

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
UNIDAD LAGUNA**



**“DIAGNOSTICO E IMPACTO DE LA SALINIDAD
DEL AGUA DE RIEGO EN NAVIDAD NUEVO LEÓN”**

POR
JOAQUÍN ORANTES MORALES

TESIS
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO AGRÓNOMO
EN IRRIGACIÓN**

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE DEL 2009

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA

"DIAGNOSTICO E IMPACTO DE LA SALINIDAD
DEL AGUA DE RIEGO EN NAVIDAD NUEVO LEÓN"

POR:

JOAQUÍN ORANTES MORALES

TESIS

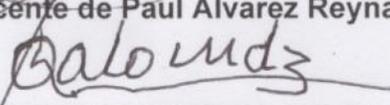
QUE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ ASESOR COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

REVISADA POR EL COMITÉ ASESOR

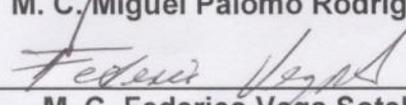
ASESOR PRINCIPAL


Ph.D. Vicente de Paul Álvarez Reyna

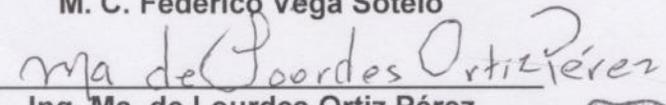
ASESOR


M. C. Miguel Palomo Rodríguez

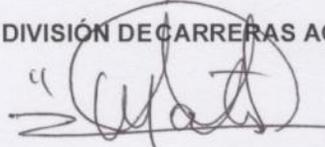
ASESOR


M. C. Federico Vega Sotelo

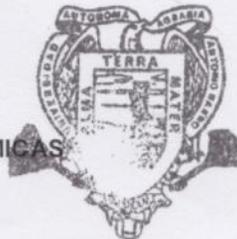
ASESOR


Ing. Ma. de Lourdes Ortiz Pérez

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS


M. C. Víctor Martínez Cueto

Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA**

**TESIS DE EL C. JOAQUÍN ORANTES MORALES QUE SOMETE A LA
CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR, COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

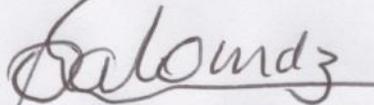
APROBADA POR:

PRESIDENTE:



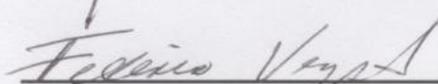
Ph. D. Vicente de Paul Álvarez Reyna

VOCAL



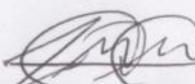
M. C. Miguel Palomo Rodríguez

VOCAL



M. C. Federico Vega Sotelo

VOCAL SUPLENTE



M. C. José Guadalupe González Quirino

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



M. C. M. C. Víctor Martínez Cueto



**Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas**

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE DEL 2009

CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Importancia	1
1.2. Justificación	2
1.3. Objetivos generales	4
1.4. Objetivos específicos	4
1.5. Hipótesis	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1. Origen de las sales	5
2.2. Clasificación de suelos salinos, sódicos y alcalinos	6
2.3. Regiones áridas y semiáridas	10
2.3.1. Características climáticas	10
2.3.2. Calidad química de los acuíferos	11
2.4. Índices de clasificación química del agua de riego	12
2.4.1 Conductividad eléctrica	13
2.4.2. Relación de adsorción de sodio	14

2.4.3. Otros indicadores de salinidad y sodicidad	18
2.4.3.1. Salinidad efectiva	18
2.4.3.2. Salinidad potencial	19
2.4.3.3. Carbonato de sodio residual	20
2.4.3.4. Porcentaje de sodio posible	20
2.4.4. Iones específicos	20
2.5. Clasificación agronómica de la calidad del agua de riego	22
III. MATERIALES Y MÉTODOS	28
3.1. Ubicación y características del sitio de estudio	28
3.2. Muestreo	30
3.3. Determinaciones analíticas	31
3.4. Cálculo de índices de clasificación	34
3.5. Análisis de la información	35
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1. Clasificación química del agua de bombeo	36
4.1.1. Salinidad (CE) y sodicidad (RAS)	36
4.1.2. Sólidos disueltos totales	39
4.1.3. Salinidad efectiva y salinidad potencial	40
4.1.4. Carbonato de sodio residual	40

4.1.5. Porcentaje de sodio posible	42
4.1.6. Riesgo de toxicidad por iones específicos	42
4.1.6.1. Cloruros	43
4.1.6.2. Sodio	44
V. CONCLUSIONES	46
VI. BIBLIOGRAFÍA	48
VII. ANEXOS	52

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Frecuencia relativa del Porcentaje de Sodio Posible del agua de bombeo de Navidad N. L. utilizada en la agricultura	42

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación geográfica del Valle de Navidad N. L. donde predomina el sistema de riego por aspersión en la modalidad de pivote central	28
Figura 2. Frecuencia relativa de Conductividad Eléctrica del agua de bombeo de Navidad N. L.	36
Figura 3. Frecuencia relativa de la Relación de Adsorción de Sodio para agua de bombeo de Navidad N. L.	37
Figura 4. Diagrama de clasificación por salinidad (C1, C2, C3 y C4), así como sodicidad (S1, S2, S3 y S4) donde quedan ubicados los 54 pozos de bombeo para el Valle de Navidad N. L.	38
Figura 5. Frecuencia relativa de Sólidos Disueltos Totales en agua de bombeo de Navidad N. L.	39

Figura 6. Frecuencia relativa de la Salinidad efectiva evaluada en agua de bombeo de Navidad N. L.	40
Figura 7. Frecuencia relativa de Salinidad Potencial evaluada en agua de bombeo de Navidad N. L.	41
Figura 8. Frecuencia relativa de Carbonato de Sodio Residual para agua de bombeo de Navidad N. L.	41
Figura 9. Frecuencia relativa de Cloruros como ión tóxico en agua de bombeo de Navidad N. L.	44
Figura 10. Frecuencia relativa de sodio como ión tóxico en agua de bombeo de Navidad, N. L.	45

RESUMEN

Problemas de afloramiento de sales solubles en el perfil del suelo del Valle de Navidad Nuevo León, propiciaron el planteamiento y desarrollo del presente estudio de caracterización química del agua de bombeo; las áreas de estudio correspondieron para los fraccionamientos Navidad, Zacatal, El Prado y Guadalupe incluyendo además las porciones agrícolas del fraccionamiento Valle del Paraíso y Colonia Menonita además del Cuije. Los cultivos de importancia en esta zona son papa, alfalfa, maíz, avena y trigo, aunque en menos escala se cultivan manzano, durazno, frijol y cebada entre otros. Predomina en el 30-40% de la superficie sistemas de riego por aspersión (pivote central y sistemas semi-portátiles), así como sistemas de riego por goteo para el caso de frutales.

De un total de 73 lotes distribuidos en la zona, fueron muestreados 54 pozos de bombeo a los cuales se les determinaron los parámetros CE (dS m^{-1}), pH, RAS, así como los iones solubles calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonatos, sulfatos y cloruros, además de los indicadores salinidad efectiva, salinidad potencial, carbonato de sodio residual y porcentaje de sodio posible.

Para salinidad del agua de riego, predominan valores 0.75 a 2.75 dS m^{-1} que equivalen a clasificaciones C2 y C3 (media y alta en riesgo de salinidad); no se deben utilizar cultivos sensibles a salinidad, deben preferentemente establecerse cultivos moderadamente tolerantes. En el riesgo de sodicidad (RAS) predominan valores bajos en una frecuencia del 96 por ciento y no ofrece

restricción de uso para ocasionar problemas de infiltración a los suelos.

Los indicadores de salinidad efectiva y salinidad potencial muestran una clasificación condicionada para su uso agrícola; ésta clasificación señala el uso de cultivos moderadamente tolerantes a salinidad. El indicador carbonato de sodio residual, señala una clasificación baja para ocasionar riesgos de sodicidad al suelo. Para iones específicos se tiene a cloruros donde predomina una concentración excelente con valores 1 a 2 me L⁻¹, seguida por rangos de 2 a 3 m L⁻¹ y clasificada como agua sin problema. En el caso de sodio como ión específico, predominan aguas con valores < a 3 meq L⁻¹ que la ubica como baja en riesgo de fito-toxicidad, aunque el riesgo aumenta si se aplica el riego en sistema de aspersión - pivote central; este riesgo desaparece cuando la modalidad del agua se aplica en riego superficial.

Se debe implementar un programa integral de manejo del agua de riego, en su frecuencia y lámina, que son determinantes para favorecer una fracción de lixiviado y mantener las sales mas allá del sistema de raíces; además de debe restringir el uso de cultivos sensibles a salinidad para evitar problemas de baja rentabilidad. El afloramiento de sales solubles en los suelos que han aparecido en algunas parcelas de cultivo, no se pueden asociar a la calidad del agua de riego utilizada; éste problema puede estar asociado a aguas freáticas someras, que deben ser evaluadas en la zona de estudio.

Palabras clave: *Diagnóstico del agua, salinidad, RAS, iones tóxicos, calidad agronómica*

I. INTRODUCCIÓN

La salinidad es uno de los problemas ambientales más antiguos de la humanidad que limita la distribución de las plantas en la naturaleza y productividad de los cultivos. Los cultivos sometidos a salinización son afectados de germinación hasta el desarrollo vegetativo y fructífero, por el efecto osmótico que se presenta en la solución del suelo (Meza *et al.*, 2005).

1.1. Importancia

A través de la historia, la irrigación ha contribuido a la salinización de los suelos agrícolas, lo que ocasiona merma en la producción agrícola, sobre todo cuando el nivel de salinidad es alto y los cultivos son sensibles a esta condición (Ayers y Westcot, 1987).

La salinización del suelo se debe a varios factores, sin embargo el uso de agua salina y manejo del riego, es determinante para acelerar este proceso (Palomo-Rodríguez; 1990, 1991). La salinización es favorecida por problemas de nivel freático elevado y baja permeabilidad del suelo, alta demanda evaporativa, escasa precipitación pluvial, agua freática superficial de alta concentración salina y sódica entre otros. Lo anterior adquiere mayor importancia si el manejo del riego se realiza sin la frecuencia de riego apropiada (FR) y lámina de riego correspondiente (LR), en la cual se debe considerar una

fracción de lixiviado (FL); cuando el manejo del agua no es adecuado. Las sales se concentran progresivamente hasta que el próximo riego las diluye reduciendo su concentración, Palomo y Rodríguez (1994).

El área total de suelo afectado por salinidad que se encuentra bajo cultivo, no se conoce con certeza, pero es considerable, sin embargo, las estimaciones de Kovda (1980), para la década de los setenta, indican que el área regada en 103 países sumaba un total de 203 millones de hectáreas, concentrándose fuertemente el problema en las regiones localizadas en el Cercano y Medio Oriente, África, América del Sur y América del Norte.

En México, las estimaciones de Salomón (1988) correspondientes a la década de los ochenta, indican el uso de 72 mil millones de metros cúbicos de agua al año, de los cuales 77 % se destina al sector agrícola. El 32% del agua utilizada en la agricultura proviene del agua subterránea y el 68% restante de agua superficial. Este mismo estudio menciona que de 653 acuíferos subterráneos existentes, 102 proveen el 57% del agua subterránea y son sobre explotados, 17 presentan problema de intrusión salina por su cercanía con el mar y 13 muestran problema de salinización del suelo.

1.2. Justificación

La elevada salinidad del agua subterránea, obedece al contacto que

tiene con el material geológico a través de los procesos de disolución e hidrólisis de los minerales que lo constituyen (Ayers y Westcot, 1987). La sobre explotación del acuífero, favorece en gran medida la concentración de los iones solubles y de otros minerales, como es el caso del arsénico y nitratos que se registra en la Comarca Lagunera (Palomo y Rodríguez, 2009). Los estudios de caracterización del agua permiten a los técnicos, regular el adecuado manejo del riego ya que si el agua presenta alta salinidad y sodicidad y los cultivos establecidos en la parcela son moderadamente sensibles al efecto osmótico, es posible mantener un balance adecuado de sales en el sistema radicular al aplicar frecuentemente agua y equilibrar favorablemente la relación beneficio-costo que interesa al productor.

El presente estudio, obedece a que en el Valle de Navidad Nuevo León, se tiene un patrón de cultivos diverso, donde algunos como la papa y hortalizas, son sensibles al efecto osmótico de la solución salina y reflejan reducciones en su producción. Además, se registran evidencias de afloramiento superficial de sales solubles sobre la superficie del suelo que se pueden asociar a la calidad del agua de riego utilizada.

1.3. Objetivo general

Caracterizar la calidad química del agua de bombeo utilizada en la agricultura en el Valle de Navidad Nuevo León.

1.4. Objetivo específico

Evaluar la salinidad, sodicidad, iones solubles y compararla con los estándares de clasificación utilizados para el riego en los cultivos.

1.5. Hipótesis

El agua de riego del Valle de Navidad Nuevo León, cumple los estándares de calidad requeridos para uso agrícola.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen de las sales

Durante mucho tiempo se ha considerado que la acumulación de sales en los continentes, se debe a la deposición de sales solubilizadas en el agua de mar, que se han precipitado en el fondo durante la evaporación de los mares y golfos (Cervantes, 1983).

El origen de las sales según Kovda (1937), destaca que las reservas globales de sales en el océano son alrededor de 20 millones de Km^2 , aproximadamente 45 billones de toneladas; de la cuales 34-35 billones de toneladas son NaCl , 3 billones de toneladas de MgCl_2 , 2 billones de toneladas de CaSO_4 y un billón de toneladas de KCl .

Kossovich citado por Kovda (1937), realizó diferentes cálculos sobre contenidos de cloro en la corteza terrestre, estos cálculos condujeron a la siguiente conclusión, que si todas las sales del mar se debieran a procesos de intemperismo, entonces las rocas madres iniciales deberían ser más ricas en cloro, en comparación con las rocas cristalinas que se conocen en la actualidad. Los mismos estudios indican que las sales se formaron conjuntamente con los océanos debido a la condensación del vapor del ácido clorhídrico, así como a la actividad de las emanaciones volcánicas. Adicionalmente Linck y Kossovich

citados por Kovda (1937) agregan que el proceso de intemperismo, es la fuente fundamental que originó en el pasado y en el presente, una gran parte de las sales que hay en los océanos.

En lo que corresponde a la salinización de las zonas de desierto y semidesierto, se tiene la hipótesis del origen marino, eólico y biológico que sustenta la teoría de la acumulación continental de sales. Las ideas de esta teoría se aceptan ampliamente (FAO-UNESCO, 1973; Kovda, 1947), y consisten en que una gran cantidad de acumulaciones salinas de los desiertos y semidesiertos continentales es el resultado de acarreo de sales que se han liberado durante los procesos de intemperización hacia las diferentes depresiones.

2.2. Clasificación de suelos salinos, sódicos y alcalinos

Entre los procedimientos de calificación de suelos afectados por salinidad, sodicidad y alcalinidad, destacan los indicados por Villafañe (2000), donde destaca el propuesto por el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos de Norteamérica (Allison *et al.*, 1985), el Soviético (Kovda y Szabolcs, 1979), el Australiano (McIntyre, 1979), el Indú (Chhabra, 1996), el sugerido por Pla (1985), el propuesto por la FAO-UNESCO (1988), el planteado por Van Hoorn y Van Alphen (1994) y finalmente el expuesto por el Servicio de

Conservación de Suelos de los Estados Unidos de Norteamérica para la taxonomía de suelos (USSCS, 1994).

Allison *et al.*, (1985) desarrolló su sistema para propósitos de recuperación de suelos afectados por sales, basado fundamentalmente en la conductividad eléctrica del extracto de la pasta del suelo saturado (CEe), porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y pH de la pasta del suelo saturado (pHs). El sistema presenta tres categorías: a) Suelo salino (CEe > 4 dS m⁻¹, PSI < 15 y pHs < 8,5), donde las sales predominantes son cloruros y sulfatos, y el ión sodio representa menos del 50% de los cationes solubles, b) Suelo salino-sódico (CEe > 4 dS m⁻¹, PSI > 15 y pHs > 8,5), donde predominan el cloruro y el sulfato de sodio, y c) Suelo sódico (CEe < 4 dS m⁻¹, PSI > 15 y pHs > 8,5), en el cual el catión que prevalece en la solución es el sodio (por encima de la de sodio + magnesio) y donde la estructura del suelo es pobre.

La taxonomía de suelos soviética (Kovda y Szabolcs, 1979), combina la pedo génesis con la geoquímica de sales, con la respuesta de las plantas a la salinidad, presentando tres tipos de suelos afectados por sales: a) Solonchak, caracterizado por alto contenido de sales solubles en los primeros 30 cm de profundidad de suelo (frecuentemente mayor de 2%), que imposibilita el establecimiento de cultivos, b) Suelo parecido a Solonchak, caracterizado por un contenido de sales solubles que genera una CEe de 10-45 dS m⁻¹ (0,5 a

1,5%) en los primeros 100-150 cm profundidad de suelo y cuando son cultivados, los rendimientos son bajos y finalmente e) Suelo Solonetz, el cual tiene una apreciable cantidad de sodio intercambiable y un horizonte B con estructura columnar.

La clasificación australiana (McIntyre, 1979) considera para la definición de los suelos afectados por sales tres aspectos: salinidad, sodicidad y alcalinidad, y en cada uno de estos aspectos presenta tres categorías: no afectado, afectado y fuertemente afectado.

La clasificación propuesta por los Hindúes (Chhabra, 1996) se apoya en la de Allison *et al.*, (1985), pero precisa un poco más las sales en cada caso y adopta un pH de 8,2 como valor de separación entre los alcalinos y no alcalinos, por ser éste el valor a partir del cual precipita el carbonato de calcio y se inicia el proceso de sodificación. Las categorías establecidas son: a) Suelo salino (pHs < 8,2; PSI < 15, CEe > 4 dS m⁻¹), sin carbonatos en el extracto de la pasta del suelo saturado, y b) Suelo alcalino (pHs ≥ 8,2; PSI ≥ 15, CEe variable, frecuentemente < 4 dS m⁻¹), con presencia de bicarbonato y carbonato de sodio en el extracto de la pasta del suelo saturado.

En la taxonomía de suelos de la FAO-UNESCO (1988), la salinidad es considerada entre las categorías de mayor nivel: En la clasificación de suelos

prototipo destacan, el Solonchak aquel suelo que en algún momento del año tiene una $CE_e > 15 \text{ dS m}^{-1}$ en alguna profundidad del perfil menor de 125 cm, en el caso de textura arenosa, o menor de 75 cm si la textura es arcillosa. También se considera Solonchak aquel con una CE_e de 4 dS m^{-1} en los primeros 25 cm del perfil. El Solonetz por su parte, es el suelo con un horizonte B nátrico. Van Hoorn y Van Alphen (1994) plantean una clasificación de suelos afectados por sales, que considera la tolerancia de los cultivos.

Los suelos de taxonomía norteamericana (USSCS, 1994), presentan algunos horizontes relacionados con la salinidad, como el horizonte sálico, el gípsico, el cálcico y el nátrico: a) El sálico está basado en un horizonte de 15 cm o más de espesor, con sales más solubles que el yeso, donde la $CE_e (1:1) > 30 \text{ dS m}^{-1}$ y el producto del espesor en cm por la CE en dS m^{-1} es igual o superior a 900. b) El horizonte gípsico es enriquecido con sulfato de calcio, donde el producto del espesor en cm por el porcentaje de yeso es igual o mayor que 150. El cálcico corresponde al horizonte de acumulación de carbonato de calcio, su espesor es igual o mayor de 15 cm y no es duro o cementado; c) El nátrico es un tipo especial de horizonte argílico con estructura columnar, o prismática y un $PSI > 15$, más acidez intercambiable (a pH 8,2) en uno o más sub-horizontes dentro de los 40 cm de su límite superior.

2.3. Calidad del agua subterránea en las regiones áridas y semiáridas

2.3.1. Características de las regiones áridas o semiáridas

Las regiones áridas y semiáridas del planeta se encuentran en todas las latitudes; la mayor parte de los verdaderos desiertos se ubican entre los 15 ° y los 50 ° de latitud, a un costado y otro del ecuador; el mayor desierto de la tierra posee una extensión superior a la de los Estados Unidos y se extiende a lo largo de todo el norte de África y toda la península de Arabia, es decir, desde el atlántico hasta el golfo Pérsico. Otros grandes desiertos son los de Asia central, Australia central, así como el desierto Chihuahuense que cubre el sudoeste de los Estados Unidos y el centro-norte de México, involucrando parte de Arizona, Nuevo México, Texas, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Durango, Zacatecas y San Luís Potosí, con una extensión de 630,000 km² (Davis y De Wiest, 1971).

En México el concepto de zonas áridas obedece estrictamente al relieve continental y a la circulación general de la atmósfera, donde la característica principal de estas zonas es baja precipitación, alta temperatura, insolación intensa, poca humedad, vientos fuertes, suelos fuertemente secos y con alto contenido de sales según lo establecido por Shreve, citado por Marroquín *et al.*, (1981). La Comisión Nacional de Zonas Áridas (CONAZA) citada por Velasco (1983), consideran como zonas áridas, aquellos lugares que tienen una precipitación pluvial menor a 250 milímetros como valor medio, en tanto que las

zonas semiáridas son aquellos lugares donde la precipitación media anual oscila entre 250 y 500 milímetros.

Las zonas áridas y semiáridas del país cubren una superficie de 90 millones de hectáreas, equivalentes a casi la mitad del territorio nacional (Villa-Salas, 1980 y McGinnies, 1981). Además resaltan que estas áreas se localizan principalmente entre en los desiertos Chihuahuense, Sonorense y de Baja California.

2.3.2. Calidad química de los acuíferos

Los acuíferos formados en las zonas áridas y semiáridas están definidos por la cantidad de agua infiltrada, la cual no posee una gran cantidad de dióxido de carbono disuelto, en comparación con el que poseen las aguas infiltradas de las regiones templadas y húmedas (Davis y De Wiest, 1971). El estudio destaca que la falta de humedad, significa que la alteración química de los acuíferos, posterior a la formación de los desiertos, debe ser muy lenta y la formación de grietas de disolución en las rocas bicarbonatadas de las regiones desérticas ha quedado reducida al mínimo. Finalmente las condiciones desérticas afectan profundamente al tipo de sedimentación, el cual determina a su vez, los posibles tipos de acuíferos que puedan existir en los depósitos no compactados.

En el Valle de Juárez Chihuahua se ubica en una zona árida donde a nivel nacional es de las zonas más afectadas por problemas de salinidad-sodicidad en el agua de bombeo, con concentración de sales de 2.15 dS m^{-1} y que aumentan progresivamente hasta 6.46 dS m^{-1} hacia el final del Distrito de Riego 009 (Palomo-Rodríguez y Villalba, 1987).

La continuidad creciente de la concentración de sales y sodio registrada para agua de bombeo en el DR-009, obliga a que su aprovechamiento se tenga que realizar mezclando esta fuente de riego con agua residual, con el propósito de disminuir la elevada concentración salinidad (Palomo-Rodríguez y Figueroa, 2006).

La disponibilidad de tres fuentes de abastecimiento para el riego de los cultivos y donde el agua de bombeo aporta elevadas concentraciones de iones solubles con valores de salinidad de 2.55 dS m^{-1} para la primera unidad del DR-009, se incrementa a 3.40 dS m^{-1} para la segunda unidad y concentraciones de 4.78 dS m^{-1} para la tercera unidad (García-Soto, 1998).

2.4. Índices de Clasificación química del agua de riego

El concepto de calidad de agua de riego se refiere a las características del agua que puedan afectar al suelo y cultivo después de su uso a largo plazo. Los problemas más comunes según los cuales se evalúan los efectos de la

calidad del agua son los relacionados con la infiltración.

2.4.1. Conductividad eléctrica

La conductividad en medios líquidos está relacionada con la presencia de sales en solución, cuya disociación genera iones positivos y negativos capaces de transportar la energía eléctrica si se somete el líquido a un campo eléctrico. Estos conductores iónicos se denominan electrolitos o conductores electrolíticos. Las determinaciones de la conductividad reciben el nombre de determinaciones conductométricas y tienen muchas aplicaciones como, por ejemplo: a) En la electrólisis, ya que el consumo de energía eléctrica en este proceso depende en gran medida de ella, y b) En los estudios de laboratorio para determinar el contenido de sal de varias soluciones durante la evaporación del agua, APHA-AWWA-WEF (2001).

La conductividad eléctrica se utiliza para determinar el contenido de sales en suelo, agua de riego y substratos de cultivo, ya que se disuelven éstos en agua y se mide la conductividad del medio líquido resultante (Allison *et al.*, 1985). La conductividad eléctrica suele estar referenciada a 25 °C y el valor obtenido debe corregirse en función de la temperatura; coexisten muchas unidades de expresión de la conductividad para este fin, aunque las más utilizadas son dS m^{-1} (deciSiemens por metro), mmhos cm^{-1} (milimhos por centí-

metro) y según los organismos de normalización europeos mS m^{-1} (miliSiemens por metro).

2.4.2. Relación de adsorción de sodio

Los factores que afectan la infiltración del suelo son el contenido de sales a través de la conductividad eléctrica (CE) y la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), que señala la proporción del sodio con respecto a calcio y magnesio. Una salinidad alta en el agua de riego, aumenta la velocidad de infiltración, mientras que una baja salinidad en el agua de riego la disminuye, como resultado de su naturaleza corrosiva. Una proporción alta de Na^+ sobre el Ca^{2+} produce descenso en la infiltración como consecuencia de su efecto dispersante sobre los agregados del suelo. Además de la calidad del agua, la infiltración está determinada por las características físicas y químicas del suelo (Velásquez-Machuca *et al.*, 2002).

En este sentido, Ayers y Westcot (1987) presentan directrices para interpretar la calidad del agua, siendo la relación de adsorción de sodio (RAS), uno de los procedimientos utilizados para detectar los problemas de infiltración.

$$\text{RAS} = \text{Na}^+ / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})^{1/2}$$

El alto contenido de carbonatos (CO_3^{2-}) y bicarbonatos (HCO_3^-) aumentan el índice de RAS ya que estos iones se combinan con calcio y magnesio, lo que

ocasiona su precipitación en forma de carbonato de calcio (CaCO_3^-) o carbonato de magnesio (MgCO_3^-) cuando la solución del suelo se concentra bajo condiciones secas. Cuando esto ocurre la concentración de Ca^{2+} y Mg^{2+} decrece en relación al sodio y el índice RAS es mayor. Esto provoca la alcalinización y aumento del pH. Entonces, cuando el análisis del agua indica un nivel alto de pH, esto es una señal de que los valores de carbonatos y bicarbonatos son altos.

Ante este problema, Suárez (1981) propuso el RAS ajustado (RAS_{adj}) que toma en cuenta el contenido de carbonatos y bicarbonatos, cuando el RAS se obtiene a partir de las concentraciones de Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} en solución puede diferir de RAS real; la siguiente ecuación permite estimar en forma muy aproximada el RAS ajustado o verdadero de los valores calculados con la ecuación $\text{RAS}_{\text{adj}} = 0.08 + 1.115 (\text{RAS})$.

Relaciones funcionales entre PSI del suelo y RAS del agua de riego debido a que la formulación de RAS no contempla las diferencias físico-químicas esenciales de los iones polivalentes de (Ca^{2+}) y de (Mg^{2+}), fueron desarrolladas (Velásquez-Machuca *et al.*, 2002). El radio iónico del Na^+ es 0.098, el del Ca^{2+} es 0.104 y el de Mg^{2+} es de 0.074 nm. Los números de hidratación en moles de $2\text{O}/\text{mol}$ de electrolito son: para el ión sodio $\text{Na}^+ = 16.2$, para calcio $\text{Ca}^{2+} = 16.7$ y para magnesio $\text{Mg}^{2+} = 18.9$ tal como lo señala Antipov-

-Karataev (1967).

Velásquez-Machuca *et al.*, (2002) resaltan que los procesos de hidrólisis de estos iones se manifiestan con diferente intensidad; en esta formulación de RAS se considera que los iones divalentes de (Ca^{2+}) y (Mg^{2+}) se comportan de manera semejante $\alpha_{\text{Ca}} \approx \alpha_{\text{Mg}}$ (Sposito y Mattigod, 1977). Por otra parte, en un proceso de intercambio entre los iones de Ca^{2+} y Mg^{2+} para el sistema $\text{Ca-suelo} + \text{MgCl}_2$ y $\text{Mg-suelo} + \text{CaCl}_2$ se obtuvo la ecuación:

$$\frac{C_{\text{Mg}^{2+}}}{C_{\text{Ca}^{2+}}} = 1.0, \quad \frac{X_{\text{Mg}^{2+}}}{X_{\text{Ca}^{2+}}} = 0.375$$

donde la energía de adsorción del Mg^{2+} fue tres veces menor que la energía de adsorción del Ca^{2+} . Esta regularidad del proceso de intercambio entre el Ca^{2+} y Mg^{2+} tiene gran significado geoquímico durante los procesos de migración de las soluciones del suelo y agua superficial. En las soluciones se presenta un enriquecimiento con iones de Mg^{2+} , en una determinada longitud de tiempo (Ortega y García, 1994). Es conocido que en las diferentes formulaciones de RAS se introducen los valores de las concentraciones analíticas, ya que por lo general los coeficientes de actividad de los iones no se determinan (δ_{Na^+} , $\delta_{\text{Ca}^{2+}}$ y $\delta_{\text{Mg}^{2+}}$). En valores de RAS < 25 y concentraciones electrolíticas de 0.1

N es suficiente introducir los valores de las concentraciones de $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+}$ y Mg^{2+} determinados analíticamente sin corregir por actividad (Velásquez-Machuca *et al.*, 2002).

En la siguiente ecuación no se consideran las variaciones de las concentraciones del Ca^{2+} debido a su precipitación en condiciones de alcalinidad elevada ($\text{pH} > 8.2$).

$$\text{RAS} = \frac{C_{\text{Na}^+}}{\sqrt{C_{\text{Ca}^{2+}} + C_{\text{Mg}^{2+}}}}$$

De manera que se utiliza el planteamiento de Suárez (1981), para RAS ajustado o corregido:

$$\text{RAS}^{\circ} = \frac{C_{\text{Na}^+}}{\sqrt{C_{\text{Ca}^{2+}} + C_{\text{Mg}^{2+}}}}$$

donde RAS° es el RAS corregido o ajustado (RAS_{aj}). Aquí se consideran las fuentes de calcio debido al CaCO_3 , de manera que se toma en cuenta en el agua de riego la concentración electrolítica y la relación ($\text{HCO}_3^-/\text{Ca}^{2+}$) para el cálculo del calcio real en las soluciones de los suelos ($C_{\text{Ca}^{2+}}$) (Suárez, 1981).

$$\text{RAS}_{aj} = \frac{C_{\text{Na}^+}}{\sqrt{C_{\text{Ca}^{2+}} + C_{\text{Mg}^{2+}}}} \left[1 + (8.4 - \text{pHc}) \right].$$

El RASaj incluye la disponibilidad de calcio en condiciones de una alcalinidad determinada para un pH = 8.4 y es aproximadamente al pH de un suelo no-sódico en equilibrio con el CaCO₃. El índice de saturación (IS) estima la precipitación del ión carbonato del agua de riego como una función del grado de saturación con CaCO₃ en la solución del suelo. El IS se calcula de la forma $IS = (8.4 - pHc)$. El pHc es el pH teórico en equilibrio con la calcita (CaCO₃) y se define como sigue: $pHc = (pK_2 - pK_{ps}) + p(Ca+Mg) + p(CO_3^{2-} + HCO_3^-)$, donde $p(Ca^{2+} + Mg^{2+})$ corresponde al logaritmo negativo de la concentración molar de Ca²⁺ + Mg²⁺, aunque $p(CO_3^{2-} + HCO_3^-)$ corresponde al logaritmo negativo de la concentración equivalente de CO₃²⁻ y HCO₃⁻, y pK₂-pK_{ps} son el logaritmo negativo de la segunda constante de disociación del H₂CO₃ y el producto de solubilidad del CaCO₃, corregidos ambos por fuerza iónica (Ayers y Westcot, 1987).

2.4.3. Otros indicadores de salinidad y sodicidad

2.4.3.1. Salinidad efectiva

El parámetro salinidad efectiva fue creado para tomar en cuenta la reducción en la concentración de sales a medida que se precipitan los carbonatos de Calcio y Magnesio (Palacios y Aceves, 1970; Vásquez, 1999); este indicador se expresa mediante la siguiente ecuación:

Salinidad efectiva 1: Suma de Cationes - ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3 + \text{CaSO}_4$) Si

$$\text{Ca}^{2+} > (\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4)$$

En este caso se considera para casos que cumplieron las condiciones $\text{Ca}^{2+} < (\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^-)$ y $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) > (\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^-)$.

Salinidad efectiva 2: Suma de Cationes - Ca^{2+}

$$\text{Si } \text{Ca}^{2+} < (\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4) \text{ pero } \text{Ca}^{2+} > (\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^-)$$

Aplica en casos en donde la condición que se cumplió fue $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}) < (\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^-)$.

Salinidad efectiva 3: Suma de Cationes - ($\text{Ca} + \text{Mg}$) Si $\text{Ca} < (\text{CO}_3 + \text{HCO}_3^-)$ pero $(\text{Ca} + \text{Mg}) < (\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^-)$

Salinidad Efectiva 4: Suma de Cationes - ($\text{Ca} + \text{Mg}$) Si $(\text{Ca} + \text{Mg}) < (\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^-)$

2.4.3.2. Salinidad potencial

También generada por Eaton e indicado por Allison *et al.*, (1985), así como por (Palacios y Aceves, 1970; Vásquez, 1999), donde se considera el contenido de cloruros y la mitad de los sulfatos expresados en me/L.

$$\text{Salinidad Potencial} = \text{Cl}^- + 1/2 \text{SO}_4$$

2.4.3.3. Carbonato de sodio residual

Aproximación empírica que se ha usado ampliamente para predecir el peligro potencial del sodio asociado con la precipitación del CaCO_3 , (Palacios y Aceves, 1970) y se calcula en base a la siguiente ecuación:

$$\text{CSR} = (\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^{-}) - (\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+})$$

2.4.3.4. Porcentaje de sodio posible

Es la cantidad de Na^{+} que resulta una vez precipitados los Carbonatos de Ca^{+} y Mg^{+2} y el CaSO_4 (Palacios y Aceves, 1970; Vásquez, 1999); los cuales al precipitarse aumentan relativamente la proporción de sodio sobre los demás cationes y se basa en la siguiente ecuación:

$$\text{PSP} = (\text{Na}^{+}) (100) / \text{SE}$$

2.4.4. Iones específicos

Este tipo de toxicidad se presenta cuando el ión es asimilado y acumulado en los tejidos de la planta hasta niveles que puedan ocasionar daño o reducir su productividad. Al utilizar agua residual para regar, los iones presentes que más preocupan son el sodio, cloruros y boro. De estos la toxicidad de mayor incidencia es la del boro y cloruros (Palacios y Aceves, 1970; Vásquez, 1999). Elevados contenidos de sodio pueden afectar a las plantas y producir problemas de permeabilidad en el suelo. El efecto perjudicial

del sodio se puede contrarrestar con elevados contenidos en calcio en el suelo. Algunos de los cultivos más sensibles al sodio son el almendro, aguacate, frutales de hueso y cítricos. Contenidos foliares de sodio superiores a 0.3 - 0.5 % (sobre peso seco) suelen indicar problemas de toxicidad en la mayoría de árboles frutales y cítricos (Ramos, 1989).

Respecto a cloruros en general el agua con un contenido de cloruros inferior a 140 mg L^{-1} no presenta problema, de 140 a 350 mg L^{-1} el problema aumenta y los valores superiores a 350 mg L^{-1} pueden ocasionar problema de toxicidad grave. Estos valores son orientativos y el problema se puede más o menos resolver impidiendo la acumulación de cloruros en el suelo manteniendo una fracción de lavado adecuada. Niveles de cloruros en las hojas de los cítricos superiores a 0.5 - 0.1 % (sobre peso seco) indican posible problema de toxicidad por cloruros. Al utilizar riego por aspersión el contenido en cloruros del agua ha de ser inferior a 100 mg L^{-1} para evitar posible problema de fototoxicidad (Ramos, 1989).

Normalmente los cloruros y sodio están asociados de forma que los meq de cloruros frecuentemente son aproximadamente igual a los de sodio. El contenido en cloruros y sodio aumenta durante el uso doméstico del agua, especialmente cuando se utilizan ablandadores de agua. La toxicidad de mayor

incidencia es la debida al boro. Las fuentes más comunes de boro son los detergentes domésticos y vertidos de instalaciones industriales.

En el caso de cultivos sensibles a esta toxicidad es de difícil corrección y se debería variar el tipo de cultivo suministro de agua, y aún se acentúa más el problema en condiciones climáticas de elevada temperatura, sobre todo para riego por aspersión ya que se pueden manifestar más severamente por quemaduras o daños foliares. La técnica de riego utilizada define en gran medida el grado de fito-toxicidad que puede ser menor en riego de gravedad (Mujeriego, 1990).

2.5. Clasificación agronómica de la calidad del agua de riego

La calidad agronómica del agua de riego implica considerar la calidad química y analizar una gama de variantes sobre el manejo de este recurso (tipo de riego, cantidad, frecuencia), así como la tolerancia a salinidad del cultivo establecido en campo, condiciones de drenaje interno, severidad del clima para favorecer una alta demanda evaporativa, fracción de lixiviado, costo del agua y rentabilidad de las decisiones a tomar ya que si las condiciones son completamente adversas es probable que el costo del manejo implementado, no sea rentable (Palomo-Rodríguez, 1990; Palomo-Rodríguez y Villalba, 1987).

En las consideraciones a tomar en cuenta, es conveniente resaltar las directrices de FAO para establecer la calidad química y calidad agronómica del agua de riego, mismas que se basan en las propuestas de Ayers y Wescot

(1987) mismas que fueron adoptadas por FAO.

Estas directrices de calidad del agua tratan de cubrir la amplia gama de condiciones existentes en la agricultura de regadío. En California; se han utilizado varias hipótesis para definir el ámbito de aplicación de estas directrices. Si las condiciones de utilización del agua son muy diferentes de las que aquí se han considerado, estas directrices tendrán que ser modificadas. Una discrepancia importante con las hipótesis, puede dar lugar a juicios erróneos sobre la idoneidad de una determinada fuente de abastecimiento, especialmente si sus características se sitúan en los valores límites de riesgo para los diferentes indicadores químicos.

Las hipótesis básicas consideradas son las siguientes:

- Productividad potencial: Se ha supuesto que los cultivos pueden alcanzar su total capacidad productiva, sin necesidad de prácticas especiales, siempre que las directrices no indiquen restricción sobre el uso del agua. Una restricción sobre el uso del agua indica que puede haber limitaciones en la elección del cultivo o que será necesario adoptar técnicas de gestión especiales a fin de mantener la total capacidad productiva del cultivo. No obstante, la existencia de una restricción sobre el uso del agua no significa que el agua sea inadecuada para regar.

- Condiciones del lugar: La textura del suelo varía entre franco-arenosa y arcillosa con buen drenaje interior. La lluvia es escasa y no tiene importancia significativa para satisfacer la necesidad de agua del cultivo o para el lavado del suelo. En las zonas de las Sierras Nevadas y de la costa Norte de California, en donde la precipitación es intensa durante gran parte del año, las restricciones contenidas en las directrices son excesivamente severas. Se supone la existencia de un buen drenaje y ausencia de un nivel freático próximo a la superficie.
- Métodos y horas de riego: Se consideran tanto métodos de riego superficial como de riego por aspersión. El agua se añade periódicamente, a medida que es necesaria, y el cultivo utiliza una considerable porción del agua intersticial del suelo, igual o superior al 50%, antes de proceder al siguiente riego. Al menos un 15% del agua añadida se filtra por debajo de la zona de raíces, es decir la fracción de lavado es igual o superior al 15%. Las directrices son excesivamente restrictivas para métodos especializados de riego, tales como el riego localizado, en los que el riego tiene lugar casi diariamente o a intervalos muy frecuentes. Estas directrices no son aplicables a riegos bajo la superficie del suelo.

- Consumo de agua por los cultivos: Cada cultivo tiene un ritmo de utilización de agua, pero todos absorben agua de la zona próxima a las raíces en que ésta sea más fácilmente accesible. Cada riego lava la parte superior de la zona radicular y la mantiene a un nivel relativamente bajo de salinidad. La salinidad aumenta con la profundidad y alcanza su máximo valor en la parte inferior de la zona radicular. La salinidad media del agua intersticial es aproximadamente tres veces superior a la del agua de riego.

Las sales arrastradas desde la parte superior de la zona radicular se acumula en cierta manera en la parte baja de las mismas, aunque en último término es arrastrada por los sucesivos lavados por debajo de la zona radicular. Los cultivos responden a la salinidad media de la zona radicular. El elevado grado de salinidad en la parte inferior de la zona radicular no tiene gran importancia si la parte alta de dicha zona, que es la parte más activa, se mantiene en condiciones adecuadas de humedad.

Las hipótesis reflejan de hecho prácticas comunes de riego y, en particular, las usadas en proyectos de regeneración y reutilización de agua residual municipal. Estas directrices ponen énfasis en los aspectos de gestión necesarios para poder hacer servir satisfactoriamente agua de cierta calidad. A

medida que la calidad del agua es peor las opciones disponibles se reducen y la gestión es más determinante. Las restricciones en el uso indicadas a continuación se han dividido en tres categorías en función de la capacidad de gestión necesaria. Si las directrices no indican ninguna restricción sobre el uso del agua, se supone que los cultivos consiguen su máxima capacidad productiva. Si las directrices indican restricciones severas es posible que el usuario del agua experimente problemas con el suelo y cultivos, o obtenga una menor producción por hectárea debido a la deficiente calidad del agua por lo que se harán necesarias técnicas de gestión especiales. Restricciones moderadas hacen tomar atención a la selección de los cultivos.

Las categorías se han obtenido por una división arbitraria de los valores que toma cada parámetro así que variaciones del 10-20% arriba o abajo pueden llegar a tener escasa significación y toman importancia las dotes de gestión. Estas directrices se han elaborado bajo la voluntad de mantener rentables a largo plazo las condiciones del cultivo. Los beneficios a corto plazo de aplicar caudales adicionales de agua residual no justifican la degradación que sufriría el suelo y el recurso hídrico.

El laboratorio de salinidad de Estados Unidos (Allison *et al.*, 1985), recalcan que las condiciones que se deben tener presentes antes de la evaluación final del agua son: 1) condiciones de drenaje. 2) método y manejo

de riego. 3) propiedades del suelo a regar. 4) tolerancia de los cultivos que se regaran. 5) practicas culturales y 6) condiciones climáticas, (Rhoades, 1972 y Wilcox, 1985).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación y características del sitio de estudio

El estudio se desarrolló en el Valle de Navidad, N. L., ubicado geográficamente en el cuadrante comprendido por: a) $25^{\circ} 06' 54.72''$ N y $100^{\circ} 47' 51.78''$ W; b) $25^{\circ} 06' 16.40''$ N y $100^{\circ} 39' 01.21''$ W; c) $24^{\circ} 58' 35.80''$ N y $100^{\circ} 48' 11.20''$ W; d) $24^{\circ} 58' 43.00''$ N y $100^{\circ} 35' 01.90''$ W, donde la elevación sobre el nivel del mar es 1,882 m.



Figura 1. Ubicación geográfica del Valle de Navidad N. L. donde predomina el sistema de riego por aspersión en la modalidad de pivote central.

En las topo morfas de bajadas, abundan los xerosoles cálcicos XK de clase textural fina, poco profundos asociados a xerosoles haplicos XH y litosoles; el regosol calcárico Rc de clase textural media, tiene frases petrocálcicas y horizonte petrocálcico a menos de 50 cm de profundidad. La porción correspondiente a agricultura mecanizada continua tiene un régimen de humedad disponible clasificado como “requerimiento alto”, donde la agricultura de riego esta rodeada de matorral desértico microfilo y matorral inerte; generalmente son terrenos aptos para el desarrollo de praderas cultivadas con un régimen de humedad disponible “alto” y son terrenos no aptos para la explotación forestal. La zona agrícola del Valle de Navidad, N. L., es de gran importancia socioeconómica por las cerca de 8,500 hectáreas bajo riego, distribuidas en los fraccionamientos Navidad, Zacatal, El Prado y Guadalupe incluyendo además las porciones agrícolas del fraccionamiento Valle del Paraíso y Colonia Menonita además del Cuije.

Los cultivos de mayor importancia para los fraccionamientos Navidad, Zacatal, El Prado y Guadalupe son respectivamente papa, alfalfa, maíz, avena y trigo, aunque en menos escala se cultivan manzano, durazno, frijol y cebada entre otros. En los mismos fraccionamientos, en cerca del 30-40% de la superficie bajo riego se utilizan sistemas de riego por aspersión (pivote central y sistemas semi-portátiles), así como sistemas de riego por goteo para el caso de frutales.

Los horizontes petro cálcicos cercanos o iguales a 50 cm de profundidad del suelo, que se localizan en una porción del Valle de Navidad, N. L. (descripción cartográfica de centenal hoy INEGI) generalmente se encuentran asociados con bajos niveles de permeabilidad del suelo; aunque no se tiene una evaluación precisa de este parámetro, es probable que se presente un restringido movimiento de agua en el perfil radicular.

Entre las especies de plantas nativas que prosperan en el Valle de Navidad, N. L., destacan *Atriplex canescens* y los matorrales de estrato superior *Prosopis glandulosa* (Mesquite), *Larrea tridentata* (abrojo), *Opuntia microdasys* (nopal cegador), *opuntia sp.* (nopal) y *Agave lechuguilla* (lechuguilla) entre otras como *Dasyllirion sp.* (sotol) y *Crysatinia mexican* (hierba de San Nicolás).

3.2. Muestreo

Se seleccionaron 54 sitios de muestreo que involucraron el 86 por ciento de los pozos de bombeo del Valle de Navidad, N. L. Las muestras consistieron en 1 litro de agua, por duplicado, colectada de la toma de salida del pozo de bombeo. Los fraccionamientos monitoreados fueron Navidad, Zacatal, El Prado, Guadalupe, Valle del Paraíso, Colonia Menonita y el Cuije. En el Laboratorio del Campo Experimental Valle de Juárez del INIFAP, fueron determinados los siguientes parámetros: pH, conductividad eléctrica (CE) y los iones solubles

calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonatos, sulfatos y cloruros (Allison *et al.*, 1985; Aguilar *et al.*, 1987); fueron calculados los índices RAS, salinidad efectiva, salinidad potencial, carbonato de sodio residual y por ciento de sodio posible (Palacios y Aceves, 1970).

En las pruebas de control de calidad, se utilizaron duplicados, además de blancos analíticos. Se elaboraron curvas de calibración para sulfatos, sodio, potasio y se utilizaron estándares para la calibración del flamómetro y espectrofotómetro de absorbancia (Allison *et al.*, 1985; Aguilar *et al.*, 1987).

3.3. Determinaciones analíticas

pH.-

Fue analizada la concentración de iones hidrógeno en la disolución de cada muestra; este análisis consiste en registrar una medida de la acidez de la disolución. El término se define como el logaritmo de la concentración de iones hidrógeno H^+ , cambiado de signo:

$$pH = -\log [H^+]$$

Para este análisis se utilizó un potenciómetro Hanna Instruments, instrumento que mide la diferencia de potencial entre dos electrodos: un electrodo de referencia (plata/cloruro de plata) y un electrodo de vidrio que es sensible al ión hidrógeno. La calibración se efectuó con estándares pH-4 y pH-7 (Allison *et al.*, 1985; Aguilar *et al.*, 1987).

Conductividad eléctrica.-

En el análisis de Conductividad eléctrica (CE) se utilizó un puente de Wheatstone Beckman modelo SD-26 y una solución estándar Orion Application Solution 1.413 dSm^{-1} (692 ppm).

Sólidos Disueltos Totales.-

Se determinó por gravimetría al exponer un volumen conocido a evaporación (Allison *et al.*, 1985).

Calcio.-

El procedimiento de análisis correspondió para titulación con EDTA. Se colocó una alícuota de 5 ml en un frasco Erlenmeyer de 125 ml. Se diluyó a un volumen aproximado de 25 ml; se agregó 5 gotas de cloruro de calcio y aproximadamente 50 mg del indicador purpurato de amonio y se titula con EDTA utilizando una microbureta de 10 ml; el cambio de color es de rojo naranja a púrpura (Allison *et al.*, 1985; Aguilar *et al.*, 1987).

Calcio y Magnesio.-

Mediante titulación con EDTA. Se tomaron 10 ml de extracto de saturación y se colocaron en el matraz de 125 ml diluyendo a 25 ml, se agregaron 10 gotas de la solución amortiguadora de cloruro de amonio e hidró-

xido de amonio y 3 o 4 gotas de indicador Eriocromo negro T y se tituló usando una microbureta de 10 ml. El vire se observó de color azul a verde (Allison *et al.*, 1985; Aguilar *et al.*, 1987).

Sodio y potasio.-

Determinados por flamometría, para lo cual se conformaron curvas de calibración con estándares de 0, 20, 40, 60, 80 y 100 ppm de cada ión soluble, (Allison *et al.*, 1985; Aguilar *et al.*, 1987).

Bicarbonatos.-

Los bicarbonatos se determinaron por el método de titulación con ácido sulfúrico. Se tomo un extracto de 5ml, se le agrego una gota de fenoftaleína, 2 gotas de anaranjado de metilo y se titulo con ácido sulfúrico hasta la primera coloración anaranjada (Allison *et al.*, 1985; Aguilar *et al.*, 1987).

Cloruros.-

Se determinaron por el método de titulación con nitrato de plata. En el procedimiento se tomaron 5 ml del extracto, se le agregaron 4 gotas de cromato de potasio al 5 %. Al agitar se titulo con nitrato de plata bajo una luz intensa, de una microbureta de 10 ml hasta producir un color rojizo (Allison *et al.*, 1985; Aguilar *et al.*, 1987).

Sulfatos.-

Se utilizó mediante el método turbidimétrico con el auxilio de un espectrofotómetro de absorbancia, donde se elaboraron curvas de calibración a 0, 20, 40, 60, 80 y 100 ppm (Aguilar *et al.*, 1987).

3.4. Cálculo de índices de clasificación

Se siguió la metodología sugerida por Palacios y Aceves (1970) y Vásquez (1999) para los siguientes índices:

Relación de Adsorción de Sodio:

$$\text{RAS} = \text{Na}^+ / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})^{1/2}$$

Salinidad Efectiva:

$$\text{SE} = \Sigma \text{cationes} - (\text{CO}_3 + \text{HCO}_3)$$

$$\text{SE} = \Sigma \text{cationes} - (\text{Ca} + \text{Mg})$$

La primera fórmula se utilizó en los casos que cumplieron las condiciones $\text{Ca} < (\text{CO}_3 + \text{HCO}_3)$ y $(\text{Ca} + \text{Mg}) > (\text{CO}_3 + \text{HCO}_3)$, en tanto que la segunda para los casos en donde la condición que se cumplió fue $(\text{Ca} + \text{Mg}) < (\text{CO}_3 + \text{HCO}_3)$.

Salinidad Potencial:

$$\text{SP} = \text{Cl} + \frac{1}{2} \text{SO}_4$$

Carbonato de Sodio Residual:

$$\text{CSR} = (\text{CO}_3 + \text{HCO}_3) - (\text{Ca} + \text{Mg})$$

Porcentaje de Sodio Posible:

$$\text{PSP} = (\text{Na} / \text{SE}) \cdot 100$$

3.5. Análisis de la información

Los análisis generados corresponden básicamente al uso de gráficos de frecuencias, que denotan la proporción que guardan las muestras con respecto a cada parámetro de salinidad y sodicidad.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Clasificación química del agua de bombeo

4.1.1. Salinidad (CE) y sodicidad (RAS)

El índice de clasificación por salinidad, indica que en general el agua de riego para Navidad N. L. es media y alta por peligro de salinidad, ya que presentan una frecuencia porcentual similar en ambos casos ($750-1500 \mu\text{S m}^{-1}$) y ($1500 - 2250 \mu\text{S m}^{-1}$) Figura 2; la clasificación del agua de riego por salinidad C_2 es apta para el riego de los cultivos, de acuerdo con el Laboratorio de Salinidad de Estados Unidos (Allison *et al.*, 1984).

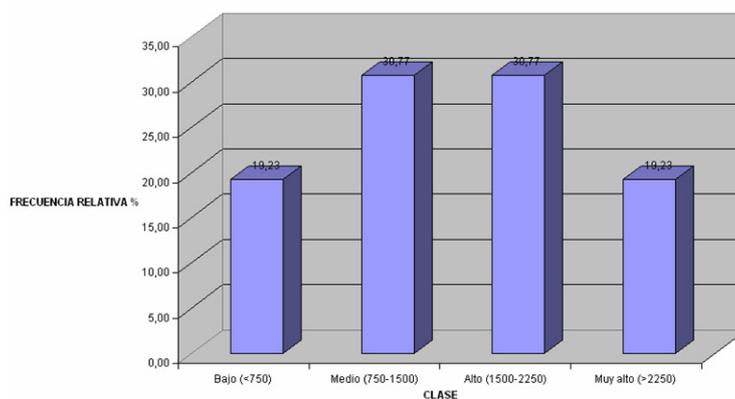


Figura 2. Frecuencia relativa de Conductividad Eléctrica del agua de bombeo de Navidad N. L.

En tanto la clasificación C_3 que es alta por peligro de salinidad y en este caso puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar

cultivos tolerantes a la salinidad, que puede utilizarse para el riego de suelo con buen drenaje (Allison *et al.*, 1984). Entre los cultivos que son sensibles a salinidad se encuentran algunas hortalizas y frutales, ya que se puede afectar su desarrollo y producción de órganos fructíferos (Leidi y Pardo, 2002).

La relación de absorción de sodio (RAS) refleja la posible influencia del ión sodio sobre las propiedades del suelo, ya que tiene efectos sobre la destrucción de agregados estables y derivado de este efecto, se presentan dificultades en la permeabilidad del suelo al movimiento de agua y aire. El índice de clasificación por sodicidad (RAS), señala una frecuencia absoluta y determinante para un bajo riesgo de sodicidad, en tanto las clases media, alta y muy alta por peligro de sodicidad no existen (Figura 3).

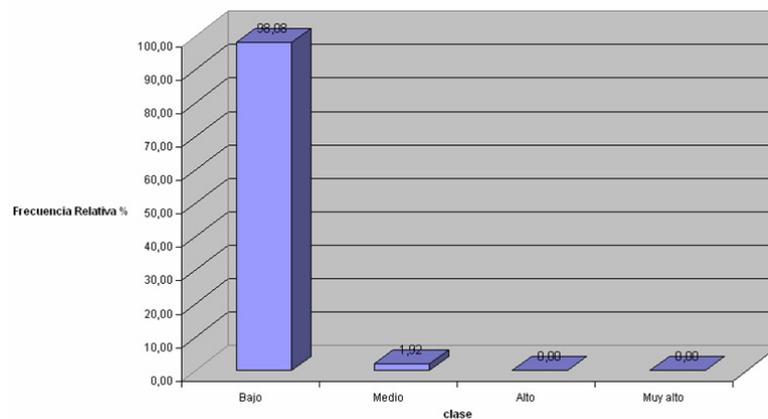


Figura 3. Frecuencia relativa de la Relación de Adsorción de Sodio para agua de bombeo en Navidad N. L.

De esta forma no hay riesgo del efecto dispersante sobre los coloides del suelo y que pueden afectar la permeabilidad. Sus efectos no dependen sólo de la concentración en sodio sino también de los cationes calcio-magnesio y que expresa el porcentaje de sodio de cambio en el suelo en situación de equilibrio.

La Figura 4 indica la distribución de muestras en un cuadrante conformado por CE-RAS; para valores CE estos se encuentran en los intervalos C2, C3 y C4 que es medio, alto y muy alto el peligro por salinidad, aunque destaca una alta proporción para la clase C3.

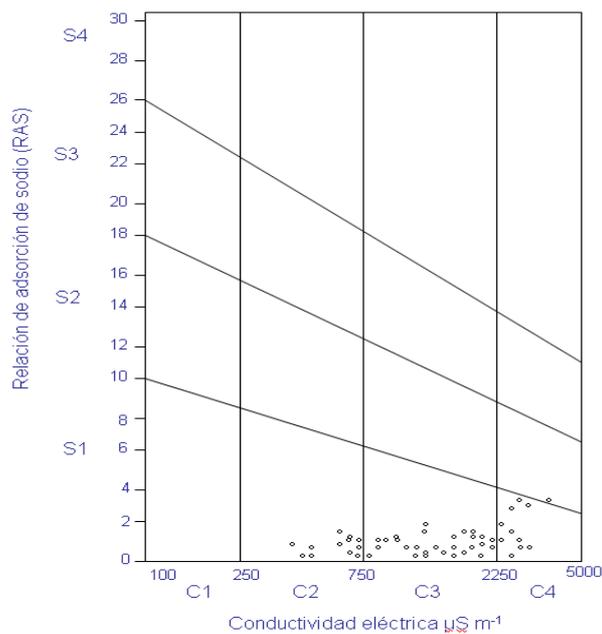


Figura 4. Diagrama de clasificación por salinidad (C1, C2, C3 y C4), así como sodicidad (S1, S2, S3 y S4) donde quedan ubicados los 54 pozos de bombeo para el Valle de Navidad N. L.

La clasificación por sodicidad (RAS) corresponde en su mayoría para S1, es decir baja en riesgo por sodicidad y tan solo una muestra rebasa a este nivel que la ubica como S2, es decir clase media para este parámetro.

4.1.2. Sólidos Disueltos Totales

El indicador más estrechamente relacionado con la salinidad es la cantidad total de sólidos disueltos totales en el agua de riego y permite en forma alterna recurrir a su determinación como un indicador indirecto del riesgo de salinidad. La Figura 5 muestra cuatro estratos de este parámetro y más adelante se discute la forma en como se encuentra asociado con conductividad eléctrica. En ausencia de un equipo de medición para conductividad eléctrica, se puede fácilmente obtener sólidos disueltos totales, al contar solamente con balanza analítica y estufa, para su determinación mediante gravimetría.

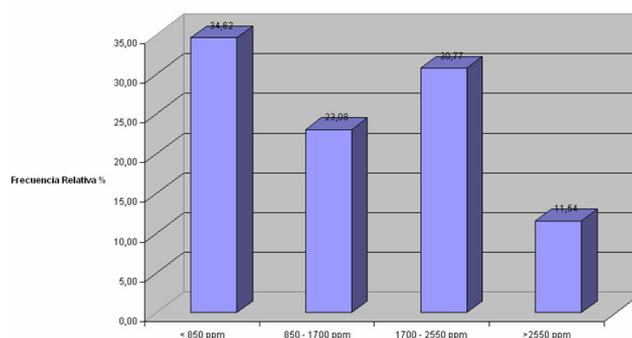


Figura 5. Frecuencia relativa de Sólidos Disueltos Totales en agua de bombeo de Navidad N. L.

4.1.3. Salinidad Efectiva y Salinidad Potencial

Los indicadores SE y SP como ya fue indicado, permiten tomar en cuenta la reducción en la concentración de sales a medida que se precipitan los carbonatos de calcio y magnesio, además considera el contenido de cloruros con respecto a la de sulfatos. En el estudio de Navidad, N. L., la SE y SP presentan la misma frecuencia relativa para la clase condicionada, por lo que deben utilizarse preferentemente cultivos moderadamente tolerantes y tolerantes al efecto osmótico de la solución del suelo (Figura 5 y 6).

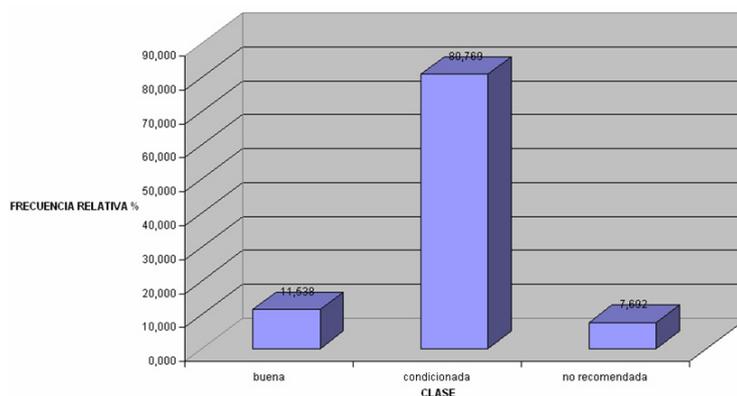


Figura 6. Frecuencia relativa de la Salinidad efectiva evaluada en agua de bombeo de Navidad N. L.

4.1.4. Carbonato de Sodio Residual

Al igual que el indicador RAS que presenta una baja concentración (S_1), el indicador CSR, presenta una clase buena, es decir sin riesgos de oca-

sionar problemas de sodicidad, o permeabilidad al suelo. La proporción de sodio con respecto a calcio más magnesio es demasiado baja, como para ofrecer riesgos dispersantes sobre los coloides del suelo (Figura 7).

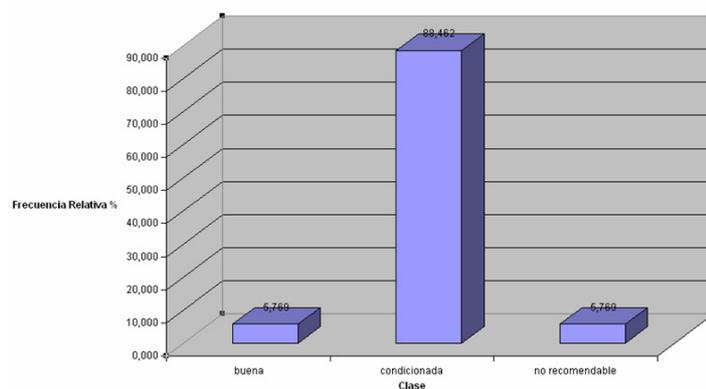


Figura 7. Frecuencia relativa de Salinidad Potencial evaluada en agua de bombeo de Navidad N. L.

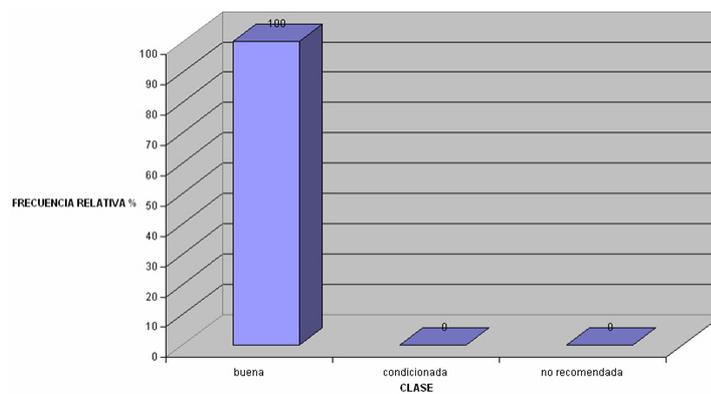


Figura 8. Frecuencia relativa de Carbonato de Sodio Residual para agua de bombeo de Navidad N. L.

4.1.5. Porcentaje de Sodio Posible

Aunque pocas veces se utiliza este indicador de riesgo por sodicidad, debido a la influencia que tiene el sodio con respecto a la salinidad efectiva, en el estudio de Navidad, N. L. se presentó la siguiente frecuencia Cuadro 1, donde predominan las tres primeras clases que van desde menores a 15 hasta 45.

Cuadro 1. Frecuencia relativa del Porcentaje de Sodio Posible del agua de bombeo de Navidad N. L. utilizada en la agricultura.

Clase	Frecuencia Relativa (porcentaje)
< 15.0	26.92
15.1 – 30	26.92
30.1 – 45	34.56
45.1 – 60	5.80
> 60	5.80

4.1.6. Riesgo de toxicidad por iones específicos

El riesgo de fitotoxicidad por iones específicos, incluye a sodio, cloruros y boro, aunque en el estudio de Navidad N. L. solo se determinaron cloruros y sodio; este tipo de toxicidad se presenta cuando cualquiera de estos iones, es asimilado y acumulado en los tejidos de la planta hasta niveles que puedan ocasionar daños o reducir su productividad.

La forma en que puede ocasionar un problema de fitotoxicidad está en función de la tolerancia que presenta cada cultivo a estos iones, así como de la forma de riego utilizada. En Navidad N. L. predomina en gran medida el riego por aspersión pivote central, de manera que es posible ocasionar riesgos de quemaduras foliares sobre los cultivos, que son sensibles a moderadamente sensibles al efecto tóxico de cloruros o sodio, sobre todo cuando el riego de aspersión se realiza cuando las temperaturas son demasiado altas (mayores a 32 ° C) y pueden ocasionar una rápida evaporación del agua asperjada sobre el follaje y al concentrarse, pudiesen manifestar quemaduras en los bordes de las hojas.

4.1.6.1. Cloruros

Toda el agua de bombeo evaluada por concentración de cloruros, es de muy buena calidad; la mayor frecuencia de su concentración se presenta para 1-2 me L⁻¹ que la ubica como excelente, seguida de 2-3 m L⁻¹ y clasificada como agua sin problema. Estos valores son orientativos, de manera que para riego de gravedad, el problema se puede evitar en parte al impedir la acumulación de cloruros en el suelo, para ello es necesario adicionar una fracción de lixiviado a la lámina de riego.

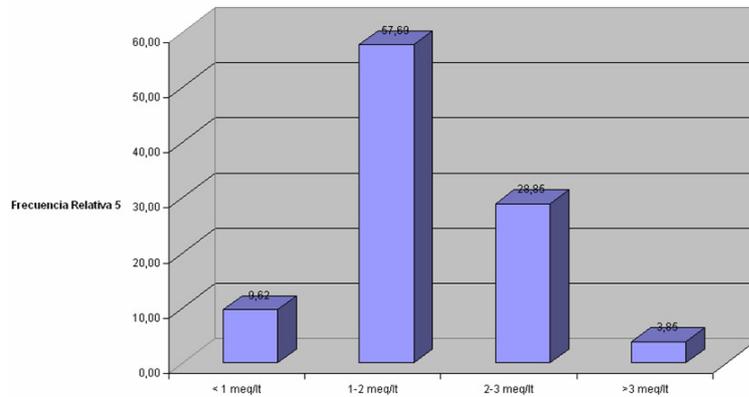


Figura 9. Frecuencia relativa de Cloruros como ión tóxico en agua de bombeo de Navidad N. L.

Cuando se utiliza riego por aspersión, el contenido en cloruros del agua debe ser inferior a 100 mg L^{-1} (2.8 meq L^{-1}) para evitar posible problema de fototoxicidad (Ramos 1966 y 1989). El cloruro por ser un anión, no es retenido por el complejo de cambio del suelo, por lo que puede ser absorbido fácilmente por la raíces (Troncoso *et al.*, 2008). En general agua con un contenido de cloruros inferior a 4 me L^{-1} no presenta problema, de 4 a 10 me L^{-1} el problema aumenta y los valores superiores a 10 me L^{-1} pueden ocasionar problema grave de toxicidad (Troncoso *et al.*, 2008 y Ramos, 1989 y 1996).

4.1.6.2. Sodio

La presencia de sodio como ión tóxico es baja, de acuerdo con los resultados mostrados en la Figura 8, donde predomina una concentración < a 3 meq L^{-1} ; el problema ocasionado por la presencia de sodio son debido, más

que a su toxicidad, a la deficiencia de calcio-magnesio y otras interacciones que pueden aparecer si la concentración de sodio es elevada. La fito-toxicidad del sodio y cloruros aumenta si el riego es por aspersión – pivote central de manera que el riego debe aplicarse en forma nocturna. Con estos valores el riesgo desaparece si se aplica el agua en riego de gravedad.

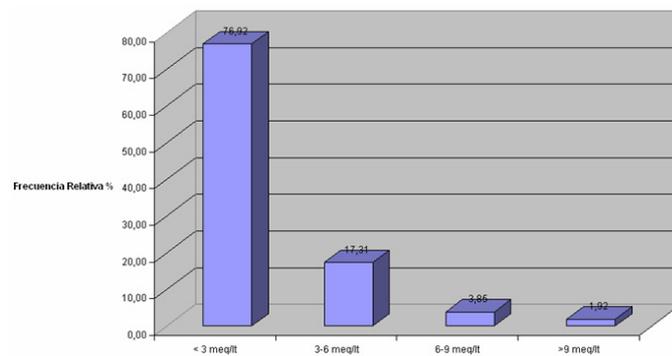


Figura 10. Frecuencia relativa de sodio como ión tóxico en agua de bombeo de Navidad, N. L.

V. CONCLUSIONES

1. Para salinidad del agua de riego, predominan valores 0.75 a 2.75 dS m⁻¹ que equivalen a clasificaciones C2 y C3 (media y alta en riesgo de salinidad); no se deben utilizar cultivos sensibles a salinidad, deben preferentemente establecerse cultivos moderadamente tolerantes.
2. En el riesgo de sodicidad (RAS) predominan valores bajos en una frecuencia del 96 por ciento y no ofrece restricción de uso para ocasionar problemas de infiltración a los suelos.
3. Los indicadores de salinidad efectiva y salinidad potencial muestran una clasificación condicionada para su uso agrícola; ésta clasificación señala el uso de cultivos moderadamente tolerantes a salinidad.
4. El indicador carbonato de sodio residual, señala una clasificación baja para ocasionar riesgos de sodicidad al suelo.
5. Para iones específicos se tiene a cloruros donde predomina una concentración excelente con valores 1 a 2 me L⁻¹, seguida por rangos de 2 a 3 m L⁻¹ y clasificada como agua sin problema.
6. En el caso de sodio como ión específico, predominan aguas con valores < a 3 meq L⁻¹ que la ubica como baja en riesgo de fito-toxicidad, aunque el riesgo aumenta si se aplica el riego en sistema de aspersión - pivote central; este riesgo desaparece cuando la modalidad del agua se aplica en riego superficial.

7. Se debe implementar un programa integral de manejo del agua de riego, en su frecuencia y lámina, que son determinantes para favorecer una fracción de lixiviado y mantener las sales mas allá del sistema de raíces; además de debe restringir el uso de cultivos sensibles a salinidad para evitar problemas de baja rentabilidad.
8. El afloramiento de sales solubles en los suelos que han aparecido en algunas parcelas de cultivo, no se pueden asociar a la calidad del agua de riego utilizada.
9. El afloramiento de sales de los suelos del Valle de Navidad, probablemente se encuentren asociados a aguas freáticas someras, que deben ser evaluadas en la zona de estudio.

VI. BIBLIOGRAFÍA

APHA-AWWA-WEF. 2001. Standard methods for the examination of the water and wastewater. Supplement to the 20th Edition.

Aguilar S. A., Etchevers D. B. J., y Castellanos R. J. Z. 1987. Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. SMCS. México.

Allison L. E., J. Brown W., H. Hayward E., L. Richards A. 1985. Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos. En: Richard L. A: (ed). Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. Limusa, México. p 172.

Antipov-Karataev, I. N. 1967. Reclamation of solonetz in the URSS. Israel program for scientific translations. Jerusalem Israel.

Ayers, S.R. 1977. Quality of water for Irrigation. J. Irrigation and Drainage division. ASCE 103 (IR2) 135-154).

Ayers, R.S. y D.W. Westcot. 1987. La calidad del agua en la agricultura. Folleto FAO Riego y Drenaje No. 29. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma.

Cervantes, R. M. 1983. La lixiviación de sales en suelos salinos y salinos-sódicos del Valle de Mexicali, durante un proceso de lavado. Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

Chhabra, R. 1996. Soil salinity and water quality. A. Balkema Publishers. Brookfield, USA. 284 p.

Davis S. N., y De Wiest R. J. 1971. Hidrogeología. Editorial Ariel, Barcelona España.

FAO-UNESCO. 1973. Irrigation, drainage and salinity: an international source book. UNESCO library 626.8 IRR, Roma.

FAO-UNESCO, 1988. Soil map of the world. World Soil Resources Report 60. Rome, Italy. 119 p.

García-Soto, M. M. J. 1989. Salinidad y drenaje. En: Logros de la investigación agropecuaria en el área de influencia del Campo Experimental Valle de Juárez-INIFAP. Publicación especial No. 7. Praxedis, G. Gro. Chihuahua, México.

Kovda, V. A. 1980. Land aridization and drought control. Westview Press (Boulder, Colo). 277 p. USA.

Kovda, V. A. 1937. Los suelos salinos y los suelos solonchaks. Editorial Academia de Ciencias de la URSS, Moscú.

Kovda, V. A. 1947. El origen y régimen de los suelos salinos. Editorial Academia de Ciencias de la URSS, Moscú.

Kovda, V. A. and I. Szabolcs. 1979. Soil salinization and alkalization processes. modelling of soil salinization and alkalization. *agrokemia es talajtan. budapest, hungary.* 28 (suppl.): 11-32.

Leidi O. E., y Pardo M. J. 2002. Tolerancia de los cultivos al estrés salino, que hay de nuevo. Departamento de Biología Vegetal Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología. Revista de investigaciones de la facultad de ciencias agrarias. Sevilla, España.

Marroquín S. J., Borja L. G., Velásquez C. R., y De la Cruz C. J. 1981. Estudio ecológico desonómico de las zonas áridas del norte de México. Publicación especial No. 2. INIFAP, México. 27 p.

McGinnies, W. G. 1981. Discovering the desert. Arizona State University. Tucson, Az. USA. 276 p.

McIntyre, D. 1979. Exchangeable sodium, soil plasticity and hydraulic conductivity of some Australian soils. *Aust. J. Soil Res.* 17:115-120.

Meza, B. 2005. Efecto de la salinidad en la germinación y emergencia de semillas de níspero. Departamento de Agronomía. Postgrado de Horticultura, Universidad Centro-occidental "Lisandro Alvarado" Lara, Venezuela.

Mujeriego, R. 1990. Riego con agua residual municipal regenerada, Manual práctico. Editorial U. P. C. Barcelona.

Ortega, E. M., y E. García G. 1994. La formación geoquímica de los suelos sódicos y sus propiedades. *Transactions 15th World Congress of Soil Science, Acapulco, México.* Vol. 3 p. 279-291

Palacios, V. O. y N. E. Aceves. 1970. Instructivo para el muestreo, registro de datos e interpretación de la calidad del agua para riego agrícola. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

Palomo-Rodríguez, M. 1990. Dinámica de las propiedades químicas del suelo por el uso de aguas salinas. En: investigación agropecuaria en el Campo Experimental Valle de Juárez. Publicación especial No. 8 – INIFAP. Praxedis, G. Gro. Chihuahua México.

Palomo-Rodríguez, M. 1991. Manejo de riegos con agua salina en el cultivo algodónero. En: Logros y avances de la investigación agropecuaria del CEVAJ. Publicación especial No. 9 - INIFAP. Praxedis G. Gro. Chihuahua México.

Palomo-Rodríguez, M. 1994. Utilización del modelaje para obtener funciones de producción con el uso de aguas salinas. En: Avances y perspectivas de investigación CEVAJ. Publicación especial No. 10 – INIFAP. Praxedis, G. Gro. Chihuahua México.

Palomo-Rodríguez, M. y Figueroa V. U. 2006. Variabilidad espacial de nutrientes en el agua residual del Valle de Juárez, Chihuahua. *Agrofaz* 5(3):95-104

Palomo-Rodríguez, M. y Villalba A. A. 1987. Geoquímica de aguas subterráneas de utilización agrícola en una zona árida. *Bol. Dpto. de Geología UNI-SON.* 4(1-2): 65-76

Palomo-Rodríguez, M. 2009. Diagnóstico integral de la contaminación por arsénico en la cadena alimenticia caprina de la Comarca Lagunera. Proyecto de Investigación INIFAP.

Pla, I. 1985. Origen, distribución y diagnóstico de suelos afectados por sales en Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía (Maracay), Venezuela.* 14: 125-150.

Ramos, C. 1996. El riego con aguas residuales. *Jornada sobre "Aprovechamiento del agua depurada en la Comunidad Valenciana", Sanejament d'Aigües - Generalitat Valenciana,* pp. 49-63.

Ramos, C., D. Gómez de Barreda, J. Oliver, E. Lorenzo y J. R. Castel. 1989. Aguas residuales para riego. Un ejemplo de aplicación en uva de mesa. En: *"El Agua en la Comunidad Valenciana"* E. Cabrera y A. Sahuquillo (eds), pp. 167-184. Generalitat Valenciana.

Rhoades. J,D. 1972. Quality of water for Irrigation. *Soil sci.* 113.: p.277-284

Salomon K., H. 1988. Irrigation Systems and Water Application Efficiencies. Center for Irrigation Technology Research Notes, CAIT Pú. #880104. California State University, California.

Sposito, G. and S. V. Mattigod. 1977. On the chemical foundation of the sodium adsorption ratio. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41:325-329

Suarez, D. 1981. Relation between p_{Hc} and sodium adsorption ratio (SAR) and an alternate method of estimating SAR of soil or drainage waters. *Soil Sci. Amer. J.* 45, 469-475.

Troncoso, A., Cantos, M., Liñan J.; Fernández J. 2008. Fertirrigación. *En: El cultivo del Olivo*, Eds. Barranco, D., Fernández- Escobar R. y Rollo. 6a. Edición. Edit. Mundi Prensa y Junta Local Andalucía, España.

United States Service of Soils Conservation (USSCS). 1994. Keys to soil taxonomy. Sixth Edition. Washington D. C., USA. 305 p.

Van Hoorn, J. and J. Van Alphen. 1994. Salinity control. In- Drainage principles and application. H. P. Ritzema (Ed.). International institute for land reclamation and improvement. Wageningen, The Netherlands. 533-600.

Vásquez A., A. 1999. Guía para interpretar el análisis químico del agua y suelo. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México.

Velasco, M. H. 1983. Uso y manejo del suelo. Editorial Limusa, México. 191 p.

Velásquez-Machuca, M. A., M. Ortega E., A. Martínez G., J. Kohashi S. y N. García C. 2002. Relación funcional PSI-RAS en las aguas residuales y suelos del valle del Mezquital Hidalgo México. *Terra latinoamericana* 20(04):459-464

Villa-Salas, A. B. 1980. Los desiertos en México. In: Arid land resource inventories. Developing cost efficient methods. USDA. Forest Service General Technical Report, USA., pp. 18-20

Villafañe, R. 2000. Clasificación de los suelos por sales y dispersión por sodio y su aplicación en la evaluación de tierras. *Agronomía tropical* 50 (4): 645:658

Wilcox, L.V. 1985. Classification and Use of Irrigation Waters. United States Department Agr. Circular n. P. 1-9.

VII. ANEXO A

Cuadro A1. Características de ubicación y sistema de riego utilizado en los muestreos de agua de bombeo de Navidad N. L.

Nº muestra	Nº lote	Fraccionamiento	Propietario ó identificación	Sistema de riego	Cultivo (S)
1	5	La Flor Nav.	Ing. González	Pivote Central	Maíz
2	6		Sr. Cárdenas	Aspersión y Superficial	Papa
3	7	“La pequeña”	Ing. González	Pivote central	Alfalfa y maíz
4			Sr. Garza S.	Goteo	Manzano
5	21		Sr. Pepi	Aspersión	Papa
6	14		Sr. Villareal	Superficial	Papa, trigo y alfalfa
7	13		Sr. Cárdenas	Pivote central	Papa
8	12		Sr. Cárdenas	Aspersión	Papa
9	20		El Ranchito Sr. Cárdenas	Aspersión y superficial	Papa, manzano
10	4		Sr. Arsuaga	Pivote central	Espárrago y zanahoria
11	11		Sr. Arsuaga	Pivote central	Espárrago y zanahoria
12	18		Sr. Morales	Superficial	Alfalfa
13	24		Sr. H. Garza G.	Aspersión	Alfalfa
14	17		UAAAN	Superficial	Alfalfa, cereales

Cuadro A2. Características de ubicación y sistema de riego utilizado en los muestreos de agua de bombeo de Navidad N. L.

Nº muestra	Nº lote	Fraccionamiento	Propietario ó identificación	Sistema de riego	Cultivo (S)
15	10		Sr. González	Superficial	Maíz, alfalfa
16	3		Sr. Canales	Aspersión	Cebada, avena y papa
17	2		Ejido La Concha	Superficial	Maíz
18	9		Ejido La Concha	Superficial	Maíz
19	8		Ejido La Concha	Superficial	Maíz
20	1		Ejido Benito Juárez	Superficial	Maíz
21	16		Ejido Santa María	Superficial	Avena, alfalfa, Maíz
22	23		Ejido Santa María	Superficial	Maíz, frijol repollo
23	28		Ejido Santa María	Superficial	Maíz
24	29		Ejido Santa María	Superficial	Avena, alfalfa
25	27		Ejido Santa María	Superficial	Avena, maíz

Cuadro A3. Características de ubicación y sistema de riego utilizado en los muestreos de agua de bombeo de Navidad N. L.

Nº muestra	Nº lote	Fraccionamiento	Propietario ó identificación	Sistema de riego	Cultivo (S)
26	22		Ejido Santa María	Superficial	Maíz y frijol
27	15		Ejido Santa María	Superficial	Avena, maíz
28	4	Zacatal	Sr. Arzuaga	Pivote central	Alfalfa
29	3		Sr. Dabdú	Superficial	Cebada, alfalfa
30	2		Sr. Gerardo G.	Pivote central	Alfalfa
31	1		Ejido B. Juárez	Superficial	Maíz
32	10		Sr. J. Villareal	Superficial	Maíz, alfalfa
33	9		Sr. Cepeda	Pivote central	Alfalfa
34	8		Sr. Cancel	Pivote central	Alfalfa
35	7				
36	16				
37	17				
38	18				
39	19				
40	20				
41	21		Sr. Guajardo	Aspersión	
42	22				
43	23				

Cuadro A4. Características de ubicación y sistema de riego utilizado en los muestreos de agua de bombeo de Navidad N. L.

Nº muestra	Nº lote	Fraccionamiento	Propietario ó identificación	Sistema de riego	Cultivo (S)
44	27		Sr. Martínez	Aspersión	Papa
45	23				
46	26		Ing. Cárdenas	Pivote central	Papa, maíz
47	24		Ing. Cepeda	Superficial	Maíz, alfalfa, cebolla (para semilla)
48	25		Sr. Pepis	Aspersión y superficial	Maíz, papa
49	14		Sr. Cárdenas	Aspersión	papa
50	15				
51	6				
52	5		Ing. Villareal		
53	6				
54	11		Sr. Cárdenas	Aspersión	Papa
55	12		Ing. Flavio	Goteo, Aspersión	Manzana, espárrago, maíz
56	13		Sr. Villanueva	Superficial	Lúpulo
57	A	Zacatal	Sr. Pepis	Superficial	Papa
58	B	Zacatal	Sr. Pepis	Superficial	Papa
59	B	Cuije	Ing. Gonzáles	Pivote central	Papa

Cuadro A5. Características de ubicación y sistema de riego utilizado en los muestreos de agua de bombeo de Navidad N. L.

Nº muestra	Nº lote	Fraccionamiento	Propietario ó identificación	Sistema de riego	Cultivo (S)
60	1	El prado	Sr. Torres	Aspersión	Papa
61	2	El prado	Sr. Torres	Aspersión	Papa
62	3	El prado	Sr. Torres	Aspersión	Papa
63					
64	5	El prado	Sr. Cárdenas	Superficial	Manzano, durazno
65	6	El prado	Sr. Cárdenas	Superficial	Manzano
66	7	El prado	Sr. Cárdenas	Superficial	Manzano
67	1	El paraíso	Lic. Cantonera	Pivote central	Alfalfa
68	6,3,5 *1	El paraíso	Ejido El Hedial	Superficial	Maíz
69		Guadalupe	Ejido La Concha	Superficial	Maíz Papa
70		Guadalupe	Ejido La Concha	Superficial	Fríjol, maíz
71		Guadalupe	Ejido La Concha	Superficial	Alfalfa
72		Guadalupe		Superficial	Maíz, calabaza, papa
73		Guadalupe		Pivote central (3)	Alfalfa