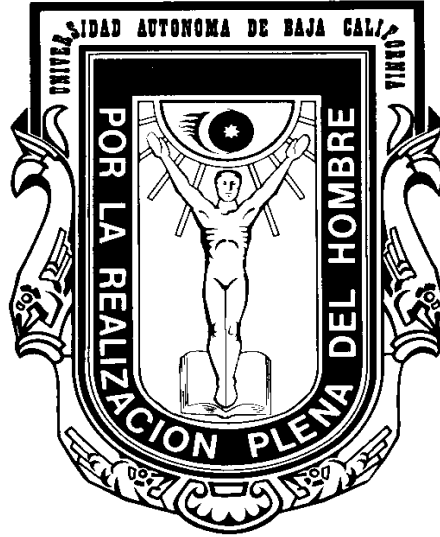


Universidad Autónoma de Baja California
Instituto de Ciencias Agrícolas



**MANEJO DEL FOSFORO Y SU EFECTO EN EL DRENAJE SUPERFICIAL EN
ALFALFA (*Medicago sativa*), EN REGIONES DESERTICAS**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

PRESENTA:

MARIA ISABEL ESCOBOSA GARCIA

DIRECTOR DE TESIS

Ph. D. Khaled M. Bali

CO-DIRECTOR DE TESIS

Ph.D. Roberto Soto Ortiz

Mexicali, Baja California

Diciembre, 2011

Ésta tesis se realizó bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito para la obtención del grado de:

Doctor en Ciencias Agropecuarias

Consejo Particular

**Ph. D. KHALED M. BALI
ASESOR PRINCIPAL**

**Ph. D. ROBERTO SOTO ORTIZ
ASESOR**

**Ph. D. JUAN NORMAN GUERRERO CRUZ
CONSEJERO**

**DR. LUIS FERNANDO ESCOBOZA GARCIA
CONSEJERO**

**Ph. D. ADOLFO PÉREZ MÁRQUEZ
CONSEJERO**

RESUMEN

La alfalfa es el principal cultivo en el Valle Imperial. Aproximadamente 8'609,009 MM³ de agua se utiliza cada año para el riego de más de 60,703 ha de alfalfa. Aproximadamente 9'080,000 millones de kilogramos de fósforo (P) puede ser utilizado anualmente para fertilizar la alfalfa en el Valle Imperial. En este proyecto, se implementaron siete tratamientos y de riego y prácticas mejoradas de fertirrigación en un campo de alfalfa comercial para reducir la carga y la concentración de fósforo y sedimentos en aguas de drenaje. Se evaluó el impacto de cada tratamiento de la carga y concentración de fósforo y sedimentos en el agua de drenaje así como las medidas más eficaces de riego y el control de la escorrentía. Reducir la cantidad de drenaje superficial después de la aplicación de fertilizante fosfatado es un factor clave en la reducción de la carga de P en las aguas de drenaje.

CONTENIDO

RESUMEN	III
CONTENIDO	IV
LISTA DE CUADROS	V
LISTA DE FIGURAS	VI
I. INTRODUCCIÓN	7
1.1 OBJETIVO	8
II. REVISIÓN DE LITERATURA	9
2.1 VALLE IMPERIAL.....	9
2.2 CULTIVO ALFALFA	9
2.3 CALIDAD DE AGUA DE RIEGO	10
2.4 ORIGEN Y TIPOS DE SALES SOLUBLES EN EL SUELO.....	10
2.5 ESCURRIMIENTOS SUPERFICIALES.	11
2.6 MÉTODO DE RIEGO POR MELGAS.....	14
2.7 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL RIEGO POR MELGAS.....	14
2.8 EL RIEGO Y PRÁCTICAS DE MANEJO DEL FÓSFORO	15
III. MATERIALES Y METODOS	17
3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	17
3.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	17
3.4 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO	19
3.5 METODOS ESTADISTICOS.....	19
3.6 MATERIAL GENETICO Y MANEJO DEL CULTIVO	19
3.7 MUESTREOS.....	22
3.8 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	23
3.9 NITRÓGENO	23
3.10 FÓSFORO	24
3.11 TURBIDEZ.....	24
IV. RESULTADOS Y CONCLUSION	26
V. IMPLICACIONES	28
VI. BIBLIOGRAFÍA	29

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Aplicación de Fósforo en Octubre de 2004	20
Cuadro 2. Aplicación de Fósforo en Octubre de 2008	21
Cuadro 3. Aplicación de Fósforo en Octubre de 2007	21
Cuadro No 4. Instrumentos analíticos	25
Cuadro No.5. Concentración y Promedio de Fosforo (PO₄) durante los primeros 6 riegos después de la aplicación de Fosforo en el 2006	26
Cuadro No.6. Promedio de fósforo (PO₄) la concentración y la carga en el agua de escorrentía durante los primeros nueve riegos después de la aplicación de P en 2007	27

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL VALLE IMPERIAL, ESTADO DE CALIFORNIA, ESTADOS UNIDOS DE NORTE AMÉRICA.	18
--	-----------

I. INTRODUCCIÓN

En California y en otros lugares, la cantidad de un contaminante en un cuerpo de agua puede tolerar a diario es determinado por el establecimiento de un Total de Carga Diaria Máxima (TMDL). Una TMDL para la agricultura se define como las asignaciones de carga de fuentes no puntuales de contaminación, más un margen de seguridad de tal manera que la capacidad del cuerpo de agua a asimilar las cargas contaminantes sin violar las normas de calidad del agua no se supere. Una TMDL se puede expresar en términos de masa por tiempo, la toxicidad, la concentración, una sustancia química específica u otras medidas adecuadas. Para cumplir con CTMD y mitigar los impactos de las aguas de drenaje de la agricultura sobre otros usos, regantes y administradores de fincas tienen que estar más atentos a la calidad del agua aplicada y la calidad de las aguas de drenaje salir de sus campos, ya que deben ajustar sus prácticas de riego para garantizar el cumplimiento de las normas reglamentarias. La presencia de sedimentos en suspensión, fósforo (P) y otros componentes adsorbidos en el sedimento en suspensión en las vías fluviales se ha múltiples impactos negativos en la calidad del agua y pueden causar problemas ambientales (Davies- Colley y Smith, 2001). En 1998, Nacional de Calidad del Agua Inventario filas sólidos en suspensión y los sedimentos como la principal causa de deterioro de calidad del agua de los ríos y lagos en los Estados Unidos Estados. Aproximadamente el 30% de aguas residuales aplicados en la cuenca del Mar Salton en el sur de California termina como el agua de drenaje.

La reducción de la carga y / o la concentración de sedimento en suspensión en escorrentía tiene numerosos beneficios como la reducción de la cantidad de agua aplicada y la carga de otros contaminantes regulados, como los plaguicidas y el fósforo que se adjuntan a la erosión del suelo partículas. En este proyecto, un resumen de nuestra experiencia en el uso de riego y fertirrigación prácticas de manejo para reducir la carga de fósforo en el agua de escorrentía de los campos de regadío en el Valle Imperial.

1.1 OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo fue disminuir los escurrimientos superficiales y las descargas de sedimentos y nutrientes a los drenes, sin reducir los rendimientos de alfalfa.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 VALLE IMPERIAL.

El Valle Imperial está situado en el noroeste del desierto de Sonora. La precipitación es cerca de 76 milímetros por año (Mayberry, 2003), la producción agrícola es totalmente dependiente del agua de riego la cual es derivada del Río Colorado a través del canal Todo Americano y distribuida por el sistema de irrigación más grande en el sur de California. Cerca de 3.45×10^9 m³ del agua de Río de Colorado se vierten anualmente para regar más de 202,342 ha, de estas el 80% de las tierra regadas se siembran con los cultivos de alfalfa, trigo y sudan (Agricultural Commissioner, 2003). La producción agrícola del Valle Imperial contribuye con cerca de mil millones de dólares a la economía de California (IID, 1993).

2.2 CULTIVO ALFALFA

En el Valle Imperial el cultivo de alfalfa (*Medicago sativa*) es el más importante en cuanto a superficie, en un promedio de cinco años (1997-2001) se sembraron 71,592 ha, utilizándose 1.41×10^9 m³ para el riego de este cultivo. (Agricultural Commissioner, 2003).

La alfalfa requiere de aproximadamente 16 riegos durante el año, comúnmente con dos riegos entre cada corte. El método de riego utilizado en el Valle Imperial, es de melgas abiertas al pie, durante un riego el flujo de agua derivado a la parcela es cortado generalmente cuando el frente de agua ha alcanzado alrededor del 80% de la longitud del campo, donde aproximadamente entre el 15-20% del volumen del agua aplicada termina como escurrimiento superficial (Meister et al., 2004).

2.3 CALIDAD DE AGUA DE RIEGO

Toda agua contiene sales y su clasificación química se basa en la determinación de la cantidad de estas y la proporción de iones; cuyo conocimiento se utiliza para definir el uso domestico, industrial y ganadero. No obstante, para el uso agrícola la calidad química es orientativa, puesto que hay otros factores que deben considerarse, tales como tolerancia del cultivo a las sales, tipo de suelos y clima, condiciones de drenaje y practicas de manejo del suelo y agua lo que en su conjunto define si su uso puede ó no causar problemas. Este criterio de clasificación es el llamado agronómico (Escamilla, 1981).

En forma rutinaria, el análisis químico comprende las determinaciones de PH, cationes, Na, Ca, Mg, K y aniones como Cl, SO₄, CO₄ HCO₃ y Br en algunos casos. Los cationes y aniones son expresados en $\text{mq}\cdot\text{l}^{-1}$ y el Br en ppm ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$). La conductividad eléctrica (CE) expresada en micro-Mohs por cm a 25 C, es una medida indirecta de la presión osmótica y es muy aceptada por la facilidad y rapidez de su determinación, engloba a todas las sales en solución y en concentraciones menores a 250 micro-Mohs (dS/m) es un índice determinante para clasificar agua de riego (USDA, 1973).

2.4 ORIGEN Y TIPOS DE SALES SOLUBLES EN EL SUELO

La fuente original y más directa de sales son los minerales primarios que se encuentran en los suelos y en las rocas expuestas de la corteza terrestre y los tipos de iones más comunes son: Na, Ca, Mg, K, Cl, SO₄, CO₄, HCO₃ y NO₃ (USDA, 1973).

De los 80 elementos que se encuentran en la corteza terrestre, se forman alrededor de 2,000 minerales de los cuales, los óxidos de silicio y aluminio constituyen las tres cuartas partes de dicha corteza terrestre y entre otras fuentes de sales señala el océano, depósitos fósiles y otros de menor importancia como tolveneras, actividades biológicas y residuos de plantas (Aceves, 1979).

2.5 ESCURRIMIENTOS SUPERFICIALES.

El Mar de Salton es el cuerpo de agua más grande en el interior de California, con una superficie de 932 km² a una elevación de 69.5 m bajo el nivel del mar, la profundidad máxima del mar Salton, es de 15.5 m pero el promedio de profundidad es de 9.5 m (Cohen y Henges, 2001). El Mar Salton se creó en 1905-1907 cuando el Río Colorado inundó el Desierto de Sonora y su existencia se debe a las aportaciones de aguas de drenaje del distrito de riego del Valle imperial, que mantienen en un balance aproximado con las evaporaciones de la superficie del agua del Mar Salton (Hely and Peck, 1964).

El agua de drenaje acarrea sedimentos y químicos que debido a la evaporación se concentran en el Mar Salton, este proceso de concentración a provocado que el mar cambiara de un cuerpo de agua dulce a principios de 1900 a un cuerpo de agua más salado que el océano (45000 mg·l⁻¹ de sales comparado con 35000 mg·l⁻¹ del Océano Pacífico), la concentración de sales en este cuerpo de agua, se encuentra relativamente constante debido a las descargas de los drenajes agrícolas. Los aumentos en la concentración de sales, son principalmente debidas a la evaporación.

El Mar Salton es sostenido principalmente a por las aportaciones de agua de drenaje agrícola (el nivel de salinidad aproximado es $4,000-4,500 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) con un aporte aproximado de 1.3 Mm^3 por año, si estas aportaciones se interrumpen o se reducen significativamente durante unos años, la salinidad del Mar Salton aumentaría en gran proporción, el nivel del agua bajaría y los peces se morirían (Bali, 2002).

Las prácticas de conservación de agua pueden mejorar eficacia de uso de agua pero no pueden eliminar agua de drenaje, ya que con el fin de mantener un adecuado balance de sales en la zona radicular del cultivo, el drenaje constituye una práctica esencial en las regiones áridas y semiáridas. En general, las practicas de conservación de agua aumenta la concentración de las sales en agua de drenaje en la medida que reducimos el volumen de agua utilizado (Román, 1990).

Aproximadamente una tercera parte del agua de riego aplicada sale de las parcelas como escurrimiento superficial y drenaje subsuperficial la cual eventualmente fluye hacia el Mar Saltón. Las aguas de drenaje que fluyen del Valle Imperial aportan alrededor del 85% de los volúmenes anuales totales que llegan al Mar Salton, el cual continúa existiendo sobre todo porque no tiene salida y las afluencias anuales son casi iguales a la evaporación anual que son alrededor de 2 m (UCDavis, 2001).

La descargas de sedimento al drenaje agrícola para el Valle Imperial, es de aproximadamente de $2.5 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Bali, 2002), estudios realizados (Haan and Hayes, 1994) en 1993 encontraron para una área de estudio de 65 ha un aporte de sedimentos de 772 kg.en un para alfalfa, otros estudios (Vicent, 1993), concluye que los cultivos de cobertura total como la alfalfa contribuyen con el 20% del aporte total de sedimentos a los drenes, que para caso de alfalfa, la aportación de sedimentos también esta afectada por la pendiente del suelo, pudiendo variar los aportes de $0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para pendientes menores del 1% y hasta de $5 \text{ ton kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ en pendientes del 1% a 3%.

El gobierno del estado de California esta desarrollando TMDL's para mejorar la calidad del agua del mar de Salton con la participación de los principales usuarios. Actualmente los dos programas que tienen que ver con los productores del Valle Imperial son TMDL's de nutrientes y la TMDL's de sedimentos / arcilla aplicados a los drenes y los ríos en el Valle (Prichard, 2002). Los estándares para Sedimentos / arcilla, han sido desarrollados para los drenes y ríos de la región (CEPA, 2003), y las normas están contenidas en TMDL para fósforo (P-TMDL). Tentativamente el Comité Técnico Consultivo para el mar de Salton propuso una reducción 25-50% en las descargas de fósforo al mar del Salton. Una reducción significativa en las cantidades de fósforo en las aguas de drenaje, puede lograrse, modificando las prácticas de riego y fertirrigación (aplicación de fertilizantes a través del agua de riego), practicas que reducirían las contribuciones de fósforo en las aguas de escurrimiento superficial (Bali, 2002).

2.6 MÉTODO DE RIEGO POR MELGAS

El riego superficial ocupa el primer lugar en cuanto a superficie regada en el mundo entero. A pesar de ser el método más extendido y el más antiguo, su desarrollo técnico apoyado en un análisis científico se ha iniciado hace unas pocas décadas, debido entre otras razones a la complejidad del fenómeno (Israelsen, 1932; Doorenbos y Kassman, 1979; James, 1982),

El conocimiento científico actual tiende a profundizar en el estudio de la realidad mediante la realización de modelos matemáticos que son sistemas en los que se plasma la interrelación de las variables que intervienen y permiten ver la influencia de éstas en el resultado final. En esta línea se han desarrollado modelos matemáticos de complejidad creciente para el estudio del riego superficial basados en las ecuaciones que definen el movimiento variable, superficial y subsuperficial del agua (Chen, 1965; Schmitz et al., 1985), de forma que, proporcionando al modelo unas variables de entrada es capaz de predecir el resultado.

2.7 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL RIEGO POR MELGAS.

El riego por melgas es un tipo de riego superficial en el que el agua cubre toda la superficie del suelo. Se pueden clasificar en dos grupos según exista pendiente longitudinal o no, denominándose melgas por inundación, respectivamente. En ambos casos la pendiente transversal es nula.

La unidad de riego está limitada por unos bordos que en el final pueden estar abiertos o no según si se permite la esorrentía libre. Las unidades de riego suelen ser de forma rectangular. Dicho riego consiste en aplicar agua sobre una superficie porosa no saturada, en que la capacidad de infiltración es menor que el caudal que se aplica, por lo que el agua va avanzando en superficie y a la vez se va humectando el suelo (Azevedo, 1992).

2.8 EL RIEGO Y PRÁCTICAS DE MANEJO DEL FÓSFORO

El uso intensivo del P en los sistemas agrícolas es uno de los principales problemas de contaminación en cuerpos de agua receptores, donde es promotor del crecimiento de algas, que acelera el proceso de eutrofización (Wendt and Corey, 1980). El P disuelto en aguas de escurrimiento superficial ocurre por descomposición, disolución y extracción de P de residuos de cultivos, estiércoles, o el P aplicado en la fertilización (Sauer et al., 1999).

El riego superficial, por surcos y melgas es la principal práctica de riego utilizadas en el Valle Imperial, abarcando el 90% del área regada. El riego por goteo se utiliza en menos del 5% del área sembrada y se utiliza sobre todo en cultivos hortícolas. El riego por aspersión en su mayoría se utiliza como una practica para hacer germinar los cultivos, cambiando al riego superficial una vez que el cultivo se ha establecido (Bali, 2002).

Aproximadamente 10×10^6 kg de P_2O_5 se utilizan anualmente en la fertilización del cultivo de alfalfa, y esta cantidad contabiliza casi el 50% del fósforo utilizado en todo el Valle en los diferentes cultivos.

El fósforo es aplicado al cultivo de alfalfa una o dos veces por año a través del agua de riego, durante el desarrollo del cultivo, principalmente al inicio de primavera, o aplicado en dosis más altas en presiembra para satisfacer la demanda de la alfalfa durante todo su ciclo productivo (aproximadamente 3 años).

La cantidad de fósforo estimada derivada en los escurrimientos superficiales es aproximadamente de un 10-15% del total del fósforo y el promedio de P que es descargado anualmente al drenaje agrícola del Valle Imperial expresado en PO_4^{3-} es de 8 a 15 kg ha^{-1} (Meister et al., 2004). La utilización del agua de drenaje superficial es un método alternativo para utilizarse en sistemas de riego, optimizaría el agua de riego en un 98%, y se aplicaría menor cantidad de fertilizantes. (Yonts, 2003).

La calidad del agua se refiere a las características de una fuente de agua que influyen sobre su aptitud para un uso específico. Es decir, en que grado la calidad del agua cumple con los requerimientos del uso al cual se destinará. En la evaluación de la calidad de agua para riego se pone énfasis en las características químicas, aunque el efecto de su aplicación dependerá de otros factores como el tipo de suelo, cultivo a regar y condiciones climáticas (Bresler et al. 1982).

La calidad del agua de riego es fundamental para pronosticar la producción de un cultivo es así que el uso intensivo del P en los sistemas agrícolas es uno de los principales problemas de contaminación en cuerpos de agua receptores, donde es promotor del crecimiento de algas, que acelera el proceso de eutrofización (Wendt and Corey, 1980).

La alfalfa requiere de aproximadamente 16 riegos durante el año, comúnmente con dos riegos entre cada corte.

El método de riego utilizado en el Valle Imperial, es de melgas abiertas al pie, durante un riego el flujo de agua derivado a la parcela es cortado generalmente cuando el frente de agua ha alcanzado alrededor del 80% de la longitud del campo, donde aproximadamente entre el 15-20% del volumen del agua aplicada termina como escurrimiento superficial (Meister et al., 2004).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Ubicación Geográfica

El área de estudio donde se realizaron los experimentos se ubica en el Condado de Imperial (figura 1) localizado en la parte sureste del Estado de California, entre la latitud $32^{\circ} 44'$ y las longitudes $115^{\circ} 25'$ al oeste. Colinda al norte con el Valle de Coachella y el Mar Salton, al sur con el Estado de Baja California; al este con el Estado de Arizona y Valle de Yuma y al oeste, con el macizo montañoso de la sierra de nevada (Sierra de la Rumorosa) y Condado de San Diego.

3.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El presente estudio fue conducido en el terreno de un agricultor cooperante, localizado en la parte sur del Valle Imperial a una latitud $32^{\circ} 44'$ y las longitudes $115^{\circ} 25'$ al oeste ubicado a 15 Km al este de El Centro, CA.

3.3 CLIMA

En el Valle en la temporada de invierno se presentan temperaturas medias de 16 °C, mientras que en verano es seco y caliente. El rango de temperaturas va desde -1.1 °C en enero, hasta las máximas de 43 °C en julio y agosto, con temperatura anual promedio de 22.2° C. La precipitación media anual es de 75 mm aproximadamente. La humedad relativa varía de 16-60% (Mayberry, 2003).



Figura 1. Localización Geográfica del Valle Imperial, Estado de California, Estados Unidos de Norte América.

3.4 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

El tipo de suelo donde se desarrolló el estudio, es serie Imperial, Holtville-Glenbar arcillo-arenoso y contiene 60-70% de la fracción arcilla del tipo montmorillonita (una arcilla mineral con una gran área de superficie). La capa superficial de suelo es arcillo-limoso con 2.14 a 2.74 m de espesor y descansa sobre estrato arenoso. La capa de arcilla tiene baja permeabilidad y la salinidad del suelo es variada con un promedio en los extractos de saturación de 2 a 12 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y una relación de absorción de sodio (RAS) de 5 a 15, la infiltración básica del suelo es de .02 mm por día (Zimmerman, 1981).

3.5 METODOS ESTADISTICOS.

Para los análisis estadísticos entre PO_4 y producción, se utilizó la prueba de Duncan, 0.05) ; siguiendo las recomendaciones de la Universidad de California (Meister et al., 2004).

3.6 MATERIAL GENETICO Y MANEJO DEL CULTIVO

Cultivo: alfalfa

El cultivo establecido en la parcela fue establecido en un lote de 32.5 ha por el productor, siguiendo las recomendaciones de la Universidad de California (Meister et al., 2004), se sembró la variedad CUF 101 con una densidad de 34 kg.ha de semilla, en octubre de 2004 en melgas de 60 m de ancho y 365 m de largo

La fuente de fertilización fue de P_2O_5 (11-52-0), se realizó una sola aplicación en presiembrade 440 kg.ha⁻¹, lo que equivale a 61.6 kg de N y 220 kg de P (Meister et al., 2004). Cuadro No 1

Cuadro 1. Aplicación de Fósforo en Octubre de 2004

↑Sur

Date	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12	L13 extra
Octubre 2004 Antes de la Siembra	S	3*S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S

S: Standard: 440 kg.ha⁻¹ de 11-52-0

La programación del riego fue definida por el productor de acuerdo a sus programas de corte y manejo del cultivo, la siembra se realizó en octubre del 2004; en el 2005 el cultivo siguió un proceso normal de riego y en el 2006 iniciaron los muestreos con la mezcla de agua de riego del Río Colorado (75%) y agua de Drenaje(25%), del 15-20% del agua aplicada a la parcela llega a un reservorio. Realizando las aplicaciones de fertilizantes como a continuación se presenta en el cuadro No. 2 en el 2006 y cuadro No 3 en el 2007.

Cuadro 2. Aplicación de Fósforo en Octubre de 2006

March 2006	S RR 2	Cero	Cero	Cero	Cero	Cero	Cero	S	S RR	S RR	S	Cero	Cero	S
April 2006	Cero	Cero	AA 100%	AA 75%	AA 75%	AA 100%	Zero	Zero	Zero	Zero	AA 100%	AA 75%	Cero	

S: Estándar :440 kg.ha-1 de 11-52-0

AA: Agua aplicada con (ácido fosfórico)

100%: agua de riego aplicada con P durante el 100% de riego

75%: agua de riego aplicada con P durante el 75% de riego

RR: Reduccion de la escorrentía

FB: Filtro de Banda en 2006/2007

Cuadro 3. Aplicación de Fósforo en Octubre de 2007.

↑ Sur

Date	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12	L13 extra
April 2007	S	Cero	Cero	Cero	Cero	Cero	S 4	S 4	S 4	S 4	Cero	Cer o	S
April 2007	Zer o	Zero	WR 100%	WR 75%	WR 75%	WR 100%	Zero	Zero	Zero	Zero	WR 100%	WR 75%	Zero
October 2007	PA	PA	PA	PA	PA	PA	PA	PA	PA	PA	PA	PA	PA

S: Standard: 440 kg.ha-1 de 11-52-0

AA: Agua aplicada con (ácido fosfórico)

100%: agua de riego aplicada con-P durante el 100 % de riego

75%: agua de riego aplicada con-P durante el 75 % de riego

RR: Reducción del la escorrentía

FB: Filtro de Banda en 2006/2007

AP: Aplicación de precisión basado en las necesidades de la planta (análisis del suelo)

3.7 MUESTREOS

Se tomaron 51 muestras del agua por cada riego, para lo cual se utilizó un muestreador que consistía en tubo extendible de 2 m de largo y 1.27 cm de diámetro, donde en uno de sus extremos se sujetaba un recipiente donde se depositaba la muestra, se colectaron en botellas de plástico de 250 ml, se identificaron en forma individual por medio de una etiqueta donde se anotaba el proyecto, fecha, hora, la procedencia y el nombre de la persona que tomó la muestra que incluyen: tres muestras de agua de riego del Río Colorado, tres muestras del agua del agua de Drenaje, tres muestras de la mezcla de agua del Río Colorado con agua de Drenaje, que es el agua que entraba a las 13 melgas en estudio, tres muestras del escurrimiento superficial al pie de cada melga. Todos los escurrimientos de las melgas fluían por gravedad hacia una alcantarilla, donde se toman datos del volumen de agua que se va al dren principal tomando tres muestras de ello y antes de que sigan ese curso se conecta a un reservorio que es donde se almacena el agua de drenaje para ser reutilizado, en total 51 muestras por riego; todas las muestras colectadas, se identificaban y se refrigeraban a una temperatura de 5 °C. Posteriormente en el laboratorio, en un lapso no mayor de 48 horas para evitar que las muestras se degradaran, se determinaron los parámetros de calidad: N, P, turbidez y salinidad, utilizando métodos analíticos estándares (Cuadro 1). Todos los procedimientos de laboratorio se apegaron a las normas de seguridad para laboratorio de la Universidad de California Davis (UCDavis, 2001).

3.8 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Para determinar la conductividad eléctrica se utilizó un conductímetro Marca YSI M-33, este procedimiento se efectuaba en un lapso no mayor de 48 h después de la toma de muestras, para tal efecto, las muestras de agua se sacaban del refrigerador y se dejaba que adquirieran la temperatura del medio ambiente (23 ± 2 °C). El equipo era calibrado antes de la toma de lecturas de acuerdo a un procedimiento establecido, utilizando soluciones estándares. Los datos estaban expresados en $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y se multiplicaba por 640 para transformarlos en Total de Sólidos Disueltos (TSD) en mg/L

3.9 NITRÓGENO

Para determinar la concentración de $\text{NO}_3\text{-N}$ se utilizó un equipo Marca Hach 2500, aplicando el método de reducción de cadmio, este procedimiento se efectuaba en un lapso no mayor de 48 h después de la toma de muestras. El equipo era calibrado verificado antes de la toma de lecturas de acuerdo a un procedimiento establecido por medio de soluciones estándares. Los datos se expresaban en $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ de $\text{NO}_3\text{-N}$ y para transformarlos en mg/L de NO_3 se multiplicaba por 4.43

3.10 FÓSFORO

Para las determinaciones de fósforo se utilizó un Espectrofotómetro Marca Hach modelo DR/2010, aplicando el método 365.2 (EPA, 1984), este procedimiento se efectuaba en un lapso no mayor de 48 h después de la toma de muestras. El equipo era calibrado antes de la toma de lecturas de acuerdo a un procedimiento establecido, por medio de soluciones estándares. Los datos estaban expresados en mg/L de PO₄.

3.11 TURBIDEZ

Para obtener los datos de turbidez se utilizó un turbidímetro marca Hach modelo DR 890, aplicando el método 180.1 (EPA, 1984), este procedimiento se efectuaba en un lapso no mayor de 48 h después de la toma de muestras. Antes de tomar la lectura de las muestras de agua, el equipo se calibraba de acuerdo a un procedimiento establecido, los datos se expresaban en NTU (unidad nefelométrica de turbidez) .

Cuadro No 4. Instrumentos analíticos

Parámetro	Método	Unidades	Detección límite	Sensibilidad	Precisión	Exactitud
PO ₄ ³⁻	US-EPA 365.2 (Digestión Persulfato)	mg/L	0-3.5	0.01	±5%	±5%
Salinidad	EC (Tanji, 1990)	dS.m ⁻¹	0-3.0	0.05	±2%	±5%
NO ₃	Spectrum™ (Método De Reducción De Cadmio)	mg/L	0-30.00	0.01	±5%	±10
Turbidez	US-EPA 180.1	NTU	<0.02	0.01	±10	±10

UCDavis. (2001)

Las pruebas de campo fueron diseñadas bajo el método mejorado de riego (Bali et al., 2001) en la eficiencia del uso del agua y la cantidad de P y N soluble en el agua de escurrimiento superficial.

IV. RESULTADOS Y CONCLUSION

En el presente trabajo la utilización de agua de Drenaje Superficial mezclada con agua de riego, mediante prácticas de aplicación de P no afectó, la producción de alfalfa,

Cuadro No.5. Concentración y Promedio de Fosforo (PO₄) durante los primeros 6 riegos después de la aplicación de Fosforo en el 2006

P Tratamientos	Promedio de Concentración de P por (mg/L)	Promedio de P por riego (kg/ha)
Riego estándar (Melga L7. L10. L13)	25.25	4.89
Riego estándar con P escurrimiento reducido 2006 (Melga L1.L8.L9)	18.32	1.04
Riego estándar con P escurrimiento al 100% (Melga L3.L6.L11)	40.94	7.94
Riego estándar con P escurrimiento al 75% (Melga L4.L5.L12)	46.29	8.97

*sobre la aplicación media de 11.4 cm de profundidad.

El rendimiento promedio de alfalfa en 2006 por todo el campo (peso de 9,5 toneladas por hectárea) es el normal rendimiento esperado en el Valle Imperial. Ninguna de las prácticas de aplicación de P implementadas tuvo consecuencias negativas sobre rendimiento.

1. Las únicas melgas que difirieron estadísticamente (Duncan, 0.05) en el rendimiento promedio (promedio de todos los cortes), fueron las melgas # 13, 5 y 2. (57.07, 56.72 y 56.67).
2. Todas las melgas fueron estadísticamente iguales en el rendimiento final (suma de todos los cortes).
3. Los mejores cortes fueron el # 9 y # 10. (87.52 y 79.45),

Cuadro No.6. Promedio de fósforo (PO₄) la concentración y la carga en el agua de escorrentía durante los primeros nueve riegos después de la aplicación de P en 2007

P Tratamientos	Promedio de concentración de P (mg/L) por riego	Promedio de P por riego (kg/ha)
Riego estándar (Melga L7, L10, L13)	7.58	2.07
Riego estándar con P escurrimiento reducido 2007 (Melga L1, L8, L9)	6.99	0.57
Riego estándar con P escurrimiento al 100% (Melga L3, L6, L11)	14.95	4.2
Riego estándar con P escurrimiento al 75% (Melga L4, L5, L12)	13.75	3.85

***sobre la aplicación media de 11.4 cm de profundidad.**

El rendimiento medio de 2007 fue relativamente baja en comparación con años normales debido a la inusual helada que dañó a todo el campo y muchos campos de alfalfa en el valle; en Enero de 2007 tuvimos temperaturas bajo cero durante más de una semana. El daño de temperatura redujo el rendimiento de alfalfa por.065 toneladas en comparación con el mismo periodo de 2006. Ninguna de las prácticas de aplicación de p en 2007 tuvo cualquier impacto negativo en el rendimiento de alfalfa.

El manejo del riego es un factor clave en el control de la concentración y la carga de P dados de alta de los campos de riego en el Valle Imperial. La reducción de la tasa de escurrimiento superficial durante y después de las prácticas de la aplicación de P podría reducir la carga de P en las aguas superficiales por tanto como 75% en comparación con las prácticas de riego normal. Aplicación de agua de gestión de P incrementó el la concentración y la carga de fósforo en el agua de escorrentía en casi el doble de la carga generada en seco P prácticas de aplicación.

Coincidiendo con Yonts, et. al, 2003, La recuperación y la utilización del agua de drenaje superficial puede eficientizar el riego 20% , evitando que aproximadamente entre el 15-20% del agua aplicada termina como escurrimiento superficial (Grismer y Tod, 1994; Bali et al., 2001); recomendando que el agua drenada se recicle, haciéndola llegar a un reservorio evitando que llegue al drenaje principal, regresando el agua con un sistema de bombeo al inicio de la parcela, eliminando las perdida de agua de Drenaje Superficial de acuerdo con Bali, 2001, sin afectar la producción de alfalfa.

Dadas que las condiciones de clima, suelos del Valle de Mexicali son similares a las del Valle Imperial, ya que ambas pertenecen al delta del Río Colorado, esta metodología podría ser transferida para ser utilizada por los productores de Mexicali y al utilizar

V. IMPLICACIONES

Los resultados obtenidos por Bali et al. (2001) son aplicables a nivel comercial.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Aceves, 1979. El ensalitramiento de los suelos bajo riego. Colegio de postgraduados. Rama de riego y drenaje, Chapingo, México.
- Agricultural Commissioner. 2003. Agricultural Crop and Livestock Report. Imperial County, Office of. El Centro, California.
- Agricultural Commissioners. 2003. California Agricultural Statics Service. Summary of county Reports Imperial County. Ucce.ucdavis.edu/counties/commun/countyagreports.pgl
- Azevedo, CIAV. 1992. " Real-time solution of inverse furrow advance problem". Tesis Doctoral Utah State University.
- Bali, K. M. 2002. Reduce Pollution with Proper Fertilizer Timing. University of California. Agriculture & Natural Resources. Cooperative Extension, Imperial County. <http://ucanr.prg/delivers>.
- Bali, K. M ., Gonzalez R., Hernández J., Buenrostro D. 2011 Guidelines to production costs and practices for Imperial County-Field crops. UCCE_Imperial County Circular 104-F. <http://ceimperial.ucdavis.edu>.
- Bali, K. M., and M. E. Grismer, and I. C. Tod. 2001. Reduced-Runoff Irrigation of Alfalfa in Imperial Valley, California. American Society of Civil Engineers, Journal of Irrig. & Drain. Engr. Vol. 127, No. 3, 123-130.
- Bali, K. M., Escoboza, F. G., Guerrero, J. N., Stutes, M. D., and Dos Santos, A. 2002. Reduction of Sediment and Phosphorous Losses Through the Application of Polyacrylamide in Surface Irrigated Vegetable Crops.
- Blaine, H., and Putman, D. H. 2004. Flood irrigation on alfalfa: How does it behave?. National Alfalfa Symposium. San Diego CA.
- CEPA. 2003. Sedimentation/Siltation Total Maximum Daily Load for the Alamo River and the Sedimentation/Siltation Total Maximum Daily Load Implementation Plan. California Environmental Protection Agency.EL Centro CA. USA.
- Cohen, M. J., and Henges J.C. 2001. El Agua Pérdida. Usos y Flujos del Agua en la Región del Delta del Río Colorado. Pacific Institute for Studies in Development. Environment and Security.
- Collino, D. J., Dardanelli, J. B., De Luca, M. J. and Racca, R. W. 2004. Temperature and water availability effects on radiation and water use efficiencies in alfalfa (*Medicago sativa* L.). Australian Journal of Experimental Agriculture 45(4) 383-390.
- Darlington, W. 2000. Maning salinity,nutrients and patogens in recycling and high efficiecy irrigation systems.Soil and Plant Laboratory. Orange CA.
- Davis-Colley, R.J., and D.G. Smith, 2001. Turbidity, Suspended Sediment, and Water Clarity: a Review. Journal of the American Water Resources Association 37: 1085-1101.

- Doorenbos, J., and Kassman, A. H. 1979. Yield Response to Water. FAO Irrigation and Drain paper No. 33. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome.
- DREC. Desert Research and Extension Center. http://danrrec.ucdavis.edu/desert/home_page.html
- Elliot, R.L. and W.R. Walker.1982. Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. TRANSACTIONS of ASAE. 25(2):396-400.
- EPA. 1984. Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. Method 365.2 .
- EPA. 1984. Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. Method 180.1 .
- EPA. 1984. Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. Method 160.2
- Escamilla, A.M., 1981. Desarrollo de un sistema de cómputo para la contabilidad del agua y de sales en solución en un distrito de riego.
- González, C. J. 1991. Modelization Stochastique de une irrigation a la raie. Tesis de doctorado Universidad de Montpellier.
- Grassi, C. J. 1978. Diseño de riego por superficie:Estudios de la relación avance-infiltración. CIDIAT. Serie de Riego y Drenaje , No. RD-25.
- Grassi, C. J. 1989. Diseño y Operación de Riego por Superficie. CIDIAT. Serie de Riego y Drenaje, RD-36. Mérida Venezuela.
- Grismer M. E. and Bali, K. M. 2001. Reduced-Runoff Irrigation of Sudan Grass Hay, Imperial Valley, California. American Society of Civil Engineers, Journal of Irrig. & Drain. Engr. Vol. 127, No. 5, 319-323.
- Grismer, M. E. and I. C. Tod. 1994. Field evaluation helps calculate irrigation time for cracking clay soils. Cal. A. 48(4):33-36.
- Haan, C. T., Barfield, B.J. and Hayes,J.C. 1994. Design hydrology and sedimentology for small catchments, Academic Press, San Diego, California.
- Heley, A.G., and Peck, E.L. 1964. Precipitation, runoff and water loss in the lower Colorado River Salton Sea area, Profesional Paper 486-B: U.S. Geological Survey.
- Howell, T.A., and Hiler, E.A. 1975. Optimization of water uses efficiency under high frequency irrigation, Evapotranspiration and yield relationship. ASAE paper No. 74-2565.
- IID. 1993. Imperial Irrigation District. <http://www.iid.com/water/irr-agriculture.html>
- Israelsen, O. D..1980." Irrigation principles and practices ". John Wiley & Sons.N.Y. 422 p.
- James, L. G. 1982. Principles of Farm Irrigation System Design. Washington State University. USA. P. 350-360.
- Jensen, E.H. and Miller, W.W. 1988. Effect of irrigation on alfalfa performance University of Nevada Cooperative Extension. Fact sheet 88-20.

- Katopodes, N. D. y T. Strelkoff. 1977." Hydrodynamics of border irrigation. Complete model 75". J. Irrig. Drain. Engrg., ASCE. Vol.103(IR3).
- Maybery, K.S., and Meister H. 2003. University of California Cooperative Extension. Cost of production, Fields Crops.
- Microsoft Encarta. ©1993-2004 Microsoft Corporation.
- Neufeld, J., and Davison, J. 1988. Subsurface drip irrigation of alfalfa in Nevada. California/Nevada Alfalfa Symposium. Reno Nevada. <http://alfalfa.ucdavis.edu>.
- Prichard, T. 2002. Total Maximum Daily Loads (TMDL's) in Alfalfa-the implications for Alfalfa Irrigation Management. Western Alfalfa & Forage Symposium. Reno, Nevada. USA.
- Putman, D. H., Russelle, M., Orloff, S., Kuhn, J., Fitzhugh, L., Godfrey, L., Kiess, A., And Long, R. 2001. Alfalfa, Wildlife and Environment-The Importance and Benefits of Alfalfa in the 21st Century. California Alfalfa & Forage Association, Novato, CA. <http://alfalfa.ucdavis.edu>.
- Sauer, T. J., Daniel, T.C., Moore, P.L., Coffe, K.P., and West C.P. 1999. Poultry litter and grazing animal waste effects on runoff water quality from tall fescue plots. J. Environ Qual. 28:860-865.
- Schmitz, G., Haverkamp, R. and Palacios O. 1985. A coupled surface-subsurface model for shallow water flow over initially dry soil . Proc. 21 st. Congress IAHR.
- Steel, R.G. and J.H. Torrie. 1980. Principles and practices of Statics: A Biomedical Approach 2nd. ed. McGraw-Hill.inc., New York, NY.
- UCDavis. (2001). Universidad de California, Davis, Chemical Laboratory Safety Manual). <http://ehs.ucdavis.edu>.
- Walker, W. R., and Skogerboe, G. V. 1986. The Theory and Practice of Surface Irrigation. Utah State University Logan, Utah, USA. 513 p.
- Wendt, R. C., And Corey. 1980. Phosphorus variations in surface runoff from agricultural lands as a function of land use. J. Environ. Qual. 9:130-136
- Yonts, C.D., K.L. Palm, and D.L. Reichert. 2003. Late Season Irrigation Management for Optimum Sugarbeet Production. Journal of Sugarbeet Research. Journal Series No. 13834. 40(1-2):11-28.
- Zimmerman, R P. 1981. Soil Survey of Imperial County, California, Imperial Valley Area. Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture, Holtville, Ca. USA.