



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ingeniería de Calidad y Productividad

Estudio experimental para la obtención de producto vegetal,
implementando riego con agua residual tratada y desinfectada por fotocátalisis
(TiO₂).

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Ingeniería de Calidad y Productividad

Presenta:

I.M. Iliana Viveros Palma

Dirigido por:

Dra. Karen Esquivel Escalante

SINODALES

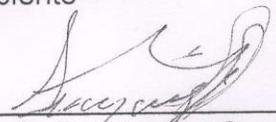
Dra. Karen Esquivel Escalante
Presidente

M.C. Guillermo Hiyane Nashiro
Secretario

Dr. José Alberto Rodríguez Morales
Vocal

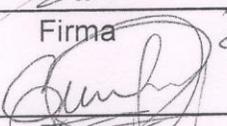
Dr. Eduardo Arturo Elizalde Peña
Suplente

M.I. Eric Leonardo Huerta Manzanilla
Suplente


Dr. Aurelio Domínguez González
Director de la Facultad



Firma



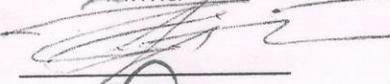
Firma



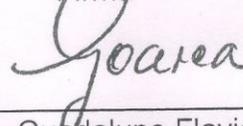
Firma



Firma



Firma



Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Fecha (26 de noviembre de 2015)
México

RESUMEN

Esta investigación corresponde a un estudio de tipo experimental, retrospectivo parcial, longitudinal, descriptivo, observacional

Se desarrolló tomando en cuenta 3 tipos de agua para la producción del cultivo de espinaca (*Spinacia oleracea*) variedad Virofly, Zanahoria (*Daucus carota*) variedad Nantes y Lechuga Romana (*Lactuca sativa*) variedad Little Gem. Dichos efluentes de riego se tomaron de la planta de tratamiento # 4 de Campus Aeropuerto, Querétaro, durante el tiempo comprendido de septiembre 2013 a agosto 2015, el segundo efluente se tomó en el reactor para obtención del agua desinfectada mediante fotocátalisis solar (TiO_2) y un control o patrón siendo el agua potable. Desde el punto de vista estadístico, a estas clases de agua se les llamó tratamientos.

El diseño experimental utilizado, fue el de diseño general factorial, con un total de 54 unidades experimentales, teniendo tipo de agua: agua tratada desinfectada y potable (*tres niveles*), tipo de sustrato: arena y tierra (*dos niveles*) y tipo de hortaliza: Lechuga, Zanahoria y Espinaca (*tres niveles*) como factores. Las variables de respuesta monitoreadas fueron, la altura de las plantas, diámetro, unidades spad (color) y número de hojas. Los datos obtenidos fueron de tres meses después de la siembra. A las variables de respuesta se les aplicó un análisis de varianza auxiliándose del programa de computación Minitab, donde se determinó la existencia o no existencia de diferencia significativa entre los tipos de tratamiento y las variables de respuesta en cada uno de los cultivos.

Mostrando que el tratamiento con el agua desinfectada con sustrato tierra mediante fotocátalisis solar, tiene un efecto significativo en el longitud del producto principalmente en los cultivos de lechuga (*Lactuca sativa*) y zanahoria (*Daucus carota*), además de ser un factor importante para que el color de la planta en la lechuga se desarrollara, la Espinaca (*Spinacia oleracea*) por otro lado mostró un efecto significativo en tres variables de respuesta como son raíz peso y cantidad de hojas, haciendo uso de agua tratada con el sustrato tierra. Lo anterior, se puede atribuir al contenido de metales en el agua desinfectada, mostrando el estrés que éstos generan sobre las plantas, ellas lo manifiestan con un tiempo de crecimiento y maduración acelerado a comparación con el agua potable y tratada. Por otro lado

en el caso de la zanahoria se obtuvieron mejores resultados en el desarrollo de cuatro variables de respuesta como son el cotiledón, hoja verdadera diámetro y el color, haciendo uso de agua potable con el sustrato tierra.

Palabras clave: *Reuso de agua en la agricultura, estudio experimental, agua residual tratada, desinfección de agua, TiO₂, Lechuga, Espinaca, Zanahoria.*

SUMMARY

This research corresponds to an experimental study, part retrospective, longitudinal, descriptive, and observational.

It was developed taking into account 3 types of water for crop production of spinach (*Spinacia oleracea*) Virofly variety, carrot (*Daucus carota*) and Nantes variety Romaine (*Lactuca sativa*) variety Little Gem. Such effluent irrigation were taken from the treatment plant # 4 of Campus Airport, Querétaro, for the period beginning from September 2013 to August 2015, the second effluent was taken in the reactor for obtaining water disinfected by solar photocatalysis (TiO₂) and control or that the drinking water standard. From a statistical point of view, these kinds of water treatments were called.

The experimental design was the overall factorial design, with a total of 54 experimental units, with type of water: water treated and disinfected drinking (three levels), type of substrate: sand and ground (two levels) and type of vegetable: Lettuce, Carrot and Spinach (three levels) as factors.

The response variables were monitored, the plant height, diameter, spad (color) units and number of leaves. The data were obtained three months after planting. A response variables were applied a variance analysis using Minitab computer program, which was determined the existence or nonexistence of significant difference between the types of treatment and response variables in each crop.

Showing that treatment with disinfected water by solar photocatalysis soil ground substrate has a significant effect on the product length mainly on lettuce crops (*Lactuca sativa*) and carrot (*Daucus carota*), besides being an important factor for the plant color is developed on lettuce, spinach (*Spinacia oleracea*) on the other hand showed a significant effect on response three variables are as root weight and number of leaves, using water treated with the ground substrate. This can be attributed to the content of metals in the disinfected water, showing they generate stress on plants, they manifested with a time of growth and maturation accelerated compared and treated drinking water. Furthermore in the case of carrot best results were obtained in the development of four response variables such as the cotyledon, true leaf diameter and color, using water with the substrate ground.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Universidad Autónoma de Querétaro por su apoyo y patrocinio para la realización de este proyecto de tesis.

A Dios por la oportunidad de vivir hasta este logro y regalarme una familia maravillosa.

A mis padres Israel y Rosalba por sus consejos, sacrificios, cuidados, ejemplos y amor que me han apoyado a lo largo de mi vida.

A mis hermanos Karen y Eric por su amor, paciencia, por creer en mí en esos momentos difíciles, dándome ánimos para continuar.

A mis familiares Por su apoyo, ánimos y comprensión.

A la Dra. Karen Esquivel, por darme la posibilidad de desarrollar mi estancia poniendo en mí su confianza y sus conocimientos.

A mis maestros y doctores por su acertada orientación, paciencia y sus conocimientos.

A mis amigos y compañeros, Ale, Clau y Uziel por su sincera amistad, paciencia y gentileza durante estos dos años después de tantos desvelos sirvieron de algo, ya podremos ver los frutos.

A Iván por cuidar a mis plantitas durante un tiempo y su apoyo a lo largo de la elaboración del proyecto.

A Álvaro por ayudarme en muestras dentro del laboratorio los muchos tubos que había que llenar.

A mis amigos y compañeros de trabajo en el laboratorio, por su apoyo que hicieron grata mi estadía.

GRACIAS.

ÍNDICE

	Página
INTRODUCCIÓN	1
HIPÓTESIS	5
OBJETIVO GENERAL	5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
II. REVISIÓN DE LITERATURA	6
<i>II.1 Uso del agua residual tratada en la agricultura.</i>	9
<i>II.2 Proceso general de tratamiento de aguas residuales Métodos Biológicos para remediación del agua residual.</i>	10
<i>II.2.1 Calidad del agua para riego</i>	17
<i>II.3 Invernadero</i>	19
<i>II.4 Diseño de Experimentos</i>	23
<i>II.4.1 Diseño Robusto</i>	25
<i>II.4.2 Diseño Factorial</i>	25
<i>II.4.3 Diseño óptimo</i>	27
<i>II.5 Evaluación de un sistema de medición.</i>	27
<i>II.5.1 Calidad de mediciones.</i>	28
III. METODOLOGÍA.....	31
<i>III.1 Planeación</i>	31
<i>III.2 Tratamientos a experimentar (agua)</i>	37
<i>III.2.1 Agua residual tratada</i>	37
<i>III.2.2 Agua desinfectada</i>	38
III.3 Caracterización Físicoquímica y biológica en los tipos de agua, tratada y desinfectada.....	39

III.3.1 Análisis bacteriológicos: Coliformes totales y fecales	41
III.4 Infraestructura de producción.....	48
II.4.1 Selección de sistema de riego	49
III.4.2 Producción individual	49
III.4.3 Cultivo Hortícola.....	50
III.5 Siembra	50
III.6 Software.....	53
IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	54
Estudio R&R.....	54
✓ Calibrador vernier.....	54
✓ Báscula	57
Diseño factorial.....	59
-Temperatura (°C) y Humedad Relativa (%):	59
-Potencial de Hidrógeno (pH):	60
-Radiación (watts/m ²):	60
IV.1 Análisis realizados en los tipos de agua	61
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	61
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	61
Sólidos sedimentables	61
Grasas y aceites.....	62
Prueba en agar Mac Conkey	65
Agua residual tratada	66
Agua desinfectada.....	67
IV.3 Producción de hortalizas.....	69
IV.4 Obtención de producto vegetal	74
✓ Cotiledón	76

✓ Raíz	79
✓ Hoja verdadera	81
✓ Longitud del producto	84
✓ Peso	86
✓ Diámetro	88
✓ Cantidad de hojas.....	90
✓ Potencial de Hidrógeno	92
✓ Unidades Spad	94
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	102
IV. BIBLIOGRAFÍA	106
GLOSARIO.....	113
Anexo I	116
Especificaciones de medidor de clorofilaSPAD-502Plus.....	116

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	Página
1 Cuadro comparativo de tipos de tratamientos biológicos de aguas residuales*	12
2 Interpretación del índice UV	16
3 El límite máximo permisible para las descargas vertidas a suelo.*	17
4 Límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales tratadas*.....	18
5 Índice del NMP porciones de 5.....	45
6 Índice del NMP porciones de 3.....	46
7 Criterios de evaluación de calidad de sistema de medición*	58
8 Registros de temperaturas de acuerdo a CONAGUA y lo censado en el invernadero.*	60
9 Descripción del sustrato utilizado	61
10 Análisis bacteriológico de agua potable	63
11 Análisis bacteriológico de agua tratada.....	63
12 Análisis bacteriológico de agua desinfectada.....	64
13 Resultados de pruebas en agar Mac Konkey.....	66
14 Análisis de muestra agua tratada	67
15 Análisis de muestra agua desinfectada.....	67
16 Etapas de desarrollo de lechuga durante las pruebas de experimentales. .	70
17 Etapas de desarrollo durante las pruebas de experimentales (zanahoria)..	70
18 Etapas de desarrollo durante las pruebas de experimentales (espinaca)...	71
19 Resultados de obtención de unidades SPAD.....	95
20 Resultados de todas las corridas de ANOVA.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	Página
1 Estadísticas del agua en México 2014.....	1
2 Origen de la contaminación en los cuerpos de agua dulce. Fuente: SEMANAT,2008.....	6
3 Esquema Proceso de Depuración de Aguas.....	12
4 Requerimientos de las hortalizas	21
5 Esquema de un proceso	24
6 Fuentes de variabilidad en las mediciones.....	29
7 Diagrama de flujo	31
8 Ubicación del Campus. Google Maps	32
9 Layout de proyecto elaborado con floorplaner.	33
10 Distribución de proyecto, elaborado con floorplaner	33
11 Diagrama de parámetros para las hortalizas.....	34
12 Termo-higrómetro.....	35
13 Medidor de Clorofila SPAD-502Plus	36
14 Cisterna de agua tratada y Planta tratadora de aguas.....	37
15 Cisterna del agua tratada	38
16 (A) Esquema conceptual de acoplamiento entre las tecnologías de fotocátalisis (solar) y de tratamiento. Referencia: (Spivey, 1999). (B) Reactor dónde se realizó la desinfección de agua.	39
17 Preparación de diluciones.....	42
18 Evaluación de pruebas presuntivas y confirmativas en la determinación de Coliformes Totales y Fecales	42
19 Tubos con caldo de bilis verde brillante.	43
20 Prueba confirmativa de microorganismos coliformes totales	44

21	Tubos con caldo EC.....	44
22	Invernadero Balcony	48
23	Riego de semillas en almácigo.....	49
24	Recipientes donde irán las hortalizas.....	50
25	Preparación para cada una de las semillas.....	50
26	Almácigo de plástico	51
27	Siembra de las semillas en el almácigo	51
28	Mediciones de las partes de una Espinaca	52
29	ANOVA (Vernier Digital).....	54
30	Gage R&R (Vernier Digital)	54
31	Gage R&R (ANOVA) para las mediciones	55
32	Carta de control de rangos.....	56
33	Porcentaje de estudio de la variación y variación contra tolerancia permitida.	57
34	(ANOVA Báscula).....	57
35	Tubos con caldos para el análisis bacteriológico tiempo 0.....	64
36	Tubos con caldos para el análisis bacteriológico tiempo 5.....	64
37	Prueba en agar MK agua tratada.	65
38	Prueba en agar MK agua tratada (con crecimiento).....	65
39	Obtención de Agua tratada	67
40	Obtención de Agua desinfectada	68
41	Desarrollo de lechuga little gem	69
42	Desarrollo de Zanahoria variedad nantes	71
43	Desarrollo de Espinaca	72
44	Producto obtenido	73

45	Recolección y etiquetado de lechuga.....	74
46	Recolección y etiquetado de espinaca	74
47	Recolección y etiquetado de zanahoria.....	74
48	Análisis de diseño factorial, interacciones (cotiledón)	76
49	Interacción entre factores eliminando factores no significativos.....	77
50	Segunda corrida entre factores eliminando los no significativos (cotiledón).	77
51	Trama efectos principales (Cotiledón).....	78
52	Análisis de diseño factorial, interacciones (Raíz)	79
53	Segunda corrida entre factores eliminando los no significativos (Raíz).	79
54	Trama efectos principales (Raíz).....	80
55	Análisis de diseño factorial, interacciones (hoja verdadera).....	81
56	Interacción entre factores eliminando factores no significativos (HV)	81
57	Interacción entre factores eliminando factores no significativos (HV2).	82
58	Trama efectos principales (Hoja Verdadera)	82
59	Análisis de diseño factorial, interacciones (Long. Producto)	84
60	Segunda corrida entre factores eliminando los no significativos (Long. Producto).....	84
61	Trama efectos principales (Long. producto)	85
62	Análisis de diseño factorial, interacciones (Peso)	86
63	Interacción entre factores eliminando factores no significativos (peso).....	86
64	Trama efectos principales (Peso).....	87
65	Análisis de diseño factorial, interacciones (diámetro).....	88
66	Trama efectos principales (diámetro).	89
67	Análisis de diseño factorial, interacciones (Cantidad de hojas).....	90

68	Segunda corrida entre factores eliminando los no significativos (cant. hojas).	90
69	Trama efectos principales (Cant. Hojas)	91
70	Análisis de diseño factorial, interacciones (pH).....	92
71	Ánálisis de varianza y la eliminación de interacciones no significativas.....	92
72	Trama efectos principales (pH)	93
73	Análisis de diseño factorial, interacciones (Unidades Spad)	94
74	Trama efectos principales (Unidades Spad)	94
75	Color por cantidad de unidades SPAD.....	95
76	Respuesta a diseño óptimo	97
77	Rango de detección de la clorofila en el espectro de absorción utilizado para determinar las unidades SPAD	117

INTRODUCCIÓN

La búsqueda para obtener agua acentúa la necesidad y urgencia de implementar el programa de saneamiento y aprovechamiento de las aguas tratadas (Comisión Nacional del Agua, 2008). En México, 76% del agua se utiliza en la agricultura, entendiéndose que es para el riego de cultivos, sin embargo en este sentido no se cuenta con un riego sustentable libre de fugas y pérdidas por evaporación; 15%, en el abastecimiento público a través de las redes de agua potable, para uso tanto doméstico como en comercios e industrias, excepto para uso dentro de los procesos industriales; 5%, en las termoeléctricas y 4% en las industrias autoabastecidas, las cuales son aquellas que toman el agua directamente de cuerpos de agua de bienes nacionales Figura 1 (INEGI, 2011).

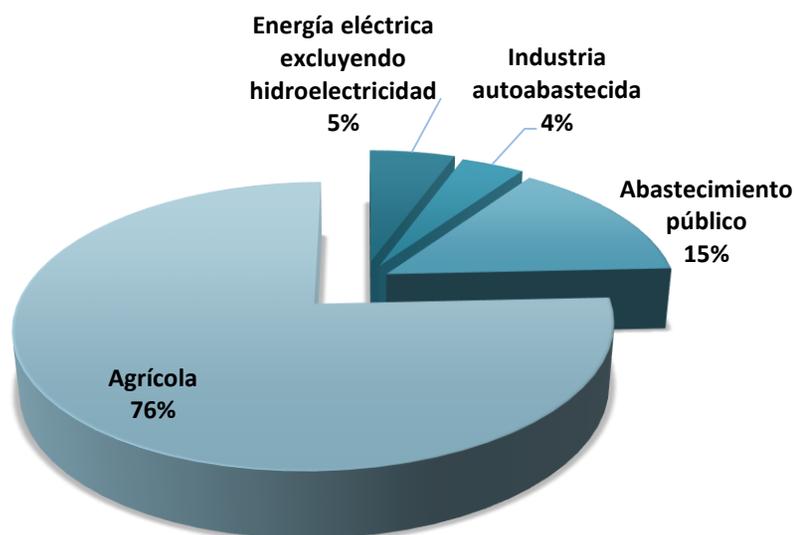


Figura 1 Estadísticas del agua en México 2014.

FUENTE: (CONAGUA, 2014)

Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales, 2011. Módulo 5: Agua Potable y Saneamiento, 2012. De un total de 2,457 municipios en nuestro país, solamente el 28% (695 municipios) cuentan con servicio de tratamiento de aguas residuales; de los cuales dentro del estado de Querétaro sólo 14 municipios y

delegaciones cuentan con tratamiento de aguas residuales. Sin embargo dicha agua solo es recuperada para su re-uso en el riego de áreas verdes en contacto indirecto con el ser humano, a lo largo de la zona urbana y conurbada del estado de Querétaro. Tomando en cuenta este hecho y la falta de superficie disponible para la agricultura en México a causa de la disminución de agua aprovechable por factores como pérdidas por evaporación, el sistema de almacenaje, contaminación, entre otros, han ocasionada que se recurra a sistemas de cultivo alternativos (Zepeda, 2012).

Según Pliego (2015) la agricultura es uno de los sectores de los que depende la humanidad, ya que da soporte a necesidades vitales como lo son:

- Las necesidades de alimentación directas, proporcionando frutas, verduras, legumbres y cereales que forman parte directa de nuestra dieta.
- Las necesidades de alimentación indirectas, formando la base trófica que alimenta a los animales que nos dan la carne, los derivados del huevo o la leche, así como la base para la formulación de alimentos preparados como bebidas, aceites, azúcar, chocolates, por mencionar algunos.
- Las necesidades de vestimenta, permitiendo la producción de materiales y tejidos derivados de productos agrícolas como el algodón, el rayón o el lino, entre otros.

De hecho, esta misma dependencia, es una de las principales razones por la cual, la agricultura sea uno de los sectores de la actividad humana de mayor contribución al impacto ambiental del hombre sobre el planeta, convirtiéndose en una problemática global. (Pliego, 2015)

Por lo anterior, se propone en este proyecto, el posible uso de distintos tipos de aguas para la producción vegetal, soportado con estadística aplicada de

la ingeniería en calidad, efectuando modelos como lo son diseño clásico o factorial, que asistidos de técnicas estadísticas (regresión múltiple, respuesta superficial y análisis de varianza) obtener un nivel de confianza aceptable, de tal modo que se encuentre la combinación adecuada de las variables, y las inferencias con respecto al efecto del tipo de agua utilizada para la producción de cultivos, sean las correctas. Al escoger la metodología clásica, el experimentador no hace ninguna suposición sobre la presencia o ausencia de interacciones antes de correr el experimento.

Kavanaugh (2002) menciona que “Ninguna suposición sobre la presencia de interacciones es necesaria antes de ejecutar el experimento” es una de las razones por la que este experimento se realizó con el diseño clásico para poder estudiar los efectos que pueden tener varios factores sobre una respuesta Tipo de agua y Tipo de hortaliza (*dos factores*) con agua tratada desinfectada y potable (*tres niveles para tipo de agua*) y Lechuga, Zanahoria y Espinaca (*tres niveles para tipo de hortaliza*) (2^3); y Tipo de sustrato (*un factor*) con arena y tierra (*dos niveles*) (1^2).

El uso de diseño de experimentos es altamente efectivo para aquellos procesos, que su rendimiento se ve afectado por varios factores. Con este modelo se puede conseguir entre otras cosas, reducir la variabilidad de producción, así como aumentar la calidad de los productos (Tanco, Ilzarbe, Viles, & Alvarez, 2008).

En la actualidad se tiene en cuenta la importancia de la estadística aplicada en el desarrollo de investigaciones en diversos campos. La experimentación se ha llevado a empresas y laboratorios con el objetivo de aumentar la comprensión de alguna teoría para su validación y empleo posterior mediante la construcción de un modelo implementando herramientas estadísticas de tal forma que permita generar observaciones dadas ciertas entradas.

Con el análisis estadístico de tales observaciones se estiman medidas del comportamiento del sistema de interés. Sin embargo, de esta manera no es posible encontrar resultados óptimos, sino más bien, resultados satisfactorios a problemas de difícil, costosa o imposible resolución mediante otros métodos (Vera, 2003).

Se requiere diseñar un proceso para este experimento, basado en factores y estudios previos, que ayude a mejorar y robustecer el proceso actual. Para ello, el modelo que nos permite alcanzar los objetivos, es la aplicación de diseño robusto con la ayuda diagrama de parámetros. Este modelo combina los factores de control y los de ruido del proceso, frente a las posibles causas de variabilidad.

Este proyecto surge de la necesidad de crear una herramienta de apoyo para aquellas personas que se interesan en el cultivo en invernadero, que conozcan, adopten y además transfieran esta tecnología que han sido desarrolladas en campus Aeropuerto. El interés propio consiste en el potencial que tiene la técnica de aprovechar recursos, sea el fin del cultivo para autoconsumo o la comercialización del producto final. El desafío que ostenta la presente tesis radica en elaborar un modelo de producción que permita la producción de cultivo con distintos tipos de agua, sin dejar de lado el producto.

Al implementar un sistema, estable y robusto, se logró el control en el consumo de agua y energía, reducción de costo, tanto de operación, mantenimiento, aumento de productividad, seguimiento de regulaciones o normas y la optimización del proceso.

HIPÓTESIS

De acuerdo al tipo de agua obtenida de la planta de tratamiento de aguas residuales y el agua posterior al proceso de desinfección por fotocátalisis solar, será posible obtener productos de origen vegetal viables.

OBJETIVO GENERAL

Demostrar que de acuerdo al tipo de agua, es posible obtener cultivos de lechuga, espinaca y zanahoria cumpliendo con agentes de calidad, durante un periodo de 12 meses.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar el agua tratada y desinfectada, mediante la determinación de coliformes totales y fecales, cantidad de grasas y aceites, Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅), Sólidos y metales de acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas (NOM- SEMARNAT-001-1996 y NOM-SEMARNAT-003-1997)
- Identificar las variables de influencia significativa en la actividad de crecimiento de plantas, con base a un análisis estadístico de los datos obtenidos en peso y mediciones.
- Identificar experiencias del reuso de aguas residuales tratadas y desinfectadas del campus Aeropuerto, en la agricultura.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

En un planeta cuyo 71% es agua pueda haber una crisis de la misma porque el elemental líquido se acabe. Pero existen muchas cuestiones al respecto, una de ellas es que la gran mayoría de ese porcentaje no es agua potable, sólo lo es el 2,53% del total. Dentro del cual un porcentaje está en los casquetes polares y otro sufre de diferentes alteraciones, la mayoría por intervención humana. (Ortiz, 2013)

Estas alteraciones producen que grandes cantidades de agua potable se conviertan en no aptas para el uso humano, tanto para consumo directo (beber, cocinar, asearse) como indirecto (regar cultivos, limpiar casas o coches, etc.) (Ortiz, 2013)

La contaminación de los ríos y los acuíferos subterráneos es producida mayoritariamente a través del vertido de residuos industriales. Aunque en gran medida también por los desechos que arrojamamos desde los desagües de nuestras casas, lo que en una gran ciudad supone toneladas de estos a diario, es apreciada en la Figura 2 (centro), así también la contaminación por microorganismos (izquierda) y contaminación por sustancias químicas (derecha) siendo las formas más comunes de contaminación del agua dulce.



Figura 2 Origen de la contaminación en los cuerpos de agua dulce.
Fuente: SEMANAT, 2008.

La población mundial sigue creciendo y el estilo de vida cada vez más occidentalizado invita poco al consumo racional del agua. Por otro lado, la agricultura consume el 76 % del agua potable utilizada por el hombre. A medida que crezca la demanda alimenticia también subirá el consumo de este elemento fundamental para la vida. Si la población sigue aumentando a este ritmo actual, de los 6,000 millones que somos ahora pasarán a ser 8,900 millones en el año 2050. La exigencia de agua potable o agua dulce será muy delicada para esas fechas si no se ejercen cambios para solucionar el problema desde hoy, porque según las Naciones Unidas 7,000 millones de personas sufrirán escasez de agua en el 2050 (Ortiz, 2013).

Por lo anterior estamos dedicados a buscar o ser parte de una solución, por lo cual se han desarrollado tratamientos de aguas residuales para convertirlas en aguas aptas para el riego agrícola.

El Estado de Querétaro cuenta con una superficie de 11,688 km², que corresponde al 0.61% del territorio nacional. La superficie estatal se encuentra dividida en dos Regiones Hidrológicas: 9,289 km² (79% del territorio) se encuentran en la Región No. 26 Pánuco; y 2,480 Km² (21%) en la región No. 12 Lerma-Santiago. Éste se encuentra localizado en la parte suroeste del Estado, comprendiendo los municipios de Corregidora, El Marqués y Querétaro. Es en la región No. 12 en donde se encuentra situada la Zona Metropolitana de la Ciudad de Querétaro (ZMCQ) (Márquez, 2011).

El acuífero del Valle de Querétaro manifiesta una sobreexplotación del orden de 60% en relación a su recarga, con un abatimiento promedio de 3.5 m³/año, producto de la extracción de 110 millones de m³ anuales. Esta condición de sobreexplotación del acuífero del Valle de Querétaro lo pone en grave riesgo, por lo que se deberán tomar una serie de medidas para estabilizar el abatimiento mencionado, incluyendo la racionalización del consumo y la reutilización de aguas tratadas, la incorporación de volúmenes de aguas superficiales y subterráneas

provenientes de otras fuentes, como es el caso de la cuenca del Pánuco (Estada, 2008).

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua y poder obtener un efluente apto para el contacto humano directo o indirecto. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (o efluente tratado) (Sistema Estatal de Información del Agua, 2012).

Cuando el agua contiene materias extrañas, como microorganismos, productos químicos, residuos industriales o domésticos que alteran sus características naturales y se dice que está contaminada (SEMARNAT, 2008). Sin embargo según Leal (2010), Las plantas absorben activamente los recursos que utilizan para vivir, pero lo hacen a una escala microscópica sobre la mayor parte de su superficie, lo que hace que para nosotros sea imposible percibir a simple vista la manera en que realizan esta función

Para determinar la calidad del agua necesitamos conocer algunas características que afectan su posible uso como, por ejemplo, el oxígeno que tiene disuelto, la cantidad de partículas suspendidas, la cantidad y tipo de sales disueltas, la presencia y concentración de compuestos tóxicos, bacterias y otros tipos de microorganismos.

Como la calidad del agua depende del uso que se le pretende dar, resulta complicado definir una forma única de medir su calidad. En general se puede hablar de dos métodos: los que utilizan como referencia parámetros físicos y químicos, y los que emplean algunos atributos biológicos como especies indicadoras o características de los ecosistemas naturales que permiten evaluar que tan alterado se encuentra un cierto cuerpo de agua (SEMARNAT, 2008).

II.1 Uso del agua residual tratada en la agricultura.

Desafíos relacionados al suministro de agua, al saneamiento y a la sostenibilidad medioambiental se han presentado debido a la aparición de nuevos retos como el cambio climático, el aumento de los precios de los alimentos, aumento en la generación de la energía, el envejecimiento de las infraestructuras, el crecimiento de la población y el rápido desarrollo económico por ende, estos han contribuido a acelerar la extracción de agua dulce. (Reboratti, 2011)

El uso de aguas residuales en agricultura constituye una de las herramientas más valiosas que tienen los países en vías de desarrollo para controlar la contaminación y hacer frente al reto que constituye incrementar la producción agrícola con un recurso hídrico escaso. (Forero, 2013)

A partir de esto, es necesario saber el efecto del uso de agua tratada para el crecimiento de hortalizas para el consumo humano. Los tóxicos y microorganismos patógenos presentes en las aguas residuales pueden causar efectos nocivos a la salud y/o a los cultivos, si no se utiliza el tratamiento y el manejo adecuado. De igual manera, algunas sustancias presentes en las aguas residuales pueden resultar perjudiciales a los suelos, a corto, mediano o largo plazo si no se toman las medidas correctivas apropiadas.

La aplicación de aguas residuales, crudas o previamente tratadas al suelo, campos de cultivo, o estanques de piscicultura constituye en sí un tratamiento adicional que mejora la calidad de las mismas (Forero, 2013), es decir, mediante la filtración a través de los horizontes del suelo, el agua alcanza los mantos freáticos para su recarga, ya libres de contaminantes, siempre y cuando estos contaminantes hayan sido retenidos por la materia orgánica presente en la superficie del cultivo o en las raíces de las mismas, sin presentar algún problema al cultivo o suelo. Sin embargo la aparición de contaminantes más persistentes y de naturaleza toxica, han mostrado que este tipo de mejora de calidad del agua

tratada ya no es viable. Por lo cual se propone llevar a cabo procesos de remediación de aguas por vías biológicas o químicas.

II.2 Proceso general de tratamiento de aguas residuales Métodos Biológicos para remediación del agua residual

Al remover contaminantes del agua en cierta forma se está defendiendo del ataque de muchas bacterias y productos químicos, es por eso que se conocen varios niveles de defensa como son: pre-tratamiento, tratamiento primario, secundario, avanzado y varios tratamientos especiales que se pueden utilizar después de todos ellos.

La primera etapa es la descontaminación llamada como pretratamiento, Es esencialmente físico, en esta fase se remueven sólidos presentes en las aguas residuales, a través de rejillas (basura, etc.), y desarenadores (partículas pesadas como grava, arena y semillas). El siguiente tratamiento es el primario, este puede ser físico o físico-químico y se realiza en tanques de sedimentación para remover parte de los contaminantes y retirarlos como lodo en el fondo de los tanques. Este lodo después de ser procesado, es un usado como abono. El tratamiento secundario es básicamente biológico, en esta etapa las bacterias benéficas se emplean intencionalmente para consumir otra parte de contaminantes que no fueron removidos en el tratamiento primario. La aireación es decir, la incorporación de oxígeno o aire al agua- contribuye al crecimiento bacteriano.

Después de los tratamientos anteriores continua el tratamiento avanzado, en este se ha logrado eliminar un 85% de los contaminantes de las aguas residuales y queda por eliminar los nutrientes que favorecen el crecimiento de la flora acuática (algas y lirios), como son el fósforo y el amoníaco que proviene del escurrimiento agrícola, de desechos humanos y del uso de detergentes. Estos son eliminados a través de materiales granulares de diversos tipos y tamaños, tales como arena fina y carbón a este método se le llama filtración. O desinfección que es la etapa final en la que se utilizan productos químicos como el cloro. La luz solar desinfecta el

agua de forma natural, por lo que se pueden usar luces especiales que emiten rayos ultravioletas. (INTERAPAS, 2014)

Al completar estos cuatro tratamientos el agua está lista para su reuso en diversas actividades o para regresar a la naturaleza sin causar daños ecológicos.

Las técnicas que ayudan en el proceso del tratamiento de aguas residuales son los **LODOS ACTIVADOS** que mezclan las aguas residuales con los microorganismos. Mediante la aireación los microorganismos pueden absorber oxígeno y comienzan a comer a los contaminantes. Después de unas horas las aguas residuales fluyen hacia un tanque de sedimentación donde los sólidos se sedimentan. Los **FILTROS PERCOLADORES** que distribuyen las aguas residuales sobre un lecho de material parecido a la roca, las airean y producen una capa de crecimiento biológico de bacterias, protozoos y hongos que comen a los contaminantes, eliminando la materia orgánica. O las **LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN**. En ellas los residuos se descomponen mediante diversos tipos de bacterias aeróbicas, que se comen a los contaminantes y consumen oxígeno mediante el proceso y anaeróbicas que comen a los contaminantes y liberan nitrógeno y fósforo que alimentan a las algas, las cuales a su vez reemplazan el oxígeno consumido por las bacterias aeróbicas. (INTERAPAS, 2014)

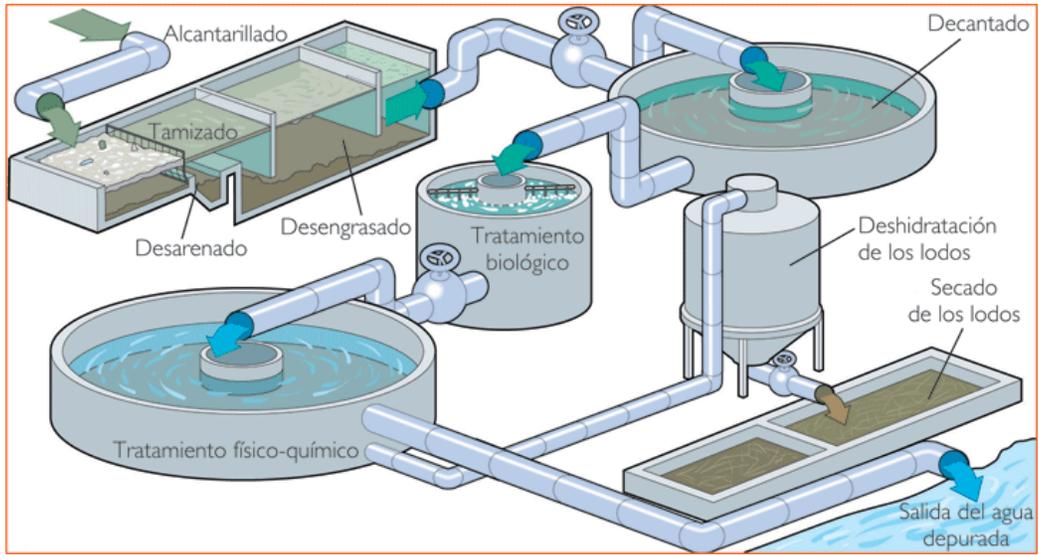


Figura 3 Esquema Proceso de Depuración de Aguas.

Fuente: www.kalipedia.com

Tabla 1 Cuadro comparativo de tipos de tratamientos biológicos de aguas residuales*

CUADRO COMPARATIVO DE TIPOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES		
TIPO DE TRATAMIENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Filtros Biológicos Biodiscos	Altas eficiencias remoción, 75% -85% sólidos en suspensión y microorganismos 95% -99%	Altos costos por obra civil, equipamiento y operación.
	Efluente parcialmente nitrificado	Producción de lodos inestables
	Efluente para reuso agrícola	Mayor capacitación para operadores
	Menos requerimiento de equipo electromecánico	
Lagunas de estabilización	Bajo costo por obra civil	Requiere grandes extensiones de terreno
	Bajo costo de operación y mantenimiento.	Puede despedir olores
	Capacitación nula de indeseables operadores.	Necesitan de sol y temperaturas constantes para tener un mejor desempeño
Lodos Activados	Altas eficiencias de remoción 85% - 95% sólidos en suspensión y microorganismos 98%-99.5%	Altos costos por obra civil y equipamiento
	Lodos parcialmente estabilizados	Alto costo de operación y mantenimiento
	Efluente parcialmente nitrificado	Mayor capacitación para operadores
	Fácil de estabilizar durante arranque	Requiere un área de depósito para los lodos residuales
	Remueve hasta 70 de % de sólidos y bacterias	Aun están en estado experimental
		Requiere una remoción periódica de exceso de material vegetal

* Fuente: (Couto, 2009).

Otro método dentro del proceso terciario, es la Desinfección de agua. Comúnmente se trabaja con el cloro ya que es el producto químico más utilizado para la desinfección de agua debido a su capacidad para inactivar bacterias y virus. Sin embargo, la presencia de impurezas orgánicas en el agua puede generar subproductos no deseados, tales como halometanos y otros compuestos cancerígenos; por estas razones se está estudiando la factibilidad de aplicar en ciertos casos tecnologías alternativas de desinfección de agua. Entre ellas se encuentra el uso de radiación ultravioleta de 254 nm, mediante lámparas.

Ya que la tecnología actualmente que se utiliza presenta como desventajas corrosivo, estrictas precauciones deben ser tomadas durante el manejo. Se evapora/ desintegra en contacto con aire, luz y altas temperaturas, corto período de conservación. En la comunidad científica se está trabajando con desinfección solar que es un proceso de fotocatalisis mediante TiO_2 , utilizando luz solar con longitudes de onda desde 290 hasta 400 nm, es mucho menos activo como germicida. Sin embargo, el efecto antibacterial ha sido demostrado en varios microorganismos, incluyendo *Escherichia Coli*, *Lactobacillus* *Streptococos*, etc., y también se ha informado la desinfección de virus tales como Phage MS2 y poliovirus. En todos los casos, la oxidación superficial inducida fotocatalíticamente produce una división entre la pared de la célula y la membrana, resultando en su desintegración y, por tanto, en la aniquilación de las bacterias existentes en el medio. (Julián Blanco Gálvez, Gasca, & R., 2010)

Para la comunidad científica, el Dióxido de titanio (TiO_2) ha sido un gran tema de interés para la desinfección de aguas y completar el proceso de regeneración del agua, ya que se ha convertido en el “catalizador más empleado para el proceso de fotocatalisis solar, ya que ha mostrado un buen desempeño a nivel de laboratorio pero se hace necesario mejorar sus propiedades de absorción de luz visible y su actividad fotocatalítica para posteriores desarrollo a escala industrial”. (Ramos & Tamayo, 2012)

El TiO_2 tiene muchos campos de aplicación, como es su empleo en sensores, celdas solares, superficies autolimpiables, agentes anticancerígenos, dispositivos electroquímicos y degradación de compuestos orgánicos (Shanqing Zhang, 2005).

La capacidad fotocatalítica de las nanopartículas de TiO_2 consiste en la generación de un par electrón-hueco en la superficie de la nanopartícula al ser irradiada por una longitud de onda adecuada. Los huecos generados oxidan moléculas adsorbidas a través de la formación de radicales hidroxilo ($\bullet\text{OH}$), mientras los electrones son atrapados por un oxidante, tal y como lo es el oxígeno disuelto en el agua.

Otra característica de las nanopartículas de TiO_2 es la capacidad de combinación con otros elementos. Se pueden introducir átomos (dopado) de otros elementos logrando con ello mejores propiedades del compuesto. Una de las ventajas del dopaje es la reducción del band-gap. El band-gap es la distancia teórica que separa la banda de valencia a la banda de conducción; al lograr esto en las nanopartículas de TiO_2 , se requiere menor energía de radiación para la formación del par electrón-hueco y tal energía se obtiene de la radiación solar (Rodríguez R. , 2010).

La radiación solar es medida por el índice UV, siendo un indicador de la intensidad de radiación UV proveniente del Sol en la superficie terrestre, 1 IUV es equivalente a $.025\text{W}/\text{m}^2$. Fue establecido por la Organización Mundial de la Salud junto con la Organización Meteorológica Mundial entre otros, un sistema estándar del IUV que puede verse en la Tabla 2.

Tabla 2 Interpretación del índice UV

CATEGORÍA DE EXPOSICIÓN	INTERVALO DE VALORES DEL IUV
BAJA	< 2
MODERADA	3 A 5
ALTA	6 A 7
MUY ALTA	8 A 10
EXTREMADAMENTE ALTA	11+

Una de las ventajas de la fotocátalisis solar es que no es selectiva con los contaminantes a tratar, lo cual permite que sea utilizada para tratar mezclas complejas de contaminantes. Por otro lado, la utilización de la radiación solar como fuente de energía, le otorga un importante y significativo valor medioambiental, el proceso constituye un claro ejemplo de tecnología sostenible.

Con este material, se ha reportado que el proceso de fotocátalisis solar, es posible llevarlo a cabo para la eliminación de microorganismos en efluentes ya tratados, dando oportunidad de ser utilizados en la agricultura.

II.2.1 Calidad del agua para riego

Según R. Mujeriego (2014), en su publicación “Manual Práctico de Riego con Agua Residual Municipal Regenerada. Calidad de un Agua de Riego”, el tipo de agua que se utilice como agua de riego tiene dos efectos importantes, a corto plazo influye en la producción y a largo plazo ciertas aguas pueden perjudicar el suelo. Sea cual fuere el origen del agua debe de cumplir la calidad que se exige a un agua de riego natural y únicamente en ciertas situaciones o para ciertas producciones pueden variarse los márgenes establecidos, siempre que no afecte las propiedades del suelo.

De acuerdo a la normativa en materia de agua, para ser utilizada, un agua tratada en riego de hortalizas de tallo corto o largo, se requiere un agua con características en su composición, de acuerdo se muestra en la Tabla 3. Y para que esta agua pueda estar en contacto directo o indirecto al ser humano, se deben de cumplir los lineamientos presentados en la Tabla 4.

Tabla 3 El límite máximo permisible para las descargas vertidas a suelo.*

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS, METALES PESADOS Y CIANUROS						
PARÁMETROS	RIOS		EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES		SUELO	
(miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	Uso en riego agrícola (A)		Uso en riego agrícola (B)		Uso en riego agrícola (A)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura °C (1)	N.A.	N.A.	40	40	N.A.	N.A.
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25
Materia Flotante (3)	ausente	ausente	ausente	ausente	Ausente	Ausente
Sólidos Sedimentables (ml/l)	1	2	1	2	N.A.	N.A.
Sólidos Suspendidos Totales	150	200	75	125	N.A.	N.A.
Demanda Bioquímica de Oxígeno,	150	200	75	150	N.A.	N.A.

Nitrógeno Total	40	60	40	60	N.A.	N.A.
Fósforo Total	20	30	20	30	N.A.	N.A.
Arsénico	0.2	0.4	0.2	0.4	0.2	0.4
Cadmio	0.2	0.4	0.2	0.4	0.05	0.1
Cianuros	1	3	2	3	2	3
Cobre	4	6	4	6	4	6
Cromo	1	1.5	1	1.5	0.5	1
Mercurio	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01
Níquel	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.5	1	5	10
Zinc	10	20	10	20	10	20

- (1) Instantáneo
(2) Muestra Simple Promedio Ponderado
(3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006

P.D.* Promedio Diario; P.M.= Promedio Mensual; N.A.= No es aplicable
A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

(Adecuada de NOM-001-ECOL-96)

FUENTE: Normas Oficiales Mexicanas (CONAGUA/SEMARNAT, 2014)

Tabla 4 Límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales tratadas*.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES					
TIPO DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes fecales NMP/100 ml	Huevos de helminto (h/l)	Grasas y aceites mg/l	DBO ₅ mg/l	SST mg/l
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	≥1	15	20	20
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1000	≤5	15	30	30

* FUENTE: (CONAGUA/SEMARNAT, 2014).

La presencia de aceites y grasas en el agua de riego impacta directamente al suelo, al producir un recubrimiento de los agregados del suelo, los que desarrollarán fenómenos hidrofóbicos que resultan en disminución de la capacidad de infiltración y almacenaje de agua para las plantas.

La presencia de aceites y grasas en el agua de riego también puede producir una disminución de la capacidad de intercambio catiónico incidiendo en la fertilidad del suelo (División de Recursos Hídricos y Medio Ambiente, 2005) ,y es por esa razón que se tiene en cuenta la medición de estos antes de poner el invernadero.

II.3 Invernadero

Un invernadero se define como el área delimitada por una estructura de madera o metal, recubierta por vidrio o cualquier material plástico de naturaleza transparente, que tiene por objeto reproducir o simular las condiciones más adecuadas de diferentes especies de plantas (Castellanos, 2004).

Dentro de estas plantas, están la lechuga que es considerada la hortaliza de hoja por excelencia, dada su alta calidad culinaria como ensalada fresca. Se cultiva en todo el mundo bajo diferentes sistemas de cultivo, al aire libre y bajo invernadero, en suelo y también en hidroponía (Carrasco, 1997).

También es contemplada a la zanahoria, ésta es una hortaliza cuya raíz es muy apreciada por su alto contenido en caroteno o provitamina A (por oxidación de este pigmento se transforma en vitamina A), muy beneficioso para la visión y la hemoglobina de la sangre.

Y por último la espinaca, una hortaliza que tiene como producto sus hojas, su cultivo se realiza todo el año en terrenos fértiles, posee buena estructura física y es de reacción química equilibrada, considerada como un excelente recurso natural de vitaminas, fibras y minerales, rica en fitonutrientes, especialmente el beta-caroteno y la luteína, convirtiéndola en una hortaliza con propiedades antioxidantes que nos protegen del daño celular. Sus tallos son más ricos en fibra que las hojas. (Natureduca es un Portal Educativo de Ciencias Naturales y Aplicadas, 2015)

Cada una de estas hortalizas requiere climas y edáficos específicos. Es decir con respecto a la temperatura, ésta depende de las necesidades de la variedad vegetal específica. Si cultivas plantas de interior o al aire libre, proporcionarles la mejor temperatura alienta a un exuberante follaje, abundante floración y fructificación adecuado en su caso. (Harrington, 2015)

La mayoría de las semillas germinan a temperaturas entre 20 y 30 °C. Las plantas que crecen mejor en temperaturas frías usualmente brotan a temperaturas en el extremo inferior de este rango, mientras que las plantas de clima cálido, como la mayoría de las hortalizas de verano, germinan en el extremo superior de este rango de temperatura. Una vez germinadas, la mayoría de las plántulas están mejor a una temperatura igual o ligeramente inferior a la temperatura de germinación (Harrington, 2015).

Los vegetales se pueden clasificar de acuerdo a estaciones frías o calientes. Las verduras de estación cálida incluyen tomates, pimientos y calabazas, mientras que las plantas de estación fría son el brócoli, la lechuga y las espinacas. Las verduras de estación cálida no toleran heladas y se desarrollan mejor cuando las temperaturas diurnas se mantienen entre 21 y 35 °C. Se puede observar los requerimientos óptimos de temperatura para la zanahoria (Figura 4A), espinaca (Figura 4B), y lechuga (Figura 4C). Las temperaturas más altas o más bajas pueden inhibir la floración y fructificación o provocar la muerte de la planta. Las verduras de temporada fría a menudo dejan de producir y se van a sembrar una vez las temperaturas suben por encima de 15 a 26 °C. Estas plantas toleran bajas temperaturas por tiempos cortos. (Harrington, 2015)

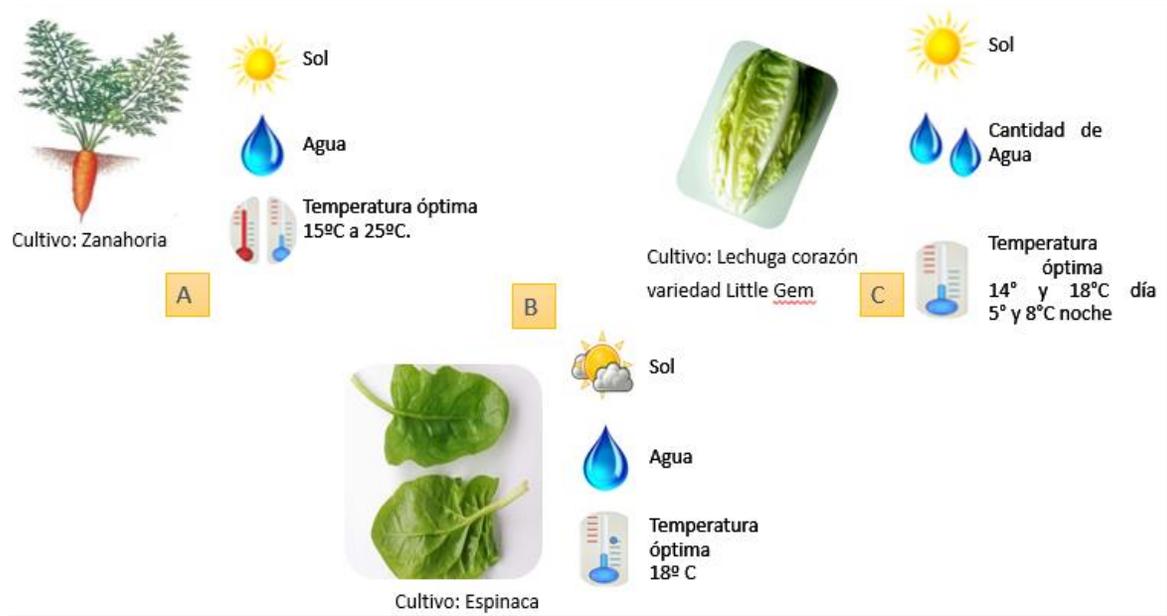


Figura 4 Requerimientos de las hortalizas

Otras de las condiciones climáticas a tomar en cuenta es la radiación solar, la cual es la fuente de energía usada por las plantas en el proceso de fotosíntesis mediante el cual producen materia vegetal creciendo y desarrollándose. Parte de esta materia vegetal es el producto cosechable del cultivo (sea fruto, hoja, tallo o raíz). Por lo cual, existe una relación directa entre la cantidad de radiación solar que un cultivo ha recibido (suele medirse en horas de sol o su equivalente a Watts-hora) y la cosecha que podemos obtener de él (Hernández, Escobar, & Castilla, 2001).

La productividad del cultivo de las lechugas, así como su color, sabor y textura, depende en gran parte de una alta luminosidad solar (Malatay & Alonso., 2012). La zanahoria es un cultivo insensible a la duración del día, sin embargo requiere de una buena iluminación, la cual será modificada según la densidad de siembra y el sistema de poda. Con respecto a la espinaca, están las condiciones de iluminación y temperatura que influyen decisivamente sobre la duración del estado de roseta (etapa de producción de las hojas), el estado de roseta se ve acelerado y pasa a la floración si, se encuentra expuesto a la luz diurna por más de 14 horas y temperaturas elevadas.

La humedad relativa, es otra condición climática a tomar en cuenta, para que los vegetales como lechuga y espinaca crezcan y se desarrollen, ésta oscila entre el 60 y 80%, únicamente para la zanahoria se varía entre 70 y 80% aunque en determinados momentos humedades relativas menores del 60% se consideran adecuadas.

En relación a la humedad del sustrato, es necesario incidir en que el sistema radical de la lechuga es muy reducido en comparación con la parte aérea, por lo que es muy sensible a la falta de humedad, soportando mal un periodo de sequía, aunque éste sea muy breve. Por ello, se hace necesario que las raíces siempre estén sumergidas en el agua en recirculación; sin embargo se debe tomar en cuenta la posible aparición de enfermedades fúngicas **(Cazorla, 2011)**.

Dentro de las condiciones de invernadero, también se toma en cuenta el potencial de hidrogeno (pH) para que las raíces puedan absorber los nutrientes. Éstos deben estar disueltos, si el pH es ácido o demasiado básico, los nutrientes pueden precipitar formando pequeños cristales, incapacitando a las plantas para su absorción. Las diferentes especies vegetales necesitan diferentes niveles de pH para realizar una correcta absorción de los nutrientes, el nivel óptimo se encuentra aproximadamente entre 6 y 7 **(A.H.M.A.C., 2008)**.

Para conocer el desarrollo y madurez de las hortalizas se utiliza como medición indirecta el contenido de clorofila y la absorción de nitrógeno correlacionándose con las unidades SPAD en diversas condiciones ambientales como la intensidad luminosa, temperatura, humedad relativa, plagas, densidad de población y fuente de nitrógeno. (Hiderman, 1992).

Con un modelo reciente del detector de clorofila SPAD-502, Turner y Jund (1991), demostraron que la unidad SPAD es un valor proporcional al contenido de

nitrógeno en plantas. Los valores SPAD se basan en el principio de que parte de la luz que llega a la hoja es absorbida por la clorofila y el resto que se refleja entra en contacto con la celda detectora del SPAD-502 y es convertida en una señal eléctrica. La cantidad de luz captada por la celda es inversamente proporcional a la cantidad de luz utilizada por la clorofila, la señal es procesada, y la absorbancia es cuantificada en valores dimensionales que van de 0 a 199, por lo que las unidades SPAD serán siempre las mismas de acuerdo con el tono verde de las hojas (D Miles, 1994).

El color verde es predominante en los vegetales e indica la presencia de dos pigmentos estrechamente emparentados llamados clorofila a y clorofila b, que se encuentran prácticamente en todas las plantas con semilla, helechos, musgos y algas.

Para controlar calidad del producto de un cultivo en condiciones de invernadero, se ha mostrado que el uso de diseño de experimentos puede proporcionar datos para disminución de mal uso de recursos y maximización de producto de cosecha.

II.4 Diseño de Experimentos

El diseño experimental tiene sus orígenes en los trabajos de Ronald Fisher (1890-1962), desarrollados en la Estación Agrícola Experimental de Rothamsted, en el Reino Unido, donde introdujo el concepto de aleatorización y el análisis de varianza. A lo largo de varias décadas, la teoría del diseño de experimentos y sus aplicaciones se consolidó y expandió, además, en años recientes, recibieron un fuerte impulso por las contribuciones de Genichi Taguchi, un estadístico japonés ampliamente conocido en Occidente. El diseño experimental estudia procesos. Puede considerarse a un proceso como una caja negra a la cual ingresan diversas variables que interactúan para producir un resultado. Las variables que ingresan al proceso se denominan variables de entrada, y el resultado, variable de salida. El nivel de la variable de salida depende de los niveles que adopten las variables de

entrada, y los gerentes y técnicos se benefician al saber qué combinación de variables de entrada produce la variable de salida óptima (Montgomery, 2008).

Un proceso o sistema puede ser representado por medio de una caja negra (Ver Figura 5), en la cual se puede observar la existencia de factores controlables X_1, X_2, \dots, X_i ; factores no controlables Z_1, Z_2, \dots, Z_i (aunque pueden ser controlables para los fines del experimento); entradas y una respuesta o salida Y del sistema. Entre los objetivos del experimento pueden incluirse:

- Determinar cuáles variables (factores) tienen mayor influencia en la respuesta Y .
- Determinar el mejor valor de las X que influyen en Y , de manera que Y tenga casi siempre un valor cercano al valor deseado.
- Determinar el mejor valor de las X que influyen en Y de modo que su variabilidad sea pequeña.
- Determinar el mejor valor de las X que influyen en Y , de modo que se minimicen los efectos de los factores no Controlables Z .

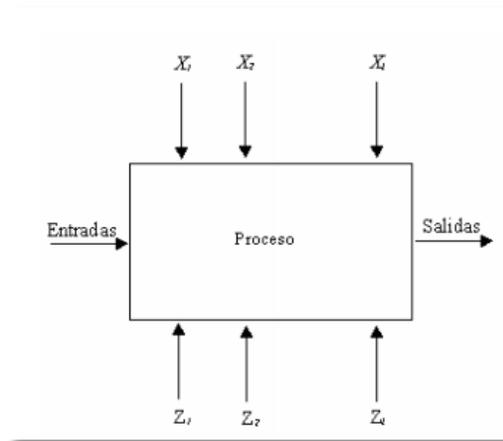


Figura 5 Esquema de un proceso

La búsqueda de combinaciones óptimas de las variables de entrada da lugar al diseño experimental, que es una prueba (o un conjunto de pruebas) durante la cual se realizan cambios sistemáticos y controlados a las variables de entrada para medir el efecto sobre la variable de salida. El diseño experimental utiliza

técnicas como la regresión múltiple, la respuesta superficial y varias extensiones del análisis de varianza (Yacuzzi, Martín, Quiñones, & Popovsky., 2004).

Debido a que el experimento se realizó bajo condiciones de invernadero, el mejor diseño experimental por el que se optó fue un Diseño Factorial General, en donde se minimizará el efecto de los factores de ruido, y ver cómo afectan a la respuesta, para obtener un diseño donde la variación causada por los factores de ruido sea mínima.

II.4.1 Diseño Robusto

El objetivo principal de un diseño robusto es hacer que un proceso sea insensible a los factores de ruido. Un primer paso para lograr esto, es identificar factores de control y factores de ruido que estén involucrados en el proceso. Luego, el diseño robusto de parámetros intenta hacer los procesos insensibles al ruido a través de la elección apropiada de los niveles para los factores de control.

El diseño robusto de parámetros ha sido reconocido como una herramienta importante para la mejora de calidad, que por lo general es una herramienta que no incrementa los costos al elegir los niveles adecuados de los factores de control.

El diseño robusto de parámetros puede ser bien aplicado a los sistemas señal- respuesta (sistemas con característica dinámica). Esto se debe a que, además de la relación de un factor señal y la respuesta, el proceso depende tanto de factores de control como de factores de ruido (Rodríguez F. M., 2012).

II.4.2 Diseño Factorial

Un diseño factorial es el tipo de experimento diseñado que permite estudiar los efectos que varios factores pueden tener en una respuesta. Al llevar a cabo un experimento, variando los niveles de todos los factores al mismo tiempo en lugar de uno a la vez le permite estudiar las interacciones entre los factores. (MINITAB, 2015)

El diseño ocupado es un diseño factorial completo que en el que los se pueden medir las respuestas a todas las combinaciones de los niveles de los factores. Minitab ofrece dos tipos de diseños factoriales completas:

-2 niveles diseños factoriales completos que contienen sólo 2 factores de nivel.

-diseños factoriales completos generales que contienen factores con más de dos niveles. (Utilizado)

Conceptos generales:

FACTOR.- Es un conjunto de tratamientos de una misma clase o característica. Ejemplo: tipos de riego, dosis de fertilización, variedades de cultivo, manejo de crías, métodos de enseñanza, tipos de liderazgo, tipos raciales, etc.

FACTORES CUANTITATIVOS.- Son aquellos factores cuyos niveles son cantidades numéricas.

FACTORES CUALITATIVOS.- Son aquellos factores cuyos niveles son procedimientos, o cualidades o atributos.

FACTORIAL.- Es una combinación de factores para formar tratamientos.

NIVELES DE UN FACTOR.- Son los diferentes tratamientos que pertenecen a un determinado factor. Se acostumbra simbolizar algún elemento "i" por la letra minúscula que representa al factor y el valor del respectivo subíndice.

INTERACCIÓN.- Es el efecto combinado de dos o más factores. Es la combinación de dos o más variables independientes para generar un efecto diferente al que ellos tienen cuando actúan independientemente.

II.4.2.1 Diseños con dos o más factores:

En algunas ocasiones se está interesado en estudiar la influencia de dos (o más) factores tratamiento, para ello se hace un diseño de filas por columnas. En este modelo es importante estudiar la posible interacción entre los dos factores. Si en cada casilla se tiene una única observación no es posible estudiar la interacción entre los dos factores, para hacerlo hay que replicar el modelo, esto es, obtener k observaciones en cada casilla, donde k es el número de réplicas. El modelo matemático de este diseño es:

$$y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + U_{ijkl} \dots \text{Ecuación (1)}$$

$i = 1, 2, \dots, a; j = 1, 2, \dots, b; k = 1, 2, \dots, c; l = 1, 2, \dots, r$

II.4.3 Diseño óptimo

Un diseño óptimo es un grupo de las "mejores" corridas o puntos de diseño seleccionados al reducir o aumentar el número de corridas experimentales en el diseño original. Se utiliza para reducir la cantidad de corridas necesarias para llevar a cabo el experimento.

D-optimal y la optimalidad pueden ser utilizados para determinar un diseño óptimo para factorial, de superficie de respuesta, o experimentos de mezcla. Si se usa estos criterios para reducir o aumentar un diseño depende de sus recursos disponibles, como el tiempo, equipos, personal y dinero. (MINITAB, 2015)

II.5 Evaluación de un sistema de medición.

Es el grupo de instrumentos, estándares, operaciones, métodos, dispositivos, software, personal, medio ambiente y supuestos utilizados para cuantificar una unidad de medida o valoración determinada al rasgo de la característica medida; proceso completo utilizado para obtener mediciones.

En cualquier problema que involucre mediciones, algunas de las variaciones observadas son debidas al proceso y otras son debidas al error o variación en los sistemas de medición.

Para la obtención de pruebas que demuestren que el modelo es lo suficientemente fiable para asegurar que el resultado obtenido corresponde a la realidad y que se reduce al máximo los errores del sistema de medición, se utilizarán algunos de los criterios fundamentales del Análisis del Sistema de Medición, tales como: la precisión, la exactitud, la linealidad, repetibilidad y reproducibilidad.

II.5.1 Calidad de mediciones.

Las mediciones son muy importantes, pues con base en ellas se evalúa el desempeño de las mismas, de sus equipos, de su gente, y se toman decisiones importantes y a veces costosas. Toda medida está sujeta a error (Escalante, 2003).

Parte de la variabilidad observada en el producto se debe a la variabilidad de las mediciones y no a la variabilidad propia del producto. Sin embargo, las mediciones se pueden pensar a su vez como el resultado de un proceso, el cual es influido por causas del mismo tipo que afectan al proceso de producción. Es importante entender que cualquier proceso de medición genera un error, lo que se traduce en que la variación total observada en unos datos es el resultado de la variación propia del producto más el error del proceso de medición. Las fuentes principales que contribuyen al error del proceso se muestran en la Figura 6 (Gutiérrez y De la Vara, 2009).

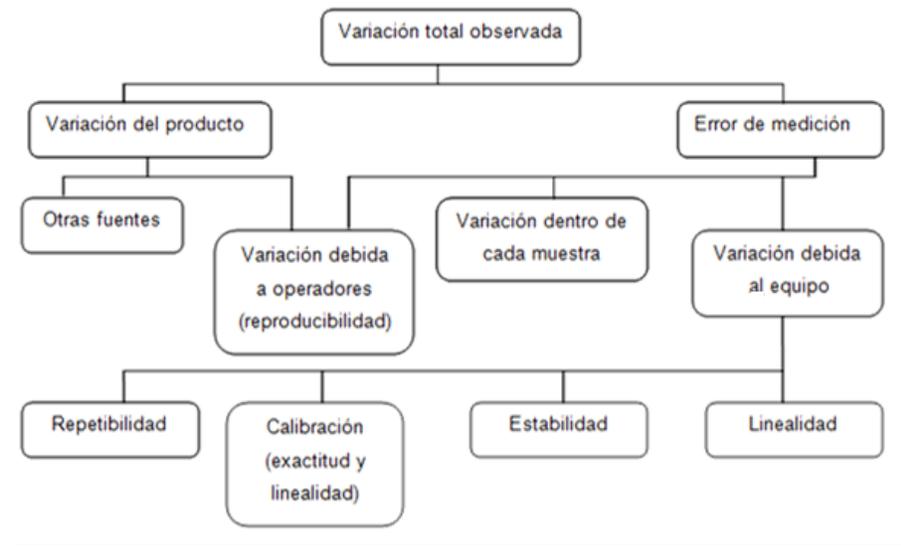


Figura 6 Fuentes de variabilidad en las mediciones
(Referencia: Gutiérrez y De la Vara, 2009).

Métodos para la determinación de R&R

Los métodos aceptables para la determinación de estudios de repetibilidad y reproducibilidad se basan en la evaluación estadística de las dispersiones de los resultados, ya sea en forma de rango estadístico (= valor máximo – valor mínimo) o su representación como varianzas o desviaciones estándar, estos métodos son:

- Rango, • Promedio y Rango, • ANOVA (análisis de varianza) (León, 2012)

ANOVA (análisis de varianza)

Las ventajas de la técnica de ANOVA comparada con el método de Promedio y Rango son:

- Es posible estimar las varianzas más exactamente.
- Se obtiene mayor información de los datos experimentales.
- Permite conocer la interacción entre la repetibilidad y la reproducibilidad.
- Condición (León, 2012)

A los resultados obtenidos se les realizó un análisis de varianza ($p < 0.05$) utilizando el programa Minitab versión 16.0 para Windows®. Para determinar diferencias significativas en cada uno de los parámetros a medir.

El análisis de la varianza permite contrastar la hipótesis nula de que las medias de K poblaciones ($K > 2$) son iguales, frente a la hipótesis alternativa de que por lo menos una de las poblaciones difiere de las demás en cuanto a su valor esperado. Este contraste es fundamental en el análisis de resultados experimentales, en los que interesa comparar los resultados de K 'tratamientos' o 'factores' con respecto a la variable dependiente o de interés.

Para evaluar las diferencias entre las medias, se deben comparar estas diferencias con la dispersión de las observaciones alrededor de las medias. Esto es exactamente lo que hace un análisis de varianza.

III. METODOLOGÍA

La investigación corresponde a un estudio de tipo experimental, retrospectivo parcial, longitudinal, descriptivo, observacional y por tanto no se condicionó al diseño experimental tradicional.

III.1 Planeación

Se realizó un diagrama de flujo, el cual ayudó a identificar un proceso, el cual fue llevado a cabo siguiendo paso a paso las especificaciones del trabajo ejecutado.

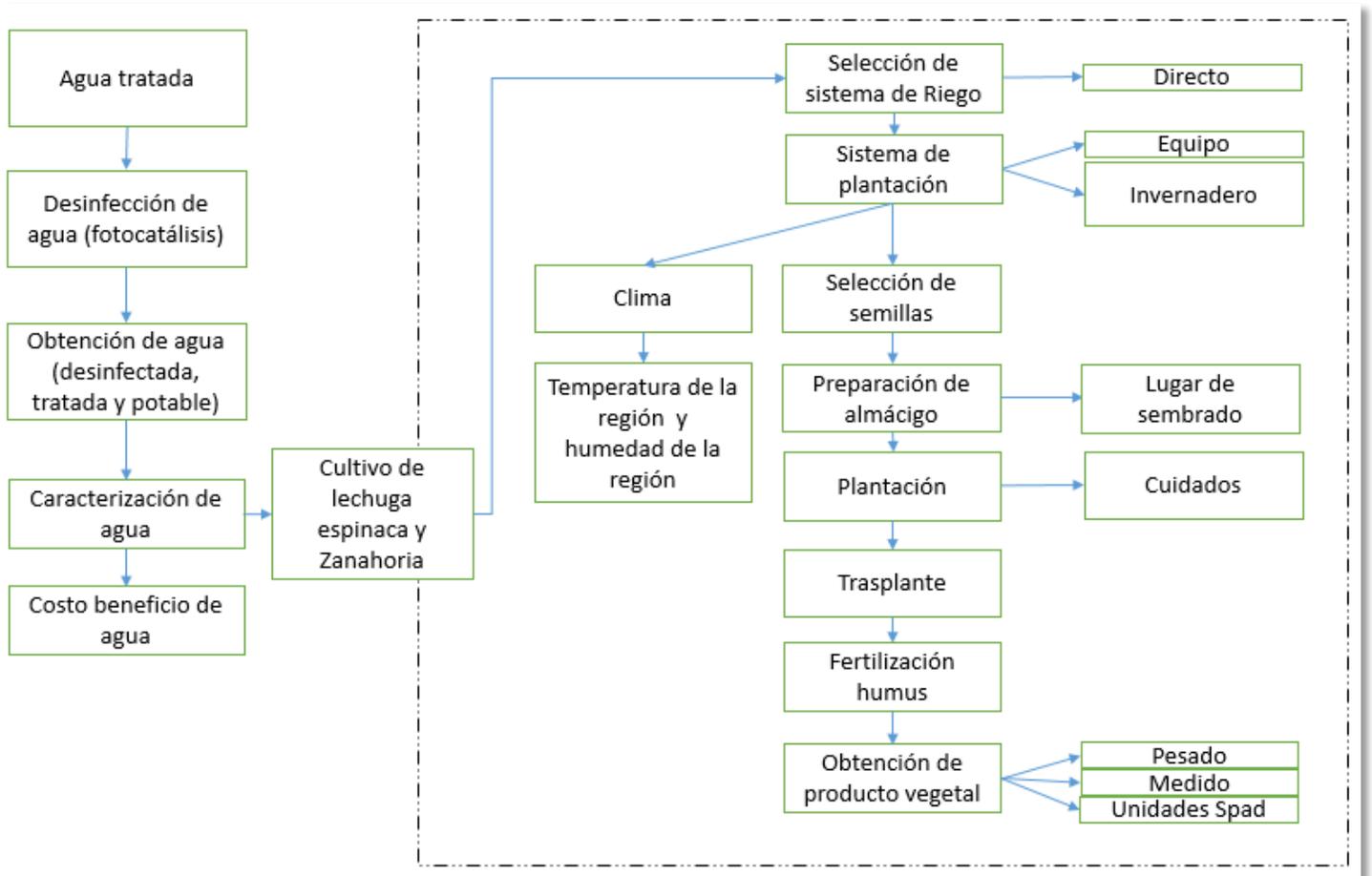


Figura 7 Diagrama de flujo

El presente trabajo se llevó a cabo en la Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Aeropuerto ubicado en la Carretera a Chichimequillas, Ejido Bolaños, Querétaro, Qro. C.P. 76140 (Teléfono 1921200 Ext: 65401)



Figura 8 Ubicación del Campus. Google Maps

En la Figura 9 se puede apreciar la distribución del área designada, donde se puede trabajar adecuadamente gracias a que no hay gran cantidad de ingreso y egreso de personal, las condiciones de trabajo son: diferentes accesos, iluminación natural, ventilación. Además de una cercanía con la planta de tratamiento para la obtención del agua y la oportuna ubicación para poder montar el reactor de desinfección de agua.



Figura 9 Layout de proyecto elaborado con floorplaner.

Se realizó un diseño de como se observa cada una de las estaciones de trabajo (Figura 10) antes descritas.



Figura 10 Distribución de proyecto, elaborado con floorplaner

Partiendo de la experiencia obtenida en el invernadero y con lo investigado en la literatura, se aplicó la metodología de diseño robusto para explorar los valores óptimos del proceso de producción hortícola bajo invernadero. Los factores que fueron analizados durante las pruebas de diseño robusto se presentan de manera esquemática en el diagrama de parámetros de la Figura 11.



Figura 11 Diagrama de parámetros para las hortalizas.

Los factores de control, como se muestra en la Figura 11 son factores que se pueden controlar para optimizar el proceso. En este caso se tomaron los siguientes:

- **Tipo de suelo:** Tierra negra y arena
- **Tipo de agua:** Agua potable, Agua residual tratada, Agua Desinfectada
- **Tipo de Hortaliza:** Lechuga (*Lactuca sativa*) variedad Little Gem, Espinaca (*Spinacia oleracea*) variedad Virofly y Zanahoria (*Daucus carota*), variedad Nantes

Los factores de ruido son factores que pueden afectar el funcionamiento de un sistema, pero que no están bajo control durante el uso previsto del producto. Los que se mencionan a continuación se toman como factores de ruido porque son elementos que solo se puede reportar sus datos y no se tiene control sobre ellos:

-Temperatura (°C): Temperatura recomendada por la Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) es de 0-2°C para lechuga, espinaca y zanahoria (FAO, 2013).

-Humedad Relativa (%): La humedad relativa óptima para el desarrollo de la zanahoria y la espinaca oscila entre 95 y 100%, mientras la lechuga debe estar 98-100%, estos datos de acuerdo a el departamento de agricultura (FAO, 2013). Se censó la temperatura y humedad relativa dentro del invernadero haciendo uso de un Termo-higrómetro (Figura 12) que en cuanto a Temperatura tiene una resolución de 0.1°C y en el sensor de humedad 1% HR de serie VA-EDT-1-55.



Figura 12 Termo-higrómetro

-Potencial de Hidrógeno (pH): Para que las raíces puedan absorber los nutrientes, el pH para realizar una correcta absorción de los nutrientes, el nivel óptimo se encuentra aproximadamente entre 5,8 y 6,5 (A.H.M.A.C., 2008).

-Radiación (watts/m²): El valor de IUV fueron obtenidos en el sitio oficial de Condiciones meteorológicas del Campus Juriquilla, Querétaro. Para así considerar una referencia sobre la radiación solar proporcionada al sistema de desinfección.

-Unidades Spad: Las unidades SPAD (Soil Plant Analysis Development) se registraron con el equipo Minolta SPAD 502 (Figura 13a) mide la concentración relativa de clorofila por medio de la luz transmitida a través de la hoja (Anexo 1).



Figura 13 Medidor de Clorofila SPAD-502Plus

Las medidas se toman simplemente insertando una hoja y cerrando el cabezal de medida. No es necesario cortar la hoja, así que la misma hoja puede medirse varias veces durante todo el proceso de crecimiento. El área de medida es de 2 x 3 mm., lo que permite medir incluso en hojas muy pequeñas. Se incluye un topo deslizante de profundidad para colocar las hojas a examinar (Figura 14).

En cada recipiente se seleccionaron tres hojas de características similares. Los resultados se sumaron y se obtuvieron las medias de tres mediciones por repetición biológica.

III.2 Tratamientos a experimentar (agua)

III.2.1 Agua residual tratada

El agua residual se obtuvo de la cisterna de la planta de tratamiento del edificio multidisciplinario, se observa en la Figura 9 su ubicación. El proceso biológico de tratamiento del agua residual consistió en la aplicación de lodos activados para la remoción de materia orgánica y algunos compuestos orgánicos provenientes de los laboratorios del edificio académico multidisciplinario.

Una vez que el agua fue tratada por un lapso de 8 horas, se evaluó la calidad del agua de salida mediante la medición de sólidos, grasas y aceites y presencia de coliformes totales y fecales. El agua residual tratada tiene un costo aproximado de **\$50** el m³ lo que convierte que el litro esté en \$0.05.

En la Figura 14 se puede observar la distancia que existe entre la planta de tratamiento y la cisterna a donde llega el agua y de donde se obtuvo esta para el desarrollo del proyecto.



Figura 14 Cisterna de agua tratada y Planta tratadora de aguas.

El agua que se empleó para el riego de hortalizas y que se usó para la desinfección por fotocátalisis se obtuvo de esta cisterna Figura 15, que fue tratada por la planta # 4 del campus aeropuerto.



Figura 15 Cisterna del agua tratada

III.2.2 Agua desinfectada

El proceso de fotocátalisis solar del agua tratada se llevó a cabo en un reactor de serpentín de vidrio, anclado a un sistema de bombeo para la recirculación y un tanque de almacenamiento como se muestra en la Figura 16 B.

El agua tratada utilizada maneja una relación de 500 mg de fotocatalizador (TiO_2) por litro de agua, dispersado mediante agitación por recirculación en condiciones de oscuridad por un lapso de 30 min antes de la exposición a la radiación solar, un pH de 6.23 y el sistema fue iluminado durante 3 horas, de entre 12:00 a 15:00 horas donde para la ciudad de Santiago de Querétaro, Qro. un día de primavera que representa una radiación UV de entre 10 y 11 IUUV.

A intervalos de tiempo de irradiación dado y después de 3 h de reacción total, se tomaron las muestras para la comprobación de la eliminación de microorganismos patógenos. Esta agua se calcula su costo aproximado de \$100 por m^3 lo que representa \$0.1 por litro.

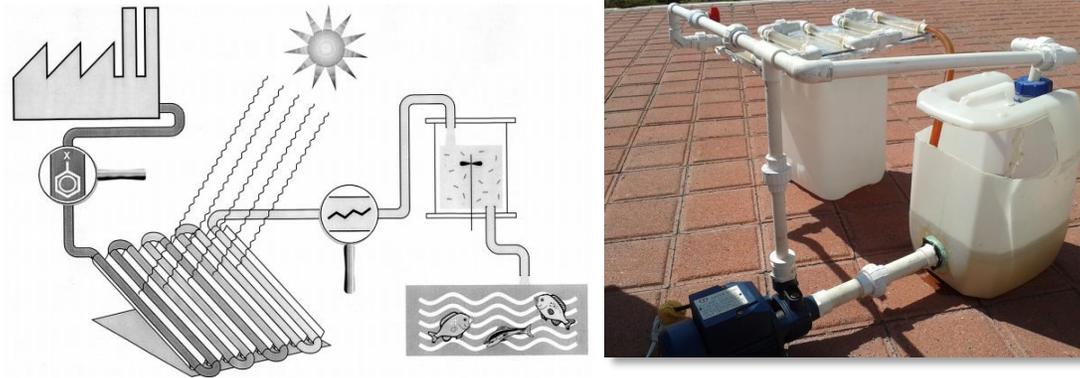


Figura 16 (A) Esquema conceptual de acoplamiento entre las tecnologías de fotocátalisis (solar) y de tratamiento. Referencia: **(Spivey, 1999)**. **(B)** Reactor dónde se realizó la desinfección de agua.

III.3 Caracterización Físicoquímica y biológica en los tipos de agua, tratada y desinfectada.

Se midió la conductividad y pH en un vaso de precipitado de 250 ml. Se colocó una alícuota de un muestra de agua residual y desinfectada en distintos recipientes, se introdujo el medidor de conductividad hasta la altura donde está la marca del electrodo y se dispuso a tomar l amuestra en microsiemens y este mismo procedimiento se repitió para el electrodo para pH.

El parámetro de demanda biológica de oxígeno (DBO_5), se obtiene mediante una prueba estándar, y mide la cantidad de oxígeno utilizado para la biodegradación de materia orgánica e inorgánica contenida en una muestra. La prueba se llevó a cabo en el laboratorio multidisciplinario por la Dra. Karen Esquivel quien nos reportó los resultados de la muestra.

Los sólidos sedimentables indican la cantidad de material que sedimenta de una muestra en un período de tiempo. Pueden ser determinados y expresados en función de un volumen (mL/L) o de una masa (mg/L), mediante volumetría y gravimetría respectivamente. Para obtenerlos se hizo uso del cono Imhoff, se llenó evitando verter la muestra por las paredes del cono, hasta la marca de 1 L, se dejó sedimentar por 45 minutos, se removieron de las paredes del cono con una varilla

agitadora en caso de que hubiera sólidos, se dejó sedimentar 15 minutos más y se anotó el volumen de sólidos sedimentables como mL/L

Para esta extracción de **grasas y aceites** se preparó un matraz de bola (250ml) del equipo soxhlet introduciéndolos a la estufa a una temperatura de 103°C - 105°C, enfriar en desecador y pesarlos, repetir el procedimiento hasta obtener el peso constante de en el matraz y en el papel filtro, me tomó el peso inicial del papel filtro y del matraz de bola. Después se preparó el material filtrante colocando un papel filtro en el embudo Büchner, colocar el embudo en un matraz Kitazato y agregar 100 mL de la suspensión, aplicar vacío, se colocó el equipo Soxhlet.

Se colocó el equipo sobre la parrilla de calentamiento, se conectó el agua de enfriamiento, se encendió la parrilla y se colocó a una temperatura aproximada de 110°C, al dar la primera vuelta el hexano por el equipo se esperó hasta que el matraz de bola con la grasa quedara libre de disolvente se procedió a colocar en el desecador hasta que alcanzó la temperatura ambiente y se pesó el matraz para determinar la concentración de grasas y aceites recuperables.

III.3.1 Análisis bacteriológicos: Coliformes totales y fecales

PRUEBA PRESUNTIVA

Se llevó a cabo el cálculo para preparar las soluciones de caldo lactosado y Lauril Sulfato se consideró lo siguiente:

- Caldo Lactosado:(3 tipos de agua) (5 diluciones) (3 repeticiones) (10 ml por tubo de solución de caldo) se obtuvo que eran necesarios 450 ml de caldo lactosado y para obtenerlo se requerían 5.85g del reactivo.
- Lauril Sulfato:(3 tipos de agua) (5 diluciones) (3 repeticiones) (10 ml por tubo de solución de caldo) se obtuvo que eran necesarios 450 ml de solución de caldo Lauril Sulfato y para obtenerlo se requerían 16.02g del reactivo.

Los caldos se elaboraron con 450 ml agua destilada estéril y la cantidad de cada uno de los reactivos mencionados anteriormente y se colocaron a esterilizar en un autoclave 120°C, entre 15-20 psi de presión durante 15 minutos. Al mismo tiempo se esterilizaba agua destilada la cual se usaría para realizar las diluciones.

Todas las operaciones fueron efectuadas en absolutas condiciones de ausencia de gérmenes.

Para preparar las diluciones, se usó una pipeta estéril con una muestra de 1 mL de la muestra original y llevarlo a uno de los frascos conteniendo 9 mL de agua de dilución estéril, obteniendo de esta manera una dilución de 10^{-1} , se procedió a agitar el frasco de la dilución 10^{-1} y con otra pipeta estéril tomar una parte proporcional de 1 mL y llevarlo a otro frasco con 9 mL de agua de dilución estéril para obtener una dilución de 10^{-2} . (Figura 17)

Para la preparación de las diluciones a utilizar en las pruebas, para cada una de las muestras (A. tratada, A. desinfectada y A. potable) se realizaron diluciones de 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} y 10^{-5} .



Figura 17 Preparación de diluciones.

Y se continuo de la misma manera hasta obtener una dilución de 10^{-5} las marcamos para no confundir, se prosiguió a Inocular asépticamente con 1 mL de muestra por triplicado, tubos de fermentación conteniendo caldo lactosado y caldo lauril sulfato, a partir de las últimas 5 diluciones.se colocaron en la incubadora todos los tubos a una temperatura de 35 °C durante 24horas.Después de 24 horas de incubación efectuar una primera lectura para observar si hay tubos positivos, es decir, con producción de ácido, si el medio contiene un indicador de pH, turbidez y producción de gas en el interior de la campana Durham. Figura 18

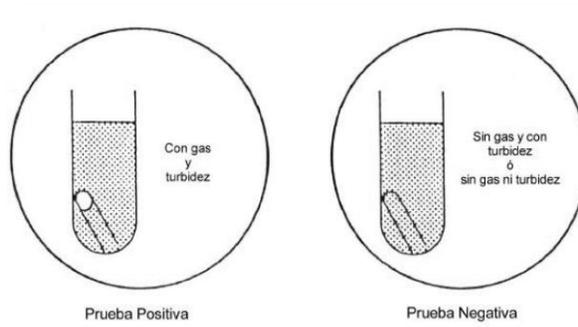


Figura 18 Evaluación de pruebas presuntivas y confirmativas en la determinación de Coliformes Totales y Fecales

Referencia: (Coliformes totales y fecales en agua de consumo humano, 2007)

Al revisar las campanas Durham antes de proceder a la inoculación se desecharon aquellos tubos cuyas campanas contengan burbujas de aire, los tubos que en la primera lectura dieron positivos, se continuó a hacer las pruebas confirmatorias para coliformes totales y coliformes fecales. En el caso de no apreciarse crecimiento en el resto de los tubos, continuó en incubación 24 horas más y se hace la lectura final. Si pasadas 48 h tampoco se aprecia crecimiento ni producción de gas, los tubos se tomaron como negativos.

Prueba confirmativa de microorganismos coliformes totales

A partir de cada uno de los tubos que han resultado positivos en la prueba presuntiva, agitándolos previamente para homogeneizar, se transfirieron de 2 asadas de cada tubo, a tubos que contiene caldo de bilis verde brillante, con su respectiva campana de Durham. se colocaron en la incubadora a $35 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 48 horas. Después se registraron como positivos aquellos tubos en donde se observe turbidez (crecimiento) y producción de gas después de un período de incubación de 48 horas. Y para finalizar se consultó la Tabla 5 de NMP para conocer el número más probable de organismos coliformes totales/100mL para todas las pruebas tanto presuntivas como confirmativas.

En la Figura 19 se puede observar como se tiene que ver el caldo de bilis verde brillante despues de salir del autoclave.



Figura 19 Tubos con caldo de bilis verde brillante.

Figura 20 se describe de manera visual los pasos 1 y 2 de la Prueba confirmativa de microorganismos coliformes totales.

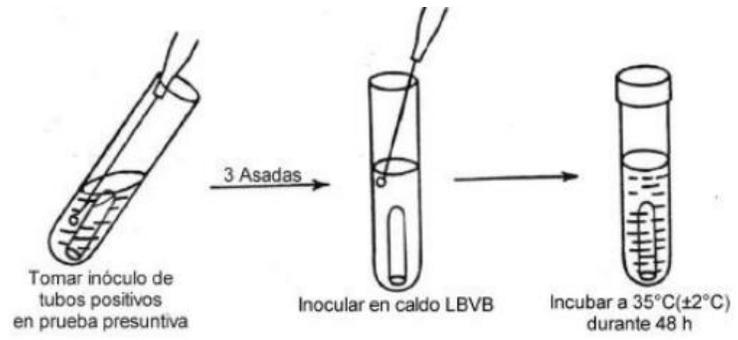


Figura 20 Prueba confirmativa de microorganismos coliformes totales

Referencia: (Coliformes totales y fecales en agua de consumo humano, 2007)

Prueba confirmativa de microorganismos coliformes fecales

Se transfirieron de 2 asadas de cada tubo positivo obtenido durante la prueba presuntiva a tubos con caldo EC, se agitó suavemente los tubos para su homogeneización. Se colocaron en la incubadora a $44.5 \pm 0.1^\circ\text{C}$ en incubadora durante 48 horas. Se registraron como positivos todos los tubos en donde se observe crecimiento y producción de gas después de un período de incubación de 24 y 48 horas. En la Figura 21 se puede observar como se tiene que ver el caldo EC al salir del autoclave.



Figura 21 Tubos con caldo EC.

Para el cálculo de los medios se toman en cuenta las concentraciones, los números de repeticiones y la cantidad de medios.

En la Tabla 5 se muestra el índice del Número Más Probable (NMP) y límite confiable de 95% para varias combinaciones de resultados positivos y negativos cuando se usan: 5 tubos con porciones de 10 cm³ en cada uno, 5 con porciones de 1 cm³ y 5 con porciones de 0.1 cm³.

Tabla 5 Índice del NMP porciones de 5.

No. De tubos con reacciones positivas.			Índice del NMP por 100 cm ³ .	Límite confiable de 95%.		No. De tubos con reacciones positivas.			Índice del NMP por 100 cm ³ .	Límite confiable de 95%.	
5 tubos con 10 cm ³ .	5 tubos con 1 cm ³ .	5 tubos con 0.1 cm ³ .		Inferior	Superior	5 tubos con 10 cm ³ .	5 tubos con 1 cm ³ .	5 tubos con 0.1 cm ³ .		Inferior	Superior
0	0	0	< 2								
0	0	1	2	< 0.5	7	4	2	1	26	9	78
0	1	0	2	< 0.5	7	4	3	0	27	9	80
0	2	0	4	< 0.5	11	4	3	1	33	11	93
						4	4	0	34	12	93
1	0	0	2	< 0.5	7						
1	0	1	4	< 0.5	11	5	0	0	23	7	70
1	1	0	4	< 0.5	11	5	0	1	31	11	89
1	1	1	6	< 0.5	15	5	0	2	43	15	110
1	2	0	6	< 0.5	15	5	1	0	33	11	93
						5	1	1	46	16	120
2	0	0	5	< 0.5	13	5	1	2	63	21	150
2	0	1	7	1	17						
2	1	0	7	1	17	5	2	0	49	17	130
2	1	1	9	2	21	5	2	1	70	23	170
2	2	0	9	2	21	5	2	2	94	28	220
2	3	0	12	3	28	5	3	0	79	25	190
						5	3	1	110	31	250
3	0	0	8	1	19	5	3	2	140	37	340
3	0	1	11	2	25						
3	1	0	11	2	25	5	3	3	180	44	500
3	1	1	14	4	34	5	4	0	130	35	300
3	2	0	14	4	34	5	4	1	170	43	490
3	2	1	17	5	46	5	4	2	220	57	700
3	3	0	17	5	46	5	4	3	280	90	850
						5	4	4	350	120	1000
4	0	0	13	3	31	5	5	0	240	68	750
4	0	1	17	5	46	5	5	1	350	120	1000
4	1	0	17	5	46	5	5	2	540	180	1400
4	1	1	21	7	63	5	5	3	920	300	3200
4	1	2	26	9	78	5	5	4	1600	640	5800
4	2	0	22	7	67	5	5	5	≥2400		

Tomado de NOM-AA-42-1987

Tabla 6 Índice del NMP y límite confiable de 95% para varias combinaciones de resultados positivos y negativos cuando se usan: 3 tubos con porciones de 10 cm³, 3 con porciones de 1 cm³ y 3 con porciones de 0.1 cm³.

Tabla 6 Índice del NMP porciones de 3

No. de tubos con reacciones positivas.			Índice del NMP Por 100 cm ³	Límite confiable de 95%	
3 tubos con 10 cm ³	3 tubos con 1 cm ³	3 tubos con 0.1 cm ³		Inferior	Superior
0	0	0	< 3		
0	0	1	3	< 0.5	9
0	1	0	3	< 0.5	13
1	0	0	4	< 0.5	20
1	0	1	7	1	21
1	1	0	7	1	23
1	1	1	11	3	36
1	2	0	11	3	36
2	0	0	9	1	36
2	0	1	14	3	37
2	1	0	15	3	44
2	1	1	20	7	89
2	2	0	21	4	47
2	2	1	28	10	150
3	0	0	23	4	120
3	0	1	39	7	130
3	0	2	64	15	380
3	1	0	43	7	210
3	1	1	75	14	230
3	1	2	120	30	380
3	2	0	93	15	380
3	2	1	150	30	440
3	2	2	210	35	470
3	3	0	240	36	1300
3	3	1	460	71	2400
3	3	2	1100	150	4800
3	3	3	≥ 2400		

Tomado de NOM-AA-42-1987

Recuento de colonias en placa

Se preparó una suspensión al 10 % de suelo en 50 ml. de agua destilada. La tierra debe estar seca y recién recogida. Se mantuvo en agitación la suspensión anterior durante 30 a 60 minutos. Se rotularon 3 placas (una para cada dilución) se colocó una muestra de 0.1 ml (con pipeta limpia en cada una) de cada dilución en una placa de Petri con Mac Konkey y con ayuda de una asa de extenderlo por toda la placa. Se incubó a 37 °C durante 2- 3 días en incubadora. Observamos las placas en busca de efectos de inhibición se continuó con el recuento de los microorganismos presentes en la muestra del suelo. Para realizar el contaje se escogieron las placas que mostraron entre 30 y 300 colonias. El equipo a usar llamado cuenta colonias, para esto fue conveniente ubicar la placa sobre una caja con tapa de vidrio y luz, dividiendo la superficie total de la placa en sectores cuadrículados.

III.4 Infraestructura de producción

Como técnica de recopilación de la información se realizó a través de unidades experimentales, en donde se establecieron los patrones de conducta.

Los trabajos se desarrollaron en un invernadero, con dimensiones de 68 cm de ancho, 49 cm de profundidad y 156 cm de altura, el diseño experimental bajo condiciones que serán reportadas dentro de este.

Invernadero doméstico para proteger el semillero y repicados de las inclemencias meteorológicas. Nos va a permitir adelantar los cultivos realizando la siembra antes.

Invernadero con estructura de acero plastificado y funda de PVC. Equipado con 4 bandejas. Puertas con cremallera en la parte frontal (Figura 22).



Figura 22 Invernadero Balcony

Los materiales que se usaron para realizar el experimento fueron 3 bolsas de tierra preparada de 10 kg, 36 botes transparentes, 18 botes de color, 3 bolsas de humus, 3 semilleros de plástico, 200 semillas, 4 pipetas Pasteur de plástico y sus respectivos litros de agua.

II.4.1 Selección de sistema de riego

Los tipos de riego a ocupar son sub-superficial y el directo ya que estos dos métodos contribuyeron al ahorro del agua; y para que el riego fuera lo más uniforme posible se tuvo que tomar una pipeta Pasteur de plástico (Figura 23) para medir la cantidad de agua e ir de un sitio a otro tirando agua para regarlo todo, esto para que no existiera un gasto innecesario y descontrolado de agua y por otro lado se usó el sub-superficial para el desenvolvimiento del producto en el caso de la zanahoria y en el caso de la lechuga y espinaca al crecimiento de la raíz; el riego se realizó de manera alternada, es decir una semana riego directo y otra riego sub-superficial.

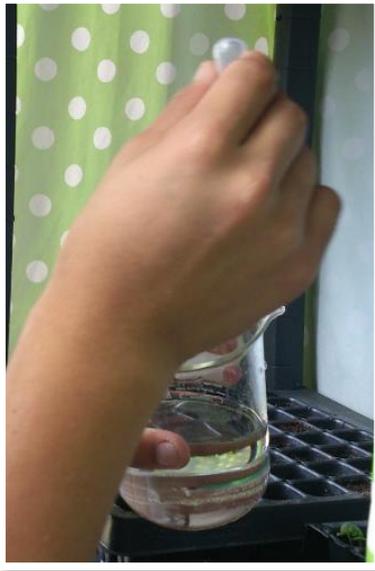


Figura 23 Riego de semillas en almácigo.

III.4.2 Producción individual

Se probaron con tres repeticiones solamente en las unidades experimentales; cada unidad experimental será preparada y manejada de manera idéntica. La siembra se realizó en recipientes de plástico con una altura de 200 mm, 110 mm de diámetro para las hortalizas de Espinaca y Zanahoria. Y para la producción de lechuga, las plantas se encuentran en recipientes de plástico con una altura de 75 m, 150 mm de diámetro como se muestra en la Figura 24.



Figura 24 Recipientes donde irán las hortalizas

III.4.3 Cultivo Hortícola

Se utilizaron tres cultivos diferentes. Los cultivos serán: Espinaca (*Spinacia oleracea.*); Lechuga (*Lactuca sativa.*), y Zanahoria (*Daucus carota*), estableciéndose pequeños almácigos, en charolas de plástico, utilizándose en promedio 0.5gr. (Semilla espinaca), 0.08gr.(semilla de lechuga) y 0.07gr.(semilla de Zanahoria) Las plantas deberán germinar en promedio a los 8-10 días de sembradas.

III.5 Siembra

Primero se seleccionó una muestra representativa de las semillas como se puede observar en la Figura 25. Después, las semillas seleccionadas fueron depositadas en un recipiente y se cubrieron con agua limpia. Se dejaron reposar alrededor de 12 horas con agua a temperatura ambiente entre 18 °C y 22 °C; para poder seleccionar aquellas semillas que si pueden germinar de las que no.



Figura 25 Preparación para cada una de las semillas

El almácigo a ocupar es una charola de plástico, también llamada como charola de germinación o semillero Figura 26. Son útiles ya que todas las plantas pueden sembrarse en almácigo y después trasplantarse al suelo.

El almácigo debe se mantuvo húmedo, libre de hierbas y protegido del sol excesivo, lluvias, heladas; se buscó que las medidas de los almácigos fueran las adecuadas para transportarlos con facilidad.



Figura 26 Almácigo de plástico

En la Figura 27 se puede apreciar cómo es que se rellenan los almácigos de plástico y el cómo fue etiquetado la separación entre tierra y arena



Figura 27 Siembra de las semillas en el almácigo

Una vez que la plántula tiene un tamaño adecuado, se realizó el trasplante, las variedades de hortalizas que se escogieron se adaptaban a los contenedores.

Y como parte final en cuestión de las hortalizas, se describe a continuación las mediciones que se realizaron a las plantas como es:

-Longitud de hoja: La medición de la longitud de la hoja consistió en medir a lo largo del nervio central de la hoja de lechuga.

-Longitud de raíz: La longitud de la raíz se midió de acuerdo al largo de la raíz principal.

-Altura de la planta: La medición de la altura consistió en medir desde que inicia la raíz hasta la parte superior de esta.

-Diámetro del tallo de la planta: este aplicó solo para la zanahoria y la lechuga y fue realizado solo para la parte interna, tierna y bien comprimida, es decir eliminando hojas que la protegían. Y para la zanahoria el diámetro más grande o corona.

En la Figura 28 se muestra cómo es que se midió el producto de acuerdo a lo mencionado con anterioridad.

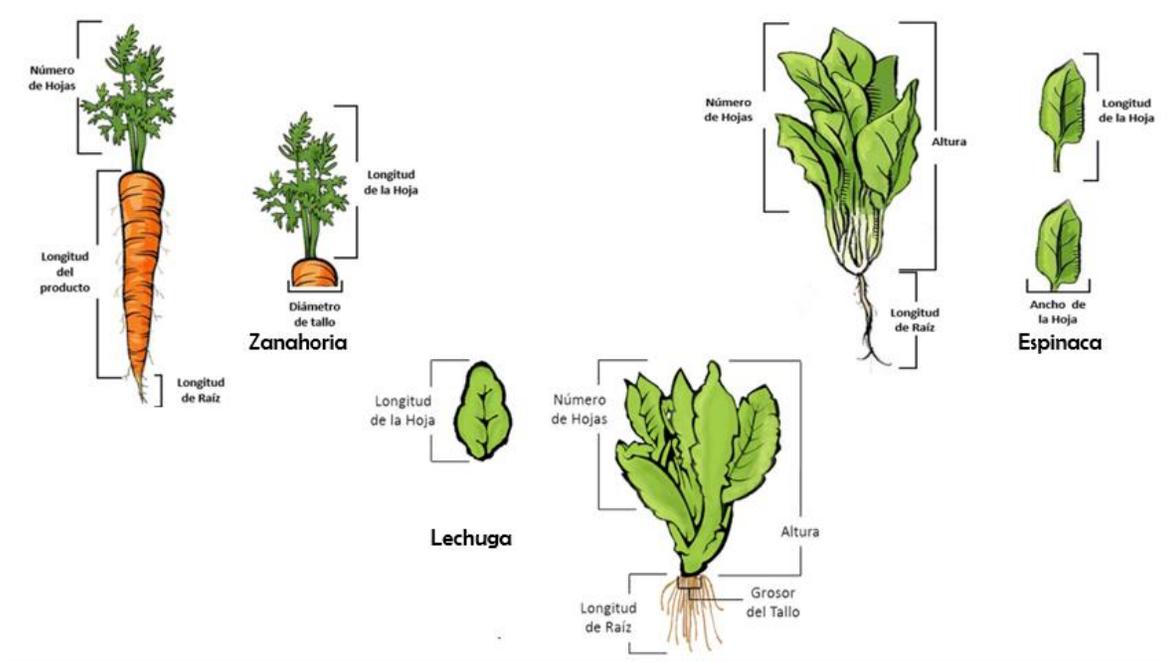


Figura 28 Mediciones de las partes de una Espinaca

- **Peso Húmedo:** El peso bruto de un producto con su contenido de agua, o peso del tejido completamente hidratado, esto se realizó una vez extraído el producto.

-Cantidad de hojas

El conteo de las hojas de lechuga se hizo mediante el número total de hojas completamente expandidas.

Se realizaron condiciones de seguridad para garantizar la inocuidad de los productos se llevó a cabo ya que existe una gran diversidad de patógenos infecciosos que se introducen en un invernadero por medio de diversos vectores (bandejas, semillas, sustratos, agua de riego, herramientas, estructuras y suelo, etc.) y estos pueden producir grandes pérdidas en la cosecha (Llanas, 2006). Para evitar la entrada de patógenos al invernadero fue necesario realizar desinfecciones eficaces en algunos puntos críticos, como sembrar al mismo tiempo, Albahaca y algunas especies como moscos y grillos se mantuvieron alejados, con el fin para mantener la higiene y seguridad en el invernadero los almácigos reutilizados se desinfectaron con cloro y al tiempo de manipular las plántulas se usó equipo de seguridad, tales como guantes cubrebocas y bata.

III.6 Software.

El análisis estadístico se realizará con ayuda del siguiente programa:

Programa Minitab versión 16: Minitab es un paquete estadístico que abarca todos los aspectos necesarios para el aprendizaje y la aplicación de la Estadística en general. El programa incorpora opciones vinculadas a las principales técnicas de análisis estadístico (análisis descriptivo, contrastes de hipótesis, regresión lineal y no lineal, series temporales, análisis factorial, ANOVA, etc.), además de proporcionar un potente entorno gráfico y de ofrecer total compatibilidad con los editores de texto, hojas de cálculo y bases de datos más usuales.

Se empleó de este paquete por la ventaja que ofrece de poder meter grandes volúmenes de datos con la finalidad de obtener información y, eventualmente, conocimiento.

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Estudio R&R

Los estudios de repetitividad y reproducibilidad (R&R) realizados dentro del laboratorio tratan de analizar la variación entre el método de medición y las distintas personas que pueden realizar estas mediciones. Es decir, se va a tratar de reducir la variabilidad de la medición de un proceso mediante el estudio de los posibles motivos de variabilidad en la misma, con ello conseguiremos tener mayor exactitud de medición en el proceso, disminuyendo el gasto tanto de tiempo como de dinero.

Para este estudio se procuraron que los sistemas de medición fueran sensibles, es decir, que se pudiera detectar las diferencias en las mediciones de al menos 1/10 de la tolerancia especificada.

✓ *Calibrador vernier*

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	2	72.9563	36.4781	309.278	0.000
Operators	2	0.1607	0.0804	0.681	0.516
Repeatability	22	2.5948	0.1179		
Total	26	75.7119			

Figura 29 ANOVA (Vernier Digital)

Podemos observar que las partes son lo más significativo.

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.11795	2.84
Repeatability	0.11795	2.84
Reproducibility	0.00000	0.00
Operators	0.00000	0.00
Part-To-Part	4.04002	97.16
Total Variation	4.15797	100.00

Process tolerance = 10

Figura 30 Gage R&R (Vernier Digital)
Fuente: elaboración propia, software Minitab 16

Se observa que la variación parte a parte contribuye mayormente con un 97.16% a la variación y el R&R contribuye con un 2.84%, por causa de equipo de medición y el 0 % por causa del operador.

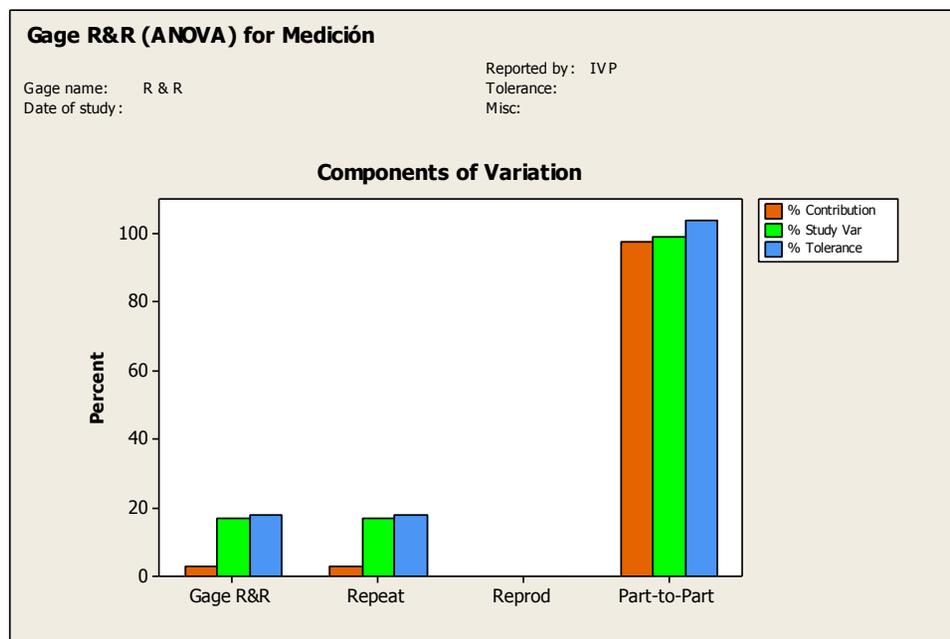


Figura 31 Gage R&R (ANOVA) para las mediciones

En el siguiente gráfico se observa que la variación parte por parte contribuye en 97.32% a la variación total.

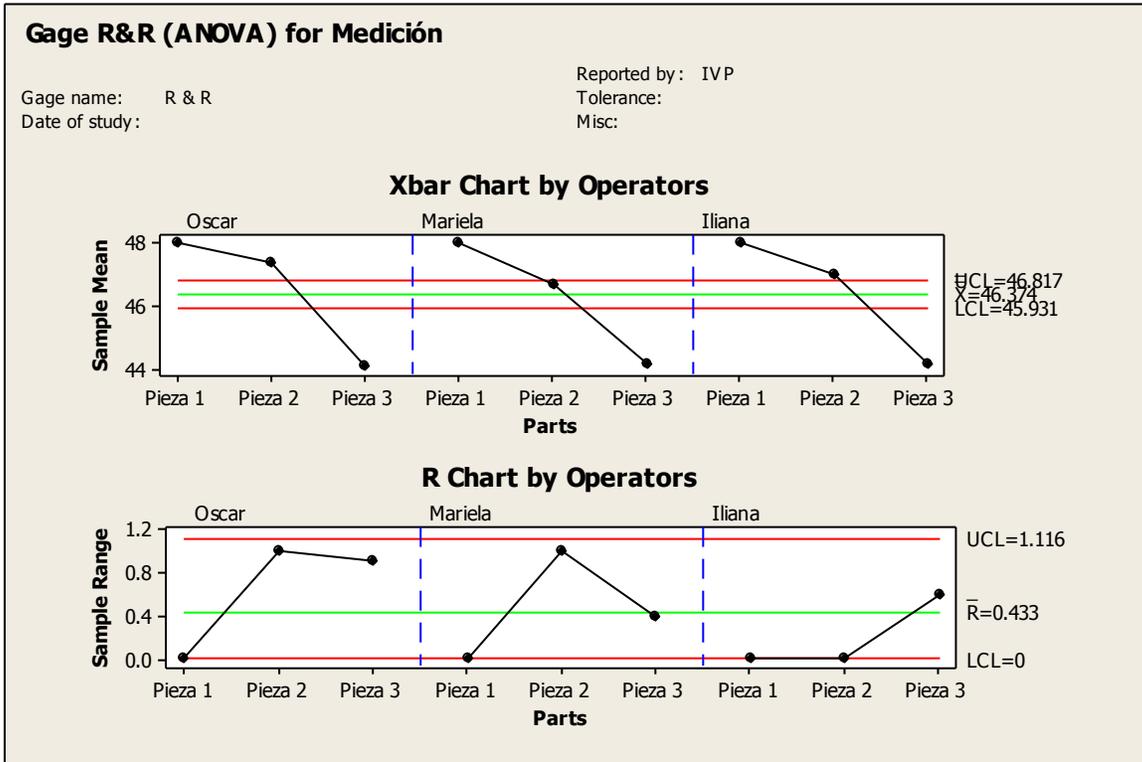


Figura 32 Carta de control de rangos

En la Figura 32 se muestran las cartas de control de rangos que sirven para poder analizar el comportamiento de los diferentes procesos y poder prever posibles fallos de producción mediante métodos estadísticos, la idea principal es tratar de tener los elementos dentro de un rango de control, teniendo establecidos límites superiores e inferiores, si no los sobrepasa, entonces se puede considerar que se tiene un proceso bajo control, como podemos visualizarlo en la Figura 32, se observa que cada uno de los participantes actúan diferente sus mediciones.

Para la respuesta de XBAR los participantes también tienen una diferencia en sus promedios.

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.34343	1.7687	16.84	17.69
Repeatability	0.34343	1.7687	16.84	17.69
Reproducibility	0.00000	0.0000	0.00	0.00
Operators	0.00000	0.0000	0.00	0.00
Part-To-Part	2.00998	10.3514	98.57	103.51
Total Variation	2.03911	10.5014	100.00	105.01

Number of Distinct Categories = 8

Figura 33 Porcentaje de estudio de la variación y variación contra tolerancia permitida.

El estudio nos muestra que tenemos un error de 16.84% en el sistema de medición para aprobar las plantas y un error del sistema de medición de 17.69% para controlar el proceso, este porcentaje es bueno ya que podríamos decir que es un sistema de medición aceptable.

El número de categorías distintivas indica que es aceptable para el control del proceso.

✓ **Báscula**

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	2	6.01070	3.00535	135354	0.000
Operators	2	0.00000	0.00000	0	0.919
Parts * Operators	4	0.00009	0.00002	6	0.004
Repeatability	18	0.00007	0.00000		
Total	26	6.01087			

Figura 34 (ANOVA Báscula)

En la Figura 34 podemos observar que las partes y la interacción de número de parte con el operador son significativas.

Tabla 7 Criterios de evaluación de calidad de sistema de medición*

Si % R & R < 10%	El sistema de medición es aceptable
10% <= R & R < 30%	Si el sistema de medición puede ser aceptable según su uso, aplicación, pero puede ser poco apropiado para algunas mediciones con clientes u operaciones de preparación
R & R > 30%	El sistema de medición es considerado como no aceptable y requiere mejoras en cuanto al operador, equipo, método, condiciones, etc.

*Fuente: Adaptado de Botero, Arbeláez y Mendoza

Diseño factorial

El modelo aditivo lineal del primer ensayo del experimento es:

$$Y = \mu + A + B + C + (A \times B) + (A \times C) + (B \times C) + (A \times B \times C) + \varepsilon \dots \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

Y= es la variable respuesta

μ = Media general de la respuesta

A=efecto del tipo de agua

B=efecto del tipo de planta

C=efecto del tipo sustrato

AxB=efecto de la interacción tipo de agua por tipo de planta

AxC= efecto de la interacción tipo de agua por tipo sustrato

BxC= efecto de la interacción tipo de planta por tipo sustrato

AxBxC= efecto de la interacción tipo de agua por tipo de planta por tipo sustrato

ε = error experimental.

Para el estudio se toma en cuenta las condiciones de ruido como es la temperatura, humedad, pH y radiación que si no las podemos controlar se tienen los datos censados para el conocimiento y sean posibles de reportar.

-Temperatura (°C) y Humedad Relativa (%):

Las hortalizas se ven afectadas por la temperatura y la humedad, debido a que presentan una para cada etapa de su crecimiento, pero el controlarlas a lo largo de su desarrollo es costoso, por lo cual fue preferible realizar el cultivo con condiciones de ambiente tratando que estas no fueran los casos más extremos, sin embargo fueron variables. Si las variaciones son drásticas y prolongadas llegan a ser decisivas para afectar e inclusive inhibir su desarrollo. Por ejemplo si la temperatura desciende, los tejidos de la planta llegan a morir por enfriamiento, y si es elevada las etapas se ven afectadas con el desarrollo acelerado del tejido en desiguales partes de la planta. La medición constata de la temperatura y humedad ambiental nos dio un panorama en el cual la hortaliza cultivada creció dentro de sus

límites permisibles. Por lo mencionado anteriormente se consideró un factor de ruido.

Tabla 8 Registros de temperaturas de acuerdo a CONAGUA y lo censado en el invernadero.*

(Año 2014)	Reportadas por CONAGUA		Condiciones censadas en el invernadero			
	temperatura máxima ° C *	temperatura mínima °C*	Temp. registradas		promedio	Humedad R.
Mes			máx. ° C *	mín. °C*		
Enero	23	5.8	32	13	25.5	30-80
Febrero	27.3	8.4	37.7	15	30.2	30-80
Marzo	28.5	10.9	34.8	16	26.8	40-90
Abril	28.9	11.7	39.8	18	30.8	30-90
Mayo	27.1	12.7	32.1	19	22.6	30-90
Junio	27.2	14.8	34	20	24	30-85

Fuente: (SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL, 2015)

-Potencial de Hidrógeno (pH):

Un pH menor a 7 indica acidez, mientras que un pH mayor a 7, indica un rango básico. El pH es en realidad una medición de la cantidad relativa de iones de hidrógeno e hidróxido en el agua. De las mediciones realizadas a las hortalizas ya al agua son las siguientes:

En el sustrato se reportó: 6.51 para tierra ,6.44 para arena

En las hortalizas: 7.3 para espinaca, 7.5 para lechuga y 6.59 para zanahoria.

-Radiación (watts/m²):

Se obtuvo un promedio de 10 IUUV entre las 12:00 a 15:00 horas de acuerdo al sitio oficial de Condiciones meteorológicas del Campus Juriquilla, UNAM, Querétaro, que son consideradas con mayor radiación solar, lo cual significo que en este lapso de tiempo de reacción del fotocatalizador se le proporcionaron 400 W/m² de radiación y una intensidad de 1200(W/m²)h para la desinfección del agua residual tratada.

Sin embargo la radiación solar en las hortalizas; lechuga, zanahoria y espinaca, no era controlable debido al tiempo de exposición de las mismas, por lo cual se le consideró un factor de ruido.

Tabla 9 Descripción del sustrato utilizado

Arena		Tierra	
Densidad	2.45 g/cm ³	Densidad	1.67 g/cm ³
Módulo de finura	2.6	Porosidad total	46.1
Humedad	4.23%	Porosidad con condición de Humedad	51.1
Adsorción	14.85%		

IV.1 Análisis realizados en los tipos de agua

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅)

En los resultados de demanda de oxígenos disuelto se obtuvo los siguientes resultados para el Agua tratada se obtuvieron entre 30 y 35 mg/L por y para el Agua Desinfectada: entre 30 y 32 mg/L.

Podríamos decir que estos parámetros se encuentran en el límite para el servicio público con contacto indirecto u ocasional de acuerdo a la norma.

Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Para los sólidos suspendidos totales se registraron en agua tratada < 20 mg/L y para el agua desinfectada < 20 mg/L, los resultados sugieren que está dentro de especificaciones de límites máximos permisibles de contaminantes en el agua y que el contacto puede ser de servicio público con contacto directo o indirecto.

Sólidos sedimentables

Esta prueba se realizó aunque no era necesaria conocer ya que el límite permisible para las descargas vertidas en suelo no lo requiere, sin embargo se obtuvieron resultados favorables.

En un intervalo de volumen (mL)	División de escala (mL)	Resultados (mL/L)
50	0.5	≤ 0.05 agua tratada
50	0.5	≤ 0.05 agua desinfectada

Grasas y aceites

Se realizó el registro del peso inicial del matraz teniendo como resultado para el matraz en Agua residual tratada: 59.3921 g y el Agua desinfectada: 59.3935 g. Se registró también el peso final del matraz de bola teniendo un peso para el agua residual tratada de 59.4404 g y para el agua desinfectada de 59.3979g.

Reportando así 483 mg/L para el agua tratada y 44 mg/L para el agua desinfectada lo que nos muestra que es necesario desarrollar una trampa para las grasas ya que ésta se encuentra fuera de las especificaciones de la norma, podría suponerse que en estas aguas hay algún compuesto orgánico que no se pudo mezclar con el agua y que esta agua no tiene las características del límite máximo permisible para ser vertida en suelo de uso de riego agrícola.

Análisis bacteriológicos: Coliformes totales y fecales

Se realizaron pruebas para el agua potable las cuales mostraron no tener actividad bacteriana. También se realizaron pruebas confirmativas hasta la dilución 1×10^{-3} para no hacer gasto extra de material.

Tabla 10 Análisis bacteriológico de agua potable

Diluciones	C. Lactosado	C.Lauril S	MIO	EC	Verde B
1X10-1	0	0	0	0	0
1X10-2	0	0	0	0	0
1X10-3	0	0	0	0	0
1X10-4	0	0	-	-	-
1X10-5	0	0	-	-	-

Tabla 11 Análisis bacteriológico de agua tratada

Diluciones	C.Lauril S	**MIO	**EC	**Verde B
1X10-1	3 * 3	0	2 * 3	2 * 3
1X10-2	3 * 3	0	2 * 3	2 * 3
1X10-3	3 * 3	0	2 * 3	2 * 3
1X10-4	1 * 3	1*3	2 * 3	2 * 3
1X10-5	0 * 3	0	0	0

Diluciones	C. Lactosado	**MIO	**EC	**Verde B
1X10-1	3 * 3	0	2 * 3	2 * 3
1X10-2	3 * 3	0	2 * 3	2 * 3
1X10-3	3 * 3	-	-	-
1X10-4	1 * 3	-	-	-
1X10-5	1 * 3	-	-	-

Las pruebas para el agua tratada para el caldo lauril sulfato alcanzó mayor reacción bacteriana, al realizarse las pruebas confirmativas se observa que ganó presencia de coliformes es por eso que se continua con pruebas con agar.

Tabla 12 Análisis bacteriológico de agua desinfectada

Diluciones	Pruebas presuntivas		Pruebas confirmativas		
	C. Lactosado	C.Lauril S	**EC	**Verde B	
Desinfectada T=5	1X10-1	1*3	0*3	2*3	1*3
	1X10-2	0*3	0*3	1*3	1*3
	1X10-3	0*3	0*3	0	0
	1X10-4	0*3	0*3	0	0
	1X10-5	0*3	0*3	0	0
	1X10-10	0*3	0*3	0	0

Para el agua desinfectada hubo tubos con gas y turbidez por lo que se puede decir que hubo existencia de coliformes totales y fecales en pruebas presuntivas y confirmativas por lo que se continuó con pruebas en agar para hacer el conteo de colonias.

Se realizaron pruebas al tiempo 0 o inicio del experimento de la desinfección por fotocatalísis y al tiempo 5 después de las 5 horas como se muestran en la Figura 35 y Figura 36.



Figura 35 Tubos con caldos para el análisis bacteriológico tiempo 0.



Figura 36 Tubos con caldos para el análisis bacteriológico tiempo 5.

Prueba en agar Mac Conkey

Es un medio diferencial que permite distinguir entre enterobacterias que hidrolizan lactosa y las que no lo hacen.

Las colonias lactosas negativas permanecen incoloras aunque el medio tira a amarillo por la subida de pH que origina la utilización de las proteínas (peptona) del medio.

Las bacterias que no fermentan lactosa, no bajan el pH y permanecen incoloras, como se muestra en la Figura 37.



Figura 37 Prueba en agar MK agua tratada.

La Figura 38 muestra como se ve la prueba de agar con crecimiento bacteriano, este tipo de muestras se ponen en un cuenta colonias.



Figura 38 Prueba en agar MK agua tratada (con crecimiento)

En lo que llegaron a salir positivos se hicieron el conteo de colonias y se realizó una tabla de cada una se tomó una muestra de la dilución que era más significativa y se realizaron las pruebas en Mac Konkey, de que se obtuvieron el siguiente conteo de colonias.

Tabla 13 Resultados de pruebas en agar Mac Konkey

***Res.Cajas petri Mac Konkey		
Dilución	Colonias (NMP/100 ml)	Concentración/Muestra
1 tratada 10-1	240	1 Caldo Lactosado
2 tratada 10-2	123	1 Caldo Lactosado
3 tratada 10-3	11	1 Caldo Lactosado
1 desinfectada 10-1	108	1 Caldo Lactosado
2 desinfectada 10-2	90	1 Caldo Lactosado
3 desinfectada 10-3	10	1 Caldo Lactosado

Cuando el agua, cumple con los límites máximos permisibles de los contaminantes mencionados en la

Tabla 3 y Tabla 4, se puede considerar que dicho efluente es apto para su uso en riego y potencialmente ser dirigido a invernaderos para cultivos principalmente de hortalizas, en este caso con los resultados obtenidos podríamos concluir que el agua cumple con el límite permisible de contaminante en las aguas tratadas y desinfectadas ya que se encuentran dentro de las especificaciones del NMP para servicios al público con contacto directo y contacto indirecto u ocasional.

Agua residual tratada

Los resultados que muestran Tabla 14 y Tabla 15 son de fluorescencia de rayos x para determinación de metales, solo se mencionan los que están contemplados en la norma y la plata que es lo que se que decanta del TiO₂ para el caso del agua desinfectada.

Por lo que podría decirse que el agua tratada solo mostró Niquel con una concentración de 1.804 g/l y la norma requiere que sea de 2 ml/l. Así que el agua

tratada no cumplió con el límite máximo permisible para contaminante básico, en metales pesados y cianuro.

Tabla 14 Análisis de muestra agua tratada

Element	Line	Conc./ g/l	Sigma/ g/l	RSD 1 %	LLD / g/l	Net area	Backgr.	Chi	Cyc
Ni	K12	1.804	0.009	0.5	0.008	53609	6135	2.00	1

En la Figura 39 se muestra cómo se pueden apreciar algunas partículas flotando en el agua en un vaso de precipitado.

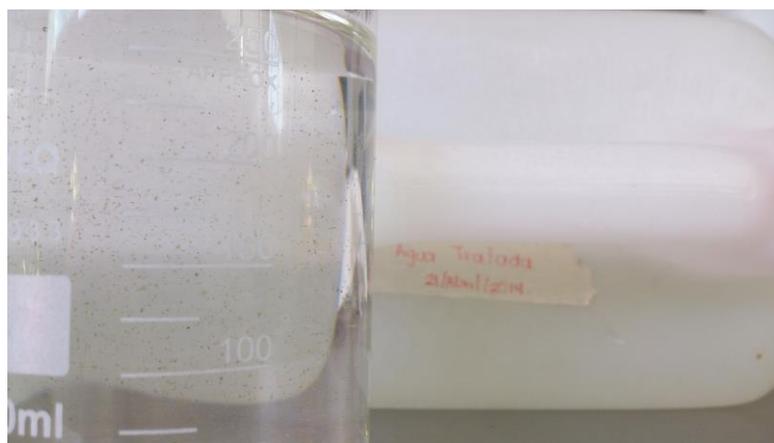


Figura 39 Obtención de Agua tratada

Agua desinfectada

Para el análisis de los límites máximos permisibles para contaminantes básicos, metales pesados y cianuros en el agua desinfectada se detectaron los siguientes metales Calcio(Ca), Titanio(Ti), Hierro(Fe), Selenio(Se) y Plata(Ag) sin embargo estos no tienen ningún límite en la norma.

Tabla 15 Análisis de muestra agua desinfectada

Element	Line	Conc./ g/l	Sigma/ g/l	RSD 1 %	LLD / g/l	Net area	Backgr.	Chi	Cyc
Ca	K12	20.7	1.4	6.6	2.1	1901	4210	1.09	1
Ti	K12	158.1	3.1	1.9	1.2	24663	3869	1.24	401
Fe	K12	8.07	0.36	4.4	0.46	3147	3615	0.80	351

Se (IS)	K12	10.00	0.26	2.6	0.20	10953	5392	3.01	1
Ag	L1	155.2	7.9	5.1	11.2	2765	4425	7.97	701

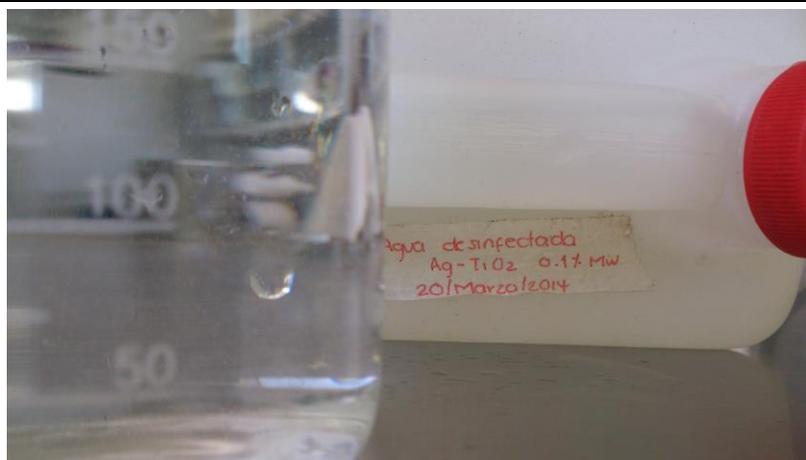


Figura 40 Obtención de Agua desinfectada

IV.3 Producción de hortalizas

Se puede observar en la Figura 41, Figura 42 y Figura 43 como fue el desarrollo de la lechuga, zanahoria y espinaca respectivamente, y que después de realizar la preparación de las semillas, la siembra en almácigo. Algunas semillas germinaron adecuadamente, completando. Algunas semillas pudieron germinar bien, completar su proceso de maduración y brotar inclusive antes de lo acostumbrado. Sin embargo, otras semillas aún en condiciones favorables no germinaron y esta situación puede presentarse en las semillas que se encuentran en latencia, es decir en un periodo de inactividad y aun cuando han superado este lapso y las condiciones son adecuadas pero no germinan.

La solución que planteamos para que al menos una semilla germinara se depositó 2 semillas en cada recuadro y luego se eliminó la más débil en caso de esto fue realizado para todas las hortalizas.



Figura 41 Desarrollo de lechuga little gem

Y en la Tabla 16, Tabla 16 y Tabla 18 se explica cómo se reportó el desarrollo de la planta, las actividades realizadas en el transcurso para éste. Se muestra en estas tablas las acciones correctivas y preventivas ante ciertas circunstancias el desarrollo del experimento reportado de semana a semana y para poder lograr estas tablas, se realizaron 2 experimentos previos para que la tercera fuera lo más real, controlado y sin pérdida del producto vegetal.

Tabla 16 Etapas de desarrollo de lechuga durante las pruebas de experimentales.

Cultivo de lechuga																					
Mes		1er mes				2do mes				3er mes				4to mes				5to mes			
Semana		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Desarrollo por etapas	Selección de semillas	Germinación	Emergencia de Cotiledones	Hojas verdaderas										Elongación de tallo				Floración			
Actividades	Poner en agua	Siembra	Cuidados en almácigo y aclareo	Transplante	Aumento de cantidad en riego, Deshierbe, Humus de lombriz (10%).							Cosecha									
Plagas detectadas				Grillos														Mosca blanca			
Control	Siembra a la par de albahaca																				

Tabla 17 Etapas de desarrollo durante las pruebas de experimentales (zanahoria).

Cultivo de zanahoria																					
Mes		1er mes				2do mes				3er mes				4to mes				5to mes			
Semana		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Desarrollo por etapas	Selección de semillas		Germinación	Emergencia de Cotiledones	Hojas verdaderas							Desarrollo de producto (zanahoria)							Producto		
Actividades	Poner en agua	Siembra	Cuidados en almácigo y aclareo					Transplante	Aumento de cantidad en riego, Deshierbe, Humus de lombriz (10%)										Cosecha		
Plagas detectadas				Grillos																	
Control	Siembra a la par de albahaca																				



Figura 42 Desarrollo de Zanahoria variedad nantes

Tabla 18 Etapas de desarrollo durante las pruebas de experimentales (espinaca).

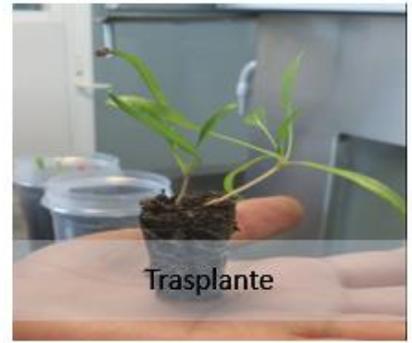
Cultivo de espinaca																	
Mes		1er mes				2do mes				3er mes				4to mes			
Semana		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Desarrollo por etapas	Selección de semillas	Germinación	Emergencia de Cotiledones	Hojas verdaderas						Madurez		Floración	Maduración de semilla				
	Poner en agua	Siembra	Cuidados en almácigo y aclareo			Transplante	Aumento de cantidad en riego, Deshierbe, Humus de lombriz(10%)			Cosecha							
Plagas detectadas				Grillos										Pulgones			
Control	Siembra a la par de albahaca																



Selección de semilla



Cotiledones



Trasplante



Crecimiento de hojas



Elongación de tallo para floración



Floración e inicio de madurez de semilla.

Figura 43 Desarrollo de Espinaca

En la Figura 44 se puede observar el producto maduro o producto final, haciendo referencia a que ha pasado el tiempo designado para su extracción.



Figura 44 Producto obtenido

IV.4 Obtención de producto vegetal

El producto final, fue medido y pesado, se recolectaron las muestras más grandes y fueron etiquetados los productos de lechuga como se muestra en la Figura 45 , espinaca (Figura 46) y zanahoria (Figura 47).



Figura 45 Recolección y etiquetado de lechuga.



Figura 46 Recolección y etiquetado de espinaca



Figura 47 Recolección y etiquetado de zanahoria.

De acuerdo a los datos de la siembra con fecha de inicio 18 de enero de 2014 y término el 19 de mayo de 2015 para las hortalizas de Espinaca y Lechuga se obtienen lo siguiente.

El análisis de los resultados consistió fundamentalmente en determinar el efecto que cada variable del proceso que ha participado en el diseño tiene sobre las variables de respuesta. El cambio medio sufrido por la variable de respuesta del proceso que se puede atribuir al cambio en los niveles de una variable del diseño se le denomina el “efecto principal” de esta variable y por eso se hace uso de un gráfico denominado “gráfico de efectos principales”, para mostrar la magnitud y dirección del efecto de cada variable de diseño (esto es, el tamaño del efecto y si aumenta o disminuye la salida).

Una vez concluida la caracterización del agua, sustratos y productos, se continuó con el análisis estadístico de las variables de entrada y salida, como se muestra a continuación.

Como ya se mencionó, el proyecto está comparando el desarrollo de crecimiento de tres tipos de planta, las plantas regadas con agua tratada comparación con las plantas regadas con agua desinfectada y potable. Se probaron en dos tipos de sustrato. Teniendo intervalos de confianza al 95% ($\alpha = 0.05$) para el modelo.

A continuación, se determinó qué cantidad de la variación de la salida es debida a los cambios efectuados en las variables de entrada y cuanta debida al error experimental. Para ello suele utilizarse el método ANOVA. Este método identifica la cantidad de variación explicada por cada variable de diseño (y cada interacción) y la cantidad explicada por el error. Se calcula un estadístico F que es utilizado para determinar la probabilidad de que la variación observada sea realmente resultada sólo del error experimental. Sólo aquellas variables que impactan en la salida más allá de lo que podría ser explicado por la variación

aleatoria son consideradas “estadísticamente significativas”. Se dice que estas variables “contribuyen a la señal”. En el caso de que sea imposible que la variación fuera causada por una fluctuación aleatoria (error), se considera significativa la variable de diseño o la interacción. Las variables no significativas pueden descartarse y los siguientes experimentos pueden concentrarse en los valores significativos.

✓ **Cotiledón**

Analysis of Variance for Cotiledón(mm), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
T.Agua	2	2146.8	2217.7	1108.9	10.05	0.000
T.planta	2	9341.6	7473.4	3736.7	33.87	0.000
Sustrato	1	429.1	986.1	986.1	8.94	0.005
T.Agua*T.planta	4	1702.7	2143.5	535.9	4.86	0.004
T.Agua*Sustrato	2	22.9	82.8	41.4	0.38	0.690
T.planta*Sustrato	2	610.8	758.1	379.0	3.44	0.045
T.Agua*T.planta*Sustrato	4	529.6	529.6	132.4	1.20	0.330
Error	31	3419.7	3419.7	110.3		
Total	48	18203.2				

S = 10.5030 R-Sq = 81.21% R-Sq(adj) = 70.91%

Figura 48 Análisis de diseño factorial, interacciones (cotiledón)

De acuerdo a los valores de p, se puede inferir que hay interacción entre el tipo de agua y el tipo de planta y también entre el tipo de planta y el sustrato, sin embargo, hay que descartar los datos que no tienen significancia para ver su efecto.

Analysis of Variance for Cotiledón(mm), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
T.Agua	2	2146.8	2294.4	1147.2	10.65	0.000
T.planta	2	9341.6	7927.2	3963.6	36.80	0.000
Sustrato	1	429.1	792.8	792.8	7.36	0.010
T.Agua*T.planta	4	1702.7	1901.5	475.4	4.41	0.005
T.planta*Sustrato	2	597.9	597.9	299.0	2.78	0.075
Error	37	3985.1	3985.1	107.7		
Total	48	18203.2				

S = 10.3781 R-Sq = 78.11% R-Sq(adj) = 71.60%

Figura 49 Interacción entre factores eliminando factores no significativos.

Se realiza nuevamente una prueba de interacción y esta vez muestra que la interacción que parecía ser significativa ya que era menor de 0.05 al realizar la nueva corrida el valor p arroja que entre el tipo de planta y sustrato ya no es significativa.

Analysis of Variance for Cotiledón(mm), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
T.Agua	2	2146.8	2354.2	1177.1	10.02	0.000
T.planta	2	9341.6	8415.4	4207.7	35.81	0.000
Sustrato	1	429.1	667.7	667.7	5.68	0.022
T.Agua*T.planta	4	1702.7	1702.7	425.7	3.62	0.013
Error	39	4583.0	4583.0	117.5		
Total	48	18203.2				

S = 10.8403 R-Sq = 74.82% R-Sq(adj) = 69.01%

Figura 50 Segunda corrida entre factores eliminando los no significativos (cotiledón).

Al realizar la corrida de la Figura 50 se puede apreciar que el valor de p es significativo y que entre los coeficientes de correlación R^2 y R^2 (adj) hay datos que están metiendo ruido al modelo.

En la Figura 51, se dibuja una línea entre el valor de la salida media correspondiente al primer nivel de la variable de diseño, el valor de salida media correspondiente al segundo nivel de la variable de diseño y el valor de salida media correspondiente al tercer nivel de la variable de diseño. La diferencia entre las tres medias se denomina efecto principal medio de la variable de diseño. La pendiente de la línea mide el cambio medio en la salida por cada unidad de cambio en la

variable de diseño. Cuanto mayor sea la pendiente, mayor será el impacto de la variable de diseño en la salida.

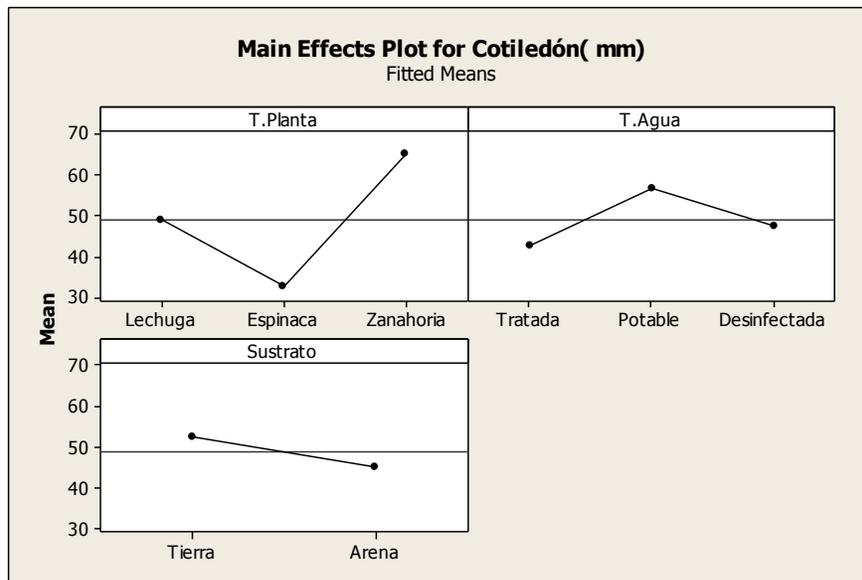


Figura 51 Trama efectos principales (Cotiledón)

En esta trama efectos principales, aparece que en T. planta (espinaca) se asocia con la menor resistencia media.

El tipo de agua también afecta a la tasa de crecimiento del cotiledón de las plantas. El agua potable se asocia con un mayor desarrollo de crecimiento en el cotiledón a comparación del agua desinfectada y tratada, y el agua desinfectada tuvo mejor desarrollo de crecimiento del cotiledón a comparación de la que es regada con agua tratada. La línea de referencia representa la media global.

El sustrato parece afectar la tasa de crecimiento en el cotiledón de la planta porque la línea no es horizontal. El sustrato tierra tiene una tasa de crecimiento de la planta más alta.

✓ Raíz

Analysis of Variance for Raiz (mm), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
T.Agua	2	1223.9	2922.5	1461.2	3.27	0.052
T.planta	2	1291.1	2510.1	1255.1	2.81	0.076
Sustrato	1	721.5	1470.5	1470.5	3.29	0.079
T.Agua*T.planta	4	5783.7	6891.5	1722.9	3.85	0.012
T.Agua*Sustrato	2	2210.8	974.7	487.4	1.09	0.349
T.planta*Sustrato	2	1501.7	1395.4	697.7	1.56	0.226
T.Agua*T.planta*Sustrato	4	7658.2	7658.2	1914.6	4.28	0.007
Error	31	13863.2	13863.2	447.2		
Total	48	34254.2				

S = 21.1471 R-Sq = 59.53% R-Sq(adj) = 37.33%

Figura 52 Análisis de diseño factorial, interacciones (Raíz)

Figura 52 De acuerdo al valor p la interacción de tipo de agua y el tipo de planta son significativas ninguna de las interacciones es significativa, mientras que el tipo de planta y tipo de agua si tienen significancia.

Para este análisis si observamos el coeficiente de correlación los datos sugieren que hacen falta cosas o factores de respuesta por medir y que hay datos que están metiendo ruido al modelo.

Analysis of Variance for Raiz (mm), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
T.Agua	2	1223.9	1990.8	995.4	1.54	0.227
T.planta	2	1291.1	1681.3	840.7	1.30	0.284
Sustrato	1	721.5	1025.6	1025.6	1.59	0.216
T.Agua*T.planta	4	5783.7	5783.7	1445.9	2.23	0.083
Error	39	25234.0	25234.0	647.0		
Total	48	34254.2				

S = 25.4367 R-Sq = 26.33% R-Sq(adj) = 9.33%

Figura 53 Segunda corrida entre factores eliminando los no significativos (Raíz).

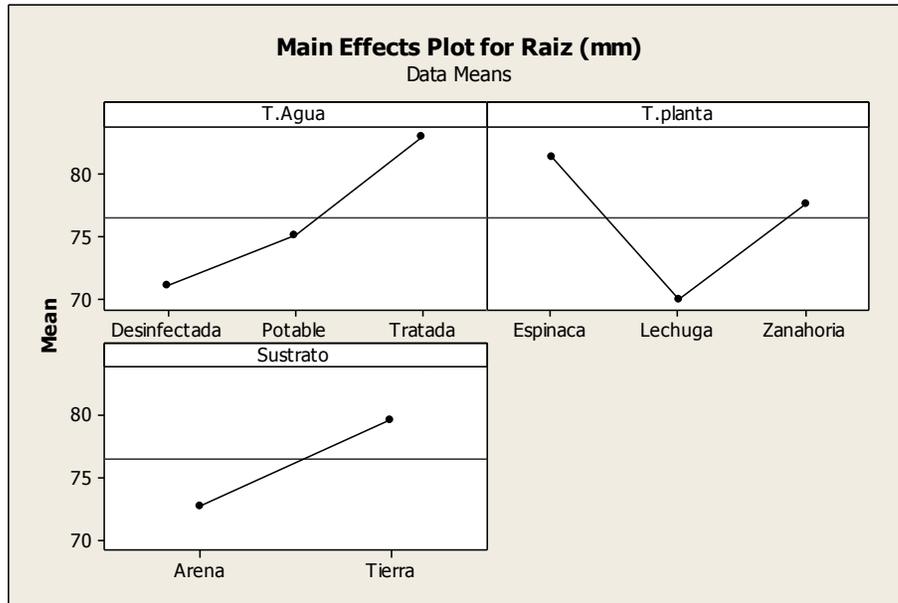


Figura 54 Trama efectos principales (Raíz)

En esta trama efectos principales, aparece que en T. planta (espinaca) se asocia con la mayor resistencia media y la (lechuga) con la menor resistencia.

El tipo de agua también afecta a la tasa de crecimiento de la Raíz de las plantas. El agua tratada se asocia con un mayor desarrollo de crecimiento de la Raíz a comparación del agua desinfectada y tratada, y el agua desinfectada tuvo el menor desarrollo de crecimiento de la raíz comparación de la que es regada con agua tratada.

El sustrato parece afectar la tasa de crecimiento en el cotiledón de la planta porque la línea *no* es horizontal. El sustrato tierra tiene una tasa de crecimiento en la planta más alta.

✓ **Hoja verdadera**

Analysis of Variance for Hoja Verdadera (mm), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
T.Agua	2	7300	9849	4924	3.19	0.055
T.planta	2	21800	17278	8639	5.60	0.008
Sustrato	1	7001	16301	16301	10.56	0.003
T.Agua*T.planta	4	16988	23149	5787	3.75	0.013
T.Agua*Sustrato	2	1739	1829	914	0.59	0.559
T.planta*Sustrato	2	19790	23227	11613	7.53	0.002
T.Agua*T.planta*Sustrato	4	16099	16099	4025	2.61	0.055
Error	31	47840	47840	1543		
Total	48	138558				

S = 39.2838 R-Sq = 65.47% R-Sq(adj) = 46.54%

Figura 55 Análisis de diseño factorial, interacciones (hoja verdadera)

Los datos sugieren que existe una interacción entre el tipo de agua y el tipo de planta, tipo de planta y el sustrato, y también que entre el tipo de planta, agua y el sustrato puede existir una interacción.

Analysis of Variance for Hoja Verdadera (mm), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
T.Agua	2	7300	8437	4219	2.41	0.103
T.planta	2	21800	16263	8131	4.65	0.016
Sustrato	1	7001	10724	10724	6.14	0.018
T.Agua*T.planta	4	16988	15624	3906	2.23	0.084
T.planta*Sustrato	2	20802	20802	10401	5.95	0.006
Error	37	64666	64666	1748		
Total	48	138558				

S = 41.8059 R-Sq = 53.33% R-Sq(adj) = 39.45%

Figura 56 Interacción entre factores eliminando factores no significativos (HV)

Al eliminar los datos que no son significativos para el experimento sólo resalta el tipo de planta y el sustrato como las únicas interacciones posibles ya que el valor p es menor a 0.05 y eso lo hace significativo. Además de que el tipo de planta junto con el sustrato salieron significativos de manera individual.

Analysis of Variance for Hoja Verdadera (mm), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
T.Agua	2	7300	6838	3419	1.75	0.187
T.planta	2	21800	13974	6987	3.57	0.037
Sustrato	1	7001	9338	9338	4.77	0.035
T.planta*Sustrato	2	22166	22166	11083	5.66	0.007
Error	41	80290	80290	1958		
Total	48	138558				

S = 44.2525 R-Sq = 42.05% R-Sq(adj) = 32.16%

Figura 57 Interacción entre factores eliminando factores no significativos (HV2).

En la Figura 57 se puede observar que el tipo de planta con el sustrato tiene un valor $p < 0.05$ lo que significa que es importante para el crecimiento de la hoja verdadera, al igual que planta y sustrato de manera individual.

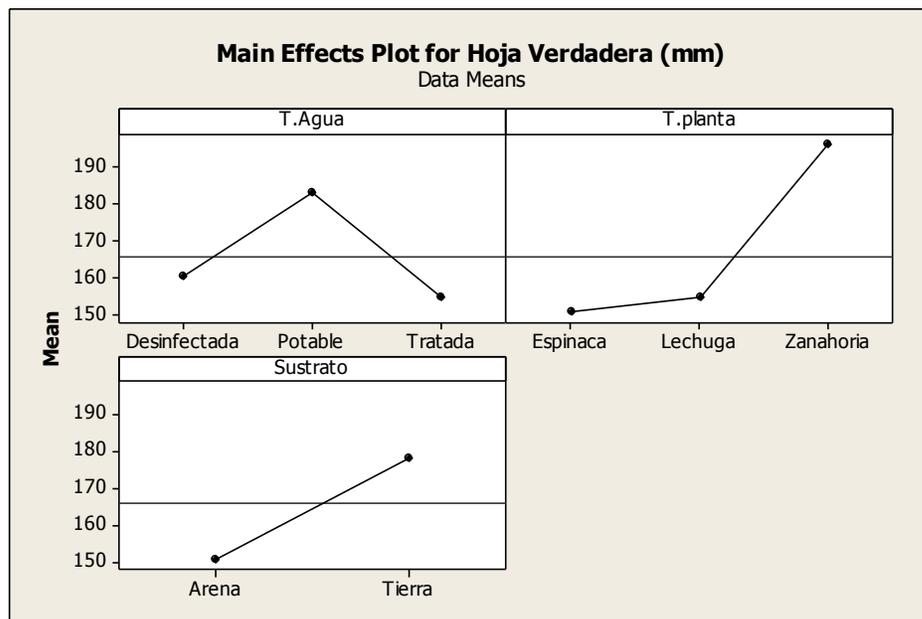


Figura 58 Trama efectos principales (Hoja Verdadera)

En esta trama efectos principales, aparece que en T. planta (espinaca) se asocia con la menor resistencia media. Sin embargo, los resultados de ANOVA indican que este efecto principal no es estadísticamente significativa.

El tipo de agua también afecta a la tasa de crecimiento de la hoja verdadera de las plantas. El agua potable se asocia con un mayor desarrollo de crecimiento en la hoja verdadera a comparación del agua desinfectada y tratada, y el agua desinfectada tuvo mejor desarrollo de crecimiento de la hoja verdadera a comparación de la que es regada con agua tratada. La línea de referencia representa la media global.

El sustrato parece afectar en gran medida ya que la tasa de crecimiento en el cotiledón de la planta porque la línea no es horizontal. El sustrato tierra tiene una tasa de crecimiento de la planta más alta.

✓ **Longitud del producto**

Analysis of Variance for Long. Producto, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
T.Agua	2	3663.1	5550.8	2775.4	10.29	0.004
T.planta	1	11900.0	7243.3	7243.3	26.86	0.000
Sustrato	1	3343.7	6985.7	6985.7	25.90	0.000
T.Agua*T.planta	2	1500.1	2721.4	1360.7	5.05	0.031
T.Agua*Sustrato	2	823.7	758.5	379.2	1.41	0.290
T.planta*Sustrato	1	5095.1	5095.1	5095.1	18.89	0.001
Error	10	2697.1	2697.1	269.7		
Total	19	29022.7				

S = 16.4228 R-Sq = 90.71% R-Sq(adj) = 82.34%

Figura 59 Análisis de diseño factorial, interacciones (Long. Producto)

De acuerdo al valor p la interacción entre tipo de agua y el tipo de planta, y el tipo de planta con el sustrato son significativos, además que el tipo de planta, tipo de agua y sustrato por separado también tienen significancia.

Para este análisis si observamos el coeficiente de correlación los datos sugieren que se usaron valores significativos aunque hay datos que están metiendo ruido al modelo.

Analysis of Variance for Long. Producto, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
T.Agua	2	3663.1	6093.7	3046.9	10.58	0.002
T.planta	1	11900.0	12106.9	12106.9	42.04	0.000
Sustrato	1	3343.7	8620.3	8620.3	29.94	0.000
T.Agua*T.planta	2	1500.1	4101.9	2050.9	7.12	0.009
T.planta*Sustrato	1	5160.3	5160.3	5160.3	17.92	0.001
Error	12	3455.5	3455.5	288.0		
Total	19	29022.7				

S = 16.9694 R-Sq = 88.09% R-Sq(adj) = 81.15%

Figura 60 Segunda corrida entre factores eliminando los no significativos (Long. Producto)

De acuerdo al valor p la interacción entre tipo de agua y el tipo de planta, y el tipo de planta con el sustrato son significativos, además que el tipo de planta, tipo de agua y sustrato por separado también tienen significancia.

Para este análisis si observamos el coeficiente de correlación los datos sugieren que se han eliminado datos que estaban metiendo ruido al modelo.

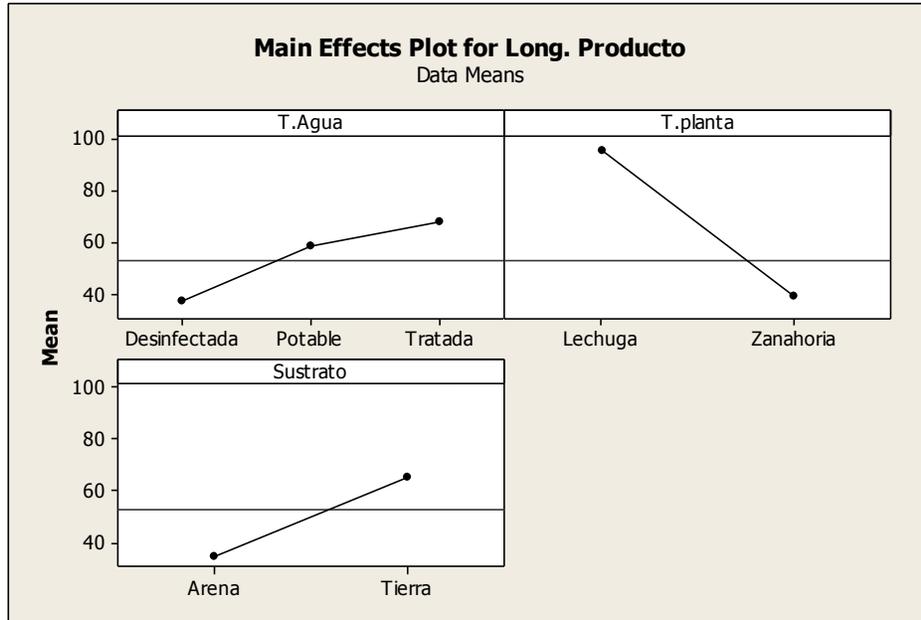


Figura 61 Trama efectos principales (Long. producto)

El tipo de agua afecta a la tasa en la longitud del producto en las hortalizas. El desinfectada se asocia con un menor peso a comparación del agua tratada y potable, sin embargo, la respuesta media entre estos, parece no tener el mismo efecto. La línea de referencia representa la media global.

En esta trama efectos principales, aparece que en T. planta (lechuga) se asocia con la mayor resistencia media y la zanahoria como la menor resistencia media.

Los datos sugieren que el sustrato tiene diferencia significativa.

✓ **Peso**

Analysis of Variance for Peso (kg), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
T.Agua	2	0.0011259	0.0010505	0.0005252	3.51	0.042
T.planta	2	0.0058166	0.0040325	0.0020162	13.47	0.000
Sustrato	1	0.0002959	0.0004524	0.0004524	3.02	0.092
T.Agua*T.planta	4	0.0003796	0.0005847	0.0001462	0.98	0.435
T.Agua*Sustrato	2	0.0000690	0.0002212	0.0001106	0.74	0.486
T.planta*Sustrato	2	0.0002140	0.0003481	0.0001740	1.16	0.326
T.Agua*T.planta*Sustrato	4	0.0005012	0.0005012	0.0001253	0.84	0.512
Error	31	0.0046400	0.0046400	0.0001497		
Total	48	0.0130423				

S = 0.0122343 R-Sq = 64.42% R-Sq(adj) = 44.91%

Figura 62 Análisis de diseño factorial, interacciones (Peso)

De acuerdo al valor p ninguna de las interacciones es significativa, mientras que el tipo de planta y tipo de agua si tienen significancia solas sin interacción.

Analysis of Variance for Peso (kg), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
T.Agua	2	0.0011259	0.0008693	0.0004347	3.22	0.050
T.planta	2	0.0058166	0.0058962	0.0029481	21.84	0.000
Sustrato	1	0.0002959	0.0002959	0.0002959	2.19	0.146
Error	43	0.0058038	0.0058038	0.0001350		
Total	48	0.0130423				

S = 0.0116178 R-Sq = 55.50% R-Sq(adj) = 50.33%

Figura 63 Interacción entre factores eliminando factores no significativos (peso)

Al eliminar las interacciones los datos sugieren que el tipo de agua, y el tipo de planta son significativos .Los factores de correlación indican que estamos tomando valores más significativos que en la Figura 62, aunque este es bajo por ausencia de factores por medir.

Para este análisis si observamos el coeficiente de correlación los datos sugieren que hacen falta cosas o factores de respuesta por medir y que hay datos que están metiendo ruido al modelo.

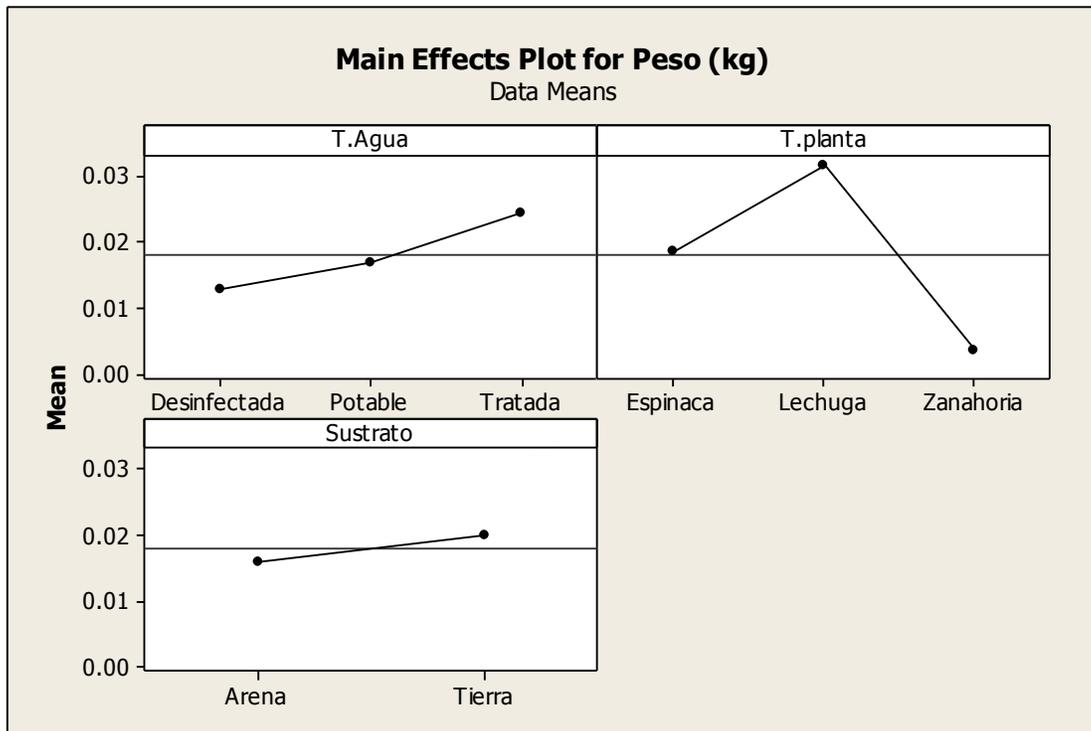


Figura 64 Trama efectos principales (Peso)

El tipo de agua afecta a la tasa de peso de las plantas. El agua tratada se asocia con un mayor peso a comparación del agua desinfectada y potable, y el agua desinfectada tuvo menor desarrollo de su peso a comparación de la que es regada con agua potable. La línea de referencia representa la media global.

En esta trama efectos principales, aparece que en T. planta (lechuga) se asocia con la mayor resistencia media y la zanahoria como la menor resistencia media.

El sustrato parece tener una pequeña diferencia, sin embargo, los resultados de ANOVA indican que este efecto principal no es estadísticamente significativo.

✓ Diámetro

Analysis of Variance for Diámetro, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
T.Agua	2	1277.0	1100.2	550.1	50.32	0.000
T.planta	1	11334.5	7636.9	7636.9	698.64	0.000
Sustrato	1	921.3	1396.3	1396.3	127.73	0.000
T.Agua*T.planta	2	201.9	643.2	321.6	29.42	0.000
T.Agua*Sustrato	2	229.8	692.7	346.3	31.68	0.000
T.planta*Sustrato	1	694.1	828.7	828.7	75.81	0.000
T.Agua*T.planta*Sustrato	2	884.2	884.2	442.1	40.44	0.000
Error	19	207.7	207.7	10.9		
Total	30	15750.4				

S = 3.30624 R-Sq = 98.68% R-Sq(adj) = 97.92%

Figura 65 Análisis de diseño factorial, interacciones (diámetro)

De acuerdo al valor p las interacciones son significativas, y cada uno de los factores de control también son significativos para el diámetro de la planta, que en este caso sería de la lechuga y la zanahoria, ya que la espinaca no tiene un diámetro a medir.

Para este análisis si observamos el coeficiente de correlación los datos sugieren que existe una fuerte correlación entre los factores (próxima a 100).

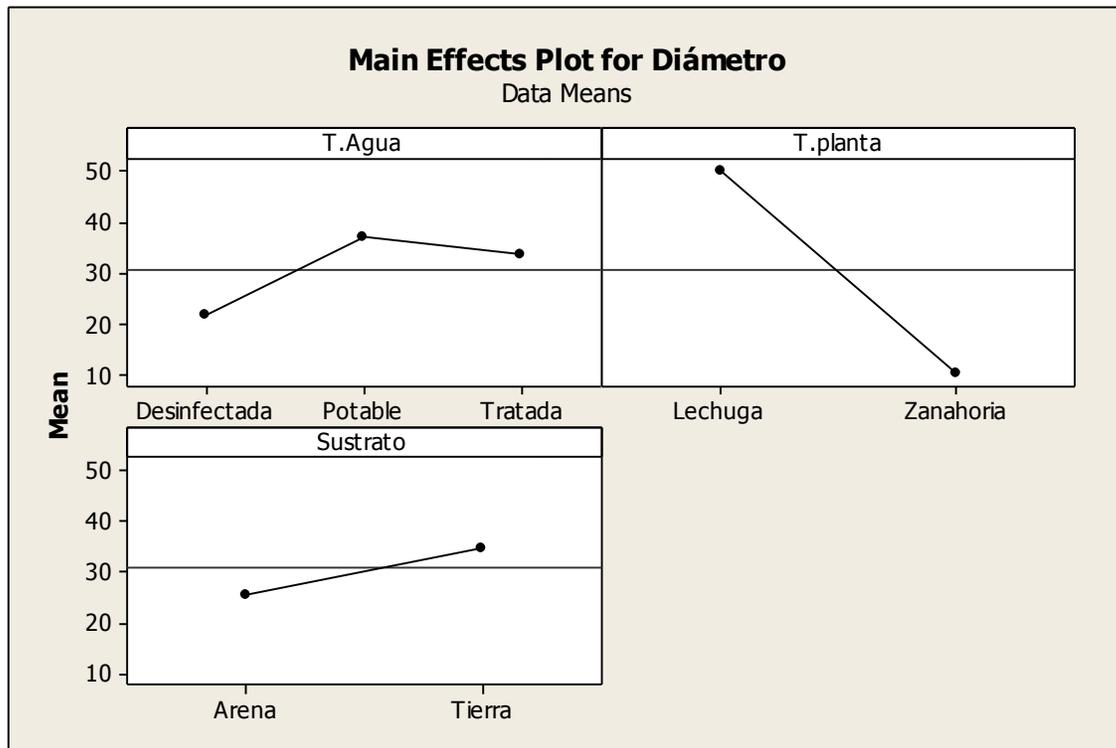


Figura 66 Trama efectos principales (diámetro).

Figura 66, En esta trama efectos principales, aparece que en T. planta (espinaca) se asocia con la menor resistencia media.

El tipo de agua también afecta a la tasa de crecimiento del cotiledón de las plantas. El agua potable se asocia con un mayor desarrollo de crecimiento en el cotiledón a comparación del agua desinfectada y tratada, y el agua desinfectada tuvo mejor desarrollo de crecimiento del cotiledón a comparación de la que es regada con agua tratada. La línea de referencia representa la media global.

✓ **Cantidad de hojas**

Analysis of Variance for Cant.hojas, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
T.Agua	2	20.575	19.869	9.935	1.81	0.181
T.planta	2	117.794	124.195	62.097	11.29	0.000
Sustrato	1	1.133	7.500	7.500	1.36	0.252
T.Agua*T.planta	4	41.581	50.618	12.655	2.30	0.081
T.Agua*Sustrato	2	12.752	14.155	7.077	1.29	0.290
T.planta*Sustrato	2	15.066	7.225	3.612	0.66	0.526
T.Agua*T.planta*Sustrato	4	57.579	57.579	14.395	2.62	0.054
Error	31	170.500	170.500	5.500		
Total	48	436.980				

S = 2.34521 R-Sq = 60.98% R-Sq(adj) = 39.59%

Figura 67 Análisis de diseño factorial, interacciones (Cantidad de hojas)

De acuerdo al valor p la interacción de los 3 factores podría ser significativa, mientras que el tipo de planta sin interacción es significativa.

Para este análisis si observamos el coeficiente de correlación los datos sugieren que hacen falta cosas o factores de respuesta por medir, y que hay datos que están metiendo ruido al modelo.

Analysis of Variance for Cant.hojas, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
T.Agua	2	20.575	13.238	6.619	0.96	0.392
T.planta	2	117.794	118.883	59.441	8.59	0.001
Sustrato	1	1.133	1.133	1.133	0.16	0.688
Error	43	297.478	297.478	6.918		
Total	48	436.980				

S = 2.63023 R-Sq = 31.92% R-Sq(adj) = 24.01%

Figura 68 Segunda corrida entre factores eliminando los no significativos (cant. hojas).

Al realizar la corrida de la Figura 68 se puede apreciar que el valor de p es significativo únicamente para el tipo de planta y que entre los coeficientes de correlación R^2 y R^2 (adj) hay datos que están metiendo ruido al modelo

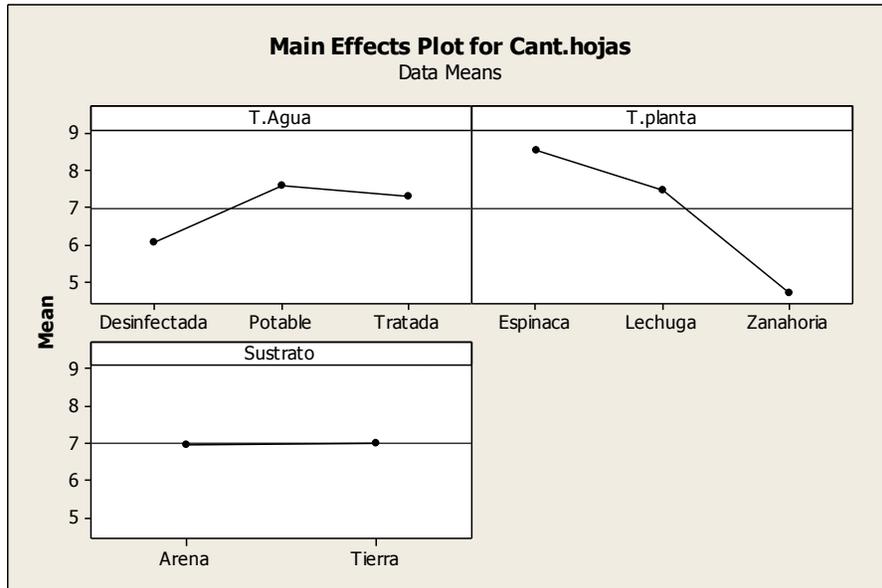


Figura 69 Trama efectos principales (Cant. Hojas)

En la Figura 69, trama de efectos principales, aparece que en T. planta (espinaca) se asocia con la mayor resistencia media y zanahoria con la menor.

El tipo de agua también afecta a la tasa de crecimiento del cotiledón de las plantas. El agua potable se asocia con un mayor desarrollo las hojas en cantidad a comparación del agua desinfectada y tratada.

El sustrato parece no afectar la cantidad de hojas en la planta porque la línea es visualmente horizontal.

✓ **Potencial de Hidrógeno**

Este ejercicio no se le realizó a las 54 hortalizas, fue usado con el diseño óptimo de experimentos ya que se buscaba no contaminar los buffers y en ese momento había disposición de tanto material.

Analysis of Variance for pH, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
T.planta	2	0.42111	0.42111	0.21056	3.85	0.117
T.Agua	2	0.18111	0.18111	0.09056	1.65	0.299
Sustrato	1	0.01389	0.01389	0.01389	0.25	0.641
T.planta*T.Agua	4	0.24556	0.24556	0.06139	1.12	0.457
T.planta*Sustrato	2	0.08111	0.08111	0.04056	0.74	0.532
T.Agua*Sustrato	2	0.00111	0.00111	0.00056	0.01	0.990
Error	4	0.21889	0.21889	0.05472		
Total	17	1.16278				

S = 0.233928 R-Sq = 81.18% R-Sq(adj) = 20.00%

Figura 70 Análisis de diseño factorial, interacciones (pH)

De acuerdo a los valores de p, se puede inferir que no existe interacción, sin embargo, hay que descartar las interacciones para corroborar si ningún que no tienen significancia para ver su efecto.

Analysis of Variance for pH, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
T.planta	2	0.42111	0.42111	0.21056	4.62	0.032
T.Agua	2	0.18111	0.18111	0.09056	1.99	0.180
Sustrato	1	0.01389	0.01389	0.01389	0.30	0.591
Error	12	0.54667	0.54667	0.04556		
Total	17	1.16278				

S = 0.213437 R-Sq = 52.99% R-Sq(adj) = 33.40%

Figura 71 Análisis de varianza y la eliminación de interacciones no significativas.

Al realizar la corrida de la Figura 71Figura 50 se puede apreciar que el valor de p es significativo y que entre los coeficientes de correlación R^2 y R^2 (adj) hay datos que están metiendo ruido al modelo.

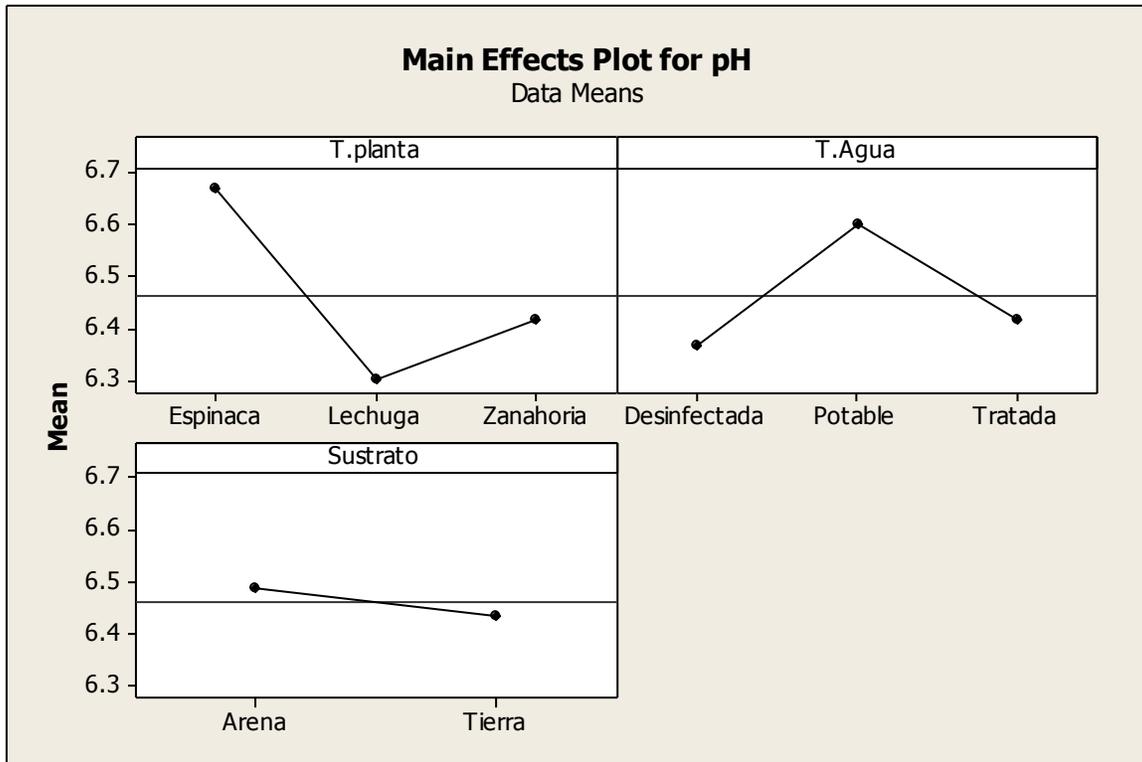


Figura 72 Trama efectos principales (pH)

En esta trama efectos principales, aparece que en T. planta (espinaca) se asocia con la mayor resistencia media.

El tipo de agua también afecta a la tasa de pH de las plantas. El agua potable se asocia con un mayor desarrollo de crecimiento en el cotiledón a comparación del agua desinfectada y tratada, y el agua tratada tuvo mayor resultado de pH a comparación de la que es regada con agua desinfectada. La línea de referencia representa la media global.

El sustrato parece afectar la tasa de crecimiento en el cotiledón de la planta porque la línea no es horizontal. El sustrato arena tiene una mayor respuesta al pH de las hortalizas.

✓ **Unidades Spad**

Analysis of Variance for unidades spad, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
T.Agua	2	32.88	162.18	81.09	10.76	0.000
T.planta	2	814.38	1075.02	537.51	71.34	0.000
Sustrato	1	375.68	495.05	495.05	65.71	0.000
T.Agua*T.planta	4	13.43	109.32	27.33	3.63	0.015
T.Agua*Sustrato	2	46.39	139.48	69.74	9.26	0.001
T.planta*Sustrato	2	141.81	214.90	107.45	14.26	0.000
T.Agua*T.planta*Sustrato	4	281.56	281.56	70.39	9.34	0.000
Error	31	233.57	233.57	7.53		
Total	48	1939.70				

S = 2.74489 R-Sq = 87.96% R-Sq(adj) = 81.36%

Figura 73 Análisis de diseño factorial, interacciones (Unidades Spad)

De acuerdo al valor p las interacciones son significativas, y cada uno de los factores de control también son significativos para el diámetro de la planta.

Para este análisis, el coeficiente de correlación sugiere que existe una buena correlación entre los factores.

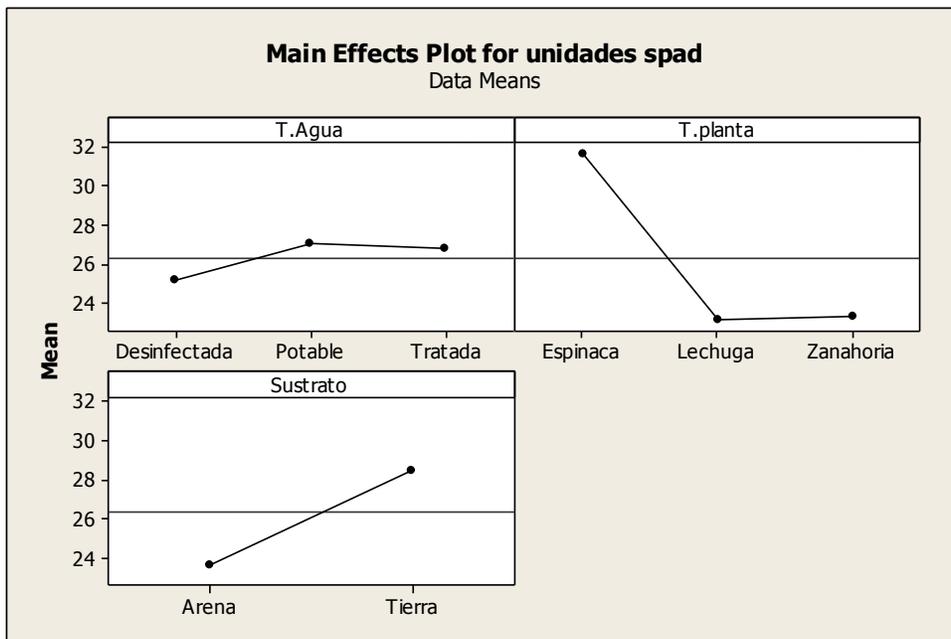


Figura 74 Trama efectos principales (Unidades Spad)

En esta trama efectos principales, aparece que en T. planta (espinaca) se asocia con la mayor resistencia media.

Hay mejor respuesta en el sustrato de arena.

De acuerdo a los datos obtenidos por el experimento, y a la literatura se puede hacer uso de una ayuda visual aproximada por unidades SPAD

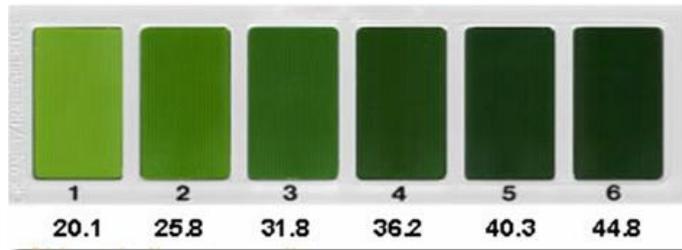


Figura 75 Color por cantidad de unidades SPAD.

Referencia: Stephen Stanphill.

Las unidades spad reportadas al medir las hojas están descritas en la Tabla 19 estas son un promedio de las 3 réplicas que se realizaron de cada una de ellas.

Tabla 19 Resultados de obtención de unidades SPAD

Tipo de agua	Tipo de hortaliza	Tipo de suelo	unidades spad
Tratada	Lechuga	Tierra	29.5
Tratada	Lechuga	Arena	17.8
Tratada	Zanahoria	Tierra	21.2
Tratada	Zanahoria	Arena	27.4
Tratada	Espinaca	Tierra	25.6
Tratada	Espinaca	Arena	30.1
Potable	Lechuga	Tierra	31.9
Potable	Lechuga	Arena	24.3
Potable	Zanahoria	Tierra	20.4
Potable	Zanahoria	Arena	22.2
Potable	Espinaca	Tierra	24.3
Potable	Espinaca	Arena	26.4
Desinfectada	Lechuga	Tierra	32.7
Desinfectada	Lechuga	Arena	22.3
Desinfectada	Zanahoria	Tierra	23.2
Desinfectada	Zanahoria	Arena	22.4
Desinfectada	Espinaca	Tierra	31.6
Desinfectada	Espinaca	Arena	27.9

Tabla 20 Resultados de todas las corridas de ANOVA.

Valor P								
Factor	Cotiledón	Raíz	Hoja verdadera	Peso	Long. Producto	Diámetro	Cant. hojas	pH
T. Agua	0.000			0.050	0.002	0.000		0.032
T. planta	0.000		0.037	0.000	0.000	0.000	0.001	
Sustrato	0.022		0.035		0.000	0.000		
T. Agua*T. planta	0.013				0.009	0.000		
T. planta*Sustrato			0.007		0.001	0.000		
T. Agua*Sustrato						0.000		
T. Agua*Planta*Sustrato						0.000		

En la Tabla 20 se pueden ver los resultados de análisis factorial de cada una de las variables de respuesta, en ésta se pueden observar los factores de manera individual y si existe una correlación, para poder obtener estos datos se hicieron eliminación de factores o intersecciones que no eran significativos.

Para optimizar el diseño se usó la herramienta que ofrece minitab y, nos da las corridas que pueden correrse para su optimización.

Optimal Design: T.Agua, T.planta, Sustrato

Factorial design selected according to D-optimality

Number of candidate design points: 54

Number of design points in optimal design: 18

Model terms: A, B, C, AB, AC, BC, ABC

Initial design generated by Sequential method

Initial design improved by Fedorov method

Optimal Design

Row number of selected design points: 37, 38, 1, 2, 39, 40, 19, 20, 41, 42, 3,
4, 23, 24, 5, 6, 21, 22

Condition number:	9
D-optimality (determinant of XTX):	7.40372E+16
A-optimality (trace of inv(XTX)):	2.77778
G-optimality (avg leverage/max leverage):	1
V-optimality (average leverage):	1
Maximum leverage:	1

Figura 76 Respuesta a diseño óptimo

Se puede observar en la Figura 76 que de 54 corridas experimentales, se puede realizar el experimento con 18 corridas teniendo, teniendo un coeficiente D-optimal de $7.40372E^{+16}$ esto es una valor bastante amplio lo que podría decirse que se minimizan más los valores que no son deseados.

La regla general que en aquellos experimentos con muchas variables de diseño, no es práctico ensayar todas las posibles combinaciones de valores de ensayo. Una es distinto de otro si tiene una combinación diferente de valores de ensayo. Después, se debe decidir si los e.e. deben ser duplicados; es decir, realizar replicaciones. Cuando un conjunto de valores de ensayo se realiza más de una vez, se dice que el diseño es replicado es lo que llamamos diseño óptimo. Se debe decidir el número de distintos corridas experimentales al incluir en el experimento.

Los tratamientos se expresaron de la siguiente manera para poder mostrar los resultados numéricos.

Tratamiento	T. Sustrato	T.Agua
I	Tierra	Agua Potable
II	Tierra	Agua Tratada
III	Tierra	Agua Desinfectada
IV	Arena	Agua Potable
V	Arena	Agua Tratada
VI	Arena	Agua Desinfectada

En el diseño de la tabla se obtienen tres mediciones de la respuesta para cada experimento elemental con el fin de proporcionar una estimación mejor de cómo se comporta la variable respuesta con cada combinación de tratamientos y también una estimación del error experimental. A estas repeticiones se les realizó un promedio de datos obtenidos por hortaliza, para **Zanahoria, Lechuga y Espinaca** el experimento realizó con dos variables del proceso (Tipo de agua y Tipo de suelo) con los niveles siguientes: el tipo de agua como potable, desinfectada y tratada, el tipo de suelo a dos niveles (Tierra y Arena), un experimento elemental consistió en realizar el proceso de un tipo de agua en específico con el sustrato tierra. El diseño del experimento fue el conjunto de experimentos elementales para cada una de las hortalizas.

Teniendo en cuenta que al final, a mayor número de experimentos, más tiempo sería necesario para realizarlos y mayor el costo de la experimentación, el experimento se realizó dentro de los límites del tiempo y presupuesto disponible. Además, de que en el experimento se tuvo en cuenta que usualmente no podía ser posible mantener vivas las plantas durante un periodo largo de tiempo únicamente por lo que va de su desarrollo, y crecimiento.

Se observó que hubo el mejor desarrollo para cotiledón, hoja verdadera, diámetro y unidades Spad en el Tratamiento I es decir **Tierra + Agua Potable**; para la raíz el Tratamiento V que equivale a la combinación de **Arena + Agua Tratada**;

para peso y longitud del producto, la combinación del tratamiento III fue el que dio mejor resultado **Tierra + Agua Desinfectada**.

ZANAHORIA						
Respuesta/Tratamiento	I	II	III	IV	V	VI
Cotiledón	72.113	70.127	68.617	56.340	53.750	61.500
Hoja Verdadera (mm)	263.157	205.577	226.630	155.000	120.470	153.110
Raíz (mm)	68.887	58.473	94.687	54.430	103.325	79.077
Peso (kg)	0.005	0.002	0.006	0.004	0.001	0.001
Cant. hojas	4.333	6.333	4.667	3.000	3.500	4.667
Diámetro	14.757	8.693	12.810	13.790	5.650	6.760
Long. Producto	45.337	32.430	59.907	45.480	24.160	24.393
Unidades Spad	25.000	24.100	24.733	22.200	23.000	20.133

Para la lechuga los resultados se realizó el promedio de datos obtenidos por hortaliza, se observó que hubo el mejor desarrollo para *cotiledón*, y *raíz* en el Tratamiento I es decir **Tierra + Agua Potable**; para el *peso* y *el diámetro* el Tratamiento II que equivale a la combinación de **Tierra + Agua Tratada**; para *longitud del producto* y *unidades Spad* la combinación del tratamiento III fue el que dio mejor resultado **Tierra + Agua Desinfectada**; el mejor desarrollo de *la hoja verdadera* fue en el tratamiento IV que fue la combinación de **Arena + Agua Potable** y para el caso de la obtención de le mayor número de hojas fue en el tratamiento V que surge de **Tierra + Agua Tratada**, como observación importante de este experimento es que la combinación de **Arena + Agua Desinfectada** no era favorable para la producción de lechugas ya que no se obtuvo un producto final muy débil y con una menor tasa de vida.

Lechuga						
Respuesta/Tratamiento	I	II	III	IV	V	VI
Cotiledón	70.107	33.937	37.097	54.023	31.357	4.670
Hoja Verdadera (mm)	161.787	172.197	151.087	183.127	153.260	6.120
Raíz (mm)	87.880	69.647	65.280	82.930	63.570	12.300
Peso (kg)	0.028	0.042	0.036	0.022	0.040	0.001
Cant. hojas	8.667	5.333	6.000	7.667	11.333	2.000
Diámetro	57.660	57.807	57.023	45.807	49.110	
Long. Producto	120.300	122.000	124.600	108.720	106.500	
Unidades Spad	25.167	27.567	28.767	22.767	19.200	17.700

Para la espinaca los datos obtenidos por hortaliza sugieren que hubo el mejor desarrollo para *unidades spad* en el Tratamiento I es decir **Tierra + Agua Potable**; para *la raíz*, *el peso* y *la cantidad de hojas* el Tratamiento II que es la combinación de **Tierra + Agua Tratada**; el mejor desarrollo del *cotiledón* fue en el tratamiento IV que fue la combinación de **Arena + Agua Potable** y teniendo el mejor desarrollo de *la hoja verdadera* fue en el Tratamiento VI **Arena + Agua Desinfectada**.

Espinaca						
Respuesta/Tratamiento	I	II	III	IV	V	VI
Cotiledón	36.733	29.027	31.457	43.293	25.867	32.417
Hoja Verdadera (mm)	153.823	109.600	159.153	162.687	134.783	184.797
Raíz (mm)	70.690	124.993	76.413	72.113	48.573	95.613
Peso (kg)	0.017	0.027	0.016	0.017	0.022	0.013
Cant. hojas	9.667	10.333	7.667	9.000	7.333	7.000
Unidades Spad	34.700	34.633	32.133	29.033	30.433	29.100

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La agricultura es el mayor consumidor de recursos hídricos; la disponibilidad hace que en algunas zonas sea necesario emplear otros recursos, como el reuso de aguas residuales. Aunque es recomendable previamente un tratamiento o desinfección.

Los resultados de la evaluación para los límites permisibles de contaminantes de NMP de colonias de coliformes fecales se obtuvieron de 240, 123, 11 colonias NMP/100ml para el agua tratada y 108, 90, 10 NMP/100ml para el agua desinfectada, ambos tipos de agua presentaron $<0.05\text{mL/L}$ de Sólidos Sedimentables y un valor $<20\text{ mg/L}$ de Sólidos Suspendedos Totales, indican que el agua tratada y desinfectada que se utilizó está en los límites permisibles de acuerdo a la NOM-001-ECOL-96 y NOM-003-ECOL-97 tanto para el contacto directo como indirecto, siendo apta para la manipulación del usuario responsable del cultivo de las hortalizas.

En cuanto a grasas y aceites del agua tratada y desinfectada están por arriba de los límites permisibles de la NOM-001-ECOL-96, sobrepasando el valor con 468 mg/L el agua tratada y 29 mg/L el agua desinfectada, lo que sugiere que sea implementado un sistema de retención de grasas y aceites para cumplir con la normativa.

Se realizó un diseño de taguchi previo por que mediante el método se buscaba reducir los efectos de las causas o variables en la respuesta, pero se no se puede determinar si existen interacciones entre esos factores, y las interacciones están presentes en muchos casos. Entonces se cambió por un diseño factorial general que realizar estas interacciones y permite al técnico ser más efectivo a la hora de eliminar la variabilidad en los procesos que afectan negativamente a su calidad.

Al realizar este análisis se obtuvieron datos significativos tomando el valor p , con un nivel de significancia de 95% en su mayoría donde el agua es un factor primordial para el desarrollo de la hortaliza.

El estudio Gage R & R Ampliado ha proporcionado una evaluación integral del sistema de medición para la medición del producto vegetal. Con el número de categorías distintas mayores a 5, el sistema cumple con los criterios mínimos de aceptación para una medida utilizada para estudiar el proceso.

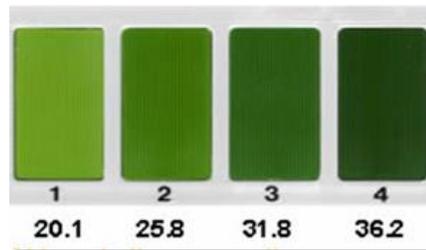
Para la realización se tuvo un control experimental que implicó tener el control por parte del investigador de las variables del proceso y de otras fuentes de variación de una forma activa de manera que aquellas que se consideraron ruido se reportaron de forma sistemática de tal manera que exista una alta probabilidad de identificar las relaciones existentes entre las variables del proceso y las variables de respuesta existiendo al mismo tiempo una baja probabilidad de que factores que no están incluidos en el diseño afecten a la variable de respuesta.

Otro punto importante del experimento fue la aleatorización para la protección del experimento frente a todas las posibles fuentes de influencia exterior sesgo como la cantidad de radiación, para lograr esto las unidades experimentales (hortalizas) fueron rotadas cada 2 días dentro del invernadero y para que no existiera confusión al momento de regarlas existió un código de colores para cada tipo de agua.

El análisis realizado de clorofila (Tabla 19) evidenció que de acuerdo al tipo de hortaliza, el tipo de sustrato utilizado y el tipo de agua, se ve el valor de unidades SPAD, en la siguiente tabla se muestra los valores que tuvieron mayor importancia en esta categoría lo que demuestra que el agua desinfectada y tratada para el color fueron significativas como lo demostró el ANOVA ya que son menores que 0.05.

Tipo de agua	Tipo de hortaliza	Tipo de suelo	unidades spaci
Desinfectada	Zanahoria	Tierra	23.2
Potable	Lechuga	Arena	24.3
Tratada	Zanahoria	Arena	27.4
Tratada	Zanahoria	Arena	27.4
Tratada	Espinaca	Arena	30.1
Desinfectada	Espinaca	Tierra	31.6
Desinfectada	Lechuga	Tierra	32.7

El color del vegetal puede servir como el primer indicio en hortalizas de hojas de color verde claro a oscuro, para encontrar importantes fuentes clorofila en sus hojas similares a las que se encuentran en el mercado.



Podemos concluir que la hipótesis nula no se rechaza ya que el agua tratada biológicamente y agua desinfectada por fotocátalisis son aptas para el uso en el riego hortícola y se pueden observar cambios importantes en los productos vegetales.

Como recomendación sería hacer pruebas con el diseño factorial completo nuevamente y únicamente el sustrato tierra, para hortalizas como la lechuga.

IV. BIBLIOGRAFÍA

- A.H.M.A.C. (2008). Factores a considerar en los cultivos hidropónicos. *Revista Hydro. Asociación Hidropónica Mexicana, A.C.*, 20.
- APHA-AWWA-WEF. (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. En *método 2540 F.* (págs. 2-59 y 2-60). New York: 21th Edition.
- Aristizabal L., M. (2003). Fotosíntesis. *fisiología vegetal*, 306.
- Bertsch, F. (1995). *La Fertilidad de los Suelos y su Manejo*. San José,; Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- Carrasco. (1997). A média empresa hidropónica: a técnica da solução nutritiva recirculante ("NFT"). En *Hidroponía y Horticultura* (pág. 108). Talca, Chile: Editorial Universidad de Talca. .
- Castellanos, R. J. (2004). En *Manual de Producción de Hortícola en Invernadero*. (pág. 469). Celaya Gto. México.: INTAGRI. Obtenido de INTAGRI. Celaya Gto. México. 469 p.
- Castro, H. (1998). Fundamentos para el conocimiento y manejo de suelos agrícolas: Manual Técnico. Tunja.
- Cazorla, L. (2011). Estudio Bioagronómico de catorce cultivares de Lechuga Tipo Mantecosa (*Lactuca sativa* L.), en el cantón Riobamba, provincia de Chimborazo.
- Coliformes totales y fecales en agua de consumo humano.* (2007). Obtenido de Mlicrobiología aplicada: <http://www.azc.uam.mx/>
- Comisión Nacional del Agua, C. (2008). *Programa Nacional Hídrico 2007-2012.* (S. d. Naturales, Ed.) México, D.F, Coyoacán: SEMARNAT. Recuperado el 07 de 04 de 2015, de Tratar y reusar las aguas residuales: <http://cuencavalledemexico.com/wp-content/uploads/2010/04/capitulo-2-Tratar-y-reusar-las-aguas-residuales1.pdf>
- CONAGUA. (2014). Estadísticas del agua an México. En S. d. Naturales, *Estadísticas del Agua en México edición 2014* (pág. 61). México.

- CONAGUA/SEMARNAT. ((2014)). *Normas Oficiales Mexicanas* . Obtenido de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NormasOficialesMexicanas.pdf>
- Couto, M. (2009). Fundamentos del tratamiento biológico. *Uso de humedales para el tratamiento de aguas residuales municipales en el entorno de la Laguna de Tamiahua, Veracruz*.
- D Miles, B. K. (1994). The solid-state chlorophyll meter: a novel instrument for rapidly and accurately determining the chlorophyll concentrations in seedling leaves. *ScienceReport*, 25-27.
- División de Recursos Hídricos y Medio Ambiente. (2005). Criterios de calidad de aguas o efluentes tratados para uso en riego . *Servicio Agrícola y Ganadero*. Educativa, I. L. (s.f.). *I. RECURSOS PARA LA VIDA DE LAS PLANTAS*<.
- Ervin, Russell, Layton, Yamahara, Wang, Sassoubre, . . . Shanks. (2010). Water Res.
- Estada, M. M. (14-14 de junio-septiembre de 2008). *Uso sostenible del agua en la ciudad de Querétaro*. Obtenido de Agua y servicios de abastecimiento y saneamiento: <http://www.ayto-zaragoza.mobi/contenidos/medioambiente/cajaAzul/27S6-P5-Manuel%20UrquizaACC.pdf>
- FACULTAD DE AGROINDUSTRIAS* . (2006). Obtenido de Estudio cuantitativo de bacterias : <http://www.biologia.edu.ar/microgeneral/tp5.pdf>
- FAO. (2013). *Manual de practicas de manejo postcosecha de los productos hortofrutícolas* . Obtenido de Almacenamiento: <http://www.fao.org/wairdocs/x5403s/x5403s0a.htm>
- Forero, R. S. (2013). *Introducción; y uso de aguas residuales tratadas en agricultura y acuicultura*. Obtenido de Riego y Salud: <http://www.bvsde.ops-oms.org/>
- Fowkles, W., & Creveling, C. (1995). *Engineering Methods For Robust Product Desing Using Taguchi Methods in Technology and Product Development*. Addison-Wesley.
- FRANCO, A. G. (2012). En U. T. QUERÉTARO, *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE LA PLATA PURIFICADORA DE AGUA*. Querétaro.

- García, E. (2001). Optimización, validación y modelización de un proceso de fabricación de comprimidos. Desarrollo de una aplicación interactiva multimedia. *Universitat de Barcelona*.
- Gilbride, K. (2014). En *Academic Press* (págs. 231–290). Amsterdam: Waterborne pathogens.
- GOH., T. (1997). Use of Dummy Values in Analyzing Incomplete Experimental Design Data. En *Quality Engineering* (Vol. 10, págs. 397-401).
- González-Meraz¹, C.-E. O. (19-21 de septiembre de 2001). *XI Congreso Nacional de irrigación*. Obtenido de http://www.bvsde.paho.org/bvsair/e/repindex/rep84/vleh/fulltext/acrobat/inv_ernadero.pdf
- H.M., R., Young, M., Webb, C., & Rohison., a. D. (2000). Testing the accuracy of growth and yields models for Southern hardwood forests. *SciELO*, 24:176-185.
- Halvlin, J., Beaton, D., Tisdale, S., & Nelson, W. (1999). *Soil Fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management*. Upper Saddle: Prentice Hall.
- Harrington, J. (2015). *eHow*. Obtenido de Temperaturas óptimas para las plantas: http://www.ehowenespanol.com/temperaturas-optimas-plantas-lista_365678/
- Hernández, J., Escobar, I., & Castilla, N. (2001). La radiación solar en invernaderos mediterráneos.
- Hiderman, J. A. (1992). Changes in the levels of chlorophyll and light-harvesting chlorophyll a/b protein of PS II in senescence. *Plant Cell* 53, 1209-1214.
- INEGI. (2011). *Agua.Cuéntame de México*. Obtenido de Cuéntame INEGI: <http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/usos.aspx?tema=T>
- INTERAPAS. (28 de octubre de 2014). *Sistema de tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de http://interapas.mx/files/cultura_del_agua/folletos/sistema_de_tratamiento_de_aguas_residuales.pdf
- Julián Blanco Gálvez, S. M., Gasca, C. A., & R., E. (2010). Purificación de aguas por fotocátalisis heterogénea: estado del arte. *CYTED*.

- Kavanaugh, C. (2002). Los diseños de Taguchi contra los diseños clásicos de experimentos. *Conciencia Tecnológica*.
- Leal, L. D. (08 de 2010). *Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa*. Obtenido de La ciencia para todos: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/48/html/sec_5.html
- León, A. M. (2012). Estudios R&R para pruebas destructivas. En U. T. QUERÉTARO. Querétaro.
- Llanas, M. E. (2006). . Bioseguridad en invernaderos. . *Agricultura: Revista agropecuaria*, 856-862.
- Malatay, L., & Alonso., J. (2012). Estudio de tres niveles de compost en el cultivo de la lechuga variedad repollo (*lactuca sativa* L.), en suelos andisoles.
- Márquez, M. d. (2011). DISEÑO PROTOTIPO DE TRATAMIENTO. *UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE QUERÉTARO*.
- Martínez, E. D., & Illia, G. J. (2009). Incorporación de nanopartículas metálicas en películas delgadas mesoporosas: métodos, propiedades ópticas y desarrollo de dispositivos multifuncionales. *Congreso SAM/CONAMET*.
- Massol, A. (2014). Manual de Ecología Microbiana. . *Universidad de Puerto Rico*.
- Meisel, L. A., Urbina, D. C., & Pinto, M. E. (2011). Fotorreceptores y Respuestas de Plantas a Señales Lumínicas. *Ediciones Universidad de La Serena*.
- MINITAB. (2015). *SOPORTE TÉCNICO DE MINITAB® 17* . Obtenido de Quality Analysis. Results: <http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library/modeling-statistics/doe/factorial-designs/factorial-designs/>
- Montgomery, D. C. (2008). Design and analysis of experiments. En J. W. Sons..
- Mujeriego, R. (2014). *Manual Práctico De Riego Con Agua Residual Municipal Regenerada*.
- Natureduca es un Portal Educativo de Ciencias Naturales y Aplicadas*. (28 de 07 de 2015). Obtenido de Asociación Española para la Cultura, el Arte y la Educación (ASOCAE O.N.G.D.): http://www.natureduca.com/agro_hort_zanahoria.php
- Organización Mundial de la Salud . (2003). Índice UV Solar Mundial.

- Orozco, F. (1999). La Biología del nitrógeno. *Conceptos básicos sobre sus transformaciones biológicas*, 29 p.
- Ortiz, J. J. (2013). *En Buenas Manos*. Obtenido de El agua potable se acaba, causas y soluciones: <http://www.enbuenasmanos.com/ecologia-y-medio-ambiente/el-agua-potable-se-acaba/>
- Piekielek, W. y. (1992). Use of a chlorophyll meter to predict nitrogen requirements for maize. *AGRONOMY*, p. 59-65.
- Pliego, F. F. (11 de marzo de 2015). *FÁBRICAS DE VERDURAS: LA INDUSTRIALIZACIÓN DE LA AGRICULTURA*. Obtenido de Agricultores: <http://agriculturers.com/fabricas-de-verduras-la-industrializacion-de-la-agricultura/>
- R. Aerts, F. C. (1990). The Mineral Nutrition of Wild Plants Revisited: A Re-evaluation of Processes and Patterns. *Advances in Ecological Research*, 1-67.
- R. Zanella, L. C. (2007). Desulfuración de organoazufrados con catalizadores de oro y plata soportados en Óxido de Titanio. . *Revista Mexicana de Ingeniería Química.*, 147-156 .
- Ramos, C., & Osorio, T. (2012). *ESTADO DEL ARTE DE LA FOTOCATÁLISIS SOLAR COMO TÉCNICA PARA*. Obtenido de http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/jspui/bitstream/10819/1144/1/Estado%20del%20arte%20de%20la%20fotocat%C3%A1lisis_Mar%C3%ADa%20Irene%20Castellar%20Ramos_USBCTG_2012.pdf
- Ramos, M. I., & Tamayo, J. C. (2012). Estado del arte de la fotocatalisis solar como técnica para la remoción de efluentes químicos provenientes de laboratorios. *UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA*.
- Reboratti, G. G. (2011). *LA CUESTIÓN DEL AGUA* .
- Rodríguez, F. M. (2012). Diseño Robusto en Sistemas de Control. En C. d. Matemáticas. Guanajuato.: A.C.
- Rodríguez, R. (2010). Eliminación fotocatalítica de H₂S en aire mediante TiO₂, soportado sobre sustratos transparentes en el UV-A, USC,. *Editor, USC: Santiago de Compostela.*, p. 3.

- Romero Tous, M. (2010). *Energía solar fotovoltaica*. B. Barcelona: CEAC.
- Scaglia, B., D'Imporzano, G., Garuti, G., Negri, M., & Adani, F. (2014). *Sci Total Environ*, 466–467.
- SEMARNAT. (2008). *Agua*. Obtenido de http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/documents/sniarn/pdf/y_elmedioambiente/version_2008/4_agua_v08.pdf
- Semarnat, Subsecretaría de Fomento y Normatividad Ambiental, folleto , México. (junio de 2002). *Normas Oficiales Mexicanas: Calidad del agua residual*. Obtenido de "Normas Oficiales Mexicanas vigentes": http://www.paot.org.mx/centro/ine-semarnat/informe02/estadisticas_2000/compendio_2000/04dim_institucional/04_02_Normatividad/data_normatividad/RecuadroIV.2.2.htm
- SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL, M. (03 de 08 de 2015). *CONAGUA*. Obtenido de Resúmenes Mensuales (consulta de tabla nacional por entidad federativa y mapas): http://smn.conagua.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=12&Itemid=112
- Shanqing Zhang, W. D. (2005). Will Photoelectrochemical characterisation of TiO₂ thin films derived from microwave hydrothermally processed nanocrystalline colloids. *Journal of Photochemistry and Photoand Photobiology*, p. 305-313. .
- Sistema Estatal de Informacion del Agua. (16 de Mayo de 2012). *Sistema Estatal de Informacion del Agua*. Obtenido de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR): <http://seia.guanajuato.gob.mx/?p=779>
- Spivey, J. (1999). Catalysis Today. *ScienceDirect, Volume,,* 191-378.
- Tanco, M., Ilzarbe, L., Viles, E., & Alvarez, M. J. (2008). Aplicación del diseño de experimentos (DoE) para la mejora de procesos. *Dialnet*, 87-96.
- Turner, F. y. (1991). Chlorophyll meter to predict nitrogen topdress requirement. *Agonomy*, 926-928.
- Varela, P. D. (2005). APLICACIÓN Y COMPARACION DE METODOS CLASICOS Y ROBUSTOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL EN LA INDUSTRIA AZUCARERA DEL VALLE DEL CAUCA. *UNIVERSIDAD DE LOS ANDES*.

- Vera, B. H. (2003). Evaluación de errores de datos sismológicos y sus efectos sobre los parámetros y modelos derivados de éstos para una región determinada cubierta por la red del Observatorio Sismológico del SurOccidente - OSSO. *Universidad del Valle, Santiago de Cali.*
- Yacuzzi, Martín, Quiñones, H. M., & Popovsky., a. M. (2004). El diseño experimental y los métodos de Taguchi: Conceptos y aplicaciones en la industria farmacéutica. *Universidad del CEMA: Área: negocios.*
- Zepeda, I. L. (2012). Efecto de la solución nutritiva en el rendimiento de la lechuga (*Lactuca Sativa L.*) en dos sistemas hidropónicos: camas flotantes y aeropónia.

GLOSARIO

Aguas residuales tratadas: Son aquellas que mediante procesos individuales o combinados de tipo físicos, químicos, biológicos u otros, se han adecuado para hacerlas aptas para su reuso en servicios al público.

Aguas residuales: Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

Almácigo. Cajones para la germinación y los primeros días de vida de la planta. Pueden ser de madera, rejas, cubetas.

Bacteria. Microorganismo que ayuda a la planta a digerir algunos minerales del suelo.

Biológico, origen. Que proviene de la naturaleza, de lo vivo; su origen es natural y vivo.

Cama de cultivo. Lugar donde se siembra o se trasplantan los cultivos; sus dimensiones pueden variar.

Desbaste. consiste en hacer pasar el agua residual a través de un sistema de barras, alambres o varillas paralelas, rejillas, telas metálicas o placas deflectoras (tamices), aunque los más habituales son las rejas de barras y los tamices, para la retención de sólidos gruesos tipo plásticos, maderas, alimentos, etc., para evitar su entrada en los equipos de depuración mediante una reja.

El pH. Abreviatura de Potencial Hidrógeno, es un parámetro muy usado en química para medir el grado de acidez o alcalinidad de las sustancias. Esto tiene enorme importancia en muchos procesos tanto químicos como biológicos.

Fertilizante orgánico. De origen natural o de la naturaleza, abonos, minerales, entre otros.

Fertilizante. Sustancia que se adiciona a un terreno para aumentar su rendimiento y producción de hojas, raíces y tallos.

Hortaliza. Planta comestible que se cultiva en los huertos.

Humus. Materia orgánica del suelo procedente de la descomposición, por fermentación o putrefacción, de los restos de plantas y animales.

Límite máximo permisible: Valor o rango asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en la descarga de aguas residuales (CONAGUA/SEMARNAT, 2014).

Maduración. Etapa en la que termina de formarse un fruto, planta, composta, cultivo.

Materia orgánica. Restos de origen natural. Conjunto de sustancias de origen natural y resto de plantas, animales, seres vivos microscópicos que habitan en el suelo.

Microorganismos. Seres vivos muy pequeños.

Nitrógeno. Elemento químico que se encuentra en la naturaleza y forma parte de los seres vivos; en las plantas ayuda al crecimiento de las

Operación unitaria: Cambios físicos que le ocurren a la materia (calentamiento, evaporación... etc.).

Orgánica (o). De origen natural, que se encuentra y fue formado por la naturaleza. Pila de composta. Cubo que se forma al elaborar y construir la composta.

Potasio. Elemento químico; mineral que en las plantas ayuda a la formación de los frutos y proporciona defensas contra enfermedades.

Proceso unitario: Cambios químicos que le ocurren a la materia (oxidación, reducción, polimerización... etc.).

Recurso. Bien o medio que utilizamos para vivir.

Riego no restringido: La utilización del agua residual destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas en forma ilimitada como forrajes, granos, frutas, legumbres y verduras (CONAGUA/SEMARNAT, 2014).

Riego restringido: La utilización del agua residual destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas, excepto legumbres y verduras que se consumen crudas (CONAGUA/SEMARNAT, 2014)

Suelo. Capa superior de la corteza terrestre capaz de sostener la vida vegetal.

Suelo: Cuerpo receptor de descargas de aguas residuales que se utiliza para actividades agrícolas (CONAGUA/SEMARNAT, 2014).

También se le conoce así al excremento de la lombriz de tierra.

Uso en riego agrícola: La utilización del agua destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas y su preparación para la primera enajenación, siempre que los productos no hayan sido objeto de transformación industrial (CONAGUA/SEMARNAT, 2014)

Anexo I

Especificaciones de medidor de clorofila SPAD-502Plus

Especificaciones	
Tipo	Medidor de clorofila SPAD-502Plus
Muestras	Hojas de grano
Método de medida	Diferencia de densidad óptica en 2 longitudes de onda
Área de medida	2 mm. x 3 mm.
Espesor de muestra	1,2 mm. máximo
Profundidad de inserción de la muestra	12 mm. (con posición de parada ajustable, de 0 a 6 mm.)
Fuente de luz	2 elementos LED
Receptor	1 SPD (fotodiodo de silicio)
Pantalla	Panel LCD que muestra valores de medida de 4 dígitos (primer lugar decimal) y el número de medidas de 2 dígitos; también se pueden mostrar los valores en memoria del gráfico de tendencia.
Rango de pantalla	-9.9 a 199,9 unidades SPAD
Memoria	Capacidad de memoria para 30 valores; también es posible el cálculo/visualización de la media de valores en memoria
Alimentación	2 pilas alcalinas tamaño AA
Vida de las pilas	Más de 20.000 medidas (cuando se utilicen pilas alcalinas nuevas bajo las condiciones de test Konica Minolta)
Intervalo mínimo entre medidas	Aprox. 2 segundos
Precisión	Dentro de $\pm 1,0$ unidades SPAD (para valor SPAD entre 0,0 y 50,0 bajo temperatura/humedad normal) *** aparece en la pantalla cuando la medida exceda de 50,0 unidades SPAD
Repetitividad	Dentro de $\pm 0,3$ unidades SPAD
Reproducibilidad	Dentro de $\pm 0,5$ unidades SPAD
Variación por temperatura	Dentro de $\pm 0,04$ unidades SPAD/°C
Temperatura de funcionamiento/rango de humedad	0 a 50°C; humedad relativa de 85% o menor (a 35°C) sin condensación
Temperatura de almacenamiento/rango de humedad	-20 a 55°C; humedad relativa de 85% o menos (a 35°C) sin condensación
Tamaño; peso	78 (ancho) x 164 (alto) x 49 (profundo) mm.; 200 g. (excluyendo pilas)
Otros	Aviso "zumbido"; factor de compensación del usuario
Accesorios estándar	Tope deslizante; correa; 2 pilas alcalinas tamaño AA; funda de transporte; comprobador de lectura

Valor SPAD: valor del índice visualizado por los medidores de clorofila Konica Minolta, tiene correlación con la densidad de clorofila.
Las especificaciones y la apariencia están sujetas a cambios sin previo aviso

En el diagrama en la Figura 77, se puede observar que la clorofila tiene picos de absorción en el azul (400-500 nm) y rojo (600-700 nm), las regiones, sin la absorbancia en la región del infrarrojo cercano.

Para aprovechar las ventajas características de la clorofila, el SPAD502Plus mide las absorbancias de la hoja en el rojo y cerca de las regiones infrarroja. Con

estas dos absorbancias, el medidor SPAD calculará un valor numérico que es proporcional a la cantidad de la clorofila en la hoja.

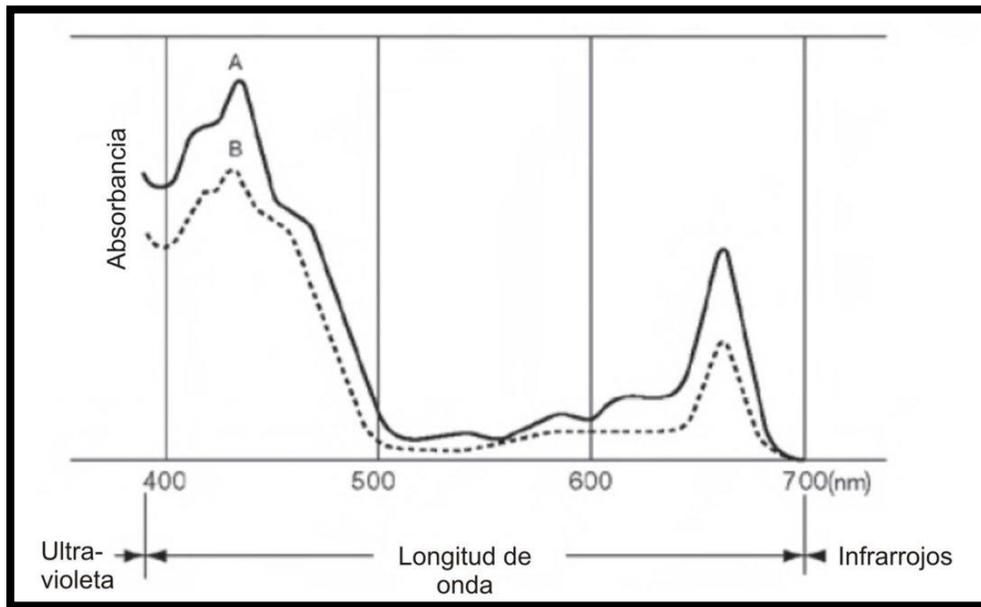


Figura 77 Rango de detección de la clorofila en el espectro de absorción utilizado para determinar las unidades SPAD