

Método para la determinación de los períodos de riego en el cultivo del sorgo

Uno de los aspectos importantes a considerar dentro de la producción agrícola es la evaluación del contenido de humedad y del potencial hídrico total del suelo con el fin específico de determinar el momento oportuno de regar.

En Colombia no se tiene una metodología de la evaluación del momento de regar; esta evaluación generalmente se realiza a criterio subjetivo del técnico o del agricultor sin tener en cuenta, o sin utilizar elementos medidores del agua del suelo, entre las cuales se mencionan: tensiómetros, bloques de resistencia eléctrica, el medidor de neutrones, los rayos de atenuación gamma, etc.

Cada uno de los anteriores elementos presentan problemas para su implementación, tales como su costo, difícil consecución, mantenimiento especial y constante, lo cual hace que su utilización sea muy crítica a nivel de agricultor y de técnico.

Esta situación conduce a desarrollar un método de evaluación del contenido de agua en el suelo que permite en forma rápida y económica la determinación del momento oportuno de regar, siendo el objetivo principal de esta investigación.

El avance del proyecto contempla también determinar los períodos de riego en el cultivo de sorgo en la región del Tolima, establecer una metodología específica para determinar los períodos de riego a partir de la curva característica de retención de humedad y definir la relación adecuada suelo-arena para un coeficiente de agotamiento de 0,5 del cultivo mencionado.

GERMAN MENDOZA R.
Ingeniero Agrícola
Profesor Asistente
Depto. de Ingeniería Agrícola

HENRY AVILA G.
EDGAR FIGUEROA V.
Ingenieros Agrícolas

LOCALIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

General. El ensayo se realizó en el Distrito de Riego Usuarios del Coello (USO-COELLO), situado en el Departamento del Tolima, el cual está delimitado al norte por el río Coello y parte del río Magdalena, al sur por una línea imaginaria que del punto del ferrocarril Tolima-Huila sobre el río Chenche parte en dirección a Boquerón de Prado (70°35'E) hasta el cruce con el río Magdalena; al oriente con el río antes mencionado y por el occidente con la quebrada Guaduas, la carretera Chicoral-Guamo, y el río Luisa y la carretera Guamo-Neiva.

Se encuentra a una altura entre 280 y 440 metros sobre el nivel del mar.

Específica. Los sitios de muestreo corresponden a la serie de suelo denominada Dindalito, que ocupa un área de 5.033,45 Ha (IGAC-1970), ubicados en el Distrito de Riego Usuarios del Coello.

Clima. El análisis de clima en la zona de estudio se hizo con base en los datos climatológicos de la estación meteorológica Maraños-Natagaima, cuyo resumen es el siguiente:

Temperatura. La temperatura promedio anual es de 27,8°C clasificada como clima cálido.

La temperatura mínima media varía entre 21,8°C y 15,5°C con promedio de 19,7°C.

La temperatura máxima media varía entre 32,2°C y 39,0°C con promedio de 35,4°C.

Los valores más bajos de la temperatura promedio multianual se presenta en abril, mayo, junio, octubre y noviembre los cuales están por debajo de la media 27,8°C. En el resto del año los valores fluctúan entre 27,4°C y 28,3°C.

TABLA 1
Análisis físico-químico de la serie de suelo Dindalito

Prof. cm.	Granulometría				pH	C%
	A%	L%	Ar%	Textura	1:1	C%
0 - 35	68	16	16	FA	6.0	0.15
35 - 55	90	6	4	A	6.9	0.01
55 - 23	90	8	2	A	6.7	0.05

Complejo de cambio - me/100 g						Saturaciones - %			
CCC	BT	Ca	Mg	K	Na	ST	SCa	SMg	SK
9.1	8.5	5.3	2.6	0.4	0.2	93.4	58.2	28.6	4.4
5.8	5.5	3.2	2.0	0.2	0.1	94.8	55.2	34.5	4.5
4.4	4.3	2.4	1.6	0.2	0.1	97.7	54.5	36.4	4.5

Precipitación. La precipitación promedio anual de 1.379,9 mm presenta dos períodos de lluvia y dos de sequía más o menos definidos. La primera época lluviosa corresponde a la segunda quincena de marzo, abril y primera semana de mayo. El segundo período lluvioso comprende la segunda quincena de septiembre, octubre y los primeros días de diciembre. Dentro de estos dos períodos, el del primer semestre tiene mayor precipitación que el del segundo semestre.

Humedad relativa. Los valores de humedad relativa oscilan de 43% a 83% con un promedio de 69%.

METODOLOGIA

La presente investigación se desarrolla en tres etapas:

1. Diseño del método.
2. Implementación del método.
3. Seguimiento del método.

La investigación fue realizada en el período comprendido entre julio de 1988 y junio de 1989.

Diseño del método

El presente paso tiene como objetivo encontrar una relación suelo-arena, de modo que la lámina a aplicar, correspondiente al 50% del agua aprovechable del suelo, sea igual al 100% del agua aprovechable de la relación, suelo-arena.

Componente suelo. La información básica disponible se halla consignada en el "Estudio detallado de suelos y

clasificación de tierras con fines de riego de la parte plana de los municipios: Flandes, Espinal, Guamo, Saldaña y sectores de Purificación y Coyaima. Departamento del Tolima", realizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (6). En él se suministra una descripción detallada de la naturaleza, características físicas y químicas de los suelos de los municipios y se delimitan los suelos a nivel de series y fases.

Desde el punto de vista de esta investigación se selecciona la clasificación taxonómica del suelo identificada como serie Dindalito (D.I.C), cuyas características se incluyen en la Tabla 1.

Estos parámetros (Tabla 1) para fines de la investigación, se consideran como constantes ya que se estableció como única variable el contenido de humedad.

Para estudiar el potencial del agua del suelo se obtuvieron los datos de retención de humedad, en tres lotes de la misma serie de suelos, Tablas 2, 3 y 4, localizados en las fincas El Progreso, La Porfía y Rancho Grande.

Al seleccionar la serie de suelos, se tuvo en cuenta que éste correspondería a una de las series de suelo que fuesen de predominación en la región del Tolima (USO-Coello) a fin de extrapolar los resultados.

En la Tabla 5 se muestran los resultados del análisis físico-químico del suelo (lote finca El Progreso).

Componente arena. Ante la ausencia de estudios específicos se desarrolló la siguiente metodología para cum-

Tabla 2
Valores de retención de humedad del suelo (seleccionado) "Finca El Progreso"

Tensión (Bares)	1/10	1/3	1	5	10	15	Parámetros de correlación		
							bo	b1	r
Muestra									
1.	19.77	16.35	13.95	11.21	10.30	9.79	14.137	-0.1394	0.9992
2.	19.06	17.27	14.94	12.26	11.05	10.04	14.692	-0.1270	0.9942
3.	18.86	17.11	14.86	12.20	10.49	9.89	14.438	-0.1330	0.9902
4.	17.87	16.21	13.75	11.19	10.18	9.72	13.704	-0.1260	0.9977
5.	19.17	16.19	13.81	11.29	10.39	9.69	13.990	-0.1340	0.9995
6.	18.60	5.74	13.92	10.83	10.21	9.86	13.744	-0.1290	0.9978
7.	18.69	16.20	13.84	12.18	11.08	10.11	14.231	-0.1160	0.9948
8.	17.75	15.91	12.89	11.27	10.20	9.12	13.390	-0.1280	0.9915
9.	17.79	15.78	13.80	10.96	10.08	9.40	13.513	-0.1290	0.9980
10.	18.74	15.26	12.95	10.82	10.02	9.65	13.438	-0.1300	0.9952
Promedio	18.630	16.202	13.871	11.421	10.400	9.727	13.934	-0.1290	0.9996

TABLA 3
Valores de retención de humedad del suelo "Finca La Porfía"

Tensión (Bares)	1/10	1/3	1	5	10	15	Parámetros de correlación		
							bo	b1	r
Muestra									
1.	20.12	17.22	14.52	11.77	10.80	10.04	14.678	-0.1380	0.9990
2.	19.88	17.04	14.09	11.55	11.04	9.98	14.515	-0.1340	0.9960
3.	17.14	16.40	13.21	10.94	10.40	9.44	13.523	-0.1170	0.9920
4.	18.33	16.93	13.87	10.11	10.85	9.86	14.048	-0.1260	0.9920
5.	20.61	17.85	14.80	11.98	10.96	10.07	14.995	-0.1420	0.9980
6.	19.57	16.57	14.14	11.67	10.84	9.97	14.340	-0.1330	0.9980
7.	17.99	15.14	13.09	10.42	10.12	9.15	13.180	-0.1310	0.9970
8.	19.95	15.22	14.66	11.97	11.21	9.89	14.370	-0.1240	0.9820
9.	20.14	16.47	14.81	12.07	11.06	9.95	14.675	-0.1320	0.9960
10.	19.67	16.55	15.22	11.12	10.14	9.86	14.519	-0.1380	0.9920
Promedio	19.340	16.539	14.241	11.559	10.742	9.801	14.278	-0.1320	0.9990

TABLA 4
Valores de retención de humedad del suelo "Finca Rancho Grande"

Tensión (Bares)	1/10	1/3	1	5	10	15	Parámetros de correlación		
							bo	b1	r
Muestra									
1.	19.14	16.02	13.38	11.10	10.04	9.19	13.706	-0.1420	0.9980
2.	19.02	16.72	14.02	11.79	10.36	9.32	14.117	-0.1380	0.9940
3.	18.62	16.48	13.74	11.84	10.24	9.17	13.914	-0.1360	0.9910
4.	17.46	15.96	13.09	11.02	9.94	8.94	13.271	-0.1320	0.9930
5.	18.84	16.14	13.68	11.46	10.03	9.11	13.771	-0.1400	0.9960
6.	17.94	15.78	13.42	11.08	9.96	8.93	13.399	-0.1350	0.9960
7.	17.36	15.26	12.96	11.02	9.76	8.92	13.073	-0.1290	0.9960
8.	18.04	16.16	14.42	12.03	10.36	9.19	13.925	-0.1290	0.9840
9.	17.88	16.04	13.36	11.88	10.42	9.38	13.699	-0.1230	0.9890
10.	18.26	17.11	14.63	12.19	10.34	9.16	14.190	-0.1350	0.9800
Promedio	18.256	16.167	13.670	11.541	10.145	9.131	13.706	-0.1340	0.9940

TABLA 5
Análisis físico-químico del suelo seleccionado

Serie: Dindalito		Lote: El Progreso				
Profundidad cm	A%	L%	Granulometría			pH
			Ar%	Textura		
0 - 20	68	20	12	FA	6.2	
20 - 45	74	18	8	FA	6.5	
45 - 150	90	8	2	A	6.5	

Complejo de cambio - me/100 g						Saturaciones (%)		
C.I.C.	Ca	Mg	K	Na	P	ST	SCa	SMg
16.0	7.60	2.00	0.20	0.36	16.00	63.50	47.50	7.69

Materia orgánica	(%)	4.32
Relación	Ca/Mg	3.80
	Mg/k	10.00
	(Ca+Mg)/k	48.00
A.I. - CAMBIABLE		0.00

plir con el objetivo de poderlo relacionar en la interacción de sus propiedades físicas con el componente suelo.

Búsqueda y selección de fuentes

Se examinaron ocularmente varias fuentes, teniendo en cuenta su ubicación geográfica, su influencia en el área de estudio y su facilidad y estabilidad para una adecuada aplicación en este proyecto.

Las fuentes estudiadas debían cumplir dos requisitos principales para poderla utilizar.

Granulometría. Las arenas debían tener una gradación tal que suministraran todas las fracciones en cantidades adecuadas, para luego componer las granulometrías de trabajos que tiene valores cercanos a los siguientes:

Fración gruesa	Pasa Tamiz No 16 (1.2 mm)
	Retenido en Tamiz No. 30 (0.6 mm) \pm 30%
Fración media	Pasa Tamiz No 30 (0.6 mm)
	Retenido en Tamiz No. 50 (0.3 mm) \pm 50%
Fración fina	Pasa Tamiz No 50 (0.3 mm)
	Retenido en Tamiz No. 100 (0.15 mm) \pm 20%

Capacidad de retención de humedad. Se trata de utilizar arenas con un contenido de humedad que varíe entre los siguientes rangos:

Capacidad de campo: 5.0%

Punto de Marchitez Permanente: 2.0%

Se seleccionaron dos fuentes que cumplieran con los requisitos descritos: arena del río Coello y arena del río Saldaña.

Se definió la utilización de la arena del Río Coello, teniendo en cuenta la distancia y la economía. A ésta se le realizaron los ensayos de densidad y de absorción. Tabla No. 6.

Preparación de materiales. Se seleccionó el suelo de la finca "El Progreso", por ofrecer ventajas en sus características físicas y ubicación.

Se obtuvo la curva de retención de humedad base para la determinación de la mezcla fina a implementar. (Tabla 2.).

Preparación de las mezclas. Se elaboraron mezclas del suelo-arena (en relación a peso), obteniendo la curva de retención de humedad de cada mezcla, de acuerdo con los siguientes valores:

Suelo (%)	90	80	70	60	50
Arena (%)	10	20	30	40	50

Los resultados de cada uno de estos ensayos se encuentran resumidos en la tabla 7.

TABLA 6
Datos de retención de la arena seleccionada (Coello)

Tensión (Bares)	1/10	1/3	1	5	10	15	Parámetros de correlación		
							bo	b1	r
Muestra									
1.	4.55	3.93	3.22	2.71	2.46	2.34	3.336	-0.1330	0.9980
2.	4.52	3.82	3.33	2.68	2.39	2.27	3.303	-0.1370	0.9990
3.	4.45	3.86	3.25	2.60	2.43	2.31	3.283	-0.1330	0.9980
4.	4.47	3.91	3.36	2.61	2.46	2.21	3.289	-0.1430	0.9980
Promedio	4.500	3.880	3.290	2.650	2.410	2.280	3.303	-0.1370	0.9990

TABLA 7
Resumen de los valores promedios de retención de humedad

Tensión (Bares)	1/10	1/3	1	5	10	15
Tipo suelo						
Suelo	18.63	16.20	13.87	11.42	10.40	9.72
Arena	4.50	3.88	3.29	2.65	2.41	2.28
Mezclas: suelo-arena						
90 - 10	18.20	16.11	14.86	13.77	13.31	13.07
80 - 20	17.24	15.90	14.69	13.44	13.09	12.95
70 - 30	16.15	14.50	13.42	11.82	11.32	11.02
60 - 40	14.50	13.06	11.96	11.29	10.98	10.77
50 - 50	12.42	11.70	11.02	10.11	9.67	9.56

Determinación de la mezcla a implementar. Definiendo el coeficiente de agotamiento del 50% en la curva característica del suelo para el cultivo de sorgo, y de los datos obtenidos del punto de marchitez de las curvas características de las mezclas anteriores, se definió la mezcla 80 - 20 (suelo-arena) como la óptima para las condiciones establecidas.

Implementación del método

La ubicación y el área mínima de las parcelas ubicadas en la finca "El Progreso", fueron definidas por :

- *La homogeneidad del suelo de la finca.* Se hizo un examen detallado de los suelos, tanto en sus características internas para lo cual se abrió una calicata para describir en forma detallada la morfología del perfil.
- *Evaluación de las características externas:* drenaje externo, pendiente, relieve, grado de erosión, vegetación natural y uso actual.
- *Ubicación de las parcelas.* Para efecto de la investigación se trazó una diagonal de 240 m en la

parte media de la finca, de la cual se ubicaron cinco parcelas cada 60 metros.

Tamaño de la parcela. De un (1) metro cuadrado, que contiene 44 plantas, de las cuales se seleccionaron 22 como plantas indicadoras del área efectiva de la parcela.

Los componentes de suelo y arena se mezclaron en proporciones con base en pesos establecidos por la relación óptima seleccionada suelo- arena (80 - 20).

Una vez mezclados se procedió al relleno de la parcela.

Seguimiento del método

Con la información obtenida y contando con la asesoría del cuerpo técnico de la oficina de Fenalce regional Tolima se procedió a efectuar recomendaciones del manejo del agua y del suelo.

Se elaboró el diseño de la dirección del laboreo, siembra, longitud de los surcos y ubicación de los canales de riego y drenaje.

Se determinaron los parámetros de riego. Se realizó el ensayo de infiltración (anillos) y se efectuó el análisis químico del agua de riego.

El seguimiento de el control de humedad se hizo por medio del balance hidrológico que es el método utilizado en la zona para determinar los periodos de riego.

Método implementado. Después de instaladas las parcelas, se procedió a elaborar un cronograma de actividades (Tabla 8).

La unidad experimental se conformó de cinco parcelas seleccionando dos parcelas destinadas para la toma de muestras en la determinación de la humedad. Y a la evaluación de las hojas como indicadores del estrés hídrico. La parcela número cinco es testigo y contiene solo arena.

Epoca de siembra y prácticas culturales. El 10 de febrero se dió inicio a las actividades descritas detalladamente en la tabla 8.

Toma de muestras. Para la toma de muestras y la medición de parámetros se tuvieron en cuenta las siguientes fases del desarrollo de la planta:

Vegetativo: esta fase comprende los eventos entre la germinación y la diferenciación de la panoja.

Desarrollo de la panoja: cuando sean visibles los primeros granos de polen en la parte apical de la panoja, indica la culminación del desarrollo de la panoja.

- Floraciación y
- Llenado de grano.

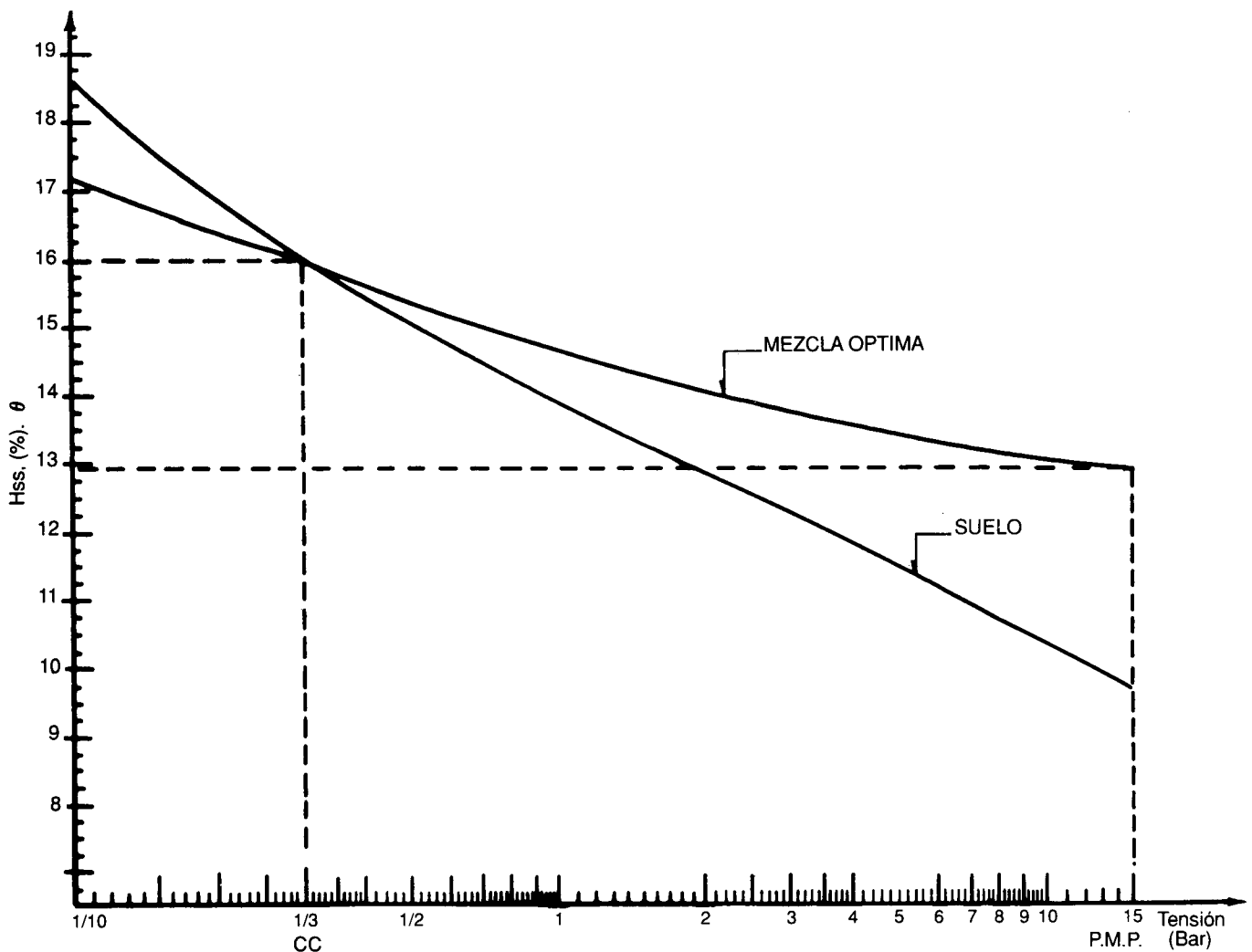


FIGURA 1. Superposición de las curvas características de la retención de humedad: mezcla óptima y suelo

TABLA 8
Cronología de actividades. Predio "El Progreso"

Fecha	Actividad	Observaciones
02-10	Arado rastra	2 pases
02-21	Calicata	Figura 1
02-25	Topografía	Planimetría y altimetría, cuadrícula 20x20 m.
02-28	Cancelada	2 Pases
03-02	Emparejada	1 pase
03-10	Aplicación insecticida	Se aplica al voleo (granular FURADAN 10 kg/ Ha)
03-10	Rastrillada	1 Pase
03-10	Surcada	1 Pase para siembra
03-10	Siembra	FUNK' S HW 1758- tasa: 30 Kg/ml
03-11	Limpia canal	Se emplearon 12 jornales, en aproximadamente 1,5 Km.
03-11	Riego preemergente	Condición de humedad homogénea en el suelo.
03-13	Muestreo C.H	Parcelas= 15,90% Testigo=3,88%. Suelo=16,20%
03-14	Aplicación herbicida	Bomba - espalda - manual - TRIASOL - 1,5 Kg/Ha
03-21	Aplicación insectici-da	Bomba - espalda - METHAVIN - dosis 2 Kg/Ha
03-25	Muestreo C.H	Parcelas 13.71. Testigo =2,76%. Suelo=14,21%
03-29	Solicitud riego	Ante USO-Coello 40 lt/s
03-29	Muestreo C.H.	Parcela=13,15%. Testigo=2,25%. Suelo=13,37%
03-29	Aplicación insecticida	Bomba espalda motor- NUDRIN 216 - dosis 9lt/lote.
03-29	Visita interventor	Estado de cultivo: ataque de Spodóptera, se ataca con NUDRIN - 1,5 lt/Ha. con agullón 4 m
04-01	Abono	18-46-00 + kcl, 100 kg/Ha. manual
04-02	Riego	Riego según balance hídrico
04-02	Fertilización	UREA -150 kg/Ha
04-05	Muestreo C.H	Parcela=15,22%. Suelo=15,95%
04-10	Fertilización	UREA - 150 kg/Ha, manual
04-10	Aplicación insecticida	LANNATE - DOSIS 1,5 Lt/Ha
04-10	Cultivada	1 Pase
04-13	Visita	Estado del cultivo: 7 hojas, buen color y vigor. Densidad: 18 - 22 plantas/m
04-13	Aplicación aérea insecticida	Se termina la aplicación del LANNATE; 1,5 lt/Ha.
04-14	Muestreo C.H.	Parcela = 13,24%. Suelo = 13,92%
04-19	Muestreo C.H.	Parcela = 12,38%. Suelo = 13,07%
04-24	Solicitud de riego	Ante USO-Coello 40 lt/s
04-24	Muestreo C.H.	Parcela = 11,8%. Suelo 12,11%
04-26	Termina el riego	Se emplearon 12 jornales
05-03	Visita	Estado del cultivo: panoja en formación
05-09	Aplicación insecticida	Contra cogollero, vía aérea
05-15	Muestreo C.H.	Parcela = 13,24%. Suelo = 14,17%
05-19	Solicitud riego	Ante USO-Coello 40 lt/s
05-22	Visita Agr.	Estado del cultivo: ataque leve mosca ovario
05-28	Riego	Comienza a las 2:30 p.m.
05-29	Termina el riego	
05-29	Fumigación aérea	Contra mosca ovario - fungicida
05-31	Muestreo C.H.	Parcela = 14,49%. Suelo = 15,37%
05-31	Visita	Estado del cultivo: 70% en cuajado - color rojizo y 30% en llenado - color verdoso.
06-19	Muestreo C.H.	Parcelas -= 11,55% suelo = 8%
06-19	Visita	Estado del cultivo: ataque de pájaros
07-10	Recolección con combinada	

RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS
Suelo

- La descripción del perfil del suelo está caracterizada por presentar un relieve plano, con pendientes entre 0,3 - 1,0% de textura liviana, hallándose limitado por presentar el material de peñón a los 40 cm o sea superficialmente, por esta razón se hizo uso de arado cincel.
- Una interpretación del análisis químico (Tabla 5) nos indica que son suelos moderadamente ácidos, con moderada capacidad de intercambio catiónico, bases totales regulares, saturación total muy alta en calcio y magnesio, alto en potasio, regular en contenido de carbono y nitrógeno total.
- A los valores promedio de retención de humedad obtenidas en laboratorio, se les realizó un análisis estadístico, determinando el intervalo dentro del cual podría oscilar los valores de retención de humedad para las tensiones mencionadas. Una vez depurada esta información se agrupan los resultados, seleccionando aquellos que en el análisis dieron un coeficiente de regresión igual o superior a 0.9; con lo cual se aseguraba que los datos de retención logrados tuvieran un alto grado de confiabilidad.

Con base en la información de la Tabla 7 se elaboró la curva característica de retención de humedad para el suelo y para la mezcla óptima escogida (Figura 1), para comprobar la validez del análisis y establecer visualmente el comportamiento del suelo y la mezcla.

El método empleado para determinar la infiltración del agua en el suelo fue el de anillos concéntricos. Se elaboró la curva de infiltración acumulada que se ajusta a la ecuación: $I = 12.12909 T^{0.4109651}$. Se determinó la infiltración instantánea que corresponde a la ecuación: $i = 299,078 * T^{-0.5890348}$ y se obtuvo el valor de infiltración básica igual a 1,9847 cm/Hr. (2.0 cm/Hr).

Agua de riego

La aplicación del agua del canal regulador a los surcos se hizo por medio de sifones, cada uno aplicando un caudal de 0,40 litros por segundo (lt/s), con un tiempo de 2,5 horas aportando una cantidad de 412,25 metros cúbicos por hectárea (m³/Ha). La eficiencia de aplicación del sistema de riego calculado es de 76% considerándose buena para las condiciones del Distrito. En la Tabla 9 aparece el análisis químico del agua a utilizar, considerando los valores de pH, de la conductividad eléctrica y otras propiedades, éstos garantizan una calidad aceptable como agua de riego.

Arena

En la Tabla 7 se observan los valores promedio de retención de humedad con base a peso, indicando una baja capacidad de agua aprovechable (C.C. = 3,88% y P.M.P = 2,28%).

La arena seleccionada (Coello), tiene una gradación tal que suministra todas las fracciones en cantidades adecuadas para lograr una buena homogeneidad de la muestra (Figura 2).

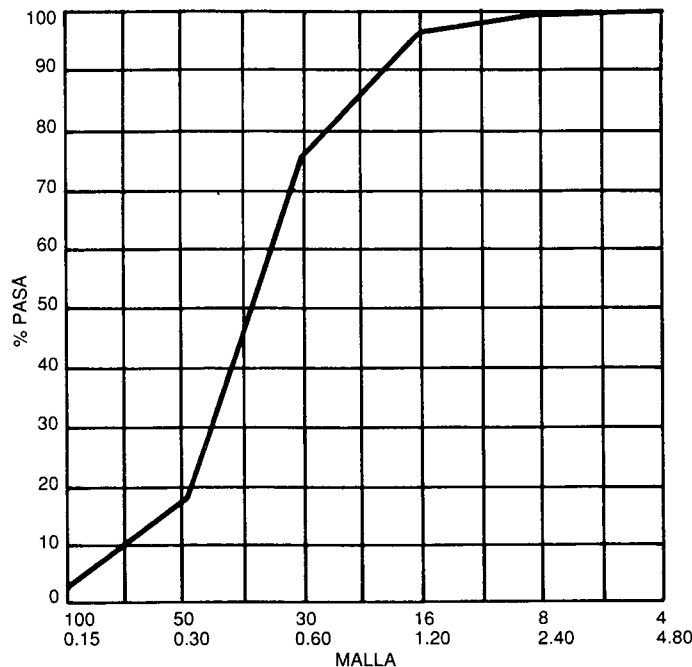


FIGURA 2. Granulometría: arena Coello

TABLA 9
Análisis de aguas

No. Campo	No. Laboratorio	pH	C.E micromhos	RAS	Clase
Bocatoma del Coello	42.78	6.2	265	0.23	C2 S1
Río Coello	42.78	6.0	278	0.26	C2 S1
Canal Espinal	42.79	5.9	161	0.29	C1 S1
Canal Norte	42.79	5.8	105	0.14	C1 S1
Cationes:					
	Ca	Mg	K	Na	Suma
	2.00	1.39	0.12	0.30	3.81
	1.95	1.44	0.12	0.35	3.85
	0.95	0.45	0.10	0.25	1.75
	0.70	0.30	0.11	0.10	1.21
Aniones:					
	SO ₄	Cl	CO ₂	HCO ₃	Suma
	0.17	0.38	0.59	1.97	3.11
	0.25	0.36	0.18	2.32	3.11
	0.13	0.26	0.33	0.97	1.61
	0.02	0.22	0.00	1.13	1.37

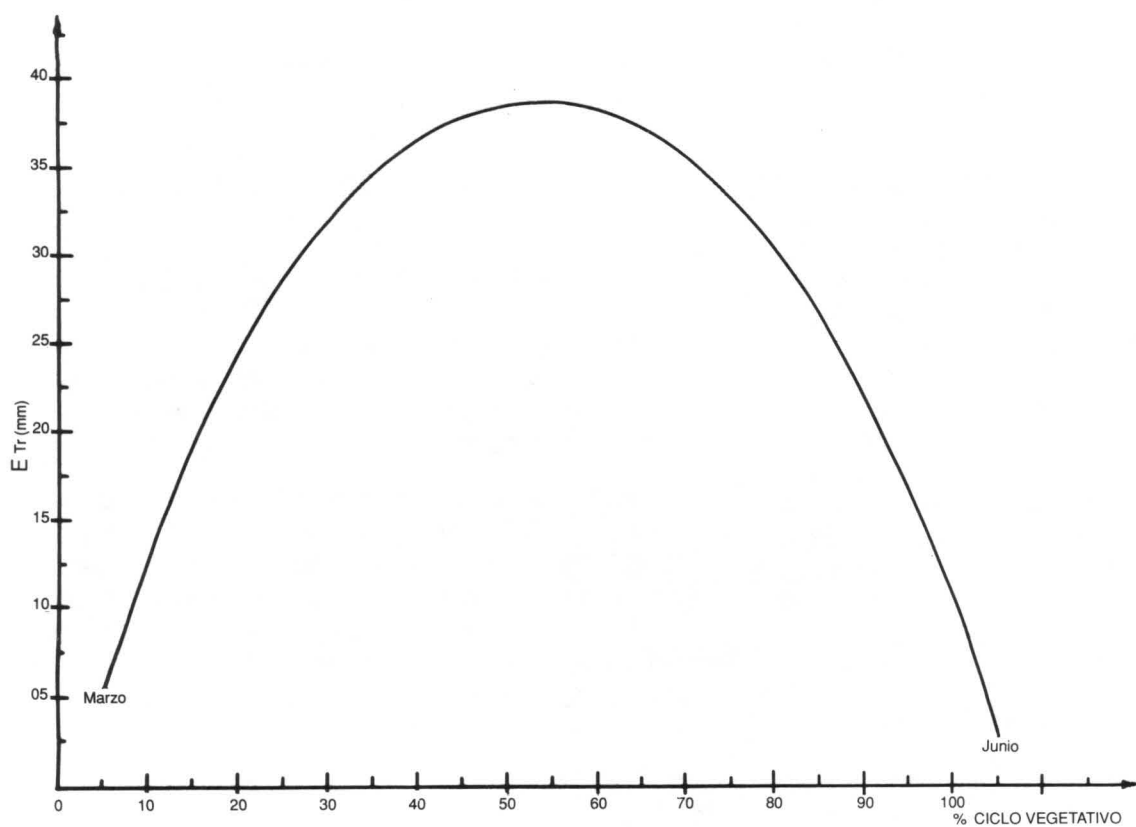


FIGURA 3.
Evapotranspiración real.
Ciclo vegetativo del sorgo

TABLA 10
Datos de evapotranspiración real para el período vegetativo del sorgo

Estación de crecimiento %	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Período semestre A	Marzo	Marzo	Marzo	Marzo	Abril	Abril Mayo	Mayo	Mayo	Mayo Junio	Junio
K = coef. cult.	0.20	0.35	0.55	0.75	0.85	0.90	0.85	0.70	0.60	0.35
1.25 k	0.25	0.44	0.69	0.94	1.06	1.13	1.06	0.88	0.75	0.44
E T P día	4.243	4.243	4.243	4.243	3.445	3.445	3.686	3.686	3.686	3.708
ETr	5.30	18.67	29.28	23.93	36.52	21.91	32.44	27.65	11.35	3.52
ETr período	5.30	18.67	29.28	36.88	36.52	37.54	32.44	27.65	16.24	3.52

METODO IMPLEMENTADO

1. Determinación de la mezcla óptima. Partiendo de la Tabla 7, la curva de retención de humedad del suelo muestra una capacidad de campo de 16,20% y un punto de marchitez permanente de 9,72%, encontrándose un valor de humedad de 12,96% para un agotamiento del 50% del agua aprovechable. Para este contenido de humedad se encuentra que el valor del punto de marchitez permanente de la mezcla (suelo-arena) 80-20%, tiene un valor de 12,95% siendo esta la mezcla óptima a implementar.
2. Seguimiento del método. Conociendo que las hojas son más afectadas por un estrés hídrico que los tallos y estos últimos más que las raíces, se evaluaron algunos aspectos que presentaron las hojas, sirviendo de guía para el seguimiento ocular del cultivo. Algunos de estos aspectos son: número, posición y orientación, color, forma y dimensiones.

Basados en las observaciones realizadas a las 7 a.m. en las hojas (las segundas desde el ápice) y de la toma de muestras de control de humedad, el 24 de abril las plantas de la parcela presentaron síntomas de marchitamiento indicando la necesidad de riego. El muestreo realizado para el control de humedad del suelo dio como resultado una humedad en las parcelas de 12,08%; por debajo del valor de P.M.P de la mezcla (12,95%).

METODO DEL BALANCE HIDROLOGICO

En la Tabla 10 aparecen los datos de evapotranspiración, para el período vegetativo del sorgo base para la elabo-

ración del balance hidrológico, método aplicado en la zona de estudio para determinar los períodos de riego.

La Figura 2 presenta la evapotranspiración del sorgo, correspondiente a la finca zona de estudio, calculada y dibujada a partir de la evapotranspiración real para el cultivo según la Tabla 10. Esta curva indica que la demanda de agua es crítica en el ciclo entre los 30 a 70 días; período en el cual se desencadenan todos los procesos de reproducción, como son los fenómenos de diferencia sexual, formación de órganos y formación de semillas.

El balance hidrológico mostró la necesidad de aplicar tres riegos, los días 29 de marzo, 24 de abril y 28 de mayo (Figura 3).

ANALISIS ESTADISTICO Y DE REGRESION

En el análisis de los resultados los parámetros determinados fueron respuesta a la variable retención de humedad y no de otro grupo de variables propias de la heterogeneidad de los suelos.

En la determinación de los valores de retención de humedad del suelo, la arena y las mezclas, se asumió que estos valores podrían tener un comportamiento semejante a cualquier fenómeno hidrológico. Por tanto se hizo un análisis probabilístico y se determinó el intervalo dentro del cual podrían oscilar los valores en forma razonable. Con este criterio se descartaron algunos resultados obtenidos, seleccionándose los datos de mejor ajuste.

Los valores de retención de humedad correspondientes (suelo y mezcla) determinan las curvas características y

se visualizan en la Figura 1. Se observa que del 50 al 70% del agua aprovechable está retenida entre uno y dos bares de tensión, tanto para el suelo como para las mezclas.

Al analizar los valores de retención de humedad de las mezclas (Tabla 7). Se aprecia que al aumentar la proporción del componente arena, el valor del agua aprovechable disminuye como era lo esperado.

Se encontró que el modelo logarítmico ajusta los datos en una regresión de la forma $O = b_0 U^{b_1}$, donde O es la humedad gravimétrica del suelo, U la succión en bares, y b_0 y b_1 constantes de regresión. Tablas 2, 3, 4 y 6.

CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos tienen un buen grado de aceptación respecto a la metodología empleada para la determinación del momento oportuno de riego.

- La posibilidad de implementar el uso de un método rápido y económico bajo ciertas condiciones, con los beneficios que esto deriva con su empleo en nuestro país.
- Dado que el primer trabajo que se realiza sobre el tema debe tomarse como referencia y sus resultados no deben considerarse como definitivos.
- La metodología empleada la cual se siguió con riguroso cuidado en la aplicación de los principios teóricos y en la ejecución de ensayos, facilita la continuación de trabajos similares.
- El enfoque de la investigación es correcto y las tendencias del comportamiento del método están definidas, sin embargo, la información aportada por el proyecto es insuficiente para su implementación completa. De todos modos ésta es una buena aproximación.

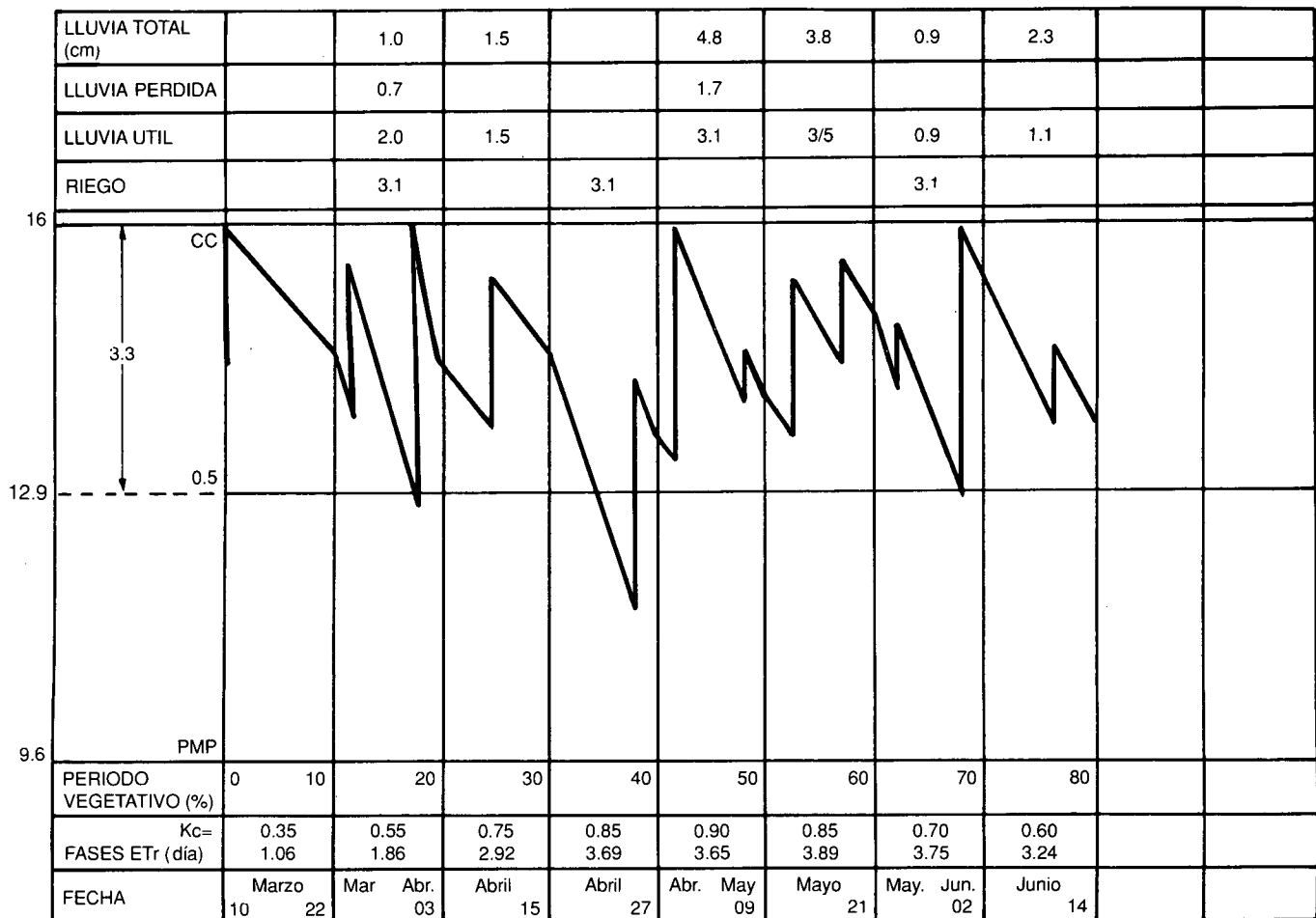


FIGURA 4. Balance hidrológico

- Como el método está basado en principios teóricos y las determinaciones básicas en trabajo de laboratorio, es posible separar los efectos que contribuyen a la variación en el fenómeno, por lo tanto, al tener un mejor control sobre los procedimientos, los resultados obtenidos son confiables respecto a los datos de retención de humedad y su aplicación en el campo.
 - Los resultados obtenidos en la investigación permiten afirmar que las plantas de sorgo de las parcelas si son indicadoras del momento oportuno de regar, tomándose como base para determinar los períodos de riego del cultivo.
 - El sorgo demostró ser un cultivo resistente al estrés hídrico, con gran poder de recuperación, destacando que para la finca donde se llevó a cabo la investigación, se obtuvo una producción de 4,6 toneladas por hectárea (Tn/Ha), siendo mayor a la de la zona de estudio con un promedio de producción de 3,3 Tn/Ha.
- suelo ya estudiado con el fin de establecer la sensibilidad de las curvas respecto al tamaño y cantidad de la arena.
- Es aconsejable poder estudiar la variabilidad de la ecuación de regresión, así como hallar la ecuación de esta serie de suelo, expresándola en una forma conveniente con contornos de confianza para facilitar y hacer menos dispendioso una investigación posterior.
 - En los ensayos hay muchos factores que pueden influir en el resultado final, por eso se debe tener cuidado y precisión en las siguientes etapas:
 - a. Muestreo en el campo: siguiendo el procedimiento establecido para lograr que las muestras sean representativas.
 - b. Preparación de las mezclas, buscando que la proporción esté bien definida en relación a peso.
 - c. El equipo de presión utilizado debe tener reguladores de presión para diferentes presiones, garantizando el tiempo calculado de trabajo sin variaciones que alteren los resultados.
 - De la experiencia obtenida se recomienda que el seguimiento del cultivo este acompañada de mediciones del crecimiento de las plantas y de controles de factores como las malezas y plagas que pueden variar los resultados de la investigación.

RECOMENDACIONES

- Para seguir con la investigación es necesario hacer otro proyecto similar que siga empleando la misma metodología y de ser posible con la misma serie de suelo y el mismo cultivo.
- En la determinación del comportamiento de las curvas de retención de humedad de las mezclas, se recomienda trabajar con los diferentes tamaños de arena (para cada tamiz) en las proporciones con el

BIBLIOGRAFIA

1. ABELLA T., Adolfo. Estudio de suelos con fines de riego para el distrito de riego de Coello (USOCOELLO). Tesis de grado. Magister en ciencias agropecuarias. ICA, NATAIMA. Universidad Nacional de Colombia, 1972.
2. BOTTIA IBÁÑEZ, Rafael. Construcción y calibración de un lisímetro. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 1977.
3. ESCOBAR, Jorge A. La heterogeneidad del suelo y los ensayos de uniformidad. Guía de estudio Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), p. 24, 1982.
4. FORSYTHE WARREN. Física de suelos. Manual de laboratorio. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Costa Rica, 1975.
5. GAVANDE A. Sampat. Física de suelos, principios y aplicaciones. Editorial Limusa. México, 1979.
6. INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN COADAZZI (IGAC). Estudio detallado de suelos y clasificación de tierras con fines de riego de la parte plana de los municipios de Flandes, Espinal, Guamo, Saldaña y sectores de Purificación y Coyaima. Departamento del Tolima. IGAC. Bogotá D.E., 1970.
7. LITTLE, Thomas y HILLS, Jackson. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Editorial TRILLAS. España.
8. LOPEZ V., José y ALFARO, Ricardo. Algunos aspectos de procesamiento de datos hidrometeorológicos en el campo de la irrigación. Publicación ICA - NATAIMA, pág 9, 1988.
9. MORENO PINEDA, Jaime E. Modelo hidráulico en medios porosos. Tesis de grado Magister en Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 1984.
10. RICHARDS L. A. y WEAVER L. R. *Moisture retention by some irrigated soils as related to soil moisture tension. Journal of Agricultural.* 1944.
11. SAINT CLAIR. Resistencia de las plantas a la sequía. Guía para su estudio. IICA - Turrialba, Costa Rica, 1981.
12. SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. *Glosary of soil science terms.* Madison Wisc. pág 27, 1970.
13. STEEL TORRE. Principios y procedimientos. Bioestadística. Editorial Limusa. México, 1985.
14. WADLEIGH CH y AYERS A.P. *Growth and biochemical composition of bean plants as conditioned by soil moisture tension and sult concentrations.* Fisiología de plantas. pág 20, 106-132, 1945.