

Oscilación en las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) de acuerdo a diferentes frecuencias establecidas en sistemas NFT (Nutrient Film Technique) en el municipio de Chía, Cundinamarca.

Gian Franco Suarez Jaimes  
Rubén Darío Carretero Chaguala

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano  
Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería  
Chía, Cundinamarca

2022

Oscilación en las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) de acuerdo a diferentes frecuencias establecidas en sistemas NFT (Nutrient Film Technique) en el municipio de Chía, Cundinamarca.

Gian Franco Suarez Jaimes

Rubén Darío Carretero Chaguala

Dirigido por:

Rodrigo Gil Castañeda

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano  
Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería  
Especialización Tecnológica En Horticultura Protegida  
Chía, Cundinamarca

2022

**Contenido**

Resumen.....	6
Introducción.....	7
1. Problema de investigación y preguntas de investigación.....	8
2. Justificación.....	8
3. Hipótesis.....	8
4. Objetivos.....	9
Objetivo General.....	9
Objetivos Específicos.....	9
5. Materiales y métodos.....	9
6. Resultados.....	11
7. Discusión.....	14
8. Conclusiones.....	15
Referencias Bibliográficas.....	17

**Lista de tablas**

Tabla 1 Frecuencia de recirculación 1.....	10
Tabla 2 Frecuencia de recirculación 2.....	10
Tabla 3 Frecuencia de recirculación 3.....	11

**Lista de figuras**

Ilustración 1 Oscilación del oxígeno disuelto (ppm) de la frecuencia número 1 .... 12

Ilustración 2 Oscilación del oxígeno disuelto (ppm) de la frecuencia número 2 .... 13

Ilustración 3 Oscilación del oxígeno disuelto (ppm) de la frecuencia número 3 .... 14

### **Resumen.**

Dentro de los diferentes sistemas de producción bajo ambientes protegidos existe el modelo de cultivos hidropónicos, donde normalmente se contemplan variables de medición para optimizar la producción como son el pH y la C.E, sin embargo, las concentraciones de oxígeno disuelto en las soluciones nutritivas no son tenidas en cuenta por los productores para toma de decisiones. En este trabajo se observó la oscilación del oxígeno disuelto de la solución nutritiva en sistemas NFT (Nutrient Film Technique) el cual fue medido en tres semanas consecutivas con diferentes frecuencias de recirculación de la solución nutritiva, para ello se contó con un instrumento multiparámetro Hanna, realizando mediciones cada 15 minutos dentro de las frecuencias definidas. Para consolidar y analizar los datos obtenidos se hizo uso del software estadístico R. Después de haber finalizado este ejercicio se logró observar como las concentraciones de oxígeno disuelto se ven afectadas directamente por la temperatura y la hora en la cual se ejecuta la recirculación de la solución nutritiva en estos sistemas (NFT). Encontrando como resultado diferentes oscilaciones en la concentración de oxígeno disuelto en la solución nutritiva para cada una de las estrategias, los valores hallados se encuentran entre los 2,0 ppm y 4,5 ppm de OD para las estrategias 1 y 2. Ya en la estrategia 3 se observa como las concentraciones de oxígeno incrementan de una vez se activan los pulsos de recirculación, pero decaen fácilmente afectado por el incremento de la temperatura en los periodos de mayor radiación del día.

### **Introducción.**

Debido a los cambios en los últimos años la agricultura ha tenido que buscar alternativas para mejorar los sistemas de producción que consisten en un desarrollo de ciencia y alta tecnología. El incremento de la población mundial ha llevado a un incremento de la demanda de alimentos de alta calidad. Sin embargo, los suelos disponibles con las condiciones adecuadas para la agricultura son reducidos, en este contexto la hidroponía aparece como una alternativa de producción de alimentos durante todos los periodos del año, y con un buen aprovechamiento del área (Michael Raviv, 2008).

En el desarrollo de las mejoras de los sistemas de producción es necesario evaluar distintos factores que puedan afectar la producción y su calidad. Muchos productores se concentran en la medición de la conductividad eléctrica (CE) y la acidez (pH) mientras que una parte muy pequeña de los productores miden los niveles de oxígeno disuelto (OD), la baja oxigenación produce una disminución de rendimiento y crecimiento del cultivo (Navarro, 2013), aun cuando el pH y la CE se encuentren en niveles considerados como óptimos.

Hay evidencia en la literatura en donde se precisa que una zona radicular bien oxigenada es indispensable para la salud del sistema radicular en términos de una adecuada absorción de nutrientes, crecimiento y mantenimiento de raíces (Zheng, Wang, & Dixon, 2007) y la prevención de enfermedades radiculares como *Pythium*. (Jackson, 1980). Lo anterior indica que las raíces saludables, con buen suministro de oxígeno, son capaces de absorber selectivamente los iones de la solución nutritiva, esta energía se obtiene de la respiración radicular la cual se inhibe por una baja concentración de este gas en la zona radicular.

La carencia de oxígeno en la zona radicular tiene muchas formas de expresarse, según el tipo de cultivo, por debajo de 3-4 mg/l de oxígeno disuelto en la solución el cultivo disminuye su crecimiento radicular tornándose las raíces de color pardo (Gislerod, 1983). En los días de altas temperaturas, alta luminosidad, y teniendo una inadecuada oxigenación, las plantas tienden a mostrar síntomas de estrés hídrico en especial en las horas de mayor radiación.

La temperatura juega un papel muy importante en la disponibilidad de oxígeno, ya que estas dos variables están inversamente relacionadas, de forma que la disolución nutritiva disminuye el oxígeno disuelto cuando la temperatura aumenta. Por esta razón la concentración de oxígeno disuelto en la solución nutritiva es menor en horas de mayor incidencia de radiación, y en épocas de verano, donde la temperatura del cultivo es mayor (Morard & Silvestre, 1996).

### **1. Problema de investigación y preguntas de investigación.**

La principal problemática abordada en este trabajo es la falta de información con respecto al comportamiento del oxígeno disuelto en un cultivo NFT, por otra parte, concientizar la importancia de este indicador al momento de implementar este tipo de tecnología, en cuanto a su comportamiento con respecto a las condiciones climáticas de Cundinamarca, Colombia, que no se pueden controlar bajo invernadero como la temperatura del día, y finalmente ¿la dinámica del oxígeno disuelto es función de la frecuencias de riego que se establecieron?, ¿qué tanto aumenta el oxígeno disuelto con el movimiento del agua?

### **2. Justificación.**

Este proyecto de investigación tiene como propósito contribuir al conocimiento acerca de los conceptos de manejo que se tienen hoy en día sobre la producción bajo sistemas NFT (nutrient film technique) en ambientes protegidos, donde se hace uso de la tecnología con el fin de alcanzar altos rendimientos en pequeñas áreas, para lograrlo, se tienen en cuenta variables como la temperatura, humedad relativa, DPV (déficit de presión de vapor), radiación, CE y pH. Sin embargo, existe una variable poca medida por los productores y es la cantidad de oxígeno disuelto en la solución nutritiva. Sobre este tema existen muy poca información que soporten la necesidad de hacer un buen uso de este vital gas, por lo cual será objeto de estudio en este trabajo como aporte al desarrollo tecnológico de la producción hidropónica especialmente en sistemas recirculantes.

### **3. Hipótesis.**

Según Carbone (2015), el contenido de  $O_2$  juega una importante labor en la toma de nutrientes de la solución. La no disponibilidad de este elemento en los sustratos hidropónicos o la escasa aireación puede generar acumulación de  $CO_2$  en la zona radicular. Los bajos contenidos de  $O_2$  en la solución nutritiva reduce la disponibilidad de hierro (Fe) en los sistemas NFT, esto asociado a acumulaciones de Mn en las hojas, impidiendo además la absorción de cationes como  $K^+$  y  $NO_3$ , generando deficiencias que se pueden observar a simple vista. De La importancia de la disponibilidad de  $O_2$  en la solución nutritiva dependerá el buen desarrollo de la raíz y el crecimiento de la planta. En un medio aeróbico las células pueden respirar y generar energía metabólica (ATP) y en consecuencia poder adquirir todos los nutrientes necesarios para su normal desarrollo.

El oxígeno es aportado por la solución y por el aire que rodea a gran parte de la zona radicular, que impide el aumento de temperatura, ya que el consumo se duplica con el aumento de la temperatura. (Andreau et al., 2015)

#### **4. Objetivos.**

##### **Objetivo General.**

Evaluar la concentración de oxígeno disuelto en la solución nutritiva empleada para un cultivo NFT de hortalizas, bajo diferentes frecuencias de riego.

##### **Objetivos Específicos.**

- Medir las concentraciones de oxígeno disuelto en la solución nutritiva de un cultivo NFT de hortalizas.
- Comprobar si la hora del día tiene efecto con respecto al nivel de oxígeno disuelto en el agua.
- Analizar las frecuencias de riego con respecto al nivel de oxígeno presentado en el desarrollo del trabajo.

#### **5. Materiales y métodos.**

El trabajo se desarrolló en un sistema hidropónico tipo NFT bajo ambiente protegido, en invernadero de estructura metálica y cubierta de vidrio, el cual se encuentra ubicado en las instalaciones del Centro de Bio-Sistemas Alberto Lozano Simonelli de la universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano en el municipio de Chía Cundinamarca.

Se contó con un equipo de medición Hanna HI9146 Multiparameter el cual registra variables como de oxígeno disuelto (ppm), temperatura (°C), presión atmosférica, CE (dS/m) y pH. Y un equipo temporizador con el cual se fijaron los ciclos de riego programados durante las semanas en que se tomaron datos. Los datos se registraron cada 15 minutos durante 5 días consecutivos.

El equipo se ubicó en el tanque de la solución nutritiva del sistema NFT. El trabajo se basó en la medición de la cantidad de oxígeno disuelto en la solución nutritiva en partes por millón (ppm), según las frecuencias de riego establecidas a continuación:

*Tabla 1 Frecuencia de recirculación 1*

FRECUENCIA 1				
CICLO	HORA INICIO	HORA FIN	TIEMPO RIEGO MINUTOS	TIEMPO DE INTERVALO
1	1:30	2:00	30	4:00
2	8:00	8:30	30	6:00
3	8:35	9:30	55	0:05
4	9:35	10:30	55	0:05
5	10:35	11:15	40	0:05
6	11:20	12:00	40	0:05
7	12:15	12:45	30	0:15
8	12:50	13:30	40	0:05
9	13:40	14:15	45	0:10
10	14:20	15:30	70	0:05
11	21:00	21:30	30	5:30

*Tabla 2 Frecuencia de recirculación 2*

FRECUENCIA 2				
CICLO	HORA INICIO	HORA FIN	TIEMPO RIEGO MINUTOS	TIEMPO DE INTERVALO
1	5:00	5:30	30	9:30
2	8:00	8:15	15	2:30
3	8:30	8:45	15	0:15
4	9:00	9:15	15	0:15
5	9:30	9:45	15	0:15
6	10:00	10:15	15	0:15
7	10:30	10:45	15	0:15
8	11:00	11:15	15	0:15
9	11:30	11:45	15	0:15
10	12:00	12:15	15	0:15
11	12:30	12:45	15	0:15
12	13:00	13:15	15	0:15
13	13:30	13:45	15	0:15
14	14:00	14:15	15	0:15
15	15:00	15:15	15	0:45
16	19:00	19:30	30	3:45

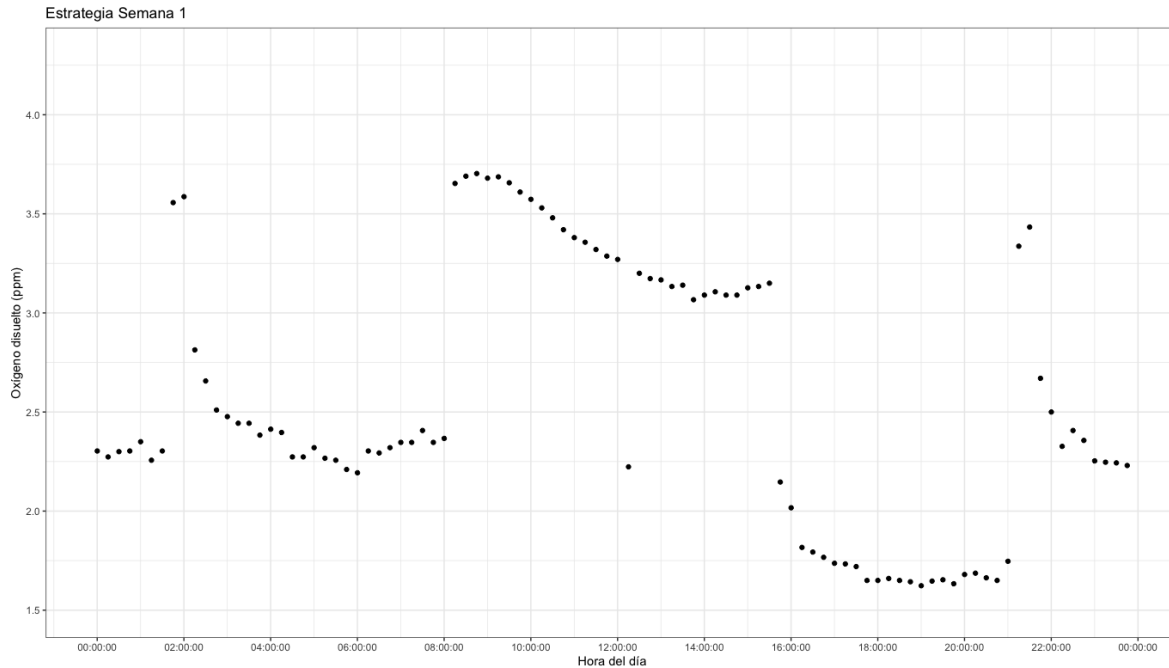
Tabla 3 Frecuencia de recirculación 3

FRECUENCIA 3				
CICLO	HORA INICIO	HORA FIN	TIEMPO RIEGO MINUTOS	TIEMPO DE INTERVALO
1	8:00	8:05	5	0
2	9:00	9:05	5	0:55
3	10:00	10:05	5	0:55
4	11:00	11:05	5	0:55
5	12:00	12:05	5	0:55
6	13:00	13:05	5	0:55
7	14:00	14:05	5	0:55
8	15:00	15:05	5	0:55
9	16:00	16:05	5	0:55
10	17:00	17:05	5	0:55
11	18:00	18:05	5	0:55
12	19:00	19:05	5	0:55
13	20:00	20:05	5	0:55
14	21:00	21:05	5	0:55
15	22:00	22:05	5	0:55
16	23:00	23:05	5	0:55

Los datos se descargaron y procesaron por medio del software estadístico R. El procesamiento consistió en generar gráficas en las cuales se pudiera visualizar el comportamiento de la concentración de oxígeno disuelto a lo largo de un día promedio. Lo anterior implicó promediar los valores registrados a las mismas horas durante la semana en la cual se registraron los datos.

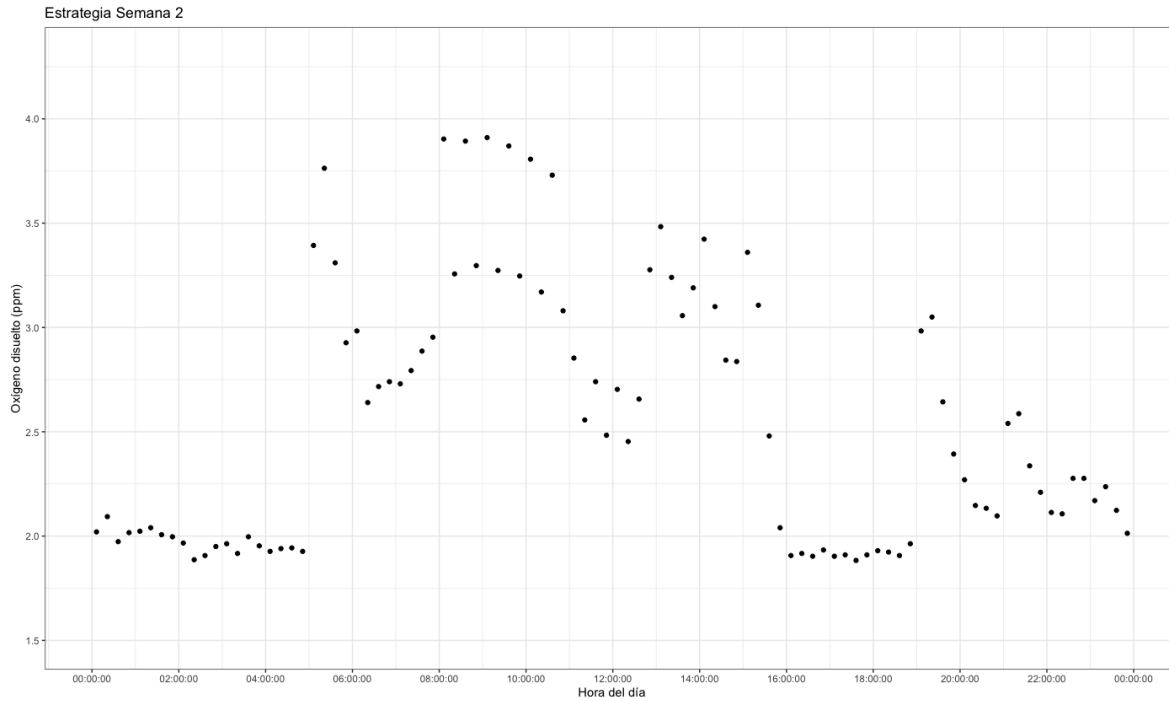
## 6. Resultados.

En la frecuencia número 1, se puede observar que en el primer pulso de riego fue a las 2:00 am y se observa un incremento en la concentración de oxígeno disuelto de 3,6 ppm el cual va disminuyendo a medida que el tiempo del pulso va acabando. En el transcurso de la mañana hasta la 8:00 am tenemos un promedio de 2,4 ppm. Sobre las 8:00 am hasta 3:30 pm donde nuevamente se activan los pulsos de riego se observa que la concentración de OD incrementa a un valor máximo de 3,7 ppm sobre las 11:00 am y se establece por encima de las 3 ppm ya que los pulsos de riegos empiezan hacer más constantes con intervalos de 5 a 15 minutos, con un promedio de duración de 45 minutos activo. Después de las 3:30 pm el oxígeno cae por debajo de 2 ppm, teniendo en cuenta que se suspende el riego y en este momento de la tarde la temperatura se conserva dentro del invernadero. Finalmente se obtiene un incremento de la concentración de OD sobre la 9:00 pm donde se envía el último pulso de riego.



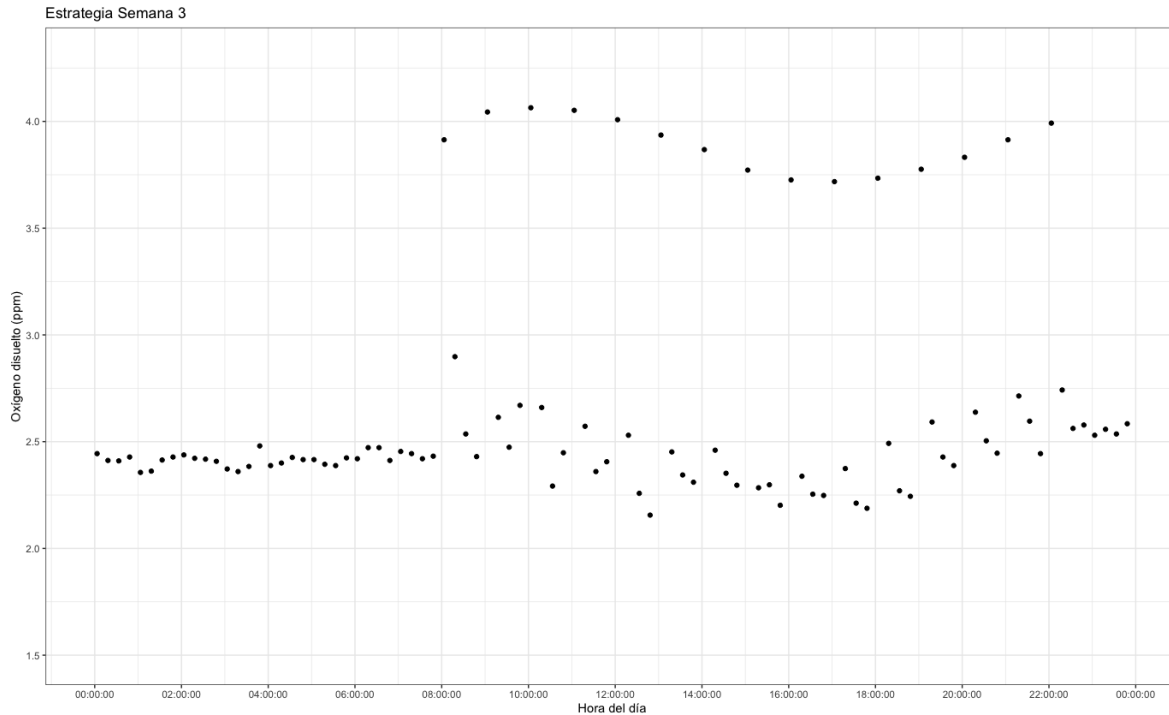
*Ilustración 1 Oscilación del oxígeno disuelto (ppm) de la frecuencia número 1*

En la frecuencia número 2, se muestra que a lo largo de la noche los valores de OD están cercanos a 2 ppm, una vez se activa el sistema de riego se puede evidenciar que la concentración de oxígeno incrementa a 3,75 ppm. Esto influenciado por las bajas temperaturas de estas horas en la solución nutritiva con un promedio de 15,5°C, este pulso permitió que hasta la 8am se oxigenara el sistema de riego sin dejar caer la concentración por debajo de 2,5 ppm. A partir de las 8:00 am y hasta las 3:15 pm los pulsos fueron cada 15min con una duración de riego de 15 min, el comportamiento del oxígeno disuelto estuvo en el rango de 2,5 ppm – 4 ppm. Hay que destacar que de las 8:00 am hasta las 10:30 am se tuvo los valores más altos llegando a los 3,8 ppm, posteriormente sobre las 11:30 am – 1:30 pm los valores disminuyeron aun cuando los pulsos mantenían su frecuencia, lo cual se puede atribuir a que en ese horario las temperaturas son mucho más altas en la solución nutritiva, se tuvo un promedio de 20,1°C. Desde las 3:30 pm cae nuevamente el indicador sobre las 2 ppm ya que el sistema de riego se encuentra inactivo. Por último, a partir de las 7:30 pm, cuando se activa el último pulso y como respuesta a la temperatura se logra oxigenar la solución hasta las 12:00 am sobre los 2 ppm – 2,5 ppm.



*Ilustración 2 Oscilación del oxígeno disuelto (ppm) de la frecuencia número 2*

El tercer resultado de la gráfica nos muestra una concentración constante de OD cuando el sistema está inactivo (2,49 ppm). Una vez se inicia las frecuencias de riego con intervalos de 55 minutos, con 5 minutos de riego podemos observar que la oxigenación de la solución nutritiva se incrementa de forma inmediata alcanzando valores que oscilan entre 3,7 ppm hasta 4,2 ppm. Los valores obtenidos solo suben cuando se activa el sistema de riego y no se mantiene, ya que el tiempo de riego es muy corto (5 min) y bajan inmediatamente de apaga el sistema.



*Ilustración 3 Oscilación del oxígeno disuelto (ppm) de la frecuencia número 3*

## 7. Discusión.

La frecuencia con la que se realiza la recirculación de la solución nutritiva tiene un efecto directo sobre la concentración de oxígeno.

Alvarado et al., 2001 recomienda que, para los cultivos de lechuga, en este caso hortalizas los niveles de OD deberían estar entre 4 ppm – 8 ppm, ya que si se encuentra por debajo de estos niveles en la solución nutritiva los procesos de respiración tienen a ser más difíciles. Lo anterior conlleva a un inadecuado desarrollo de la planta; los resultados obtenidos en el presente trabajo para las frecuencias 1 y 2 no alcanzan al mínimo recomendado por Alvarado. La frecuencia 3 sólo logró el mínimo de lo recomendado en cuatro de los cinco días evaluación, entre las 9:00 am – 11:00 am con una temperatura promedio de 17°C y en las horas de la noche entre 8:00 pm – 10:00 pm con temperatura promedio de 19°C en tres de los cinco días, así mismo las plantas del trabajo no presentaba un buen desarrollo. Yoshida et al. (1997) registró que el desarrollo de las plantas se reduce cuando la concentración de oxígeno disuelto es menor a lo requerido por el cultivo. Los requerimientos de OD cambia dependiendo de la especie, pero en general deben estar por encima de 4 ppm (Alvarado et al., 2001)

Las frecuencias evaluadas arrojaron como resultado un comportamiento específico en las mediciones de OD donde ninguno de ellos mostró concentraciones con valores superiores a las 4,5 ppm. Sin embargo, las frecuencias de riego en cada semana de tratamiento mostraron que la concentración de OD se mantiene sobre los 2,0 a 2,5 ppm aun cuando no hay recirculación de la solución nutritiva. Estos

valores se incrementan cuando se activa la recirculación. Según Camacho (2018), en trabajo de investigación realizado sobre el efecto del oxígeno disuelto en el cultivo de espinaca, bajo el método de raíz flotante, con tres programas diferentes en el funcionamiento de las bombas de oxígeno cada 2 horas (T0), cada 12 horas (T1) y de forma continua las 24 horas del día (T2), encontró mayores porcentajes de concentración de OD en el T2. Los valores obtenidos por Camacho muestran que cuando las bombas de oxígeno generan movimiento de la solución nutritiva reducen el estancamiento de esta, lo cual ocasiona que los niveles de oxígeno disuelto no decaigan; en el presente estudio no se requirió de bombas de oxígeno debido a que en los sistemas NFT la solución nutritiva se encuentra en movimiento cada vez que se activen los pulsos de riego. Esta incorporación se hace de forma pasiva ya que al iniciar cada día la concentración de OD en la solución nutritiva es baja, y a medida que la solución hace su recorrido por las canaletas y retorna al tanque, se va incrementando la concentración de OD. Estos datos coinciden con los encontrados por Fernández y Navarro (2013) donde se realizó un ensayo con 3 tratamientos, un control, un tratamiento de alta aireación y otro con baja aireación, el tratamiento control presentó los valores más bajos de OD con 1,75 ppm, mientras que los de alta y baja aireación presentaron datos constantes durante el ciclo del cultivo llegando a un máximo de 9,94 ppm para el tratamiento de alta aireación.

En la frecuencia número 3 ocurrió un efecto particular y es que, los pulsos y el intervalo entre pulso fue constante (15 min) durante las 8:00 am y 3:00 pm, pero sobre las 12:00 pm y a pesar de que fue igual, el OD disminuyó. Esto se pudo deber al incremento de la temperatura, de 8:00 am – 12:00 pm fue de 17,4°C en la solución nutritiva y de las 12:00 pm – 4:00 pm fue de 20,5°C, comportamiento que fue similar al trabajo realizado por López y Pozos et al. (2011) donde encontraron que la mínima concentración de oxígeno disuelto de la solución nutritiva fue sobre el medio día o durante las horas de mayor radiación.

## **8. Conclusiones.**

De acuerdo a los objetivos planteados en el trabajo se concluye lo siguiente:

Al medir el oxígeno disuelto en la solución nutritiva se logró verificar la amplia oscilación que tiene este parámetro del comportamiento del mismo, el cual nos ayudará a tomar mejores decisiones con respecto al indicador para el mejor desarrollo y mejorar los aprovechamientos del cultivo

La hora del día, y en especial la temperatura, tuvo una gran importancia en la frecuencia 3, ya que se logró observar un efecto negativo con respecto a la concentración de oxígeno al disminuir el indicador en las horas del día donde se presentan las mayores temperaturas, así mismo otros autores obtuvieron resultados similares.

Ninguna de las estrategias evaluadas logró superar una concentración de oxígeno superior a los 4,5 ppm, lo cual lleva a pensar en la necesidad de evaluar otras

estrategias que permitan tener mayores niveles de oxígeno y de esta manera lograr condiciones más cercanas a las óptimas para el desarrollo de las plantas en el sistema NFT.

Aunque en sistemas hidropónicos, los principales parámetros evaluados son el pH y la conductividad eléctrica, la presente experiencia muestra la importancia de otros parámetros como el oxígeno disuelto, y cómo el valor de este indicador varía en función de las prácticas de manejo, por ejemplo, de la estrategia de recirculación empleada.

### Referencias Bibliográficas

- ALvarado, D. Chavez, F y Anna, K, 2001. Seminario de Agronegocios: Lechugas hidropónicas. Universidad del Pacífico. (en línea) Consultado 10 de mayo de 2016. Disponible en <http://upbusiness.net/upbusiness/docs/mercados/11.pdf>.
- Andreau, R., Giménez, D. y Beltrano, J. (2015). Modificación artificial del ambiente: Cultivos protegidos. En: Beltrano, J. y Gimenez, D. O. (Eds.). Cultivo en hidroponía (pp. 140-166). Buenos Aires, Argentina: Edulp (Editorial de la Universidad de la Plata). Disponible en: [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento\\_completo.pdf?sequence=1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1)
- Carbone, A. (2015). Modificación artificial del ambiente: Cultivos protegidos. En: beltrano, J. y Gimenez, D. O. (Eds.). Cultivo en hidroponía (pp. 140-166). Buenos Aires, Argentina: Edulp (Editorial de la Universidad de la Plata). Disponible en: [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento\\_completo.pdf?sequence=1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1)
- Camacho, J. M. (2018). Efecto del oxígeno disuelto sobre un cultivo hidropónico con raíz flotante de espinaca (*Spinacea oleracea* L.) en un sistema urbano-familiar en la ciudad de La Paz (Tesis de grado). Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
- Fernández Navarro, M. A. (2013). Efecto de diferentes niveles de aireación de la solución nutritiva sobre el crecimiento y la calidad de canónigos y berros cultivados en bandejas flotante. 56.
- Gislerod, H. R. (1983). The oxygen content of flowing nutrient solutions used for cucumber and tomato culture. *Scientia Horticulturae*.
- Jackson, M. B. (1980). Aeration in the nutrient film technique of glasshouse crop production and the importance of oxygen, ethylene and carbon dioxide.
- López-Pozos, R., Martínez-Gutiérrez G. A.; Pérez-Pacheco, R., Urrestarazu, M. 2011. The effects of slope and channel nutrient Solution Gap number on the yield of tomato crops by an NFT system under a Warm Climate. *HortScience*. Vol. 46. (5) 727-729
- Michael Raviv, H. L. (2008). *Soilless Culture: Theory and Practice: Theory and Practice*. 584.
- Morard, E., & Silvestre, J. (1996). Plant injury due to oxygen deficiency in the root environment of soilless culture.
- Navarro, M. A. (2013). efecto de diferentes niveles de aireación de la solución nutritiva sobre el crecimiento y la calidad de canónigos y berros cultivados en bandejas flotantes . 9.

- Yoshida, S., Kitano, M., Eguchi, H. 1997. Growth of Lettuce Plants (*Lactuca Sativa* L.) Under Control Of Dissolved O<sub>2</sub> Concentration in Hydroponics. *Biotronics* 26, 39-45.
- Zheng, Y., Wang, L., & Dixon, M. (2007). An upper limit for elevated root zone dissolved oxygen concentration for tomato. *Scientia Hort.*