

**EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GRAVEDAD EN
CULTIVO DE MAIZ, CON LABRANZA MÍNIMA Y CULTIVOS DE
SERVICIO, UBICADO EN EL DISTRITO DE RIEGO 010,
CULIACAN-HUMAYA-SN. LORENZO, MUNICIPIO DE CULIACAN,
SINALOA, MÉXICO**



Director Riegodren: Rafael Mendivil Fierro

Cel. (668)-113-0279

Correo: ramefi@live.com.mx

Fecha: 25/08/2023



SISTEMAS DE RIEGO, DRENAJE AGRICOLA Y OBRAS HIDRAULICAS

*Sistemas de drenaje Agrícola, Sistemas de riego, Goteo, aspersión y microaspersión,
Subestaciones eléctricas, Plantas de bombeo, Entubamiento de canales,
Revestimiento de canales, Receta de riego por Gravedad.
Monitoreo de láminas de riego en tiempo real*

ÍNDICE.

1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA LABRANZA MÍNIMA CULTIVO DE SERVICIO.....	3
3. PLANO DEL TRAZO DE RIEGO Y PLATAFORMA.....	4
4. MUESTREO Y ANÁLISIS DE AGUA DE RIEGO.	4
5. TEXTURA DEL SUELO.....	4
6. MUESTREO Y ANÁLISIS DE SUELO CON FINES DE FERTILIDAD, RIEGO, SALINIDAD Y DRENAJE.	4
7. CUADRO DE BALANCE DE FERTILIZANTES.....	4
8. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA DE LA ZONA EN RELACIÓN CON EL RIEGO. INCLUYE DÍAS GRADO CALOR Y EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA.....	4
9. FREATIMETRÍA.....	5
10. BALANCE SALINO.	5
11. DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO CON FINES DE RIEGO.	5
12. SIMULACIÓN DEL RIEGO POR GRAVEDAD.....	5
13. RENDIMIENTO VERSUS EFICIENCIA DE APLICACIÓN DEL RIEGO ESCENARIO CONVENCIONAL SIN COBERTURA.....	6
14. DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES DE COSECHA Y PRODUCTIVIDAD DEL AGUA.....	7
15. DETERMINACIÓN “IN SITU” DE POROSIDADES DEL SUELO.....	7
16. GRÁFICA DE COEFICIENTE KC ÚNICO.....	8
17. GRÁFICA DE CALENDARIZACIÓN DE RIEGO.....	8
18. GRÁFICA DE TENSIÓN DE HUMEDAD DEL SUELO.....	8
19. COMENTARIOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	8
20. ESTRÉS TÉRMICO Y DÍAS GRADO DE DESARROLLO.....	10
21. ÁLBUM FOTOGRÁFICO.....	10



SISTEMAS DE RIEGO, DRENAJE AGRÍCOLA Y OBRAS HIDRAULICAS

*Sistemas de drenaje Agrícola, Sistemas de riego, Goteo, aspersión y microaspersión,
Subestaciones eléctricas, Plantas de bombeo, Entubamiento de canales,
Revestimiento de canales, Receta de riego por Gravedad.
Monitoreo de láminas de riego en tiempo real*

1. INTRODUCCIÓN.

El siguiente experimento consiste en formular una plataforma de investigación en el cultivo de maíz para incrementar la relación beneficio costo en donde se involucren cuatro factores simultáneamente: fertilidad y salinidad de suelos, cultivo de servicio fijador de nitrógeno, labranza mínima y riego por gravedad tecnificado.

En cuanto a la fertilidad y salinidad de suelos se realizaron muestreos y análisis de laboratorio para detectar entradas y salidas de nutrientes a la plataforma.

Los cultivos de servicio fijadores de nitrógeno utilizados son sesbania, crotolaria, guar y mungo.

La labranza mínima consiste en construir camas de 1.50 m de ancho, con altura de cama de 15 a 20 cm con las hileras de plantas espaciadas 80 cm con una densidad de siembra de 7.5 semillas por metro lineal, dando una densidad de 100,000 semillas por ha.

Las camas, durante el ciclo tienden a azolverse o a desgastarse, deberán ser reconstruidas año con año con una vertedera jalada por un tractor de tamaño adecuado.

El riego preciso y la lámina precisa se obtienen mediante tecnificación del riego utilizando trazos y programaciones optimizadas tomando en cuenta suelo, clima, planta y agua poniendo como máxima prioridad una alta eficiencia de aplicación del riego y un mínimo de estrés hídrico del cultivo.

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA LABRANZA MÍNIMA CULTIVO DE SERVICIO.

En el año uno, se empieza construyendo las camas como se indica en el epígrafe superior, se siembra el maíz, se fertiliza, se riega y finalmente se cosecha.

El rastrojo, excedente de la cosecha, se deposita desmenuzado en la superficie del suelo hasta su total incorporación al suelo; esta acción reduce la evaporación del agua de lluvia conservándola en el perfil del suelo. El ahorro de agua consecuente se estimó, para un recubrimiento de 100% de la superficie, en un 50% del total que debiera evaporarse.

Se procede a la siembra del cultivo de cobertura (sesbania, crotolaria, mungo o guar, según sea el caso) utilizándose una sembradora con machetes que corten el rastrojo previamente incorporado para impedir rebalses.

El cultivo de cobertura recibe como dotación hídrica, el agua producto de las lluvias de la temporada; durante el ciclo vegetativo (90 días) fija nitrógeno al suelo en aproximadamente 65 unidades de N/ ha.



SISTEMAS DE RIEGO, DRENAJE AGRICOLA Y OBRAS HIDRAULICAS

*Sistemas de drenaje Agrícola, Sistemas de riego, Goteo, aspersión y microaspersión,
Subestaciones eléctricas, Plantas de bombeo, Entubamiento de canales,
Revestimiento de canales, Receta de riego por Gravedad.
Monitoreo de láminas de riego en tiempo real*

Después de 90 días el cultivo de cobertura se corta y se incorpora como otra capa vegetal (mulch) protegiendo la superficie del suelo y mitigando la evaporación.

Se reconstruye la cama con una vertedera y se vuelve a sembrar la semilla de maíz para el nuevo año.

Cabe enfatizar que en el segundo año existe una sola operación con equipo mecánico: reconstrucción de la cama con tractor y vertedera.

Este ciclo se va a repetir n veces, durante el transcurso se esperan incrementos de la materia orgánica, biota del suelo y del nitrógeno (por nodulación), disminución del uso de maquinaria. En general un incremento de la relación beneficio costo. Se tiene la perspectiva de incrementar la rentabilidad en 30,000 \$/ha.

Esta plataforma ha concluido el segundo año de estar en operación con cultivo de maíz.

3. PLANO DEL TRAZO DE RIEGO Y PLATAFORMA.

Ver archivo pdf anexo (3. plano del trazo de riego y plataforma).

4. MUESTREO Y ANÁLISIS DE AGUA DE RIEGO.

Ver archivo pdf anexo (4. Muestreo y análisis de agua de riego).

5. TEXTURA DEL SUELO.

Ver archivo pdf anexo (5. Textura del suelo).

6. MUESTREO Y ANÁLISIS DE SUELO CON FINES DE FERTILIDAD, RIEGO, SALINIDAD Y DRENAJE.

Ver archivo pdf anexo (6. muestreo y análisis de suelo con fines de fertilidad, riego, salinidad y drenaje).

7. CUADRO DE BALANCE DE FERTILIZANTES.

Ver archivo .xlsx anexo (7. cuadro de balance de fertilizantes).

8. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA DE LA ZONA EN RELACIÓN CON EL RIEGO. INCLUYE DÍAS GRADO CALOR Y EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA.

Ver imagen anexa (8. Información meteorológica de la zona).



SISTEMAS DE RIEGO, DRENAJE AGRICOLA Y OBRAS HIDRAULICAS

*Sistemas de drenaje Agrícola, Sistemas de riego, Goteo, aspersión y microaspersión,
Subestaciones eléctricas, Plantas de bombeo, Entubamiento de canales,
Revestimiento de canales, Receta de riego por Gravedad.
Monitoreo de láminas de riego en tiempo real*

9. FREATIMETRÍA.

Se realizó un sondeo del manto freático hasta 3 m de profundidad. El manto freático no fue localizado.

10. BALANCE SALINO.

Dado que en la plataforma ya se tienen problemas de sodicidad, es pertinente implementar un balance salino, cuyo propósito fundamental cuantificar las entradas y salidas de sales en solución en los suelos del área de estudio, lo que sirve como base para pronosticar las condiciones futuras de salinidad, así como evaluar el posible efecto que puedan ocasionar las actividades que se realicen. Actualmente entraron por concepto de riego 760 kg/ha de sales.

11. DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO CON FINES DE RIEGO.

Las características físicas en relación con el riego que se determinaron son:

- a) Conductividad hidráulica a saturación: 0.30 cm/h.
- b) Punto de marchitez permanente. 26.25% volumétrico.
- c) Capacidad de campo. 50.98% volumétrico.
- d) Humedad aprovechable. 26.00 cm/m.
- e) Densidad aparente: 1.14 g/cm³.
- f) Porosidad o por ciento de saturación volumétrico: 0.56 m/m.
- g) Longitud de surco: 125 m.
- h) Sistema de riego: gravedad por camas de 1.50 m de ancho.
- i) Gasto por surco 0.35 lps (pipa de una pulgada).
- j) Pendiente: 0.20%.
- k) Rugosidad del surco: 0.040.
- l) Succión en el frente de humedecimiento: 85.34 cm.
- m) Factor de abatimiento: 0.50.
- n) Lámina de riego neta: 13 cm.
- o) Profundidad de la capa superficial: 10 cm.
- p) Contenido de humedad inicial volumétrico: 0.39 m/m.

12. SIMULACIÓN DEL RIEGO POR GRAVEDAD.

Plataforma RISUR.

Es un método para diseñar riego por surco abierto (SA), consiste en simular las diferentes fases del riego: avance, almacenamiento, recesión y avance-recesión como surco abierto, utilizando el modelo de la onda cinemática (OC) solución temporal propuesta por Walker y Humphrey (1983) y se acopla un procedimiento



SISTEMAS DE RIEGO, DRENAJE AGRICOLA Y OBRAS HIDRAULICAS

*Sistemas de drenaje Agrícola, Sistemas de riego, Goteo, aspersión y microaspersión,
Subestaciones eléctricas, Plantas de bombeo, Entubamiento de canales,
Revestimiento de canales, Receta de riego por Gravedad.
Monitoreo de láminas de riego en tiempo real*

empírico para resolver las condiciones de frontera de surco cerrado, los errores en la estimación de la eficiencia de aplicación, eficiencia de requerimiento de riego y del coeficiente de uniformidad de Christiansen fueron del 5%. El error de balance de masa fue pequeño del 0.9%. En las simulaciones teóricas se obtuvo que el gasto óptimo para SC, es proporcional a la longitud del surco.

Resultados de la simulación:

- Tiempo de riego: 1,160 minutos (19.33 horas)
- Tiempo de avance: 682.4 minutos (11.37 horas)
- Lámina infiltrada media: 13.02 cm
- Eficiencia de aplicación del riego: 98.94%. Se adopta 90.10% o eficiencia real evaluada en campo.
- Coeficiente de uniformidad de Christiansen: 99.10%
- Eficiencia de requerimiento de riego: 97.68%

Estos resultados de la simulación fueron validados en campo, observándose un error del más menos 2% (muy aceptable) entre el modelo y la parcela.



13. RENDIMIENTO VERSUS EFICIENCIA DE APLICACIÓN DEL RIEGO ESCENARIO CONVENCIONAL SIN COBERTURA.

TRATAMIENTO	SUPERF. COSECHA M ²	PESO CAMPO Kg	REND.	HUMEDAD	AJUSTE	REND. 14%
Eficiencia 40%	1,170.00	1,142.00	9,760.68	14.30	0.9965	9,726.63
Eficiencia 50%	1,170.00	1,256.00	10,735.04	13.90	1.0012	10,747.53
Eficiencia 60%	1,170.00	1,352.00	11,555.56	14.50	0.9942	11,488.37
Eficiencia 90.10%	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	11,098.10

Se observa una tendencia al alza del rendimiento a mayor eficiencia de aplicación del riego.

En cuanto a la superficie con cobertura vegetal se obtuvo un ahorro de 16.34 mm, ello debido a que por cada 10% de cobertura que se tiene en el suelo, el coeficiente Kc se redujo un 5%.



SISTEMAS DE RIEGO, DRENAJE AGRICOLA Y OBRAS HIDRAULICAS

*Sistemas de drenaje Agrícola, Sistemas de riego, Goteo, aspersión y microaspersión,
Subestaciones eléctricas, Plantas de bombeo, Entubamiento de canales,
Revestimiento de canales, Receta de riego por Gravedad.
Monitoreo de láminas de riego en tiempo real*

14.DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES DE COSECHA Y PRODUCTIVIDAD DEL AGUA.

Ensayo A con cobertura:

TRATAMIENTO	IC
0 UN	0.4
150 UN	0.5
200 UN	0.6
250 UN	0.6
300 UN	0.6
350 UN	0.7
400 UN	0.6

Ensayo B sin cobertura:

TRATAMIENTO	IC
0 UN	0.4
150 UN	0.4
200 UN	0.5
250 UN	0.6
300 UN	0.6
350 UN	0.7
400 UN	0.7

La mini parcela de 350 UN con cobertura, consumió una lamina neta (incluye evapotranspiración real sin considerar humedad residual después de cosecha) de 54.86 mm. Productividad del agua es:

$$WP = \frac{\text{Rendimiento (Kg)}}{\text{ETR (mm)}}; WP = \frac{11,342.80}{548.60} = 20.67 \text{ Kg/mm}$$

La productividad del agua en la mini parcela de 350 UN sin cobertura es:

$$WP = \frac{11,342.80}{548.60 + 16.34} = 20.08 \text{ Kg/mm}$$

15.DETERMINACIÓN “IN SITU” DE POROSIDADES DEL SUELO.

SITIO DE MUESTREO	POROSIDAD
EN CAMA	61.13%
EN FONDO DE SURCO	52.83%
PROMEDIO	56.98%

En cama del surco el suelo está más poroso que en el fondo del surco, ello debido a que el transito del agua tiende a compactar en un 11.11%.

La densidad aparente promedio determinada fue de 1.14 g/cm³.

Las porosidades encontradas son muy idóneas para el cultivo.

Cuando el cultivo fue cosechado y el nivel de humedad bajo a niveles inferiores del punto de marchitez permanente se presentó una fuerte contracción del suelo, y en forma temporal la porosidad bajo a 35%, al caer las primeras lluvias el suelo se dilató y recuperó su porosidad normal.



SISTEMAS DE RIEGO, DRENAJE AGRICOLA Y OBRAS HIDRAULICAS

*Sistemas de drenaje Agrícola, Sistemas de riego, Goteo, aspersión y microaspersión,
Subestaciones eléctricas, Plantas de bombeo, Entubamiento de canales,
Revestimiento de canales, Receta de riego por Gravedad.
Monitoreo de láminas de riego en tiempo real*

Recuérdese que el suelo posee un alto contenido de arcilla (86%) y es muy extremo en su comportamiento durante los ciclos de secado y mojado.

Se comenta que la porosidad fue muestreada en dos fechas distintas en R1 (floración) y R4 (masoso) encontrándose idénticas porosidades, variando los valores una o dos décimas, Esto hace pensar que el suelo permanece relativamente constante en su porosidad durante el ciclo vegetativo.

16. GRÁFICA DE COEFICIENTE KC ÚNICO.

Ver archivo pdf anexo (16. Gráfica de coeficiente Kc único).

17. GRÁFICA DE CALENDARIZACIÓN DE RIEGO.

Ver imagen anexa (17. Gráfica de calendarización de riego).

18. GRÁFICA DE TENSIÓN DE HUMEDAD DEL SUELO.

- Abatimiento recomendado en etapa vegetativa.
- Abatimiento de operación de la plataforma.
- Abatimiento recomendado en etapa reproductiva

Ver imagen anexa (18. Gráfica de tensión de humedad del suelo).

19. COMENTARIOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- a) Existe un porcentaje de sodio intercambiable de 5 al 15% en la generalidad de los casos. En suelos arcillosos el PSI arriba de 5% a veces se consideran suelos problemáticos (no es el caso, aún). Es un suelo calcáreo rico en carbonatos, calcio y magnesio. La muy alta capacidad de intercambio catiónico del suelo (CIC=61.02 meq/litro) y el alto contenido de calcio y magnesio en el complejo arcillo húmico proporciona estabilidad estructural y mitiga en gran manera los efectos nocivos del sodio presente. Estos suelos tienen como debilidad el extraordinario contenido de arcilla (86%) que puede promover los efectos adversos del sodio en el suelo, en lo que concierne a infiltración del agua en el suelo.

Al haber sodio adsorbido en el complejo de intercambio (9%), existir nivel muy alto de calcio (9,000 ppm) y una presencia de 6.70% de carbonatos nos produce un suelo de pH alcalino (7.80) y también tiende a provocar bloqueo de micronutrientes. Se recomienda la aplicación de ácido sulfúrico diluido en el agua de riego que generará una reacción de neutralización con el carbonato de calcio produciéndose finalmente sulfato de calcio. Con esto



SISTEMAS DE RIEGO, DRENAJE AGRICOLA Y OBRAS HIDRAULICAS

*Sistemas de drenaje Agrícola, Sistemas de riego, Goteo, aspersión y microaspersión,
Subestaciones eléctricas, Plantas de bombeo, Entubamiento de canales,
Revestimiento de canales, Receta de riego por Gravedad.
Monitoreo de láminas de riego en tiempo real*

bajará el pH, se mitigará el bloqueo de micronutrientes y el suelo tendrá mayor fertilidad.

- b)** El contenido de fósforo determinado al momento del muestreo (fecha 15 marzo 2023, etapa V6) resultó bajo. Razón por la cual el rendimiento alcanzado de 11.098 ton/ha resultó también bajo. Se sugiere completar la dosis a una meta de rendimiento de 15 ton/ha. Con tres bolsas de 50 kg de YaraMila Star (21-17-3-4) adicionales será suficiente en este caso. En subsecuentes ciclos, como el fósforo es muy sensible a inmovilizarse con pH alcalinos (7.8), se recomienda incrementar la dosis de abonado en un 30%, respecto a la calculada para la meta de rendimiento deseada.
- c)** La dosis de nitrógeno aplicado corresponde a una meta de rendimiento de 15 ton/ha pero el fósforo corresponde a 11 ton/ha, el cultivo tendrá un rendimiento de acuerdo al insumo más limitado aunque los otros estén en su nivel óptimo.
- d)** Se consideró una eficiencia de aprovechamiento del nitrógeno aplicado del 80% en razón de la alta eficiencia de riego (90%).
- e)** Se consideró una aportación de nitrógeno orgánico de 30 unidades/ha, en razón del contenido de materia orgánica determinado 1%, con una tasa de liberación del 1.5% por ciclo. El fósforo orgánico considerado fue de 20 unidades/ha. Lo cual se incluyó en el balance.
- f)** En cuanto a los nutrientes de K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Mb, Zn, Cu, B, los niveles determinados son muy altos.
- g)** La textura determinada fue de 85.6% de arcilla, 4.6% de arena y 9.8% de limo, clasificándose texturalmente como arcilla. Lo que justifica el alto valor de humedad aprovechable y el alto valor de la capacidad de intercambio catiónico.
- h)** La baja conductividad hidráulica ($K=0.30$ cm/h) a saturación es un indicador del muy alto contenido de arcilla.
- i)** Al momento del muestreo del suelo (etapa V7) la planta ya absorbió el 20% de nitrógeno y 15% de fósforo que va a ocupar en todo el ciclo vegetativo.
- j)** Conociendo la textura (muy arcillosa 86%) y la curva tensión de humedad del suelo (ver archivo anexo), el factor de abatimiento seleccionado de $F=0.50$ le corresponde una tensión de humedad del suelo de 3.0 Atmósferas. Para obtener el máximo rendimiento según Doorembos y Pruitt (1977) y Pizarro (1987), el maíz debe regarse en etapas vegetativas a 1.5 Atm y en etapas reproductivas a 0.50 Atm.

Los valores anteriores de tensión nos mandan, según la gráfica a 0.30 y 0.15 de depleción y láminas netas de 7.8 cm y 3.9 cm respectivamente. Esta curva, por su gran importancia en la programación, se recomienda confirmarla en laboratorio especializado.

La depleción seleccionada con la que se regó el cultivo ($F=0.50$) con 13 cm de lámina neta, dado el suelo de textura muy arcillosa (86%), es muy alta y genera una tensión de humedad de 3.0 Atm, ocasionando estrés y una disminución del rendimiento del 11.76%, que equivalen a 2 ton/ha. Ver archivo anexo.



SISTEMAS DE RIEGO, DRENAJE AGRICOLA Y OBRAS HIDRAULICAS

*Sistemas de drenaje Agrícola, Sistemas de riego, Goteo, aspersión y microaspersión,
Subestaciones eléctricas, Plantas de bombeo, Entubamiento de canales,
Revestimiento de canales, Receta de riego por Gravedad.
Monitoreo de láminas de riego en tiempo real*

Tal lámina neta presenta la ventaja que es posible aplicarla con el sistema de riego por surcos en camas moviendo las reglas de operación apropiadamente.

Estos intervalos se deberán ajustar en tiempo real tomando en cuenta el clima y la fenología (V6, V12, VT, R2, R4 especialmente).

Con estos ajustes los rendimientos darán un gran salto.

La conductividad eléctrica del suelo en el extracto de saturación es de alrededor de 0.60 dS/m, la cual genera una presión osmótica que es contrarrestada por la planta reduciéndola a 0.0 Atm por lo que no es necesario incluirla en los cálculos de la programación de los riegos. Recordemos que el maíz soporta sin ningún problema salinidades en el extracto de 1.7 dS/m que no afectan ni su rendimiento ni su confort hídrico.

Dado que se presentan en el suelo pH cercanos a 8.0 esto debido al porcentaje de sodio intercambiable y alto contenido de carbonatos en valores problemáticos, se recomienda aplicar ácido sulfúrico diluido en el agua de riego.

20. ESTRÉS TÉRMICO Y DÍAS GRADO DE DESARROLLO.

La fecha de siembra del maíz oficial autorizada por el INIFAP del Valle de Culiacán es del 01 de Noviembre al 15 de Diciembre, en la plataforma se sembró el 09 de Enero, con 25 días de desfase. Este desfase, según se reporta, implica una merma en rendimiento del 22% potencial, debido a que se presentó estrés térmico.

La planta acortó la duración de su ciclo vegetativo de 195 días a cosecha a con 1,646 GDD acumulados a 178 días a cosecha con 2,137 GDD acumulados. 491 DGD adicionales de diferencia y 15 días de recorte del ciclo vegetativo.

El cultivo estuvo sujeto a estrés hídrico, nutrimental y térmico.

21. ÁLBUM FOTOGRÁFICO.

Ver archivo pdf anexo (21. Álbum fotográfico).

Atentamente.

Rafael Mendivil Fierro.

Ing. Agrónomo Especialista en Irrigación.

Ced. Prof. 8021749.