

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



**EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DEL AGUA RESIDUAL
SOBRE LA GERMINACIÓN EN SIETE VARIEDADES DE MAÍZ
(*Zea mays. L.*)**

POR

RUBÉN DEL ÁNGEL SÁNCHEZ

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL TÍTULO DE:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Diciembre de 2006

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRAHAJE**



**EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DEL AGUA RESIDUAL SOBRE LA
GERMINACIÓN EN SIETE VARIEDADES DE MAÍZ (*Zea mays. L.*)**

POR:

RUBÉN DEL ÁNGEL SÁNCHEZ

TESIS

**QUE SE SOMETE A CONSIDERACION DEL H. JURADO EXAMINADOR
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

APROBADA

**MC. LUIS SAMANIEGO MORENO
ASESOR PRINCIPAL**

**DR. JAVIER DE J. CORTÉS BRACHO
ASESOR**

**DRA. MANUELA BOLÍVAR DUARTE
ASESOR**

**DR. RAÚL RODRIGUEZ GARCIA
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Diciembre de 2006

AGRADECIMIENTOS

A mi Señor Dios, creador de este maravilloso universo, por permitirme continuar con mis estudios y seguir adelante. Te agradezco señor que me hayas permitido concluir con una etapa más de mi vida e inicio de una vida profesional. Gracias por esos Padres tan lindos que me diste y por los hermanos tan ejemplares que tengo.

A mi Alma Mater (Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro), por haberme permitido realizar mis estudios en ella, y por todo lo que me brindó durante este periodo, las cuales siempre tendré en mi corazón.

Al M.C. Luís Samaniego Moreno; por su valioso apoyo durante mi formación profesional y por la confianza que me dio en la realización de este trabajo.

Al Dr. Javier de J. Cortés Bracho; por su colaboración en el desarrollo de este trabajo y por sus enseñanzas.

La Dra. Manuela Bolívar Duarte; por sus enseñanzas y participación en el presente trabajo.

A todos los catedráticos del Departamento de Riego y Drenaje, por sus sabias enseñanzas.

Dr. Salvador Muñoz Castro, M.C. Fernando Villareal Reyna, M.C. Sergio Garza Vara, M.C. Gregorio Briones Sánchez, Dr. Alejandro Zermeño González, M.C. Luís Edmundo Ramírez Ramos, Dr. Raúl Rodríguez García, M.C. Tomás Reyna Cepeda, M.C. Lindolfo Rojas Peña, M.C. Carlos Rojas Peña, Rolando Sandino Salazar y Dr. Julio A. Méndez Berlanga.

Así como a todas las personas que contribuyeron de alguna forma en el desarrollo de este trabajo.

Personal del laboratorio de calidad de aguas; Silvia y Maria del Socorro, por su contribución en este trabajo.

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

Sr. Homero Del Ángel Castillo (†), a la memoria de mi padre, que siempre están en mí sus sabios consejos, su confianza que me brindó y sus palabras de cariño, comprensión que me brindó.

Sra. Rufina Sánchez García, una madre tan linda, la cual también me brindó mucha confianza, su apoyo incondicional, sus cuidados, pero sobre todo su amor infinito... los quiero mucho.

A MIS HERMANOS:

Raúl, Luis y Mónica por su apoyo que han brindado, estaré siempre muy agradecido con Ustedes,... los quiero mucho.

A MIS SOBRINAS:

Guadalupe y Jacziri por alegrarme la vida y por animarme siempre en los momentos difíciles.

A MI NOVIA

Angélica que con su amor me ha inspirado a seguir adelante y a ser mejor cada día. Su apoyo y comprensión me hace sentir mejor cada día.

A MIS AMIGOS

Vladimir González Hernández, Verónica De La Cruz Pérez, Regina Santiago Antonio, Yesenia García Figueroa, Francisco Arraiga Duran, Miguel Márquez Mateo, Gerardo Solórzano Preciado. Grandes amigos nunca los olvidare.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS -----	iii
DEDICATORIA -----	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO -----	v
INDICE DE CUADROS Y GRÁFICAS -----	vii
INDICE DE FIGURAS -----	x
INTRODUCCIÓN -----	1
Objetivo -----	2
Hipótesis -----	2
REVISIÓN DE LITERATURA -----	3
El Cultivo De Maíz (<i>Zea mayz. L.</i>) -----	3
Origen -----	3
Clasificación Científica del Maíz -----	3
Características Morfológicas -----	4
Importancia Económica. -----	6
Requerimientos Climáticos y Edáficos -----	9
Labores Culturales -----	10
Germinación -----	12
Definición -----	12
Fases del Proceso de Germinación -----	12
Factores que afectan a la Germinación -----	13
Agua Residual -----	14
Definición -----	14
Aguas Residuales Urbanas -----	14
Características Físicas de las Aguas Residuales Urbanas -----	15
Características Químicas de las Aguas Residuales Urbanas -----	17
Características Biológicas de las Aguas Residuales Urbanas -----	19
Reutilización de Aguas Residuales en México -----	21
Descargas a Suelo y Cuerpos de Agua -----	22
La Calidad del Agua para Riego -----	23
Características que Determinan la Calidad -----	23
Clasificación del Agua Para Riego en Función de la Conductividad Eléctrica y la Relación de Adsorción de Sodio -----	24

Clasificación del Agua para Riego según Aguilera y Martínez. -----	29
MATERIALES Y MÉTODOS-----	34
Localización -----	34
Materiales -----	34
Metodología-----	36
Diseño Experimental-----	37
Variables Evaluadas. -----	37
RESULTADOS Y DISCUSIÓN-----	38
Calidad Agronómica del Agua de Riego-----	38
Demanda Química de Oxígeno (DQO)-----	40
Análisis de los Porcentajes de Germinación Obtenidos En la Prueba. -----	40
Días de Germinación -----	43
Análisis de Varianza y Comparación de Medias. (Tukey)-----	48
CONCLUSIONES -----	59
RECOMENDACIONES-----	60
RESUMEN-----	61
BIBLIOGRAFÍA-----	62

ÍNDICE DE CUADROS Y GRÁFICAS

Cuadro 1. Países productores de Maíz -----	7
Cuadro 2. Países consumidores de Maíz -----	7
Cuadro 3. Estados productores de maíz en el ciclo otoño invierno -----	8
Cuadro 4. Estados productores de maíz en el ciclo primavera verano -----	9
Cuadro 5. Requerimientos nutricionales del cultivo de maíz -----	11
Cuadro 6. Clasificación del agua en función de la conductividad eléctrica (dS/m)-----	25
Cuadro 7. Clasificación del agua en función de la Relación de Adsorción de Sodio (meq/L)-----	26
Cuadro 8. Criterios e índices de clasificación del agua de riego.-----	29
Cuadro 9. Clasificación del agua por su Salinidad Efectiva-----	30
Cuadro 10. Clasificación del agua de riego según su salinidad potencial --	31
Cuadro 11. Clasificación del agua de riego según el contenido de Carbonato de Sodio residual. -----	32
Cuadro 12. Clasificación del agua de riego de acuerdo a su contenido de Boro -----	33
Cuadro 13. Clasificación del agua de riego por el contenido de cloruros -----	33
Cuadro 14. Determinaciones de la calidad agronómica del agua residual. -----	38
Cuadro 15. Comportamiento de las concentraciones. -----	38
Cuadro 16. Clasificación de la calidad agronómica de cada una de las concentraciones según Richards. -----	39

Cuadro 17. Porcentajes de germinación observados -----	40
Cuadro 18. Datos transformados -----	48
Cuadro 19. Análisis de varianza -----	49
Cuadro 20. Comparación de medias del factor B -----	51
Cuadro 21. Comparación de medias del factor B dentro del nivel 1 del factor A-----	52
Cuadro 22. Comparación de medias del factor B dentro del nivel 2 del factor A-----	52
Cuadro 23. Comparación de medias del factor B dentro del nivel 3 del factor A-----	53
Cuadro 24. Comparación de medias del factor B dentro del nivel 4 del factor A-----	53
Cuadro 25. Comparación de medias del factor B dentro del nivel 5 del factor A-----	54
Cuadro 26. Comparación de medias del factor B dentro del nivel 6 del factor A-----	54
Cuadro 27. Comparación de medias del factor B dentro del nivel 7 del factor A-----	55
Cuadro 28. Comparación de medias del factor A -----	55
Cuadro 29. Comparación de medias del factor A dentro del nivel 1 del factor B-----	56
Cuadro 30. Comparación de medias del factor A dentro del nivel 2 del factor B -----	56
Cuadro 31. Comparación de medias del factor A dentro del nivel 3 del factor B-----	57
Cuadro 32. Comparación de medias del factor A dentro del nivel 4 del factor B-----	57
Cuadro 33. Comparación de medias del factor A dentro del nivel 5 del factor B-----	58

Gráfica 1. Comportamiento de las concentraciones vs variedades-----	42
Gráfica 2. Días de germinación de la variedad Lucio Blanco -----	43
Gráfica 3. Días de germinación de la variedad Sintético Lagunero-----	44
Gráfica 4. Días de germinación de la variedad Sintético Alta Lisina-----	45
Gráfica 5. Días de germinación de la variedad Sintético Resistente a Sales -----	45
Gráfica 6. Días de germinación de la variedad Sintético Elotero Crema ----	46
Gráfica 7. Días de germinación de la variedad Híbrido Triple de porte bajo -----	47
Gráfica 8. Días de germinación de la variedad Híbrido Triple de porte normal-----	47
Gráfica 9. Medias del factor A-----	50
Gráfica 10. Medias del factor B -----	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Semilla de maíz -----	4
Figura 2. Raíz del maíz-----	5

INTRODUCCIÓN

El agua dulce es un recurso que a través del tiempo se encuentra en menor disposición, debido al crecimiento demográfico, a la urbanización y, probablemente, a los cambios climáticos. Esta situación a dado lugar al uso de aguas residuales para la agricultura, la acuicultura, la recarga de aguas subterráneas, entre otras. En algunos casos, las aguas residuales son el único recurso hídrico de las comunidades pobres que subsisten por medio de la agricultura. Si bien esta alternativa de uso en la agricultura aporta beneficios (incluidos los beneficios de salud como una mejor nutrición y provisión de alimentos para muchas viviendas), su mal uso y manejo puede generar impactos significativos sobre la salud humana.

Por otra parte el cultivo del maíz en México es una actividad de vital importancia para la población, de tal forma que a partir de este grano conforman su dieta y se asegura la disponibilidad de del alimento durante todo el año.

De acuerdo a la importancia del cultivo de maíz en México y a la utilización de aguas residuales sin tratar para la producción agrícola, se pretende determinar en este trabajo de investigación, ¿Qué tanto influye el agua residual sin tratar, en el proceso de germinación de la semilla del maíz?, ¿Qué variedad de maíz es más tolerante al agua residual? y como consecuencia, determinar si existen diferencias significativas en la germinación de las semillas a diferentes concentraciones de agua residual.

Para poder realizar esta evaluación, se realizaron pruebas comparativas con semillas solicitadas al Instituto Mexicano del Maíz y con agua residual que se encuentra en el influente de la planta tratadora de la UAAAN (agua cruda), a diferentes concentraciones (0, 25, 50, 75 y 100%).

Este trabajo se realiza por que el cultivo de maíz es de gran importancia para los diferentes sectores de la población, y el agua residual sin tratar es una alternativa que poco a poco se ha ido implementando para la agricultura.

No existe trabajo de investigación que dé una explicación técnica acerca del efecto en la germinación del maíz, regado con agua residual no tratada y por consiguiente esta investigación podría arrojar resultados de beneficio para los sitios del país donde los cultivos se riegan bajo las condiciones ya mencionadas, lo cual incrementaría los rendimientos por unidad de área, como consecuencia de un manejo en el proceso de siembra o en la calidad del agua.

Objetivo

Evaluar el efecto de la concentración del agua residual cruda de la UAAAN sobre el porcentaje de germinación en siete variedades de maíz.

Hipótesis

La hipótesis planteada en este trabajo de investigación es que al aumentar la concentración de agua residual cruda de la UAAAN el porcentaje de germinación de semillas de maíz disminuye significativamente.

REVISIÓN DE LITERATURA

El Cultivo De Maíz (*Zea mays*)

Origen

Ibarra, G. (1999), señala que el maíz no tiene origen mexicano, como se creía, pues los datos más antiguos que se tienen sobre la presencia de este cereal en el país norteamericano se remontan a 5000 años, cuando los últimos descubrimientos en Sudamérica sobrepasan los 8500 años de antigüedad.

Clasificación Científica del Maíz (<http://es.wikipedia.org/wiki/Ma%C3%ADz>.)

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Genero: Zea

Especie: mays

Características Morfológicas

Semillas

La semilla de maíz está contenida dentro de un fruto denominado cariósipide; la capa externa que rodea este fruto corresponde al pericarpio, estructura que se sitúa por sobre la testa de la semilla. Esta última está conformada internamente por el endosperma y el embrión, el cual a su vez está constituido por la coleorriza, la radícula, la plúmula u hojas embrionarias, el coleoptilo y el escutelo o cotiledón. (Ver Figura 1) (http://www.uc.cl/sw_educ/Cultivos/cereales/maiz.htm).

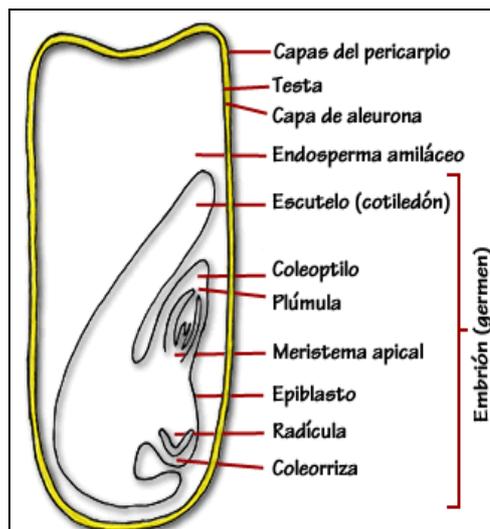


Figura 1. Semilla de maíz

Raíces

Las raíces son fasciculadas y su misión es la de aportar un perfecto anclaje a la planta. En algunos casos sobresalen unos nudos de las raíces a nivel del suelo y suele ocurrir en aquellas raíces secundarias o adventicias. (Ver Figura 2) (<http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/maiz.asp>).

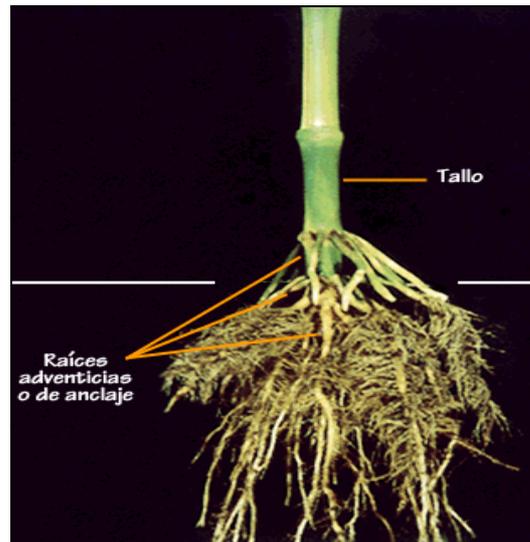


Figura 2. Raíz del maíz

Tallo

Es erguido y macizo, una peculiaridad que diferencia a esta planta de casi todas las demás gramíneas, que lo tienen hueco. La altura es muy variable, y oscila entre poco más de 60 cm en ciertas variedades enanas y 6 m o más; la media es de 2.4 m (http://www.uc.cl/sw_educ/cultivos/cereales/maiz.htm).

Hojas

Las hojas son largas, de gran tamaño, lanceoladas, alternas. Se encuentran abrazadas al tallo y por el haz presenta vellosidades. Los extremos de las hojas son muy afilados y cortantes. (http://www.uc.cl/sw_educ/cultivos/cereales/maiz.htm).

Inflorescencia

El maíz es de inflorescencia monoica con inflorescencia masculina y femenina separada dentro de la misma planta.

En cuanto a la inflorescencia masculina presenta una panícula de coloración amarilla que posee una cantidad muy elevada de polen en el orden

de 20 a 25 millones de granos de polen. En cada florecilla que compone la panícula se presentan tres estambres donde se desarrolla el polen. En cambio, la inflorescencia femenina marca un menor contenido en granos de polen, alrededor de los 800 o 1000 granos y se forman en unas estructuras vegetativas denominadas espádices que se disponen de forma lateral. (http://www.uc.cl/sw_educ/cultivos/cereales/maiz.htm)

Importancia Económica.

Según Galarza, M. J. M. (2004) la importancia económica del maíz se describe de la siguiente manera:

De manera conjunta, el trigo y el arroz son los principales alimentos del mundo, situando el maíz en segundo término, aunque los rendimientos por hectárea son superiores a los de los otros dos cereales.

El maíz es el cultivo agrícola más importante del mundo, cada año la mayor parte de los países dedican entre el 35 y 40 por ciento de la superficie cultivable a su producción. Comparativamente con otros granos, representa el 65 por ciento de la producción total de granos forrajeros o cereales secundarios producidos a nivel mundial.

Las prácticas productivas y comerciales en el mundo, ubican al maíz como el principal grano destinado al consumo pecuario, siguiendo en orden de importancia la cebada, el sorgo y la avena.

Principales Países Productores

En el cuadro No. 1 se muestran los principales países productores de maíz, así como su producción agrícola en los periodos 1995/1996-2002/2003. Mencionado por Galarza, M. J. M. (2004)

Cuadro 1. Países productores de Maíz (Galarza, M. J. M. 2004)

PRINCIPALES PAISES PRODUCTORES 1995/96-2002/2003 (MILES DE TONELADAS)								
PAIS / AÑO	1995/96	1996/97	1997/98	1998/99	1999/00	2000/01	2001/02	2002/03
Estados Unidos	187,970	234,316	233,863	247,882	239,549	251,854	241,485	228,805
China	112,000	127,470	104,309	132,954	128,086	106,000	114,088	121,300
Brasil	32,480	35,700	30,100	32,393	31,641	41,536	35,501	40,500
Mexico	17,780	18,925	16,934	17,788	19,240	17,920	20,400	17,000
Subtotal	350,230	416,411	385,206	431,017	418,516	417,310	411,474	407,605
Total mundial	514,120	592,040	575,363	605,616	607,371	588,402	599,692	593,657

Principales Países Consumidores

Junto con el trigo y el arroz, el maíz es de los cereales con mayor consumo en el mundo. El principal uso del maíz en el mundo es como forraje, diferencia de México cuyo principal uso es el de consumo humano, en Estados Unidos, China y Brasil, el cereal fundamental se destina al consumo pecuario.

En el cuadro No. 2 se mencionan los principales países consumidores de maíz, así como su consumo en los periodos 1995/1996-2002/2003. Mencionado por Galarza, M. J. M. (2004)

Cuadro 2. Países consumidores de Maíz (Galarza, M. J. M. 2004)

PRINCIPALES PAISES CONSUMIDORES 1995/96-2002/2003 (MILES DE TONELADAS)								
PAIS / AÑO	1995/96	1996/97	1997/98	1998/99	1999/00	2000/01	2001/02	2002/03
Estados Unidos	160,552	177,586	185,087	185,788	192,496	198,102	201,453	202,575
China	106,108	113,353	113,000	115,500	118,000	119,940	123,300	128,100
Brasil	36,657	36,662	34,455	33,615	33,500	34,500	34,500	37,000
Mexico	23,790	20,023	22,002	23,037	23,657	24,000	23,600	25,800
Subtotal	327,107	347,624	354,544	357,940	367,653	376,542	382,853	393,475
Total mundial	542,575	567,722	578,529	582,525	605,703	608,016	622,906	634,166

Producción Nacional de Maíz

El maíz es el cultivo más importante de México por varias razones: se producen alrededor de 18.2 millones de toneladas en una superficie de 8.5 millones de hectáreas y es el que presenta un mayor número de productores,

3.2 millones, en su mayoría ejidales. Alrededor del 90 por ciento de la producción es de maíz blanco y se destina al consumo humano.

Existen dos tipos de productores de maíz:

El primer grupo, donde se encuentra la mayoría (92 por ciento de los productores), posee predios entre cero y cinco hectáreas y aportan el 56.4 por ciento de la producción total. En general más de la mitad de su producción se destina al autoconsumo 52 por ciento. Sus rendimientos fluctúan entre 1.3 y 1.8 toneladas por hectárea.

El segundo grupo solo está el 7.9 por ciento de los productores, con predios arriba de cinco hectáreas por productor y aportan el 43.6 por ciento de la producción. Sus rendimientos van de 1.8, a 3.2 toneladas por hectárea. Únicamente destinan el 13.55 por ciento de su producción al autoconsumo.

En el cuadro No. 3 se mencionan los principales estados productores de maíz en México durante el ciclo otoño invierno según Galarza, M. J. M. (2004).

Cuadro 3. Estados productores de maíz en el ciclo otoño invierno (Galarza, M. J. M. 2004)

PRINCIPALES ESTADOS PRODUCTORES 1993-2003 (CICLO OTONO INVIERNO)								
MAIZ GRANO (MILES DE TONELADAS)								
PAIS / AÑO	1993	1996	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Sinaloa	1,728	1,525	2,069	1,188	2,195	2,484	2,844	2,511
Sonora	364	589	265	279	44	57	134	229
Tamaulipas	1,055	110	251	149	212	64	109	154
Veracruz	212	283	185	282	353	362	233	361
Chiapas	85	143	122	162	151	162	161	155
Subtotal	3,444	2,650	2,892	2,060	2,955	3,129	3,481	3,410
Nacional	3,823	3,160	3,334	2,611	3,545	3,726	4,029	3,984

En el cuadro No. 4 se muestran los principales estados productores de maíz en México durante el ciclo primavera verano según Galarza, M. J. M. (2004).

Cuadro 4. Estados productores de maíz en el ciclo primavera verano Galarza, M. J. M. 2004)

PRINCIPALES ESTADOS PRODUCTORES 1993-2003 (CICLO PRIMAVERA VERANO)								
MAÍZ GRANO (MILES DE TONELADAS)								
PAIS / AÑO	1993	1996	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Jalisco	2,368	2,305	2,755	2,456	2,134	2,862	3,043	2,863
México	1,233	2,249	1,589	2,192	1,756	2,283	1,975	1,841
Chiapas	1,509	1,400	1,634	1,973	1,736	1,592	1,697	1,883
Michoacan	1,052	1,105	1,126	1,353	1,077	1,310	1,274	1,470
Guerrero	858	1,015	1,080	1,200	1,109	960	843	1,171
Guanajuato	1,245	750	990	573	642	1,236	1,178	933
Puebla	972	1,131	757	815	881	1,073	688	1,275
Veracruz	568	900	763	759	890	855	846	886
Oaxaca	463	546	602	582	621	627	443	646
Hidalgo	326	395	468	501	557	564	536	600
Subtotal	10,594	11,796	11,764	12,404	11,403	13,362	12,523	13,568
Nacional	14,302	14,864	15,121	15,096	14,012	16,408	15,244	17,121

Requerimientos Climáticos y Edáficos

El maíz requiere una temperatura de 25 a 30°C. Para que se produzca la germinación en la semilla la temperatura debe situarse entre los 15 a 20°C. El maíz llega a soportar temperaturas mínimas de hasta 8°C y a partir de 30°C. Para la fructificación se requieren temperaturas de 20 a 32°C.

El maíz se adapta muy bien a todos tipos de suelo pero suelos con pH entre 6 a 7 son a los que mejor se adaptan. También requieren suelos profundos, ricos en materia orgánica, con buen drenaje para no producir encharques que originen asfixia radicular. (<http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/maiz.asp>)

Labores Culturales

Preparación del Terreno

Según el Manual del participante de producción de maíz. Se debe barbechar en sentido perpendicular a la pendiente, a una profundidad de 30 cm y en suelos profundos a 15 cm en suelos delgados. Se dan uno o dos pasos de rastra para desbaratar los terrones facilitando la buena germinación y nacencia uniforme de la semilla.

El rastreo se debe efectuar cuando el suelo haya recibido suficiente humedad que permita sellar la superficie del terreno, para conservar ésta hasta la época de siembra.

Siembra

El Manual mencionado anteriormente indica que el Maíz se siembra a una profundidad de 5cm la separación de las líneas de 0.8 a 1 m y la separación entre plantas de 20 a 25 cm. La época de siembra para cada estado o región es diferente, depende de la disponibilidad de agua. Por lo general la mayoría de los productores siembran en los meses de mayo, junio, julio y agosto, que es la época de lluvia, obteniendo de esta forma un mayor grado de germinación y producción.

Riegos

El maíz es un cultivo exigente en agua en el orden de unos 5 mm al día. El riego más empleado últimamente es el riego por aspersión. En la fase del crecimiento vegetativo es cuando más cantidad de agua se requiere y se recomienda dar un riego unos 10 a 15 días antes de la floración.

Durante la fase de floración es el periodo más crítico se aconsejan riegos que mantengan la humedad y permita una eficaz polinización y cuajado.

Por último, para el engrosamiento y maduración de la mazorca se debe disminuir la cantidad de agua aplicada. <http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/maiz.asp>

Fertilización

Esta practica, consiste en aplicar los nutrientes en las cantidades necesarias para un óptimo desarrollo del maíz, los elementos comúnmente empleados son nitrógeno, fósforo y potasio en las dosis mostradas en el cuadro No. 5, las cuales dependen de, las etapas fenológicas de la planta, del tipo de suelo, del sistema de humedad que se maneje, de la composición de nutrientes disponibles y faltantes en el suelo, así como de la disponibilidad de recursos según lo indica el Manual del participante de producción de maíz.

Cuadro 5. Requerimientos nutricionales del cultivo de maíz

Elemento nutritivo	Cantidad (Kg/Ha)
Nitrógeno	45-90
Fósforo	50-100
Potasio	67-100

Germinación

Definición

Según Moreno (1976), la germinación se define como la emergencia y el desarrollo de aquellas estructuras esenciales que provienen del embrión y que son manifestaciones de la habilidad de la semilla para producir una planta normal bajo condiciones favorables en el suelo.

Sobrero, C. M. y Ronco, (2006) señalan que durante el periodo de germinación y los primeros días de desarrollo de la plántula ocurren numerosos procesos fisiológicos en los que la presencia de una sustancia tóxica puede interferir alterando la supervivencia y el desarrollo normal de la planta, siendo por lo tanto una etapa de gran sensibilidad frente a factores externos adversos.

Fases del Proceso de Germinación

La Universidad Politécnica de Valencia (2003) describe las fases del proceso de germinación de la siguiente manera:

Fase de Hidratación

La absorción de agua es el primer paso de la germinación, sin el cual el proceso no puede darse. Durante esta fase se produce una intensa absorción de agua por parte de los distintos tejidos que forman la semilla.

Fase de Germinación

Representa el verdadero proceso de la germinación. En ella se producen las transformaciones metabólicas, necesarias para el correcto desarrollo de la plántula. En esta fase la absorción de agua se reduce considerablemente, llegando incluso a detenerse.

Fase de Crecimiento

Es la última fase de la germinación y se asocia con la emergencia de la radícula (cambio morfológico visible). Esta fase se caracteriza porque la absorción de agua vuelve a aumentar, así como la actividad respiratoria.

Factores que Afectan a la Germinación.

Según la misma universidad los factores que afectan en el proceso de germinación son los siguientes.

Factores internos

Madurez de las Semillas: Se dice que una semilla es madura cuando ha alcanzado su completo desarrollo tanto desde el punto de vista morfológico como fisiológico. La madurez se suele alcanzar sobre la misma planta, sin embargo, existen algunas especies que diseminan sus semillas antes de que se alcance.

Viabilidad de las Semillas: La viabilidad de las semillas es el período de tiempo durante el cual las semillas conservan su capacidad para germinar. Es un período variable y depende del tipo de semilla y de las condiciones de almacenamiento.

Factores Externos

Humedad: Para que la semilla recupere su metabolismo es necesaria la rehidratación de sus tejidos. La entrada de agua en el interior de la semilla se debe exclusivamente a una diferencia de potencial hídrico entre la semilla y el medio que le rodea. En condiciones normales, este potencial hídrico es menor en las semillas secas que en el medio exterior.

Temperatura: La temperatura es un factor decisivo en el proceso de la germinación, ya que influye sobre las enzimas que regulan la velocidad de las reacciones bioquímicas que ocurren en la semilla después de la rehidratación. Si la temperatura es muy alta o muy baja, la germinación no tiene lugar aunque las demás condiciones sean favorables

Gases: La mayor parte de las semillas requieren para su germinación un medio suficientemente aireado que permita una adecuada disponibilidad de O₂ y CO₂. De esta forma el embrión obtiene la energía imprescindible para mantener sus actividades metabólicas.

Agua Residual

Definición

Aguas residuales: son las aguas usadas que, procedentes de viviendas e instalaciones de servicios industriales sanitarias o agrícolas, se evacúan por las instalaciones públicas o privadas de saneamiento en los distintos medios receptores, diluidas o no, con cualquier agua subterránea, superficial o pluvial que se le haya incorporado. (<http://www.zaragoza.es/azar/ayto/normas/anexo/ANEXAGUA.pdf>)

Aguas Residuales Urbanas

La Universidad de Sevilla menciona que las aguas residuales urbanas son aquellos líquidos que, siendo en su mayor parte agua, proceden de las actividades humanas desarrolladas en los distintos núcleos de población y que su origen se puede englobar de la siguiente forma:

Excretas.

Es el tipo de vertido más importante por su composición y concentración, pudiendo dividirse en deyecciones sólidas y vertidos líquidos. Aportan gran cantidad de materia orgánica en general.

Residuos Domésticos

Son los que proceden de la limpieza y gestión de la vivienda humana, encontrándose aquí desde los aparecidos como consecuencia de los lavados domésticos (jabones, detergentes, etcétera) o de la cocina (partículas, detergentes, arenas de lavado, restos animales y vegetales y desperdicios en general), hasta los derivados de la actividad general de las viviendas (insecticidas, partículas orgánicas, etcétera)

Arrastre de Lluvia

Cuando se producen precipitaciones, el agua lava las superficies expuestas, arrastrando partículas y fluidos que pueden ser partículas sólidas de tierra, hollín, hidrocarburos de las vías, restos animales y vegetales, esporas, etcétera. Hay que tener en cuenta que en muchas ocasiones, que la misma precipitación aportará un volumen de agua importante a tener en cuenta en los procesos de depuración, tanto por su capacidad como por la dilución que se puede producir.

Características Físicas de las Aguas Residuales Urbanas

La misma Universidad dentro de las características físicas de las aguas residuales urbanas, menciona a las siguientes:

Sólidos

Sólidos sedimentables. Son las partículas más gruesas susceptibles de deposición por gravedad. Se componen de un 70 por ciento de sólidos orgánicos y un 30 de inorgánicos.

Sólidos en suspensión. Son partículas flotantes, siendo su composición similar a los anteriores, aunque de tamaño o densidades menores.

Disoluciones coloidales. Partículas entre 1 mm y 0,2 m, aunque estos límites son arbitrarios. Pueden constituir hasta casi la mitad de los sólidos totales, y suelen comprender un 75 por ciento de orgánicos y un 25 de inorgánicos. Son fácilmente degradables y tienen gran capacidad de absorción.

Sólidos disueltos. Su tamaño es aún menor que el de los anteriores, y se componen de un 40 por ciento de orgánicos y un 60 de sólidos inorgánicos.

Los efectos producidos por este tipo de contaminantes van desde el aterramiento de canales y cauces o la abrasión de superficies en usos industriales, así como otros efectos desde el punto de vista ecológico.

Turbidez

La turbidez es debida a la existencia en el agua de materia en suspensión de pequeño tamaño: limos, arcillas, etcétera; y cuanto mayor es, mayor es la contaminación del agua.

Color

Generalmente, la coloración es indicadora de la composición y concentración de las aguas residuales urbanas, variando del gris al negro según la cantidad de materia orgánica que contenga. Esto afecta a la difusión de la radiación en el medio (y por tanto a la fotosíntesis) a la vez que provoca

una mayor absorción de energía solar, por lo que la temperatura puede aumentar ligeramente respecto a la esperable.

Temperatura

La temperatura de los efluentes urbanos suele encontrarse entre los 10 y 20 grados centígrados, y aunque no suele plantear grandes problemas normalmente, en determinadas circunstancias puede provocar el desplazamiento de unas especies vivas frente a otras, así como variar la solubilidad de gases y sales o la disociación de éstas, y por tanto la conductividad eléctrica y el pH.

Olor

Es típico que en las aguas residuales urbanas se produzcan malos olores debido a la putrefacción en condiciones anaerobias de la materia orgánica, que genera como compuestos olorosos el sulfhídrico, mercaptanos (olor a coles podridas), amoníaco y aminas (olor a pescado), indol, escatol, o algunos fosforados.

Características Químicas de las Aguas Residuales Urbanas

La Universidad de Sevilla, también hace mención de las Características químicas de las aguas residuales urbanas, considerando dentro de este apartado las siguientes:

Materia orgánica

La materia orgánica es el factor característico de las aguas residuales urbanas debido a las proteínas, hidratos de carbono, aceites y grasas procedentes de excretas y residuos domésticos vertidos. Su afeción principal y más importante es la reducción del contenido en oxígeno disuelto, lo que provoca:

Desaparición de especies exigentes en oxígeno disuelto y evolución de condiciones aeróbicas a anaerobias.

La forma habitual de evaluar el grado de contaminación por materia orgánica es a través de la medición del oxígeno necesario para conseguir la oxidación de la materia orgánica, bien por “vía biológica” (DBO) o por “vía química” (DQO).

Nutrientes

Los nutrientes fundamentales en el medio acuático son el nitrógeno, fósforo, carbono, hierro y azufre. Teniendo en cuenta que el azufre y el hierro no son limitantes en el medio, y que en las aguas residuales urbanas hay gran cantidad de carbono procedente directamente de la materia.

pH

Mide la concentración de iones hidrógeno en el agua. Si es elevado, indica una baja concentración de estos iones, y por tanto, una alcalinización del medio, por el contrario, un pH bajo indica la acidificación del medio.

Alcalinidad

La alcalinidad de un agua se debe a la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos, y ayuda a regular el pH. Normalmente, el agua residual es bastante alcalina.

Cloruros

Pueden inhibir la acción de los microorganismos por incremento de la salinización de las aguas, fenómeno que ocurre a partir de las 3.500 ppm.

Compuestos Tóxicos

Es frecuente que en las aguas residuales urbanas aparezcan pequeñas cantidades de tóxicos, tanto orgánicos como inorgánicos, y que provienen de su uso como tales en la vida cotidiana (desinfectantes, insecticidas y biocidas

en general) o por formar parte de sustancias vertidas o puestas en contacto con el agua, como suele ocurrir con ciertos metales y tóxicos inorgánicos. Estos metales y compuestos inorgánicos, son necesarios para el desarrollo de la vida, pero a partir de ciertas concentraciones pueden inhibirla.

Oxígeno Disuelto

Uno de los factores más importantes para la vida en el agua es la cantidad de oxígeno que esta contenga en disolución. Esta cantidad puede ser incrementada por captación y difusión a través de la superficie del agua, por la acción fotosintética o por el descenso de temperatura. Sin embargo, también puede disminuir por la respiración de los organismos, por elevación de la temperatura o por reacciones químicas; por lo que la contaminación de cualquier tipo suele provocar una disminución de concentración de este gas en el agua.

Características Biológicas de las Aguas Residuales Urbanas

La Universidad de Sevilla hace referencia de las características biológicas de las aguas residuales considerando lo siguiente:

Las aguas residuales urbanas contienen gran cantidad de seres vivos en su seno, los cuales mantienen una cierta actividad biológica. Esta actividad se manifiesta según en:

- Descomposición de los compuestos orgánicos.
- Eliminación de compuestos tóxicos orgánicos.
- Predación de microorganismos patógenos.
- Participación en los ciclos biogeoquímicos del nitrógeno, fósforo y azufre fundamentalmente.

Hongos

Los más importantes son: Mucor, Oidium, Aspergillus, Penicillium, etcétera, se implantan en la materia orgánica en descomposición, atacando a los hidratos de carbono y a los productos nitrogenados.

Bacterias

En las aguas residuales aparecen gran número de bacterias de diversos tipos como cocos, bacilos, espirilos, filamentosas, etcétera, y con distintos tamaños y modos de vida según la especie y el medio.

Es normal encontrar en las aguas residuales urbanas organismos coliformes y estreptococos fecales, siendo claros indicadores de la presencia de materias fecales de animales de sangre caliente. La presencia de Leptostiras es típica en casos de contaminación por excrementos animales.

Virus

El interés de los virus en las aguas residuales reside en su acción nociva como productores de enfermedades como la hepatitis, por lo que es muy importante tenerlo en cuenta en los tratamientos.

Protozoos

Aparecen rizópodos (amebas), flagelados y ciliados (Paramecium, colpidium, Vorticella) y otros. Son capaces de mantener el equilibrio natural entre los diferentes tipos de microorganismos debido a su actividad depredadora. Algunos son también patógenos, como la giarda lamblia o el cryptosporidium.

Algas

En las aguas residuales aparecen sobre todo algas del tipo Euglena, Volvocales o bien otras, según el medio permita la penetración de la luz en el agua. Pueden presentar serios problemas debido al crecimiento explosivo

cuando se dan condiciones de excesivos nutrientes, pudiendo también dar problemas de olores y sabor.

Reutilización de Aguas Residuales en México

Esteller, A. M. V (2006), indica que la reutilización de aguas residuales en México es una práctica bastante extendida pero, pocas veces, ha sido planificada por lo que se ha generado toda una problemática en relación con los efectos negativos que produce el uso de estas aguas en ríos, acuíferos, suelos, cultivos y hombre. Estos efectos negativos se han podido constatar en el Valle de León y en el Valle del Mezquital donde el reutilización de aguas residuales sin ningún tratamiento ha dado lugar a la contaminación de los suelos, de las aguas subterráneas y a la aparición de enfermedades entre la población. Ante esta problemática, es necesario plantearse estrategias de control que permita minimizar los aspectos negativos del uso de aguas residuales para riego.

En las regiones áridas y semiáridas de México se ha aplicado durante décadas el riego agrícola con aguas residuales crudas. Ésta ha sido una respuesta a la escasez de agua, impulsada también por la fácil disponibilidad de las aguas residuales crudas frente al agua de pozo, que debe bombearse y conducirse.

Según Garza, A. (2000) los sitios en México donde se reutilizan aguas residuales para la producción agrícola son: Aguascalientes, Chihuahua, Cd. Juárez, Durango, Guadalajara, La Laguna, Monterrey, Morelia, Obregón, Puebla, Querétaro.

Según Garza (2000), citado por Escalas, C. A. (2006), a principios de los años noventa, el Instituto Nacional de Ecología (INE) estimaba que el 44.3 por ciento de las aguas residuales municipales, normalmente no

tratadas, se empleaban en el riego agrícola. Según el mismo autor, 350.000 hectáreas se irrigaban por este procedimiento, según datos de la primera mitad de los años noventa. Sólo en el Valle del Mezquital, Hidalgo, se irrigan 130.000 hectáreas con aguas residuales procedentes del Valle de México, que sólo sufren un tratamiento parcial en las represas donde se almacenan. El riego con aguas residuales crudas o mal tratadas tiene implicaciones graves sobre el suelo y los mantos acuíferos y sobre la salud de la población, con especial incidencia en las enfermedades intestinales.

La reutilización de aguas residuales municipales por regantes agrícolas se encuentra a veces amparada por concesiones legales a los regantes. Otras veces, en cambio, se trata de situaciones de hecho difíciles de resolver. En todo caso, la preexistencia de reutilización de aguas residuales crudas tiene implicaciones sociales y legales de importancia, que se ponen de manifiesto al llevarse a cabo proyectos de saneamiento de esos caudales. Entonces el agua tratada, apta para su reutilización industrial, para su uso público urbano o para la recarga de acuíferos, no puede ser usada según las prioridades que establezcan las autoridades que pagan su tratamiento, sino que éstas deben pactar el futuro uso del agua tratada con los usuarios tradicionales, legítimos o ilegítimos. Estos aspectos han sido analizados por Gómez (2004), citado por Escalas Cañellas. (2006), para el proyecto Tenorio-Villa de Reyes en la zona metropolitana de San Luís Potosí.

Descargas a Suelo Y Cuerpos de Agua

La NOM-001-SEMARNAT-1996 citada por Escalas Cañellas. (2006), establece los límites máximos permisibles en la descarga a suelo y agua en función de los tipos de cuerpos receptores establecidos en la Ley Federal de Derechos. En la descarga a río con “protección de la vida acuática” se establecen límites moderadamente altos de demanda bioquímica de oxígeno

(DBO₅) y sólidos suspendidos totales (SST) de 30 y 40 mg/l, respectivamente (promedios mensuales). En cambio, en la descarga a ríos calificados para “uso en riego agrícola” se establecen límites de 150 mg/L, tanto para DBO₅ como para SST. Y para la descarga al suelo para riego agrícola, no se establecen límites de DBO₅ ni de SST. Esto implica en la práctica que para algunas aguas residuales diluidas no se requeriría tratamiento alguno, o bastaría con una sedimentación primaria para cumplir con la normativa de descarga.

Sin embargo, y en contradicción con lo anterior, el límite de patógenos en todos los tipos de descarga se establece en un promedio mensual de 1000 NMP de CF/100 mL (número más probable de coliformes fecales por 100 mL): este límite sería probablemente excesivamente estricto para determinados cultivos y técnicas de riego. En cambio, resultaría demasiado permisivo para otros cultivos o técnicas de riego. De hecho, estas concentraciones de CF se consiguen normalmente tras un proceso secundario y una desinfección. Estas y otras cuestiones están siendo consideradas, y se preparan revisiones a las NOM en los próximos años.

La Calidad del Agua Para Riego

Richards, L. A. (1960) indica que la calidad del agua para riego está determinada por la concentración y composición de los constituyentes disueltos que contenga. Por lo tanto, la calidad del agua es una consideración importantísima para la investigación de las condiciones de salinidad o contenido de sodio intercambiable en cualquier zona de riego.

Características Que Determinan La Calidad

El mismo autor menciona que las características más importantes que determinan la calidad del agua para riego son: (1) La concentración total de

sales solubles; (2) la concentración relativa del sodio con respecto a otros cationes; (3) la concentración de boro u otros elementos que puedan ser tóxicos; y (4) bajo ciertas condiciones, la concentración de bicarbonatos con relación a la concentración de calcio más magnesio.

Clasificación del Agua para Riego en Función de la Conductividad Eléctrica y la Relación de Adsorción de Sodio

Conductividad Eléctrica

Richards menciona que la concentración total de sales solubles en las aguas de riego, para fines de diagnóstico y de clasificación, se puede expresar en términos de conductividad eléctrica, la cual se puede determinar en forma rápida y precisa.

Casi todas las aguas para riego que se han usado por mucho tiempo tienen una conductividad eléctrica menor de 2.250 dS/m. Ocasionalmente se usan aguas de mayor conductividad, pero las cosechas obtenidas no han sido satisfactorias, excepto en raras ocasiones.

Un suelo es salino cuando la conductividad de su extracto de saturación es mayor a 4 dS/m. Se ha encontrado que la conductividad eléctrica del extracto de saturación de un suelo, en ausencia de acumulación de sales provenientes del agua subterránea, es generalmente de 2 a 10 veces mayor que la correspondiente al agua con que se ha regado. Este aumento en la concentración de sales es el resultado de la extracción continua de la humedad por las raíces y por la evaporación. Por lo tanto el uso de aguas entre moderada y altamente salinas, puede ser la causa de que se desarrollen condiciones de salinidad, aun cuando el drenaje sea satisfactorio. En general, las aguas cuya conductividad eléctrica sea menor de 0.750 dS/m. Son satisfactorias para el riego por lo que respecta a sales, a un cuando los cultivos

sensibles pueden ser afectados adversamente cuando se usan aguas cuya conductividad varié entre 0.25 y 0.75 dS/m).

Las aguas cuya conductividad eléctrica varia entre 0.75 y 2.25 dS/m. Son comúnmente utilizadas, obteniéndose con ellas crecimiento adecuado de las plantas, siempre y cuando haya un buen manejo de la tierra y un drenaje eficiente; sin embargo, las condiciones de salinidad se presentaran si el lavado y el drenaje no son adecuados. El empleo de aguas con conductividad eléctrica mayor de 2.25 dS/m. Es una excepción y rara vez se obtienen buenos resultados. Únicamente los cultivos más tolerantes a las sales se pueden desarrollar bien cuando se riegan con este tipo de agua y siempre que se aplique agua en abundancia y el drenaje del subsuelo sea adecuado. En el cuadro 6 se muestra la clasificación del agua en función de este parámetro.

Cuadro 6. Clasificación del agua en función de la conductividad eléctrica (dS/m).

SALINIDAD		
Código	Intervalo de valor de conductividad eléctrica (dS/m)	Clase
C1	0.100-0.250	Baja
C2	0.251-0.750	Media
C3	0.751-2.250	Alta
C4	2.251-5.000	Muy alta

Relación de Adsorción de Sodio (RAS)

Según Richards los constituyentes inorgánicos solubles de las aguas de riego reaccionan con los suelos en forma iónica. Los principales cationes son calcio, magnesio y sodio, con pequeñas cantidades de potasio. Los aniones principales son carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y cloruros y, en menor cantidad, nitratos y fluoruros, El peligro de la sodificación que entraña el uso de una agua de riego, queda determinado por las concentraciones absoluta y relativa de los cationes. Si la proporción de sodio es alta, será mayor el peligro

de sodificación y, al contrario, si predominan el calcio y el magnesio, el peligro es menor. La importancia de los constituyentes catiónicos de una agua de riego con relación a las propiedades físicas y químicas del suelo, se reconoció mucho antes de que las reacciones del intercambio catiónico fueran bien comprendidas. Scofield y Headley (1921), mencionados por Richards, L. A. resumieron el resultado de varios experimentos para recuperación de suelos sódicos, diciendo que “las aguas duras hacen tierras blandas y las aguas blandas las endurecen”. Los suelos sódicos se forman por acumulación de sodio intercambiable y con frecuencia se caracterizan por su baja permeabilidad y difícil manejo.

Anteriormente la proporción relativa del sodio con respecto a otros cationes en el agua de riego, se expresaba en términos del por ciento de sodio soluble. La relación de adsorción de sodio (RAS) en una solución del suelo, se relaciona con la adsorción de sodio y, en consecuencia, esta relación puede usarse como “índice de sodio” o “del peligro de sodificación que tiene dicha agua”. En el cuadro 7 se menciona la clasificación del agua en función de este parámetro, el cual se obtiene con la siguiente fórmula:

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

En la cual, Na⁺⁺, Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ representan las concentraciones en mili equivalentes por litro de los iones respectivos.

Cuadro 7. Clasificación del agua en función de la Relación de Adsorción de Sodio

SODICIDAD		
Código	Intervalo de valor de Relación de Adsorción de Sodio (meq/L)	Clase
S1	0.00 – 10.00	Baja
S2	10.01 – 18.00	Media
S3	18.01 – 26.00	Alta
S4	> 26	Muy alta

Richards interpreta su clasificación de la siguiente manera:

Aqua de Baja Salinidad (C1): Puede usarse para riego de la mayor parte de los cultivos, en casi cualquier tipo de suelo con muy poca probabilidad de que se desarrolle salinidad. Se necesita algún lavado, pero éste se logra en condiciones normales de riego, excepto en suelos de muy baja permeabilidad.

Aqua de salinidad Media (C2): Puede usarse siempre y cuando haya un grado moderado de lavado. En casi todos los casos y sin necesidad de prácticas especiales de control de la salinidad, se pueden producir las plantas moderadamente tolerantes a las sales.

Aqua altamente salina (C3): No debe usarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente. Aun con drenaje adecuado se pueden necesitar prácticas especiales de control de la salinidad debiendo, por tanto, seleccionarse únicamente aquellas especies vegetales muy tolerantes a sales.

Aqua muy Altamente Salina (C4): No es apropiada para riego bajo condiciones ordinarias, pero puede usarse ocasionalmente en circunstancias muy especiales. Los suelos deben ser permeables, el drenaje adecuado, debiendo aplicarse un exceso de agua para lograr un buen lavado. En este caso, se deben seleccionar cultivos altamente tolerantes a sales.

Aqua Baja en Sodio (S1): Puede usarse para el riego en la mayoría de los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable. No obstante, los cultivos sensibles, como algunos frutales y aguacates, pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio.

Aqua Media en Sodio (S2): En suelos de textura fina el sodio representa un peligro considerable, más aun si dichos suelos poseen una alta capacidad de intercambio de cationes, especialmente bajo condiciones de lavado

deficiente, a menos que el suelo contenga yeso. Estas aguas solo deben usarse en suelos de textura gruesa o en suelos orgánicos de buena permeabilidad.

Aqua Alta en Sodio (S3); Puede producir niveles tóxicos de sodio intercambiable en la mayor parte de los suelos, por lo que éstos necesitarán prácticas especiales de manejo, buen drenaje, fácil lavado y adiciones de materia orgánica. Los suelos yesíferos pueden no desarrollar niveles perjudiciales de sodio intercambiable cuando se riega con este tipo de aguas. Puede requerirse el uso de mejoradores químicos para substituir al sodio intercambiable; sin embargo, tales mejoradores no serán económicos si se usan aguas de muy alta salinidad.

Aqua Muy Alta en sodio (S4); Es inadecuada para riego, excepto cuando su salinidad es baja o media y cuando la disolución del calcio del suelo y/o la aplicación de yeso u otros mejoradores no hace antieconómico el empleo de esta clase de aguas.

Clasificación Del Agua Para Riego según Aguilera y Martínez (1996)

Los criterios que estos autores proponen para determinar la calidad del agua para riego se mencionan en el cuadro 8.

Cuadro 8. Criterios e índices de clasificación del agua de riego.

Contenido de sales solubles	a) conductividad Eléctrica b) Salinidad Efectiva c) Salinidad Potencial	CE SE SP
Efecto probable del sodio sobre las propiedades físicas del suelo	a) Relación de adsorción de sodio. b) Carbonato de Sodio residual. c) Por ciento de Sodio Posible	RAS CSR PSP
Contenido de elementos tóxicos para las plantas	a) Contenido de Boro b) Contenido de Cloruros	B Cl.

Estos criterios se describen a continuación.

1º.- Contenido de sales solubles

El efecto nocivo de las sales solubles, se debe a que produce presiones osmóticas en la solución del suelo que está en contacto con las raíces de la planta, las cuales, al pasar de ciertos valores producen una disminución en los rendimientos o pérdida total de la cosecha.

Los índices que se consideran para este criterio son los siguientes:

Conductividad Eléctrica (CE): La conductividad eléctrica es una medida indirecta del contenido de sales disueltas en el agua y es muy utilizada debido a que las determinaciones se pueden hacer muy rápidamente con bastante precisión.

Salinidad Efectiva (SE): Esta es una estimación mas real del peligro que presentan las sales solubles del agua de riego al pasar a formar parte de la solución del suelo, pues considera la precipitación ulterior de las sales menos solubles (carbonatos de calcio y magnesio así como sulfato de calcio) las cuales dejan de participar en la elevación de la presión osmótica de la solución del suelo. Para clasificar el agua en función de este parámetro se emplea el cuadro 9.

Cuadro 9. Clasificación del agua por su Salinidad Efectiva

Clase	Salinidad efectiva (me. /l)
Buena	<3.0
Condicionada	3.0-15.0
No recomendable	>15.0

La salinidad efectiva se calcula con las siguientes formulas bajo las condiciones que se indican:

Si $Ca > (CO_3 + HCO_3 + SO_4)$, entonces:

$$SE = \text{Suma de cationes}^* - (CO_3 + HCO_3 + SO_4)$$

Si $Ca < (CO_3 + HCO_3 + SO_4)$, pero $Ca > (CO_3 + HCO_3)$, entonces:

$$SE = \text{Suma de cationes}^* - Ca$$

Si $Ca < (CO_3 + HCO_3 + SO_4)$, pero $(Ca + Mg) > (CO_3 + HCO_3)$, entonces:

$$SE = \text{Suma de cationes}^* - (CO_3 + HCO_3)$$

Si $(Ca + Mg) < (CO_3 + HCO_3)$, entonces:

$$SE = \text{Suma de cationes}^* - (Ca + Mg)$$

* Si la suma de cationes es menor que la de aniones, deberá emplearse la suma de aniones en lugar de la de cationes.

Todos los iones se expresan en me. /l

Salinidad Potencial (SP): Cuando la humedad aprovechable de un suelo es menor del 50 por ciento, las últimas sales que quedan en solución son

cloruros y sulfatos. La salinidad potencial es un índice para estimar el peligro de éstas y que por consiguiente aumentan la presión osmótica. La clasificación del agua según este índice se muestra en el cuadro 10 y se calcula con la siguiente fórmula:

$$SP = Cl. + \frac{1}{2} SO_4 \text{ Todos los conceptos se expresan en me. /l}$$

Cuadro10. Clasificación del agua de riego según su salinidad potencial

Clase	Salinidad Potencial (me. /l)
Buena	<3
Condicionada	3-15
No recomendable	>15

2º.- Efecto probable del sodio sobre las propiedades físicas del suelo.

Cuando la concentración de sodio en la solución del suelo es elevada en relación con la de los otros cationes disueltos, se provoca la dispersión o la defloculación dicho suelo y como consecuencia pierde su estructura. Esto puede ejercer efectos secundarios importantes sobre el desarrollo vegetal ya que la pérdida de la estructura causa una aereación y permeabilidad deficientes así como una baja disponibilidad de agua. Para estimar este efecto se han propuesto los siguientes índices:

Relación De Adsorción De Sodio (RAS): Este índice esta correlacionado con el por ciento de sodio intercambiable que tendrá el suelo una vez que se equilibre con el agua. Este índice se calcula con la siguiente formula:

$$RAS = Na / \sqrt{(Ca^{++} + Mg^{++}) / 2} \text{ Los valores de Na, Ca y Mg se expresan en me. /l y los valores de RAS en (me. /l)}^{1/2}$$

Carbonato De Sodio Residual (CSR): Cuando en el agua de riego el contenido de carbonatos y bicarbonatos es mayor que calcio mas magnesio,

existe la probabilidad de que se forme carbonato de sodio debido a que por su alta solubilidad puede permanecer en solución, aún después de que ha precipitado los carbonatos de calcio y magnesio. Este índice de clasificación se muestra en el cuadro 10 para los diferentes tipos de agua calculándose con la siguiente fórmula:

$$CSR = (\text{CO}_3 + \text{HCO}_3) - (\text{Ca} + \text{Mg}) \text{ todos los conceptos se expresan en me. /l}$$

Cuadro 11. Clasificación del agua de riego según el contenido de Carbonato de Sodio residual.

Clase	Valores de CSR
Buena	<1.25
Condicionada	1.25-2.50
No recomendable	>2.50

Por Ciento De Sodio Posible (PSP): El peligro de desplazamiento de calcio y del magnesio por el sodio, en el complejo de intercambio, empieza cuando el contenido de sodio en solución representa más del 50 por ciento de cationes disueltos. La fórmula para calcular este índice es la siguiente:

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

3º.- Contenido De Elementos Tóxicos Para Las Plantas.

Dentro de los elementos que contienen en solución las aguas de riego, existen algunos que independientemente de los efectos anteriores, son tóxicos para las plantas, aún en pequeñas cantidades. Los que más se presentan son:

Contenido De Boro (B): El Boro en pequeñísimas concentraciones es esencial para el desarrollo de las plantas, sin embargo a concentraciones

mayores, les produce efectos tóxicos. Este se expresa en ppm. Se emplea el cuadro 11 para clasificar el agua en función de este parámetro.

Cuadro 12. Clasificación del agua de riego de acuerdo a su contenido de Boro

Clase	Contenido de Boro (ppm)
Buena	<0.3
Condicionada	0.3-4.0
No recomendable	>4.0

Contenido De Cloruros (Cl): El ión cloruro es tóxico especialmente en árboles frutales. En el cuadro 12 se muestran los límites para clasificar el agua.

Cuadro 13. Clasificación del agua de riego por el contenido de cloruros

Clase	Contenido de cloruros (me. /l)
Buena	<1.00
Condicionada	1.00-5.00
No recomendable	>5.00

MATERIALES Y METODOS

Localización

Este trabajo se realizó en el laboratorio de calidad de aguas del departamento de Riego y Drenaje localizado en Buenavista, Saltillo Coahuila, en los meses de octubre y noviembre.

Materiales

Agua residual

Se utilizó agua residual cruda, (la cual se caracteriza por ser principalmente del tipo doméstico) que llega al influente de la planta tratadora de aguas residuales de la UAAAN.

Semillas

Se emplearon siete variedades de semillas de maíz, las cuales fueron proporcionadas por el Instituto Mexicano del Maíz, teniendo las siguientes características.

Origen: Villa Hidalgo, Nayarit 2003-2004

1.-VAN – 361 (Lucio Blanco). Variedad de porte bajo, para las zonas del bajío (1000-1800 msnm), de clima templado 23 °C a 30 °C. Grano blanco, de riego o de muy buen temporal. Ciclo vegetativo 150 -170 días. (Variedad 1).

2.- VAN - JA (Sintético Lagunero). Variedad de porte normal, para las zonas de la Laguna y Durango (1000-1800 msnm). Tolerante a sequías. Variedad muy precoz (120-150 días). Temporal regular. (Variedad 2).

3.- Sintético Alta Lisina. Variedad de porte normal. Variedad intermedia entre (130-160 días). Para zonas localizadas entre 1000-1800 msnm de riego o temporal bueno. Tiene alta calidad proteica por tener alto contenido de lisina. (Variedad 3).

4.- VANLAP – 3 (Sintético resistente a sales). De ciclo intermedio (150-160 días). Soporta altas temperaturas hasta 40º C. especial para zonas localizadas de 0-1000 msnm. (Variedad 4).

5.- Sintético elotero crema. Maíz forrajero, se utiliza como forraje fresco o seco para ganado. Para zonas localizadas de 0-1800msnm. Ciclo vegetativo: 100 días para silo, 120 días para elote y 170 días para grano. (Variedad 5).

Origen: Villagràn, Guanajuato 2003

6.- AN – 388 Híbrido triple de porte bajo. Semi enano. Híbrido triple. Se adapta a excelentemente a regiones de clima templado en alturas de 1100-1900msnm. Explotado actualmente en el bajío y la región lagunera. Días a madurez 150. (Variedad 6).

7.- AN – 447 Híbrido triple de porte normal. Tiene tres propósitos: elote, grano y/o forraje. Se adapta a regiones situadas entre los 1100 -1900msnm. Se adapta a: Aguascalientes Coahuila, Durango, Guanajuato, Jalisco, Querétaro, Zacatecas, San Luís Potosí, Michoacán, Morelos y Puebla. Días de cosecha de grano 140-150. (Variedad 7).

Cajas petri: Cajas petri con tapa, de 100 x 15mm y estériles.

Papel estraza recortado a la medida de las cajas petri.

Metodología

Primeramente se recolectó una muestra de agua residual para posteriormente elaborar las diferentes concentraciones (0 - 25 - 50 y 75 por ciento) agua residual, para lo cual esta se diluyó con agua destilada mediante aforo.

Una vez que preparadas las concentraciones se prosiguió preparando las cajas petri para poder sembrar.

La siembra en cajas petri se realizó el 11 de octubre de 2006, se colocó un papel estraza en la parte inferior de la caja y 20 semillas de maíz para cada tratamiento con cuatro repeticiones respectivamente, las semillas se humedecieron con las diferentes concentraciones de agua residual, colocándoles en la parte superior papel estraza, esto con la finalidad de impedir que la luz estuviera en contacto con las semillas y de esta manera simular lo que ocurre en el suelo.

Se revisaron periódicamente las cajas para revisar que el contenido de humedad fuera el adecuado y para observar el número de semillas germinadas.

Durante el periodo de germinación se analizó la calidad agronómica del agua residual así como la determinación de la DQO, con la colaboración del personal especialista encargado del laboratorio de calidad de aguas del departamento de Riego y Drenaje de la UAAAN.

Diseño Experimental

Según Molinero, M (2006) cuando los datos son proporciones o porcentajes de una distribución binomial, las diferencias con una distribución normal son más acusadas para valores pequeños o grandes de las proporciones, utilizándose entonces transformaciones basadas en.

$$D = \arcseno\sqrt{P} \text{ Donde:}$$

D = Dato transformado (Normal)

P = Porcentaje de germinación en valor decimal.

Los datos transformados se analizaron en el paquete estadístico de la Universidad Autónoma de Nuevo León, considerando un margen del 95 por ciento de seguridad, (0.05 de significancia). El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con dos factores y 4 repeticiones para cada tratamiento. Considerando al factor A las diferentes variedades de semillas y al factor B las diferentes concentraciones de agua residual. Después de procesar el análisis los datos se destransformaron para presentar los resultados.

Variables Evaluadas.

a) Porcentaje de germinación, en cada variedad de maíz y para cada tratamiento de agua residual.

b) Calidad agronómica del agua de riego:

Cationes (Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio)

Aniones (Carbonatos, Bicarbonatos, Sulfatos y Cloruros)

Conductividad eléctrica (CE)

Potencial hidrógeno (pH)

c) Parámetros de agua residual: Demanda Química de Oxígeno (DQO).

RESULTADOS Y DISCUSION

Calidad agronómica del agua de riego

Se realizó el análisis agronómico del agua residual al 100 por ciento concentrada de su concentración, como lo muestra en cuadro 14.

Cuadro 14. Determinaciones de la calidad agronómica del agua residual

pH	6.90
CE (dS/m)	1.233
Cationes	Meq. /l
Calcio	2.24
Magnesio	2.32
Sodio	6.73
Aniones	Meq./l
Carbonatos	2
Bicarbonatos	14.8
Cloruros	4.68
Sulfatos	3.39

Considerando un comportamiento lineal del contenido de sales presentes en el agua residual, se calcularon los parámetros para las concentraciones de 25, 50 y 75 por ciento.

Cuadro 15. Comportamiento de las concentraciones.

Cationes	Testigo Meq./l	25% Meq./l	50% Meq./l	75% Meq./l	100% Meq./l
Calcio	Traza	0.56	1.12	1.68	2.24
Magnesio	Traza	0.58	1.16	1.74	2.32
Sodio	Traza	1.6825	3.365	5.0475	6.73
Aniones					
Carbonatos	Traza	0.50	1.00	1.15	2
Bicarbonatos	Traza	3.7	7.4	11.1	14.8
Cloruros	Traza	1.17	2.34	3.51	4.68
Sulfatos	Traza	0.8475	1.695	2.5425	3.39

	Testigo	25%	50%	75%	100%
pH	6.54	6.90	6.90	6.90	6.90
CE (dS/m)	.0032	0.3075	0.615	0.92	1.233

Cabe mencionar que en el cuadro anterior se indican los valores del testigo que en este caso fue el agua destilada, como Traza, debido a que los elementos existen pero en muy pequeñas cantidades de tal manera que el análisis cualitativo que se realiza en el laboratorio no se puede realizar.

En el cuadro No. 16 se muestra el resumen de la clasificación agronómica del agua de riego según los parámetros utilizados por Richards, para las diferentes concentraciones, se puede observar en la concentración de 0 por ciento (testigo) que el RAS no se menciona, lo cual se debe a que no se puede determinar por desconocer los valores de sodio, calcio y magnesio, lo que si se puede asegurar es que es muy pequeño ese valor por lo cual entra en la clasificación S1.

Cuadro 16. Clasificación de la calidad agronómica de cada una de las concentraciones

Concentración	CE (dS/m)	RAS	Clasificación
0%	.0032		C1-S1 Agua de baja salinidad, baja en sodio.
25%	0.3075	2.23	C2-S1 Agua de salinidad Media baja en sodio
50%	0.615	3.15	C2-S1 Agua de salinidad Media baja en sodio
75%	0.92	3.86	C3-S1 Agua altamente salina baja en sodio.
100%	1.233	4.457	C3-S1 Agua altamente salina baja en sodio.

Demanda química de oxígeno (DQO)

Demanda química de oxígeno: Es la cantidad de oxígeno, expresada en miligramos de oxígeno por litro consumido por la oxidación química de la materia orgánica del agua en un procedimiento normalizado, que es conveniente especificar en el resultado analítico. (<http://www.zaragoza.es/azar/ayto/normas/anexo/ANEXAGUA.pdf>).

Se determinó la demanda química de Oxígeno del agua residual cruda obteniendo un valor de 182.28 ppm.

Análisis de los Porcentajes de Germinación Obtenidos en la Prueba.

En el cuadro No. 17 se mencionan los porcentajes de germinación observados en la prueba realizada a 5 tratamientos y cuatro repeticiones para cada variedad.

Cuadro 17. Porcentajes de germinación observados

1.-VAN-361 (LUCIO BLANCO) VHN-03-04 0408					
CONCENTRACIONES	TESTIGO	25%	50%	75%	100%
REPETICIÓN 1	75	50	40	35	30
REPETICIÓN 2	85	75	35	25	20
REPETICIÓN 3	90	65	35	35	25
REPETICIÓN 4	80	35	45	30	25
PROMEDIO	82.5	56.25	38.75	31.25	25

2.-VAN-JA (SINTÉTICO LAGUNERO) VHN-03-04 0409					
CONCENTRACIONES	TESTIGO	25%	50%	75%	100%
REPETICIÓN 1	100	65	45	60	55
REPETICIÓN 2	95	25	35	40	40
REPETICIÓN 3	90	45	40	55	25
REPETICIÓN 4	95	45	50	70	10
PROMEDIO	95	45	42.5	56.25	32.5

3.-SINTÉTICO ALTA LISINA VHN-03-04 0414, 0419					
CONCENTRACIONES	TESTIGO	25%	50%	75%	100%
REPETICIÓN 1	100	65	40	35	15
REPETICIÓN 2	90	60	35	35	25
REPETICIÓN 3	100	65	40	20	20
REPETICIÓN 4	100	55	40	45	20
PROMEDIO	97.5	61.25	38.75	33.75	20

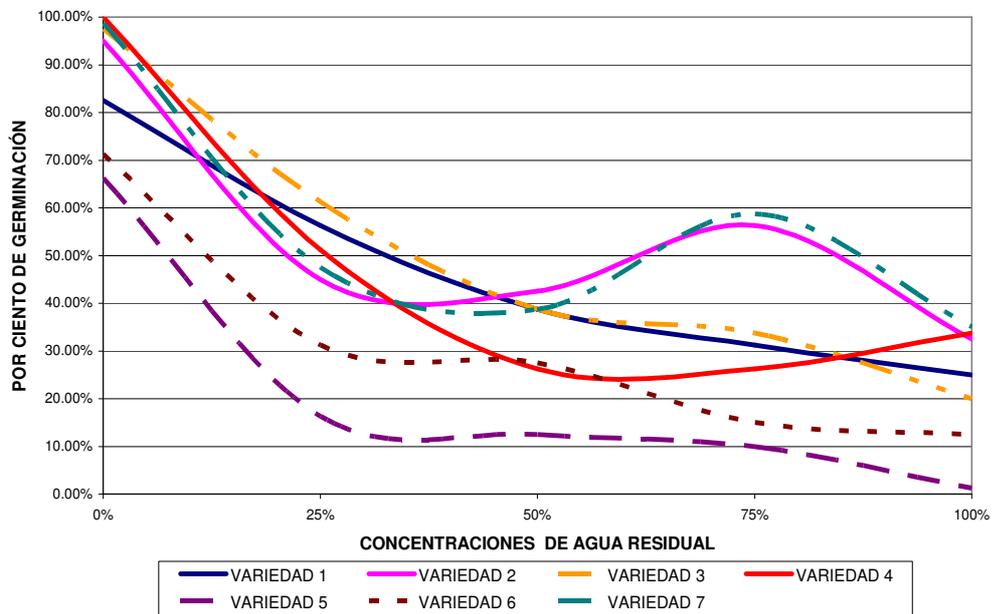
4.-VANLAP-3 (SINTÉTICO RESISTENTE A SALES) VHN-03-04 0504					
CONCENTRACIONES	TESTIGO	25%	50%	75%	100%
REPETICIÓN 1	100	45	30	15	30
REPETICIÓN 2	100	50	45	60	45
REPETICIÓN 3	100	50	15	10	40
REPETICIÓN 4	100	60	15	20	20
PROMEDIO	100	51.25	26.25	26.25	33.75

5.-SINTÉTICO ELOTERO CREMA VHN-03-04 0903					
CONCENTRACIONES	TESTIGO	25%	50%	75%	100%
REPETICIÓN 1	80	15	10	10	5
REPETICIÓN 2	65	20	15	5	0
REPETICIÓN 3	80	15	15	15	0
REPETICIÓN 4	40	15	10	10	0
PROMEDIO	66.25	16.25	12.5	10	1.25

6.-AN-388 (HIBRIDO TRIPLE DE PORTE BAJO) VILLAGRÁN 2003					
CONCENTRACIONES	TESTIGO	25%	50%	75%	100%
REPETICIÓN 1	75	50	35	25	25
REPETICIÓN 2	60	25	15	5	5
REPETICIÓN 3	75	15	30	15	5
REPETICIÓN 4	75	35	30	15	15
PROMEDIO	71.25	31.25	27.5	15	12.5

7.-AN-447 (HIBRIDO TRIPLE DE PORTE NORMAL) SALAMANCA GUANAJUATO 2005					
CONCENTRACIONES	TESTIGO	25%	50%	75%	100%
REPETICIÓN 1	100	50	30	65	30
REPETICIÓN 2	95	65	40	45	45
REPETICIÓN 3	100	30	55	65	40
REPETICIÓN 4	100	45	30	60	25
PROMEDIO	98.75	47.5	38.75	58.75	35

En la grafica No. 1 se graficaron los valores del cuadro anterior, manifestándose el siguiente comportamiento.



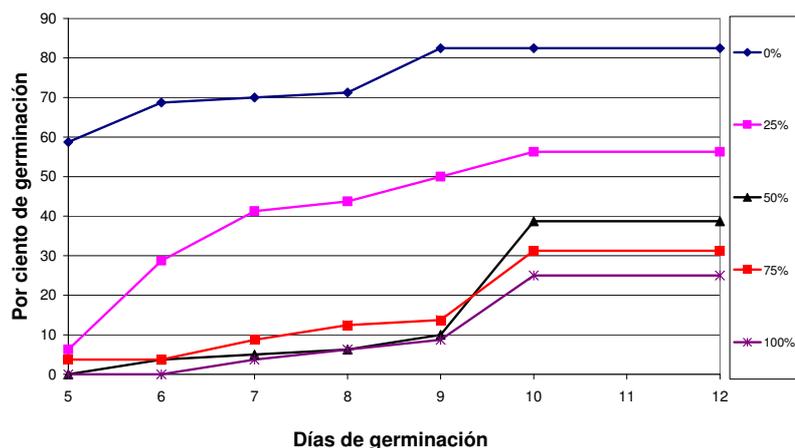
Gráfica 1. Comportamiento de las concentraciones vs variedades

En esta gráfica se observa la respuesta de las variedades a las diferentes concentraciones de aguas residuales que se aplicaron. En todas las variedades se observa un decremento significativo en los por cientos de germinación, a excepción de la variedad 2 y 7 las cuales observan un ligero incremento al ser tratadas con un 75 por ciento en la concentración del agua residual y la variedad 4 la cual aumenta ligeramente al ser tratada con una concentración del 100 por ciento con respecto a las de 25, 50 y 75 por ciento, lo cual es probable que se deba a una manifestación de la variedad por ser resistente a sales.

Días De Germinación

Se tomaron los datos a partir de que comenzaron las semillas a germinar hasta que se consideró que ya no iban a germinar después de cierto periodo obteniendo resultados mostrados en las gráficas 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 que se muestran a continuación:

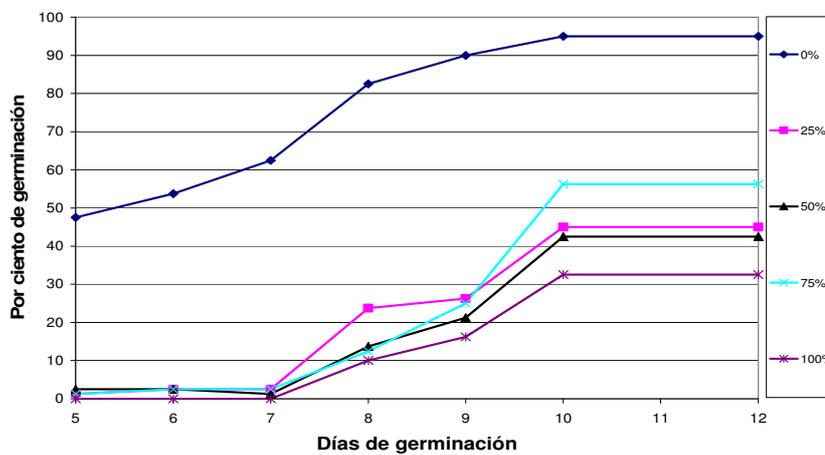
1.-VAN-361 (LUCIO BLANCO) VHN-03-04 0408



Gráfica 2. Días de Germinación de la variedad Lucio Blanco

En la gráfica 2 se comparan las concentraciones que se aplicaron. Estos resultados muestran la disminución que originan los tratamientos con agua residuales en el proceso de germinación, al igual se observa que el tratamiento testigo alcanzó su máximo porcentaje de germinación a los nueve días, mientras que las demás concentraciones lo alcanzaron un día después, lo cual indica que el agua residual con respecto al testigo atrasó un día el nivel máximo de germinación.

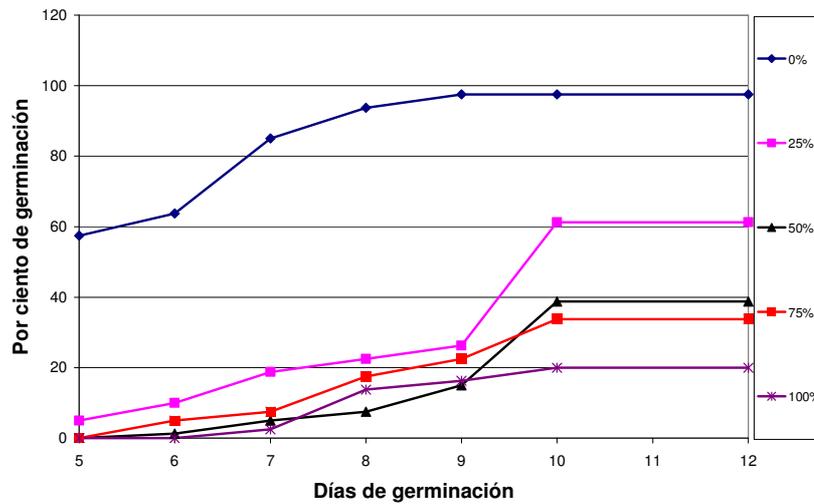
2.-VAN-JA (SINTÉTICO LAGUNERO) VHN-03-04 0409



Gráfica 3. Días de Germinación de la variedad Sintético Lagunero

En la gráfica se puede observar que todas las concentraciones alcanzaron un su máxima germinación a los diez días, sin embargo, hubo una respuesta favorable con la concentración de 75 por ciento con respecto a la de 25 y 50 por ciento.

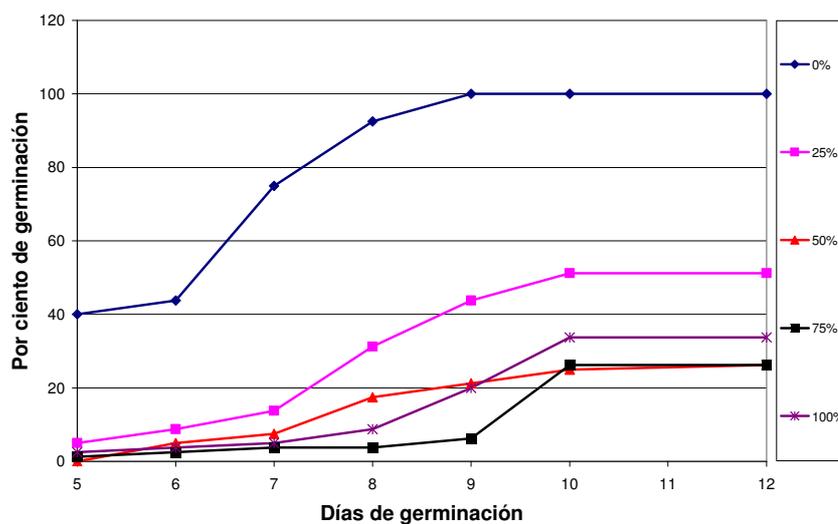
3.-SINTÉTICO ALTA LISINA VHN-03-04 0414, 0419



Gráfica 4. Días de Germinación de la variedad Sintético Alta Lisina

En esta variedad se logra distinguir más el efecto del agua residual en los días de germinación, debido a que el tratamiento testigo alcanza un máximo de germinación a los ocho días mientras que las demás tardan hasta el décimo con un incremento de germinación muy notable en ese día.

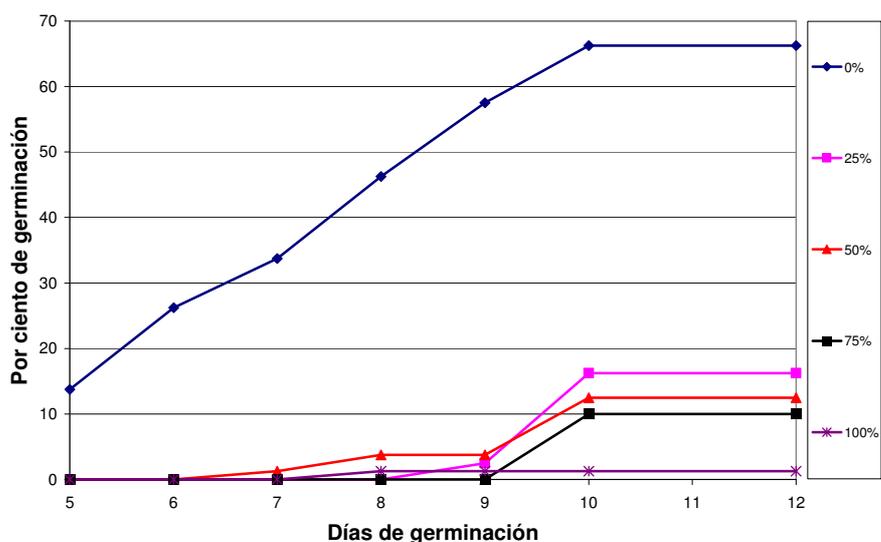
4.-VANLAP-3 (SINTÉTICO RESISTENTE A SALES) VHN-03-04 0504



Gráfica 5. Días de Germinación de la variedad Sintético Resistente a Sales

Esta variedad tuvo un alto por ciento de germinación en el testigo (todas germinaron) disminuyendo la germinación notablemente con respecto a las demás concentraciones, reduciéndose en esta variedad, la germinación con la mínima concentración de agua residual hasta un 50 por ciento.

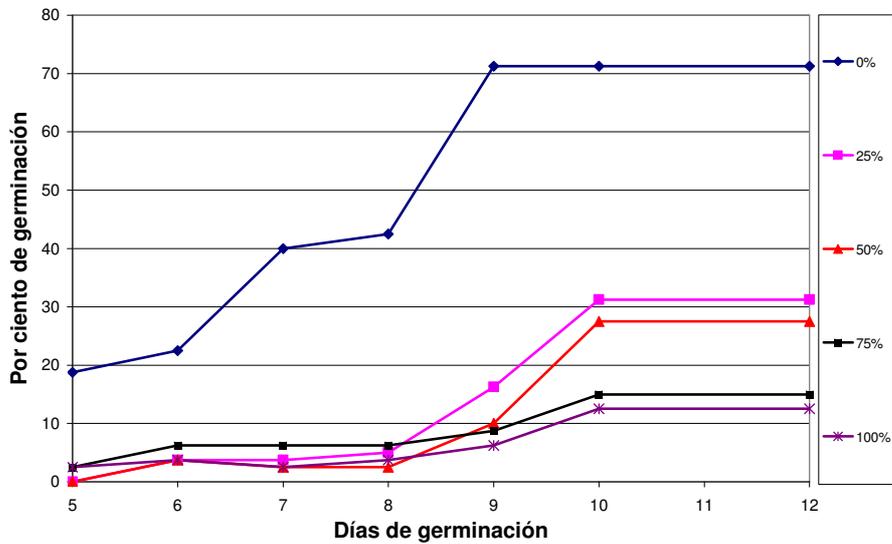
5.-SINTÉTICO ELOTERO CREMA VHN-03-04 0903



Gráfica 6. Días de Germinación de la variedad Sintético Elotero Crema

En esta variedad se puede observar que el porcentaje de germinación fue bastante bajo para todas las concentraciones, esto se debe a que esta variedad contiene muchos azúcares, mas que almidón, y debido a que los azúcares se desdoblans mas fácilmente, las semillas pierden su poder germinativo en muy poco tiempo y por ello resulta lógico que hasta en el tratamiento testigo el porcentaje sea bajo.

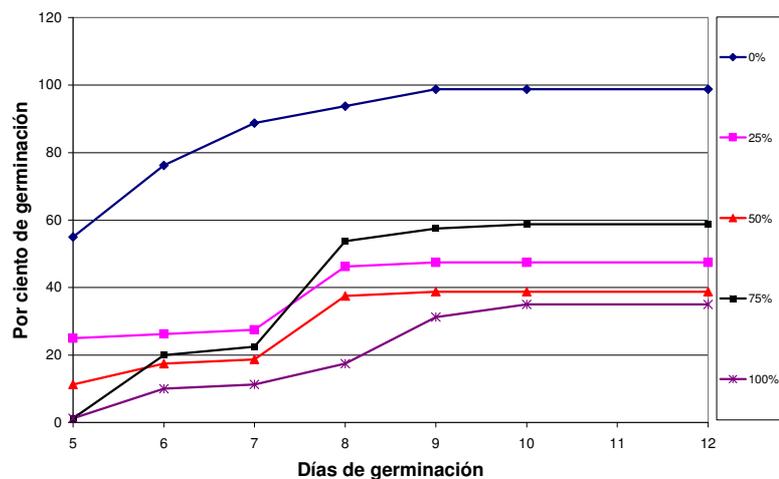
6.-AN-388 (HIBRIDO TRIPLE DE PORTE BAJO) VILLAGRÁN 2003



Gráfica 7. Días de Germinación del Híbrido Triple de Porte Bajo

En esta gráfica muestra una reducción muy significativa de las concentraciones de agua residual comparada con el testigo. Esta variedad es riesgoso regarla con agua residual durante el proceso de germinación, ocasionaría muchas pérdidas de semilla.

7.-AN-447 (HIBRIDO TRIPLE DE PORTE NORMAL) SALAMANCA GUANAJUATO 2005



Gráfica 8. Días de Germinación del Híbrido Triple de Porte Normal

Esta variedad también muestra un alto porcentaje de germinación y al igual que la variedad 2 muestra un efecto favorable con concentraciones de 75 por ciento más que con las de 25 por ciento. Por lo cual no sería recomendable para esta variedad regar con concentraciones de 25 por ciento, es mejor con 75 por ciento de agua residual y se ahorraría agua limpia.

Análisis de varianza y comparación de medias. (Tukey)

Los datos se transformaron para poder ser analizados estadísticamente, tal y como se menciona en la metodología del diseño experimental. (Cuadro 18)

Cuadro 18 Datos transformados

DATOS DE GERMINACION TRANSFORMADOS (ARCSEN(RAIZ(p)))					
NIVEL A	NIVEL B	R1	R2	R3	R4
A1	B1	60.0000	67.2135	71.5651	63.4349
A1	B2	45.0000	60.0000	53.7288	36.2712
A1	B3	39.2315	36.2712	36.2712	42.1304
A1	B4	36.2712	30.0000	36.2712	33.2109
A1	B5	33.2109	26.5651	30.0000	30.0000
A2	B1	90.0000	77.0790	71.5651	77.0790
A2	B2	53.7288	30.0000	42.1304	42.1304
A2	B3	42.1304	36.2712	39.2315	45.0000
A2	B4	50.7685	39.2315	47.8696	56.7891
A2	B5	47.8696	39.2315	30.0000	18.4349
A3	B1	90.0000	71.5651	90.0000	90.0000
A3	B2	53.7288	50.7685	53.7288	47.8696
A3	B3	39.2315	36.2712	39.2315	39.2315
A3	B4	36.2712	36.2712	26.5651	42.1304
A3	B5	22.7865	30.0000	26.5651	26.5651
A4	B1	90.0000	90.0000	90.0000	90.0000
A4	B2	42.1304	45.0000	45.0000	50.7685
A4	B3	33.2109	42.1304	22.7865	22.7865
A4	B4	22.7865	50.7685	18.4349	26.5651
A4	B5	33.2109	42.1304	39.2315	26.5651
A5	B1	63.4349	53.7288	63.4349	39.2315
A5	B2	22.7865	26.5651	22.7865	22.7865
A5	B3	18.4349	22.7865	22.7865	18.4349
A5	B4	18.4349	12.9210	22.7865	18.4349
A5	B5	12.9210	0.0000	0.0000	0.0000

A6	B1	60.0000	50.7685	60.0000	60.0000
A6	B2	45.0000	30.0000	22.7865	36.2712
A6	B3	36.2712	22.7865	33.2109	33.2109
A6	B4	30.0000	12.9210	22.7865	22.7865
A6	B5	30.0000	12.9210	12.9210	22.7865
A7	B1	90.0000	77.0790	90.0000	90.0000
A7	B2	45.0000	53.7288	33.2109	42.1304
A7	B3	33.2109	39.2315	47.8696	33.2109
A7	B4	53.7288	42.1304	53.7288	50.7685
A7	B5	33.2109	42.1304	39.2315	30.0000

Al transformar los datos, los porcentajes mayores disminuyen, y los porcentajes bajos aumentan, lo cual permite que los datos se distribuyan en forma normal y el coeficiente de variación disminuya.

En el cuadro No. 19 se muestra el análisis de los datos transformados obteniendo los siguientes resultados:

Cuadro 19 Análisis de varianza

FV	GL	SC	CM	F	P>F
FACTOR A	6	11588.500	1931.416626	39.2088	4.95
FACTOR B	4	39430.828	9857.707031	200.1166	5.19
INTERACCION	24	3788.4375	157.851563	3.2045	4.53
ERROR	05	5172.2812	49.259823		
TOTAL	139	59980.046			

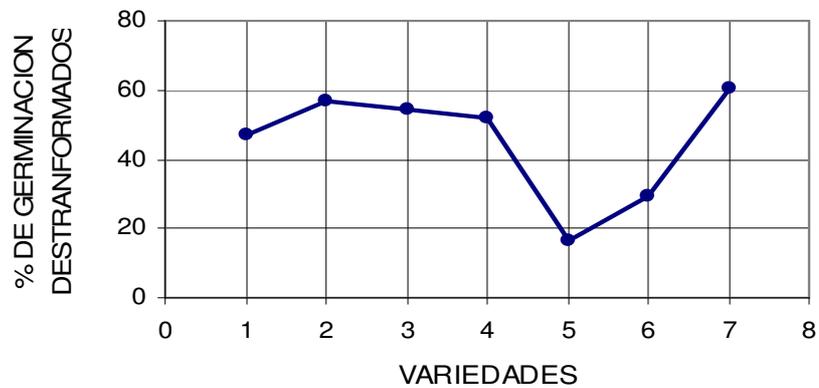
C.V. = 16.72%

Con el 95 por ciento de seguridad se concluye que sí existe diferencia significativa en el comportamiento de las variedades.

Con el 95 por ciento de seguridad se determina que sí existe diferencia significativa entre las concentraciones de agua aplicadas.

Se concluye que no existe un nivel de A que responda mejor a un nivel de B de acuerdo a las interacciones.

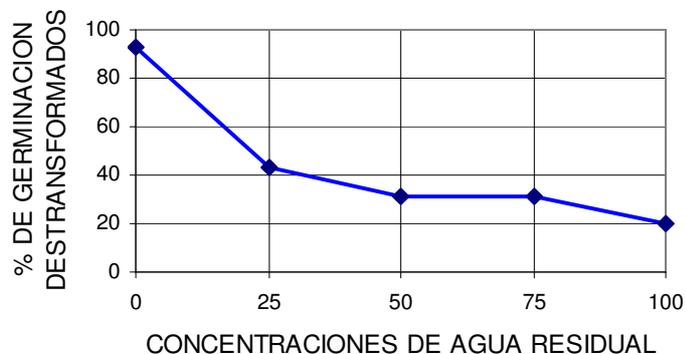
En la grafica N0. 9 se muestran los valores medios de los porcentajes de germinación de las 7 variedades utilizadas.



Gráfica 9. Medias del factor A

En la grafica No. 9 el factor A corresponde a las variedades. La gráfica muestra que la variedad que mayor porcentaje de germinación obtuvo durante la prueba es la variedad 7, la cual respondió mejor a las concentraciones de agua residual, mientras que la variedad 5 y 6 fueron las que se vieron muy afectadas, sin embargo, se debe considerar lo que se sabe de la variedad 5 su porcentaje de germinación es bajo y por consiguiente su media también.

En la grafica N0. 10 se muestran los valores medios de los porcentajes de germinación obtenidos con las 5 concentraciones utilizadas



Gráfica 10. Medias del factor B

El factor B corresponde a las concentraciones que se aplicaron. En la gráfica se muestra claramente como disminuye el por ciento de germinación conforme aumenta la concentración de agua residual y de esta manera se demuestra que sí existe efecto de el agua residual sobre la germinación del maíz.

Comparación de medias con Tukey

Factor A = Variedades (siete)

Factor B = Concentraciones de agua residual

1= 0 por ciento

2= 25 por ciento

3= 50 por ciento

4= 75 por ciento

5= 100 por ciento

La comparación de medias de las concentraciones de agua residual (factor B) se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 20. Comparación de medias del factor B

	MEDIA 1	GRUPO	MEDIA DESTANSFORMADA	GRUPO
1	74.185	A	92.5726	A
2	41.287	B	43.5377	B
3	34.0308	C	31.3195	C
4	33.9869	C	31.2485	C
5	26.3746	D	19.7347	D

La concentración testigo, no forma grupo con las demás concentraciones, es la mejor, le sigue la concentración de 25 por ciento y luego la de 50 y 75 por ciento las cuales forman grupo, siendo la del 100% la menos recomendada.

En el cuadro siguiente cuadro, se muestra la comparación de medias de las concentraciones de agua residual con respecto a la variedad 1.

Cuadro 21. Comparación de medias del factor B dentro del nivel 1 del factor A

	MEDIA 1	GRUPO	MEDIA DESTTRANSFORMADA	GRUPO
1	65.5534	A	92.5726	A
2	65.5534	B	43.5378	B
3	38.4761	BC	31.3195	BC
4	33.9383	C	31.2484	C
5	29.944	C	19.7347	C

Para la variedad lucio blanco el por ciento de germinación obtenido es muy significativo. Las concentraciones de 0 por ciento y 25 por ciento forman grupos independientes, siendo mejor la primera, la concentración de 25 por ciento forma grupo con la de 50 por ciento pero no con la de 75 por ciento la cual si forma grupo con la de 50 y 100 por ciento, siendo las más afectadas estas últimas 3.

En este cuadro se muestra la comparación de medias de las concentraciones de agua residual con respecto a la variedad 2.

Cuadro 22. Comparación de medias del factor B dentro del nivel 2 del factor A

	MEDIA 1	GRUPO	MEDIA DESTTRANSFORMADA	GRUPO
1	78.9308	A	96.3138	A
4	48.6647	B	56.3787	B
2	41.9974	BC	44.7691	BC
3	40.6583	BC	42.4513	BC
5	33.884	C	31.0821	C

Para la variedad 2 (sintético lagunero) la mejor concentración es la testigo, siguiéndole la de 75 por ciento la cual forma grupo con las de 50 y 25 por ciento pero no con la de 100 por ciento, siendo estas últimas tres las que más afectadas se vieron.

A continuación se muestra en el cuadro la comparación de medias de las concentraciones de agua residual con respecto a la variedad 3.

Cuadro 23. Comparación de medias del factor B dentro del nivel 3 del factor A

	MEDIA 1	GRUPO	MEDIA DESTTRANSFORMADA	GRUPO
1	85.3913	A	99.3544	A
2	51.5239	B	61.2882	B
3	38.4914	BC	38.7378	BC
4	35.3095	C	33.4076	C
5	26.4792	C	19.8803	C

La variedad 3 sintético alta lisina: muestra su mejor media con el testigo, posteriormente concentraciones de 25 y 50 por ciento las cuales forman grupo, siendo las peores medias las que se sometieron a concentraciones de 50, 75 y 100 por ciento.

Se puede observar en el siguiente cuadro la comparación de medias de las concentraciones de agua residual con respecto a la variedad 4.

Cuadro 24. Comparación de medias del factor B dentro del nivel 4 del factor A

	MEDIA 1	GRUPO	MEDIA DESTTRANSFORMADA	GRUPO
1	90	A	100.0000	A
2	45.7247	B	51.2647	B
5	35.2845	BC	33.3664	BC
3	30.2286	C	25.3463	C
4	29.6388	C	24.4560	C

La variedad sintética resistente a sales fue la que mejor manifestó su porcentaje de germinación con el testigo, notándose como con concentraciones tan solo de 25 por ciento de agua residual se disminuye el porcentaje de germinación hasta en un 50 por ciento. También se puede notar que las altas concentraciones de agua residual como la de 100 por ciento responden mejor que las de 50 y 75 por ciento.

La comparación de medias de las concentraciones de agua residual con respecto a la variedad 5, se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 25. Comparación de medias del factor B dentro del nivel 5 del factor A

	MEDIA 1	GRUPO	MEDIA DESTTRANSFORMADA	GRUPO
1	54.9575	A	67.0313	A
2	23.7311	B	16.1962	B
3	20.6107	B	12.3916	B
4	18.1443	B	9.6977	B
5	3.2302	C	0.3175	C

El sintético elotero crema es una variedad de baja capacidad germinativa, a pesar de esta situación se puede observar que se reduce mucho el porcentaje de germinación, para lo cual se puede decir que una baja concentración de agua afecta demasiado el proceso de germinación.

Se muestra en el siguiente cuadro la comparación de medias de las concentraciones de agua residual con respecto a la variedad 6.

Cuadro 26. Comparación de medias del factor B dentro del nivel 6 del factor A

	MEDIA 1	GRUPO	MEDIA DESTTRANSFORMADA	GRUPO
1	57.6921	A	71.4343	A
2	33.5144	B	30.4866	B
3	31.3699	BC	27.0984	BC
4	22.1235	BC	14.1831	BC
5	19.6571	C	11.3158	C

La variedad 6 AN-388 también muestra un bajo por ciento de germinación, y a pesar de eso se puede observar como influye el agua residual en el procesó de germinación, ya que se disminuye en forma muy significativa.

En el siguiente cuadro se observa la comparación de medias de las concentraciones con respecto a la variedad 7.

Cuadro 27. Comparación de medias del factor B dentro del nivel 7 del factor A

	MEDIA 1	GRUPO	MEDIA DESTTRANSFORMADA	GRUPO
1	86.7698	A	99.6825	A
4	50.0891	B	58.8355	B
2	43.7675	BC	47.8495	BC
3	38.3807	BC	38.5497	BC
5	36.1432	C	34.7870	C

La variedad AN-447 muestra un alto porcentaje de germinación siendo el testigo la mejor concentración, posteriormente la de 75 por ciento, presentando las demás concentraciones menor germinación.

En el cuadro que se muestra se observa la comparación de medias de las siete variedades de maíz.

Cuadro 28 Comparación de medias del factor A

	MEDIA 1	GRUPO	MEDIA DESTTRANSFORMADA	GRUPO
7	51.0301	A	60.4470	A
2	48.827	AB	56.6595	AB
3	47.4391	AB	54.2519	AB
4	46.1753	AB	52.0507	AB
1	43.3324	B	47.0911	B
6	32.8714	C	29.4583	C
5	24.1348	D	16.7187	D

La variedad que mejor respondió a las concentraciones de agua residual es la AN-447 siguiéndole las variedades sintético lisina, sintético lagunero y el sintético resistente a sales. Las variedades Lucio Blanco, AN-388, y el sintético elotero crema los más afectados.

En el siguiente cuadro se menciona la comparación de medias de las variedades de maíz con respecto al testigo.

Cuadro 29. Comparación de medias del factor A dentro del nivel 1 del factor B

	MEDIA 1	GRUPO	MEDIA DESTRANSFORMADA	GRUPO
4	90	A	100.0000	A
7	86.7698	A	99.6825	A
3	85.3913	A	99.3544	A
2	78.9308	AB	96.3138	AB
1	65.5534	BC	82.8732	BC
6	57.6921	C	71.4343	C
5	54.9575	C	67.0313	C

En el testigo existen cuatro variedades que se comportan de la misma manera, sintético resistente a sales, AN-447, el sintético alta lisina y el sintético lagunero, siguiéndole la variedad Lucio blanco. Las que menos porcentajes de germinación observaron fueron AN-388 y el sintético elotero crema.

En el siguiente cuadro se menciona la comparación de medias de las variedades de maíz con respecto a la concentración de 25 por ciento.

Cuadro 30. Comparación de medias del factor A dentro del nivel 2 del factor B

	MEDIA 1	GRUPO	MEDIA DESTRANSFORMADA	GRUPO
3	51.5239	A	61.2882	A
1	48.75	A	56.5263	A
4	45.7247	AB	51.2647	AB
7	43.7675	AB	47.8495	AB
2	41.9974	AB	44.7691	AB
6	33.5144	BC	30.4866	BC
5	23.7311	C	16.1962	C

Las concentraciones de 25 por ciento se comportaron de la siguiente manera: las respuestas mas favorables fueron: sintético alta lisina y Lucio Blanco, posteriormente el sintético resistente a sales, AN-447 y el sintético lagunero. Los más afectados en el proceso, fueron: AN-388 y el sintético elotero crema.

En el siguiente cuadro se menciona la comparación de medias de las variedades de maíz con respecto a la concentración de 50 por ciento de agua residual.

Cuadro 31. Comparación de medias del factor A dentro del nivel 3 del factor B

	MEDIA 1	GRUPO	MEDIA DESTTRANSFORMADA	GRUPO
2	40.6583	A	42.4513	A
3	38.4914	A	38.7378	A
1	38.4761	A	38.7118	A
7	38.3807	A	38.5497	A
6	31.3699	AB	27.0984	AB
4	30.2286	AB	25.3463	AB
5	20.6107	B	12.3916	B

En las concentración de 50 por ciento, forman grupo las variedades. Sintético lagunero, sintético alta lisina, Lucio Blanco, y el AN-447. Casi todas las variedades se comportan igual, a diferencia de la variedad Sintético Elotero, que presenta un porcentaje de germinación demasiado bajo.

En el siguiente cuadro se menciona la comparación de medias de las variedades de maíz con respecto a la concentración de 75 por ciento.

Cuadro 32. Comparación de medias del factor A dentro del nivel 4 del factor B

	MEDIA 1	GRUPO	MEDIA DESTTRANSFORMADA	GRUPO
7	50.0891	A	58.8355	A
2	48.6647	AB	56.3787	AB
3	35.3095	ABC	33.4076	ABC
1	33.9383	BC	31.1699	BC
4	29.6388	CD	24.4560	CD
6	22.1235	CD	14.1831	CD
5	18.1443	D	9.6977	D

En concentraciones de 75 por ciento de agua residual existe mucha variabilidad, en las medias, la mejor es la variedad AN-447 y la menos favorecida es el sintético elotero crema.

En el siguiente cuadro se menciona la comparación de medias de las variedades de maíz con respecto a la concentración de 100 por ciento de agua residual.

Cuadro 33. Comparación de medias del factor A dentro del nivel 5 del factor B

	MEDIA 1	GRUPO	MEDIA DESTTRANSFORMADA	GRUPO
7	36.1432	A	34.7870	A
4	35.2845	A	33.3664	A
2	33.884	AB	31.0821	AB
1	29.944	AB	24.9154	AB
3	26.4792	AB	19.8803	AB
6	19.6571	B	11.3158	B
5	3.2302	C	0.3175	C

En las concentraciones de 100 por ciento de agua residual las variedades que mejor respondieron son: AN-447 y el sintético resistente a sales. Otro grupo está formado por las variedades: Sintético Lagunero, Lucio Blanco y Sintético alta lisina. Las variedades más afectadas fueron: AN-388 y el Sintético Elotero Crema.

CONCLUSIONES

Se observó que todos los tratamientos testigos obtuvieron un porcentaje de germinación aceptable, lo cual permite determinar que las pruebas de germinación se realizaron en forma adecuada.

Por otra parte se pudo determinar que sí existe diferencia significativa entre los tratamientos que se sometieron a prueba, por lo tanto todas las variedades se comportan en forma diferente, así como las concentraciones de agua residual.

Las variaciones que existieron al aplicar diferentes concentraciones de agua residual se pudieron deber a dos cosas:

- 1.- Los altos contenidos de sal presentes en el agua residual.
- 2.- La influencia de los compuestos presentes en el agua residual.

Se trabajó con variedades resistentes a sales y no se observó mucha diferencia en la disminución de la germinación con respecto a las demás. Por lo que se pudo tratar de una combinación de los dos factores lo que permite deducir que no sólo la presencia de sales presentes en el agua residual afecta el proceso de germinación, sino que también los compuestos que contiene el agua residual

RECOMENDACIONES

Para incrementar la cantidad de semillas germinadas en un sistema de producción agrícola de maíz se pueden hacer dos cosas:

1.- Cuando solo se cuenta con agua residual para efectuar los riegos, lo más aconsejable es incrementar el índice de siembra, lo cual permitirá compensar aquellas semillas que no germinen.

2.- Si se cuenta con agua de buena calidad, en cantidades que permitan asegurar que se puedan efectuar riegos desde siembra hasta que las plantas emerjan y se adapten (30 días), para asegurar la germinación de las semillas, lo más adecuado es usarla y no diluirla con el agua residual en ese periodo.

El agua residual aporta muchos beneficios si se planea y maneja en forma adecuada, de lo contrario existe el riesgo de daños principalmente al hombre. Por consiguiente se debe buscar la posibilidad de evitar estos riesgos.

RESUMEN

El cultivo de maíz es uno de los tres cereales mas importante en el mundo y la utilización de las aguas residuales es una alternativa que se implementa en la agricultura debido a su disponibilidad y a la escasez del agua dulce.

En este trabajo de investigación se realizaron pruebas comparativas con siete variedades de semillas de maíz, aplicando concentraciones de agua residual para determinar si existía efecto alguno en el proceso de germinación.

Los resultados indican que la hipótesis inicial fue aceptada; al aumentar la concentración de agua residual cruda de la UAAAN el porcentaje de germinación de semillas de maíz disminuye significativamente.

Ninguna de las variedades tratadas respondió en forma favorable a las concentraciones de agua residual.

Al aplicar aguas residuales el proceso de germinación se ve afectado. No resulta conveniente regar con aguas residuales en este periodo, ni tampoco diluirla para bajar su concentración, por lo cual se recomienda regar los cultivos los primeros días con agua normal o en su defecto incrementar la densidad de siembra para asegurar un porcentaje de germinación aceptable.

BIBLIOGRAFÍA

Aguilera C. M. y Martínez E. R., 1996. Relaciones Agua-Suelo, Planta-Atmósfera. Cuarta edición, corregida. Ed. Comité del departamento de irrigación, UACH.

Richards, L. A. 1960, Diagnostico y Rehabilitación de Suelos Salinos y sódicos Traducido por Sánchez D., Ortega T., Chena G., Vera R. y Zapata. Ed. CVLTVRA, T.G.S.A. México DF.

Moreno M.E. 1976 Manual para el análisis de semilla. Productora Nacional De Semillas (PRONASE) México DF. Pág. 72

Escalas, C. A. (2006), Tecnologías y usos de las aguas residuales en México. Centro de Investigación y Estudios de Posgrado. Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luís Potosí, San Luís Potosí, S.L.P., México. http://www.tecspar.org/curso_chile/a_escalas/tecnologias_y_usos_de_aguas_residuales_en_mexico_a_escalas.pdf

Esteller, A. M. V. 2006, Reutilización de aguas residuales en riego: ventajas e inconvenientes. Centro interamericano de recursos del agua, facultad de ingeniería – Universidad Autónoma del estado de México, en: <http://www.geociencias.unam.mx/~roman/seminario/Est1109.htm>.

Galarza, M. J. M. 2004, Situación actual y perspectivas del maíz en México, en: www.siap.sagarpa.gob.mx/Publicaciones/Archivos/maiz90-04.pdf

Garza, A. 2000, Reuso agrícola de las aguas residuales de Cd. Juárez, (Chih., México). En el Valle de Juárez y su impacto en la salud publica. http://www.respyn.uanl.mx/3/ensayos/aguas_residuales.html#3

Ibarra, G. 1999, Servicio Informativo Iberoamericano, en: <http://www.oei.org.co/sii/entrega10/art09.htm>

Molinero, M. 2006, Pruebas no paramétricas.. <http://www.seh-lelha.org/noparam.htm>.

Manual del participante de producción de maíz. http://www.sra.gob.mx/internet/informacion_general/programas/fondo_tierras/manuales/Produccion_Maiz.pdf

Sobrero, C. M. y Ronco, 2006. Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga, en: http://www.idrc.ca/en/ev-84466-201-1-DO_TOPIC.html

Universidad de Sevilla, Aguas residuales urbanas, en: <http://tar5.eup.us.es/tar5/ebliblioteca/documentacion/arus.htm>.

Universidad de Sevilla, Características biológicas de las aguas residuales urbanas. <http://tar5.eup.us.es/tar5/ebliblioteca/documentacion/car-biol.htm>

Universidad de Sevilla, Características físicas de las aguas residuales urbanas, en: <http://tar5.eup.us.es/tar5/ebliblioteca/documentacion/car-fisi.htm>.

Universidad de Sevilla, Características químicas de las aguas residuales urbanas. <http://tar5.eup.us.es/tar5/ebliblioteca/documentacion/car-qui.htm>.

Universidad Politécnica de Valencia. 2003, Germinación de Semillas, en: http://www.euita.upv.es/varios/biologia/Temas/tema_17.htm

http://www.uc.cl/sw_educ/cultivos/cereales/maiz.htm

<http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/maiz.asp>

<http://www.zaragoza.es/azar/ayto/normas/anexo/ANEXAGUA.pdf>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Ma%C3%ADz>