas Ganaderas

A continuación se presentan los resultados de las variables estudiadas, comparados con los lotes testigo que representa el manejo del propietario de la finca.

En la Tabla 2.1. se presentan las propiedades químicas de los suelos de las fincas "La Carolina", Chiquinquirá, y "Donde Botero" del municipio de Iza.

En la Tabla 2.2. se presentan las características físicas de los suelos de las dos fincas, y en la Tabla 2. 3, se consignan los resultados de las características hidrodinámicas de los suelos de las fincas. Otro de los aspectos estudiados se puede observar en la Tabla 2.4. en la cual se han colocado los resultados de los análisis de resistencia a la penetración de raíces en cada una las fincas. Los resultados de la Tabla 2. 4 se presentan en forma gráfica en la Figura 2.2.

Uno de los aspectos estudiados y que tiene gran importancia en los balances hídricos y la capacidad de retención de humedad de los suelos agrícolas es la capacidad de

infiltración de los suelos, por esta razón se incluyeron sus resultados en la Tabla 2.2.

Para el cálculo de los balances hídricos y la lámina de riego a aplicar se uso el Modelo Automático de Balance Hídrico Agrícola (MABHA), el cual fue diseñado para seguimiento de las condiciones climáticas del las fincas, teniendo en cuenta principalmente los niveles de capacidad de campo de los suelos, el punto de marchitez permanente, la densidad aparente y monitoreos periódicos de precipitación, y evaporación con el fin de estimar evapotranspiración de las praderas. Parte de la información que usa dicho modelo se presenta en la Tabla 2.5. También se tuvo en cuenta las condiciones de infraestructura de riego de las fincas considerando la tasa de aplicación del riego y sus condiciones de eficiencia.

Para el caso de los balances hídricos automáticos se presentan tres gráficas por cada finca. En la primera se realizó el balance sin considerar el riego aplicado, (Figura 2.3) se incluye otra gráfica con la consideración de todos los riegos que se hicieron, (Figura 2.4) y por último una grafica en la que se simula una aplicación optima del riego, considerando las condiciones climáticas que se presentaron. (Figura 2.5).

Propiedades Químicas de los suelos de las fincas evaluadas

El análisis de las propiedades químicas de los suelos es una herramienta importante para el manejo de la fertilización en las explotaciones ganaderas. Cuando se realiza en una forma racional, se aumenta la cantidad y calidad de forraje y por consiguiente se incrementa la capacidad de carga.

En la Tabla 2.1 se presentan los resultados iniciales y finales de las propiedades químicas de cada una de las fincas comparando de la información del testigo con la tecnología del plan y su interpretación, evaluando 19 variables.

Para el caso de la finca La Carolina los suelos son extremadamente ácidos y pueden afectar la disponibilidad de algunos elementos indispensables para la producción de las praderas.

Para solucionar esta problemática se aplicaron 1.7 t/ha de cal dolomítica, con la cual se mejoró el calcio del suelo, pasando de 3.1 a 8.3 cmol+/kg, con poco efecto sobre el pH.

Con respecto al magnesio se incrementó de 0.8 a 1.2 con la aplicación de 25 Kg/ha de Sulfato de Magnesio.

Para el caso del cobre aunque, se le aplicaron 8 kg/ha de Sulfato de Cobre no se mejoró su contenido en el suelo.

En la Finca Donde Botero, el análisis indicó que estos suelos son moderadamente sódicos con 15.13 %, estos niveles influyen negativamente en algunos aspectos como, la absorción del agua, y la pérdida de la estructura del suelo. Para solucionar este problema se aplicaron 180 kg/ha de sulfato de amonio, logrando su nivel a 11.67 % el cual es ligeramente sódico.

Con respecto a los demás nutrientes no hubo variaciones apreciables de sus valores iniciales con respecto a los finales, y la caracterización indicó que en general sus contenidos son adecuados por lo que no se recomendó aplicar otro tipo de fertilizantes.

Propiedades Físicas de los suelos en las fincas evaluadas

La productividad y sostenibilidad de las praderas depende en gran parte de un manejo adecuado de la propiedades físicas, de los suelos las cuales determinan en gran parte la disponibilidad de nutrientes para la producción de praderas.

Para un diagnóstico adecuado del balance hídrico se requiere analizar algunas características hidrodinámicas tales como densidad aparente y real, porosidad, infiltración y capacidad de almacenamiento de agua en el suelo.

En la Tabla 2.2. se presentan las características hidrofísicas de las fincas ganaderas evaluadas en el trópico alto.

El contenido de agua disponible en el suelo en general es mayor en los primeros 15 cm de profundidad donde se desarrolla el sistema radical de los pastos. En los tratamientos con la tecnología del Plan se observa que en general aumentó el agua disponible del suelo en relación con la pradera de manejo comercial lo cual permite que la humedad permanezca más tiempo en el suelo, disminuyendo con ello la frecuencia de aplicación riego y como consecuencia reduciendo los costos de operación y mejorando los rendimientos de forraje en las praderas

La Tabla 2.3 la cual se denomina características físicas de las fincas ganaderas del trópico alto y se presentan los resultados de : las densidades, textura, retención de humedad, infiltración básica, y estabilidad estructural.

En la tabla 2.3 se presenta un resumen de las características físicas, comparando el estado inicial con el final en cada finca, comparando los resultados de las praderas con la tecnología del plan con los obtenidos con el sistema del ganadero. En cuanto a densidad aparente se observa que en el caso del comercial en la finca La Carolina no hubo diferencias apreciables entre el estado final e inicial, en tanto que en la finca Donde Botero se redujo la densidad aparente, mejorando las condiciones físicas del suelo.

Tabla 2.1 Propiedades químicas de los suelos de las fincas ganaderas del Trópico Alto.

Característica		FINCA BOTERO				FINCA LA CAROLINA			
		Inicial		Final		Inicial		Final	
Tipo de Análisis	Unidad	Comercial	Plan	Comercial	Plan	Comercial	Plan	Comercial	Plan
pH		6.5	6.3	6.2	6.3	5.1	5.1	5	5.2
Interpretación		Adecuada	Adecuada	Adecuada	Adecuada	Extremad. Ácido	Extremad. Ácido	Extremad. Ácido	Extremad. Ácido
Materia Orgánica	%	5.7	5	7.4	5.3	10.7	9.7	8.8	7.8
Interpretación		Media	Media	Media	Media	Alto	Medio	Medio	Medio
Fósforo (P)	mg/kg	21	27	26.5	27.7	42	24	28.8	17.3
Interpretación		Media	Media	Media	Media	Alto	Medio	Medio	Bajo
Azúfre (S)	mg/kg	35	37	84.4	19.2	20	16	32.6	20.8
Interpretación		Alto	Alto	Alto	Media	Medio	Medio	Alto	Alto
Acidez Intercambiable	cmol ⁺ /kg	0	0	0	0	2.6	1.2	2.9	1.2
Interpretación		N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	-	-	-
Aluminio (Al)	cmol ⁺ /kg	0	0	0	0	2	0.4	1.8	0.9
Interpretación		N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	-	-	-
Calcio (Ca)	cmol ⁺ /kg	13.7	9.7	15.1	12	2.1	3.1	2.8	8.3
Interpretación		Alto	Alto	Alto	Alto	Bajo	Medio	Bajo	Alto
Magnesio (Mg)	cmol ⁺ /kg	2.9	2.6	3.02	3.17	0.8	0.8	0.83	1.2
Interpretación		Alto	Alto	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Potasio (K)	cmol ⁺ /kg	0.54	0.58	0.61	0.72	0.32	0.35	0.6	0.47
Interpretación		Alto	Alto	Alto	Alto	Medio	Medio	Alto	Alto
Sodio (Na)	cmol ⁺ /kg	3.8	2.3	2.7	2.1	0.2	0.2	0.2	0.2
Interpretación		Alto	Alto	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Saturación Na	%	18.18	15.13	12.6	11.67	3.3	3.6	2.77	1.76
Interpretación		Moderadamente Sódicos	Moderadamente Sódicos	Ligeramente Sódico	Ligeramente Sódico	No Sódico	No Sódico	No Sódico	No Sódico
Conductividad Eléctrica	dS/m	1.9	1	1.3	1	0.4	0.4	0.63	0.48
Interpretación		No Salino	No Salino	No Salino	No Salino	No Salino	No Salino	No Salino	No Salino
Capacidad de Intercambio Catiónico	cmol ⁺ /kg	20.9	15.12	21.43	17.99	6	5.6	7.33	11.37
Interpretación		Alto	Medio	Alto	Media	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
Hierro (Fe)	mg/Kg	153	270	260	280	475	579	880	855
Interpretación		Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
Cobre (Cu)	mg/Kg	3.5	2.7	2.4	3.3	1.6	1.9	1.7	1.9
Interpretación		Alto	Medio	Media	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Manganeso (Mn)	mg/Kg	8.4	8.8	9.1	10.1	17.3	21.4	29.8	25
Interpretación		Medio	Medio	Media	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
Cinc (Zn)	mg/Kg	6.4	6	5.5	8.5	3.1	2.7	4.5	3.5
Interpretación		Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Medio	Alto	Alto
Boro (B)	mg/Kg	0.63	0.5	0.6	0.41	0.16	0.2	0.28	0.14
Interpretación		Alto	Alto	Alto	Alto	Bajo	Medio	Medio	Bajo

Tabla 2.2. Determinación de las características hidrofísicas de Fincas Ganaderas del Trópico Alto (Chiquinquirá e Iza, Boyaca)

Finca	Profundidad	D. Real	D. Aparente	Porosidad Total	Tensiones (Mpa)					Agua Disponible %d	Interpretación
					0.01	0.03	0.1	0.3	1.5		
La Carlina P4	15	2.38	0.89	62.61	50.33	48.27	46.40	47.71	43.39	6.94	Baja
		2.17	0.72	66.82	49.45	48.24	47.07	45.53	44.48	4.97	Muy Baja
	Promedio	2.28	0.81	64.71	49.89	48.26	46.74	46.62	43.94	5.96	Baja
	30	2.46	1.10	55.28	47.77	46.04	44.28	49.68	41.69	6.08	Baja
		Promedio	2.45	1.25	48.95	48.14	46.65	44.83	46.86	42.51	5.63
La Carlina P2	15	2.32	0.83	64.22	55.72	53.74	52.24	50.61	49.74	5.98	Baja
		2.32	0.82	64.66	48.27	48.65	45.38	43.68	42.91	5.36	Baja
	Promedio	2.32	0.83	64.44	52.00	51.20	48.81	47.15	46.33	5.67	Baja
	30	2.33	0.89	61.80	44.90	43.77	42.43	41.02	39.95	4.95	Muy Baja
		Promedio	2.28	0.75	67.11	38.26	37.03	35.92	34.54	33.69	4.57
La Carlina Plan	Promedio 15	2.30	0.82	64.58	50.94	49.73	47.77	46.88	45.13	5.81	Baja
	Promedio 30	2.38	1.04	56.70	44.86	43.53	42.00	42.32	39.67	5.19	Baja
La Carlina Comercial	15	2.23	0.92	58.74	49.56	48.53	47.32	45.76	44.61	4.95	Muy Baja
		2.12	0.87	58.96	50.28	49.13	48.24	47.19	46.29	3.99	Muy Baja
	Promedio	2.18	0.90	58.85	49.92	48.83	47.78	46.48	45.45	4.47	Muy Baja
	30	2.26	0.96	57.52	54.12	52.47	51.15	49.55	48.37	5.75	Baja
		Promedio	2.18	0.97	55.50	54.13	52.68	51.83	50.61	49.52	4.61
Donde Batero P2	15	2.41	1.29	46.47	46.11	44.74	43.68	42.44	41.33	4.78	Muy Baja
		2.49	1.40	43.78	40.55	38.92	37.93	36.52	35.22	5.23	Baja
	Promedio	2.45	1.35	45.12	43.33	41.83	40.81	39.48	38.33	5.01	Baja
	30	2.55	1.55	38.82	38.28	36.95	36.07	34.81	33.79	4.40	Muy Baja
		Promedio	2.53	1.61	36.36	37.65	35.82	34.96	33.30	32.25	5.40
Donde Batero P3	15	2.41	1.12	53.53	54.32	52.65	51.64	50.32	49.17	5.15	Baja
		2.46	1.04	57.72	54.45	52.99	51.57	50.09	49.00	5.25	Baja
	Promedio	2.44	1.08	55.63	54.39	52.62	51.61	50.21	49.19	5.20	Baja
	30	2.68	1.49	44.40	44.36	43.89	41.95	40.52	39.65	4.71	Muy Baja
		Promedio	2.55	1.45	43.14	41.13	39.40	38.57	37.01	36.23	4.90
Donde Batero Plan	Promedio 15	2.44	1.21	50.37	48.86	47.23	46.21	44.84	43.76	5.10	Baja
	Promedio 30	2.58	1.53	40.68	40.35	40.52	37.89	36.41	35.45	4.80	Muy Baja
Donde Batero Comercial	15	2.55	0.97	61.96	56.00	54.24	53.03	50.87	49.65	6.34	Baja
		2.43	1.21	50.21	53.94	52.16	51.37	50.22	49.31	4.63	Muy Baja
	Promedio	2.49	1.09	56.08	54.97	53.21	52.20	50.55	49.49	5.49	Baja
	30	2.43	1.15	52.67	53.07	51.54	50.71	49.45	48.64	4.43	Muy Baja
		Promedio	2.45	1.14	53.57	52.79	51.11	50.20	48.95	48.11	4.88

Tabla 2.3. Características físicas de las Fincas ganaderas del Trópico Alto

Característica		FINCA BOTERO (Iza)				FINCA LA CAROLINA (chi)				
		Iniciales		Finales		Iniciales		Finales		
Tipo de Análisis	Unidad	Comercial	Plan	Comercial	Plan	Comercial	Plan	Comercial	Plan	
Densidad Aparente	g/cm ³	1.42	1.21	1.11	1.37	0.91	0.86	0.93	0.93	
Densidad Real	g/cm ³	2.30	2.25	2.47	2.51	2.19	2.21	2.20	2.34	
Porosidad Total	%	38.26	46.22	54.83	45.53	56.44	61.09	57.68	60.64	
Textura	Arenas	%	31.60	27.60	27.60	30.40	18.80	40.00	20.80	34.60
	Arcilla	%	42.00	44.00	48.00	42.00	44.40	32.00	42.00	36.00
	Limos	%	26.40	28.40	24.40	27.60	36.80	28.40	37.20	29.40
	Denominación		Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	F-Ar	Ar	F-Ar
Relación de Humedad	0.01	Mpa	41.65	49.03	53.88	44.61	48.20	50.33	50.03	47.90
	0.033	Mpa	37.91	44.87	52.16	43.88	44.83	46.05	50.71	46.63
	0.1	Mpa	36.36	44.80	51.20	42.05	43.34	45.34	44.89	44.89
	0.3	Mpa	33.91	40.29	49.75	40.63	41.36	43.68	44.44	44.66
	1.5	Mpa	33.14	39.43	48.88	39.62	39.47	42.10	42.56	42.40
	Agua disponible	%	8.51	9.60	5.09	4.99	8.73	8.23	4.83	5.50
Infiltración Básica	cm/hr	0.47	0.44	0.01	0.21	22.84	37.32	9.48	20.81	
	Interpretación	Lenta	Lenta	Lenta	Lenta	Rápida	Muy Rápida	Moderada	Rápida	
Estabilidad estructural	4 mm	%	35.16	21.35	38.55	27.90	25.32	18.89	32.85	44.86
	2 mm	%	22.34	24.37	23.15	20.51	25.61	22.37	31.03	29.09
	1 mm	%	8.39	10.83	13.55	7.61	13.45	14.68	15.31	10.89
	0.5 mm	%	5.58	8.96	9.16	7.88	12.00	15.03	8.36	5.10
	0.25 mm	%	4.44	6.71	5.79	5.10	5.69	8.76	3.55	2.21
	<0.25 mm	%	24.09	27.78	10.00	31.00	17.93	20.27	8.90	7.85
	D.P.M	mm	2.99	2.30	3.31	2.56	2.62	2.20	3.22	3.79

La Tabla 2.4 presenta los resultados de las pruebas de resistencia a la penetración de las raíces en el suelo; es importante resaltar que el valor inicial máximo de penetración del instrumento fue de 14 cm en ambas fincas y después de la renovación se alcanzaron niveles de penetración cercanos al límite de capacidad del instrumento (52.5 cm).

Los productores también efectuaron tratamientos mecánicos de renovación de sus praderas por lo cual el instrumento profundizó igual que en el caso de las praderas con la tecnología, del Plan hasta los 15 cm de profundidad, sin embargo a

partir de esta profundidad con el manejo tecnológico de renovación del Plan se presenta menor resistencia a la penetración de las raíces que en las praderas de manejo comercial del productor en ambas fincas.

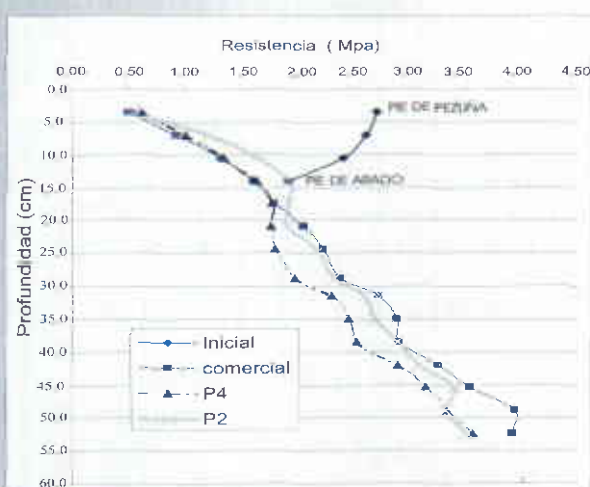
En la Figura 2.2 se ilustran una gráfica de estos resultados y se observa en ambos casos que en el estado inicial (línea azul oscura), a menos de 5 cm de profundidad se presenta una compactación alta debido al pie de pezuña. Igualmente el instrumento no superó la profundidad de 15 cm debido a la presencia de una capa endurecida llamada pie de arado. (Figura 2.2)

El MABHA es una hoja de cálculo programada con algoritmos apropiados y "protegidos" con el fin de que el usuario o el productor pueda interactuar en forma práctica, fácil y segura para obtener un balance hídrico agrícola automático y realista de las condiciones de humedad del

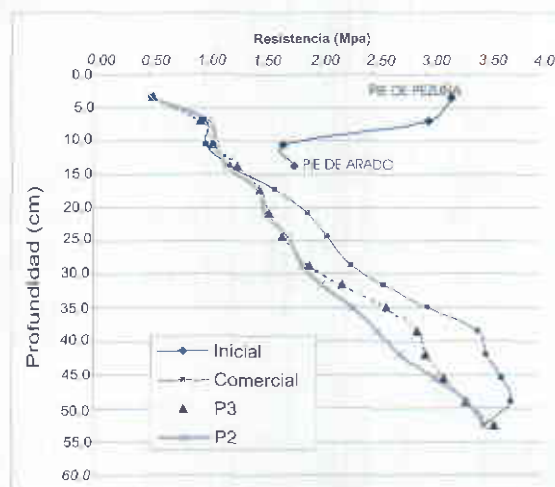
suelo. Además el MABHA tiene en cuenta las condiciones de eficiencia y la tasa de aplicación del sistema de riego del ganadero, considerando principalmente sistemas de riego por cañón, aspersión o microaspersión.

Tabla 2.4. Resistencia a la penetración de las raíces en Fincas Ganaderas del Trópico

Finca		La Carolina				Donde Botero				
Profundidad cm	Inicial	Valores Finales								
		Testigo	Manejo Tecnológico			Inicial	Testigo	Manejo Tecnológico		
			P4	P2	Promedio			P3	P2	Promedio
3.5	2.70	0.49	0.61	0.52	0.57	3.20	0.52	0.54	0.52	0.53
7.0	2.60	0.91	1.00	1.20	1.10	3.00	0.99	0.96	1.03	1.00
10.5	2.40	1.31	1.34	1.62	1.48	1.70	1.00	1.06	1.09	1.08
14.0	1.90	1.60	1.63	1.91	1.77	1.80	1.22	1.29	1.19	1.24
17.5		1.79	1.77	1.92	1.85		1.62	1.49	1.47	1.48
21.0		2.05	1.76	1.90	1.83		1.93	1.58	1.55	1.57
24.5		2.23	1.80	2.16	1.98		2.10	1.69	1.74	1.72
28.8		2.38	1.98	2.33	2.16		2.30	1.94	1.87	1.91
31.5		2.71	2.30	2.59	2.45		2.59	2.23	2.04	2.14
35.0		2.88	2.45	2.68	2.57		2.98	2.62	2.30	2.46
38.5		2.90	2.53	2.89	2.71		3.44	2.89	2.54	2.72
42.0		3.25	2.89	3.08	2.99		3.52	2.97	2.74	2.86
45.5		3.53	3.14	3.39	3.27		3.65	3.13	3.06	3.10
49.0		3.92	3.32	3.31	3.32		3.73	3.33	3.34	3.34
52.5		3.90	3.55	3.50	3.53		3.49	3.53	3.49	3.54



Resistencia a la penetración en la Finca La Carolina (Chiquinquirá)



Resistencia a la penetración en la Finca Donde Botero (Iza)

Figura 2.2. Diagrama de variación en la resistencia a la penetración en fincas ganaderas del Trópico Alto. (La Carolina, Chiquinquirá. y: Donde Botero, Iza.

La Tabla 2.5. muestra la estructura de entrada de datos de la información requeridas por el modelo. En tabla adicional se incluye la información de clima (precipitación, evaporación o evapotranspiración y algunos elementos climáticos (temperatura, vientos) además de la profundidad radical y las condiciones de humedad del suelo reales supervisadas periódicamente.

Con la información obtenida en la finca la Carolina en Chiquinquirá se elaboraron tres gráficas (simulaciones): En la primera se simuló el balance hídrico de la pradera sin la consideración del riego aplicado (Figura 2.3), observando las condiciones inherentes al clima, el suelo y la pradera. La evaluación del balance hídrico se inició el primero de enero del año 2002 y terminó en noviembre. Es importante resaltar que condiciones similares a las del final del año se

habían presentado también al final del año anterior, por lo cual los más altos rendimientos en materia seca se obtuvieron en enero del mencionado año, a pesar de los niveles de estrés hídrico que se presentaron en esa fecha.

Se aprecia que el periodo de estrés que inicia en enero se prolonga hasta mediados de marzo, seguido de un periodo de lluvias que va hasta la primera semana de mayo, unas cortas lluvias se presentaron a mediados de junio, pero se presentó un segundo periodo de sequía desde esta fecha hasta inicios de septiembre y octubre en cual cayeron aguaceros esporádicos mejorando la humedad del suelo en las dos fechas (4 de septiembre y 2 de octubre) y ,a partir de la primera semana de noviembre se presentó el tercer periodo de lluvias prolongándose hasta mediados de diciembre.

Tabla 2.5. Estructura de entrada de datos de la información requerida por el modelo

Parámetros Hidronámicos Para Riego Normal										
Finca: La Carolina Vereda: Carapacho			Municipio: Chiquinquirá Departamento: Boyacá			Propietario: Gonzalo Ramírez				
HUMEDAD DEL SUELO						DEMANDA DE HUMEDAD				
Horizonte		Gravimétrica		Volumétrica		Lámina				
		CC=	% Peso	% vol	Profundid=	mm	cm			
Horizonte 1	CC=	50,33	% Peso	41,2706	% vol	83	mm	Humedad suelo mínima 1	4,21	
	PMP=	42,1	% Peso	34,52	% vol	69	mm			
	Da=	0,82	g/cm3	Profundid=	0	20	cm			
Horizonte 2	CC=	40,16	% Peso	48,99952	% vol	122	mm	Humedad suelo mínima 2	3,225	
	PMP=	32,25	% Peso	39,345	% vol	98	mm			
	Da=	1,22	g/cm3	Profundid=	20	45	cm			
Horizonte 3	CC=	36,5	% Peso	48,18	% vol	0	mm	Humedad suelo mínima 3	2,862	
	PMP=	28,62	% Peso	37,7784	% vol	0	mm			
	Da=	1,32	g/cm3	Profundid=	45	45	cm			
Nivel Actual	CC=		% Peso	0	% vol	0	mm	Evapotranspiración Me=	3,57	
	PMP=		% Peso	0	% vol	0	mm			
	Da=		g/cm3	Profundid=	45	cm	Evaporación tanque A=			3,57
								Kc=	1	Adim
								Nivel Agotamiento=	50%	
								Jornada de trabajo=	8	h/día
CALCULO DE LAS LAMINAS DE RIEGO					CARACTERÍSTICAS DEL ASPERSOR					
Eficiencia de aplicación=	LAA=	16,44	mm	Efici.Real=	76.1%	Tasa de aplicación=		14,20	mm/hr	
	Lri=	8,22	mm			Diámetro=		50	Minutos	
	Lb=	10,8	mm			Patrón Recomendado=		42	m ²	
Frecuencia Riego=	Días		Horas	Minutos	Seg	Caudal (qa)=		27,88	m ³ /hr	
		3	0	36	56,37	Caudal (qa)=		122,8	gal/min	
Humedad para Riego=		46,215	36,205	32,56		Presión Requerida=		95,00	psi(Lb/pul ²)	
Area Riego=		31416,00	m2			Boquilla Principal=		6,46	Atm	
Volúmne Riego=			3393,42	m3		Boquilla Secundaria=		2/3	pul	
Caudal Mínimo		14,139	m3/h			Diámetro de entrada=		9/16	pul	
Caudal Mínimo=			0,004	m3/s		Modelo=		7,35	cm	
Caudal Mínimo=			3,928	L/s		Tipo=		101		
Módulo de Riego=			1,250	(L/s)ha		Marca=		Grande		
						Golondrina		Horas	Minutos	
						Tiempo de Riego		0	0	

El modelo MABHA ayudó a determinar el tiempo y la frecuencia requerida del riego con base en las condiciones climáticas y la lámina aplicada por el sistema de riego, sin embargo dadas las limitaciones de caudal los y volúmenes de agua existentes en la finca no fue posible aplicar riego todas las veces que se quería, finalmente se logró realizar varias aplicaciones distribuidas a lo largo del año las cuales contribuyeron a mejorar la humedad del suelo de acuerdo

con lo presentado en la Figura 2.4 (desde finales de febrero hasta inicios de abril, desde la última semana de junio hasta mediados de julio, y desde la primera semana de agosto hasta la primera semana de septiembre).

En la Figura 2.5 se muestra que durante mayor cantidad de tiempo permaneció el suelo en condiciones favorables de humedad.

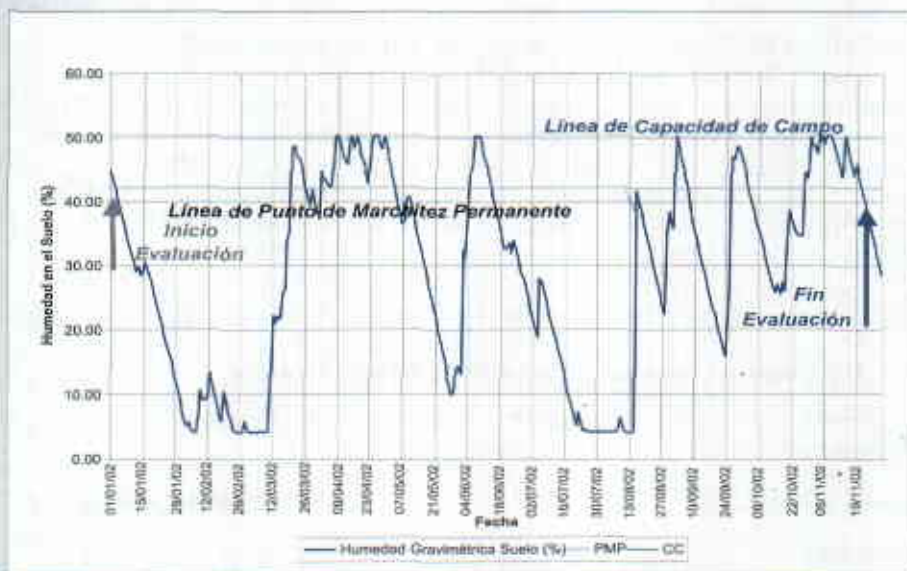


Figura 2.3. Balance hídrico del suelo para la finca La Carolina, (Chiquinquirá)

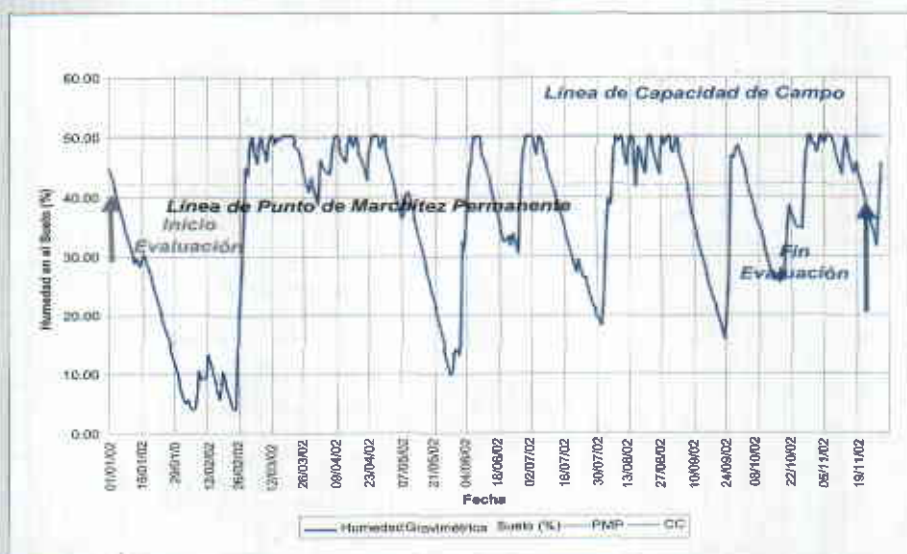


Figura 2.4. Balance hídrico del suelo para la finca La Carolina, (Chiquinquirá, Boyacá) con aplicación de riego

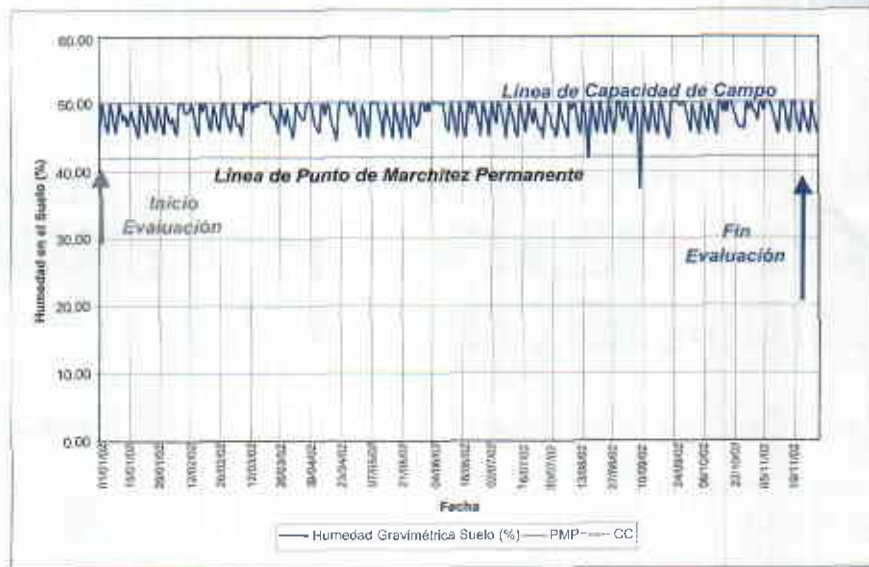


Figura 2.5. Balance hídrico del suelo para la finca La Carolina, (Chiquinquirá, Boyacá) con aplicación de riego óptimo.

Se realizó una simulación para el caso de que el riego estimado por el programa hubiera sido aplicado en la forma más exacta posible, los resultados de este proceso de presentan en la Figura 5, se

puede observar que los niveles de humedad no sobrepasan las líneas de capacidad de campo y punto de marchitez permanente del cultivo.

BIBLIOGRAFÍA

ALMANSA MANRIQUE, EDGAR F. "Requerimientos de agua por las plantas" En Aspectos Básicos del Riego, Corpoica - Inat, Convenio Corpoica Inat No. 174 Pequeña Irrigación. Ibagué, Mayo de 1996, 98 p.

ALMANSA MANRIQUE, EDGAR F. "Manejo de cultivos bajo riego en distritos de pequeña escala" Corpoica Inat, Convenio Corpoica Inat No. 174 Pequeña Irrigación. Bogotá, 1998, 174

CAVAZOS, T. y RODRIGUEZ, O. 1992. Manual de prácticas de Física de Suelos, Editorial Trillas, México, D. F. 99 p.

DOORENBOS, J. Y PRUITT, W.O. "Las necesidades de agua de los cultivos". Estudio FAO Riego y Drenaje, FAO 24, Roma, 1994, 193

FORERO, S. A. 1986. Infiltración. Artículo del Manual de Riego. ICA. Santa Fe de Bogotá, Colombia. 30 p.

GAVANDE, S. 1987. Física de Suelos, principios Y aplicaciones. Editorial Limusa, S. A. México, D. F. 351 p.

GONZÁLEZ M. CARLOS, MENDOZA R. GERMÁN Y SÁNCHEZ J. GABRIEL. "Riego por goteo". Cartilla para ingenieros, estudiantes y agricultores. SENA, U. Nacional. Sc. Sp.

INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI - IGAC. 1990. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Bogotá, D. C. 502 p.

LUQUE, JORGE ALFREDO. "Hidrología Agrícola Aplicada". Hemisferio Sur, Buenos Aires, 1981, 326 p.

MERRIAM, JOHN L., KELLER, JACK., Y ALFARO, JOSÉ. "Irrigation system evaluation and improvement". Department of Agricultural and Irrigation Engineering, Utah Water Research Laboratory. Logan, Utah, 1973, sp.