



UNIVERSIDAD FASTA

DE LA FRATERNIDAD DE AGRUPACIONES SANTO TOMAS DE AQUINO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO FINAL

**CULTIVO HIDROPÓNICO COMO
ALTERNATIVA SOSTENIBLE A CULTIVOS
TRADICIONALES**

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

INGENIERÍA AMBIENTAL

PRESENTA

VARGAS VICTORIA YANIL

DIRECTORA DE PROYECTO FINAL

DRA. DE MARCO SILVIA

2022

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. Resumen	3
2. Introducción	4
3. Objetivos	9
Objetivo General	9
Objetivos Específicos	9
4. Metodología	10
3. 1 Área de estudio	10
3.1.1 Caracterización fisicoquímica de las aguas de la Laguna de los Padres	12
3. 2 Sistema de cultivo en Hidroponía	13
3.2.1 Elección del ámbito físico	14
3.2.2 Selección del sistema hidropónico	16
3.2.3 Componentes y Materiales	19
3.2.3.2 Sustratos	21
3.2.3.3 Ciclo de cultivo	22
3.2.3.4 Tanque Colector	23
3.2.3.5 Canales de cultivo	24
3.2.3.6 Bomba	25
3.2.3.7 Red de distribución y drenaje	26
3.2.3.8 Tubería colectora	27
3.2.3.9 Solución nutritiva	27
3.2.3.10 Monitoreo de la solución nutritiva	28
4.1 Espacio físico	29
4.3 Bomba	32
4.5 Canales de cultivo	33
4.6 Tanque Colector	33
4.7 Cultivo	34
4.8 Red de distribución y drenaje	34
4.9 Tubería colectora	34
4.10 Monitoreo de la solución nutritiva	35
5. Conclusiones	35
6. Anexos	37
6.1 Anexo I	37
6.2 Anexo II	38
6.2.1 Cálculos para el Sistema de cultivo IDEAL	38
6.2.2 Cálculos para el Sistema de cultivo REAL	39
6.3 Anexo III	41
6.3.1 Sistema de cultivo IDEAL	41

6.3.2 Sistema de cultivo REAL	42
Referencias	43

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N°1. Escuela Secundaria Agraria N°1, Nicolás Repetto.	15
FIGURA N°2. Escuela Secundaria Agraria N°1, Nicolás Repetto.	15
FIGURA N°3. Alumnos de la Escuela Secundaria Agraria N°1, Nicolás Repetto.	15
FIGURA N°4: Sistema Hidropónico Aeroponía.	16
FIGURA N°5: Sistema Hidropónico NFT.	16
FIGURA N°6: Sistema Hidropónico con sustrato.	17
FIGURA N°7: Sistema Hidropónico Raíz Flotante.	17
FIGURA N°8: Sistema Hidropónico de mecha.	17
FIGURA N°9. Especie <i>Lactuca sativa</i> .	20
FIGURA N°10: Plancha de Espuma Fenólica.	22
FIGURA N° 11. Invernadero propio en las instalaciones Escuela Agropecuaria N°1 Nicolás Repetto.	29
FIGURA N° 12. Infraestructura interior del invernadero.	30
FIGURA N° 13. Vista lateral invernadero.	30
FIGURAS N° 14 y 15. Tablero eléctrico en condiciones óptimas para su uso.	31
FIGURA N°16. Bomba centrífuga de marca Vasser.	32
FIGURA N° 17. Tanque de PVC. Volumen aproximado de 500 litros.	33

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Media, mínimos, máximos y desvíos estándar (DE) para todos los parámetros determinados.	13
TABLA 2. Volumen de solución consumida por día de la especie <i>Lactuca sativa</i> .	23
TABLA 3. Consumo de nutrientes por planta de lechuga en un sistema hidropónico NFT.	27
TABLA 4. Umbral de CE requerido en diferentes especies de cultivo hidropónico.	28

1. Resumen

La eutrofización en cuerpos lagunares es una problemática ambiental persistente caracterizado por un aumento de la carga de nutrientes (principalmente de nitrógeno y de fósforo) en el agua, aumento de biomasa de los organismos productores y reducción de biodiversidad, y es una de las principales causas de afectación de la calidad del agua a nivel global. La agricultura tradicional ha ofrecido una amplia gama de cultivos para satisfacer las necesidades humanas. Sin embargo, el mal uso de tecnologías, como el riego y la fertilización, ha ocasionado degradación de los suelos y eutrofización del cuerpo de agua aledaños.

En los últimos años se ha trabajado en el desarrollo de nuevos sistemas que ayuden a solventar estos problemas. La *hidroponía*, que ofrece una alternativa para producir alimentos, no sólo en las áreas con problemas de contaminación de suelos y carencia de agua sino también en el medio doméstico.

Este proyecto expone una forma alternativa de producción hortícola, no insertado aún en el mercado local de escaso o nulo impacto ambiental, que no genera pasivos ambientales y que promueve la remoción de las elevadas concentraciones de nutrientes que poseen las aguas de la Laguna de los Padres, un ecosistema naturalmente eutrófico, el cual ve aumentadas sus concentraciones de nutrientes (principalmente de nitrógeno) producto de las actividades antrópicas circundantes (especialmente la agricultura intensiva y extensiva).

2. Introducción

Las lagunas pampeanas son humedales que se caracterizan por ser ambientes poco profundos que no estratifican química ni térmicamente (es decir, que sus aguas se mantienen constantemente mezcladas), de extensión y salinidad variables. Son mayormente de agua dulce proveniente de precipitaciones, con lo cual se convierten además en un recurso estratégico y limitado. Son naturalmente eutróficas (Quirós, 2005), y desde hace mucho, asociadas a la actividad agrícola-ganadera, se encuentran bajo estrés ambiental manifiesto, que aumenta aún más sus naturalmente altos contenidos de nutrientes. El estado trófico de las grandes lagunas pampeanas varía desde eutrófico hasta altamente hipertrófico. La eutrofización es un problema ambiental persistente caracterizado por un aumento de la carga

de nutrientes (principalmente de nitrógeno y de fósforo) en el agua, aumento de biomasa de los organismos productores y reducción de biodiversidad, y es una de las principales causas de afectación de la calidad del agua a nivel global (Carpenter et al. 1999). El aporte natural de nutrientes se da por drenaje continental de las tierras adyacentes a los cuerpos de agua, ricas en materia orgánica y en nutrientes inorgánicos. En tanto, el aporte antrópico se da como resultado del desarrollo de las actividades agrícolas que normalmente hacen uso de nutrientes inorgánicos como nitratos y nitritos, y orgánicos como urea, los cuales son conocidos genéricamente bajo el nombre de fertilizantes, y contribuyen en el aumento del rinde de los cultivos. Por su parte, la actividad de producción ganadera adiciona a las tierras la materia orgánica que constituyen las excreciones y desechos de los animales bajo cría (materia fecal y orina). Esta producción de material de desecho suma carga orgánica a los suelos, y también a los cuerpos de agua adyacentes a los mismos, lo que contribuye a su eutrofización. En efecto, la transformación de los compuestos orgánicos en materia inorgánica por acción de los descomponedores, cierra el ciclo biogeoquímico de la materia, incluyendo el de los elementos nitrógeno (N) y fósforo (P), responsables de la eutrofización descrita. La eutrofización provoca el aumento drástico en biomasa de organismos fotosintéticos, entre los que se destacan las cianobacterias. Su proliferación desmedida conduce a un estado de hipoxia o anoxia de los cuerpos de agua, lo que conlleva a la muerte de invertebrados y de peces (fuente de alimento) y deteriora significativamente su calidad ecosistémica (Balcorta y Arenas, 2001). De acuerdo a la magnitud y la duración del aporte de nutrientes en relación con el tamaño del cuerpo de agua, los efectos serán más o menos evidentes.

Las lagunas pampeanas pueden clasificarse en dos tipos o estados: lagunas “claras”, generalmente dominadas por la macrofitia acuática, especialmente por las macrófitas sumergidas y emergentes, y las denominadas lagunas “turbias”, con baja transparencia del agua, las cuales están dominadas, en grado variable, por el fitoplancton. El crecimiento de la comunidad fitoplanctónica se da como resultado de la elevada concentración de nutrientes en el agua. Este crecimiento aumenta la turbidez de la laguna, y genera una retroalimentación negativa. Al enturbiarse el agua, la intensidad de la luz incidente en el fondo disminuye, impidiendo así el desarrollo de la macrofitia. Quirós et al. (2002) han sugerido que a medida que las lagunas son más turbias, la importancia relativa de los peces piscívoros disminuye, mientras que la biomasa de los peces planctívoros filtradores adquiere relevancia (Mallo y Bazzini, 2011).

En condiciones naturales, la riqueza en nutrientes de los suelos se ve reflejada en la alta productividad biológica (Quirós, 2005). Las concentraciones de fósforo total de las lagunas “claras” son relativamente menores, pero siempre dentro del rango eutrófico-hipertrófico. Por otra parte, la biomasa algal de las lagunas “turbias” es apreciablemente mayor a la de las lagunas “claras”, sin embargo, ese patrón no es claramente reflejado por su concentración de fósforo total; otra característica que también distinguen a las lagunas “claras” de las “turbias”, es su relación con el cambio que se producen en la columna de agua y en la interfase agua-sedimento, y relacionados con la carga y el procesamiento de la materia orgánica. A medida que las lagunas aumentan su trofismo y pasan del estado de aguas claras al estado de aguas turbias, se produce un importante aumento en la biomasa de la macrofitia que va conduciendo a un paulatino deterioro en las condiciones de oxigenación de la interfase agua- sedimento que, en las lagunas altamente turbias llega a la anoxia casi permanente de la misma.

El estado trófico de una laguna pampeana puede vincularse con los ecosistemas terrestres que la circundan. La intensa actividad agropecuaria afecta a la mayoría de las cuencas de drenaje del humedal, principalmente aumentando la concentración de nutrientes (Quirós, 2005), conduciendo a las lagunas a estados hipertróficos altamente turbios. Este proceso define la problemática de eutrofización de las lagunas pampeanas.

Las lagunas ubicadas en drenajes con alta intensidad de uso de tierra agropecuario y urbano se muestran “turbias” y con las mayores concentraciones de fósforo y nitrógeno (Quirós, 2005). La abundancia relativa de las lagunas “turbias” es sustancialmente importante en las zonas con mayor intensidad de uso de la tierra, ya que esto se ve reflejado en las características del ecosistema lagunar. Aunque la eutrofización es parte de procesos naturales de acumulación en zonas bajas, las profundas alteraciones antrópicas producen una aceleración de este proceso. Por este motivo, suele hablarse de “eutrofización cultural” o “artificial”. El drenaje de lagunas, especialmente de las pequeñas, y la canalización creciente, en búsqueda de la “agriculturización” del humedal, están llevando a que su abundancia y tamaño estén disminuyendo constantemente.

Las lagunas de la provincia de Buenos Aires cumplen funciones ambientales claves pocas veces valoradas. Desde el punto de vista ecológico, son ecosistemas con gran capacidad biogénica, debido a que constituyen un hábitat singular para la flora y fauna característica (Geraldi, Piccolo y Perillo, 2011). Las comunidades biológicas que se

encuentran en las lagunas pampeanas incluyen: la vegetación riparia, ribereña, palustre o marginal, la carpeta flotante, la vegetación sumergida y la comunidad fitoplanctónica, cada una de ellas con sus características distintivas. Todas ellas responden, entre otras variables ambientales (tanto condiciones como recursos), a los cambios en las concentraciones de nutrientes presentes en el agua.

Las lagunas pampeanas albergan, además, una gran biodiversidad y constituyen el hábitat de importantes especies de plantas y animales, algunas de ellas en estado vulnerable de conservación. Los cuerpos lagunares tienen la capacidad de mitigar los efectos del calentamiento global y servir de moderadores del régimen fluvial. Constituyen una fuente de biodiversidad para fines de investigación y desarrollo; son, además, la base en la conformación del paisaje. Económicamente, cumplen un papel importante en las actividades pecuarias y turísticas, pues constituyen la fuente de desarrollo de muchas localidades bonaerenses (Geraldí, Piccolo y Perillo, 2011). Las aguas de numerosas lagunas son también utilizadas para riego y consumo humano. La degradación o perturbación en la calidad de sus aguas permite también otorgarles un valor económico porque afecta el desarrollo de las actividades antes mencionadas. En lo social, brindan una amplia gama de servicios y funciones ecosistémicas que pueden ser aprovechados por muchas poblaciones que se ubican en o cerca de sus orillas (turismo, contemplación, interpretación ambiental, deportes como remo, kayak, pesca, entre otras).

Otra particularidad, es la elevada dinámica de su nivel hidrométrico originado por las constantes fluctuaciones temporales de las precipitaciones que generan momentos de seca e inundación (Colasurdo et al., 2011). Los cuerpos de agua superficial son parte activa del sistema de flujo del agua subterránea (Winter, 1999). La interacción entre las fuentes de agua superficial y los acuíferos es compleja, poseen un importante rol en el ciclo hidrológico, con fuerte impacto en la sustentabilidad y calidad del recurso (Gao et al., 2010). El clima de la región se clasifica como subhúmedo-seco con nulo o pequeño exceso de agua. Las mayores precipitaciones se producen entre los meses de diciembre y marzo, dando origen a la recarga natural del acuífero. La precipitación promedio para los últimos 20 años en la zona serrana varió entre 587 y 1.442 mm/año, con un promedio de 979 mm/a (Romanelli et al., 2010).

La zona de producción agropecuaria localizada al sudeste de la provincia de Buenos Aires es una de las regiones del país con gran desarrollo económico, actualmente el acopio de agua de lluvia no es utilizado como alternativa de riego en la agricultura de la zona, siendo

una elección sustentable y de bajo costo de inversión. En esta área, la producción hortícola tradicional es una de las principales actividades que tiene como centro a la ciudad de Mar del Plata, movilizada por la actividad turística y su propia dimensión como urbe. El Cinturón Hortícola del Partido de General Pueyrredon constituye uno de los sistemas de producción eficientes que tratan de alcanzar los máximos rendimientos y la óptima calidad de los productos. Para lograr esta alta productividad, entre otras prácticas de manejo, se implementa la aplicación de fertilizantes, ya sea orgánicos o inorgánicos en forma continua durante varios años; esta práctica puede también causar la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, especialmente cuando la dosis de fertilizantes excede los requerimientos nutricionales de los cultivos. Su aplicación en la agricultura ha deteriorado la calidad del agua, promoviendo la eutrofización y el consecuente cambio en el funcionamiento general de los sistemas acuáticos, debido al enriquecimiento de nutrientes inorgánicos en el agua, que finalmente puede conducir al ya mencionado exceso de organismos fotosintéticos (principalmente algas y cianobacterias) y/o crecimiento de plantas acuáticas, y a la degradación severa del ecosistema acuático.

Durante años, la agricultura tradicional ha ofrecido una amplia gama de cultivos para satisfacer las necesidades humanas. Sin embargo, el mal uso de tecnologías, como el riego y la fertilización, ha ocasionado degradación de los suelos y eutrofización del cuerpo de agua aledaños.

En los últimos sesenta años se ha trabajado en el desarrollo de nuevos sistemas que ayuden a solventar estos problemas. Uno de los más representativos es la *hidroponía*, que ofrece una alternativa para producir alimentos, no sólo en las áreas con problemas de contaminación de suelos y carencia de agua sino también en el medio doméstico. El término hidroponía se deriva del griego *hydro* = *agua* y *ponos* = *trabajo*, es decir, '*trabajo del agua*' (González, 2006). También se conoce como cultivo sin suelo.

La característica más importante de la técnica hidropónica es que en ninguna de las etapas de crecimiento se requiere del suelo como soporte o fuente de nutrientes del cultivo; entre sus mayores innovaciones, se encuentra la sustitución del suelo agrícola por soluciones minerales que contribuyen al desarrollo de una cosecha más optimizada y rentable, cuyo crecimiento es posible gracias al suministro adecuado de los requerimientos hídrico-nutricionales, a través del agua y solución nutritiva equilibrada. Al no utilizar el suelo como soporte de nutrientes no se produce la degradación y/o contaminación de los mismos,

se reduce el uso de agroquímicos, y se obtienen cultivos más saludables para su consumo y fomentando la sustentabilidad agraria.

La principal ventaja del sistema es que puede adaptarse a cualquier espacio, condición climática y economía. Son opciones de producción agrícola con rendimientos óptimos y ecológicamente sustentables, debido a la recirculación del agua y bajo impacto ambiental.

Independientemente de la implementación final de este proyecto, el cual tiene como objetivo el diseño, a escala piloto, de un sistema hidropónico como estrategia de la reducción de carga de nutrientes (nitrógeno y fósforo) del cuerpo de agua de la Reserva Natural Municipal Laguna de los Padres (RNMLP), resultaría de un valor agregado de sustentabilidad, la posibilidad de acopiar agua de lluvia para el emprendimiento y la inclusión de energías renovables, como la energía solar (Ver Anexo I).

Por otra parte, en el contexto de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y de la responsabilidad social y empresarial de la Institución académica, es recomendable innovar mediante la incorporación de acciones tendientes a lograr una mayor sustentabilidad y sostenibilidad ambiental.

3. Objetivos

Objetivo General

- Diseñar a escala piloto un sistema hidropónico en la Escuela Agraria N°1 de la Reserva Natural Municipal Laguna de los Padres con alternativas sustentables.

Objetivos Específicos

- Evaluar las concentraciones de nutrientes de nitrógeno (N) y fósforo (P) en las aguas de la RNMLP.
- Explorar los requerimientos nutritivos de cultivos hidropónicos de algunas especies vegetales de interés económico.
- Elegir el sistema hidropónico más adecuado.
- Seleccionar las especies susceptibles de ser cultivadas exitosamente mediante hidroponía.

- Identificar los requerimientos de infraestructura y equipamiento para cultivos hidropónicos.
- Evaluar el uso de agua de lluvia como alternativa a la provisión de agua del cultivo hidropónico.
- Evaluar el uso de energía solar para la demanda energética del cultivo.
- Proponer un plan para traducir este proyecto en acciones concretas.

4. Metodología

3.1 Área de estudio

Entre las lagunas pampeanas del territorio de la Provincia de Buenos Aires e inmersa en el Cinturón Hortícola marplatense, se encuentra la Laguna de los Padres, la que resulta de una gran importancia en la conservación de la biodiversidad, ya que proporciona un hábitat para especies residentes y transitorias, permitiendo su supervivencia, alimentación y reproducción y porque forma parte además, del patrimonio cultural de la zona. Es un área natural que ocupa un total de 687 hectáreas, de las cuales el 46% corresponden al cuerpo de agua.

Se localiza en el borde oriental del cordón serrano septentrional de la Provincia de Buenos Aires conocido como Sistema de Tandilia. Ésta posee una red de drenaje bien definida con arroyos de escasa expresión topográfica, que descienden de las sierras en dos vertientes, Norte y Sur. Se trata de un cuerpo de agua de régimen permanente y somero, con una superficie de 2.97 km² y una profundidad media de 1.24 m (Pozzobon & Tell, 1995). Recibe un único afluente, el Arroyo de Los Padres, el cual nace en la Sierra de Los Padres y fluye a través de campos con intensa actividad agrícola antes de desembocar en la misma, formando un delta (Romanelli y Massone, 2011). La descarga superficial se lleva a cabo a través del Arroyo La Tapera, que desemboca en el mar en la ciudad de Mar del Plata, a la altura del Parque Urbano Camet.

La Laguna de los Padres se considera lugar histórico y hogar de la mayor diversidad biológica de nuestra región. En otras épocas, a mitad del siglo XVIII, fue territorio de los puelches, bajo el dominio del cacique Cangapol “El Bravo”, como lo llamaban los españoles. En aquellos años, se instalaron las misiones jesuíticas fundadas por los Padres José Cardiel y Tomás Falkner, que persistieron cerca de cuatro años. Tiempo después, en las primeras

décadas del siglo XIX, el territorio fue cediendo a la ocupación de las estancias que se dedicaron a la actividad agropecuaria (Pedrotta, 2017). Cabe destacar que desde hace muchos años, agrupaciones multiculturales (Kaiu Antu, Desdeaméricapampa, entre otras) realizan celebraciones, ceremonias y caminatas, entre otras actividades, en la Reserva Natural Municipal Laguna de los Padres, que incluye la mencionada laguna.

Desde 1982, ha sido declarada Reserva Natural por su papel fundamental en la conservación de la biodiversidad y de la calidad de sus aguas. En el año 1984 fue declarada Reserva Municipal Integral Laguna de los Padres, por contener al humedal más grande del Partido de General Pueyrredon que conserva una fracción valiosa del patrimonio cultural y natural de los humedales pampeanos. En mayo del año 2013, mediante el Decreto Municipal N° 928, se aprueba el Reglamento para la Reserva Natural Municipal Laguna de los Padres. Ámbito natural destinado a la preservación y conservación de la flora, la fauna y el cuerpo de agua, para su uso recreativo, deportivo, cultural y científico-educativo, encuadrando dentro del marco normativo de la Ley provincial 10907 como Reserva Natural de Objetivo definido Educativo, según Decreto Provincial 469/11; su flora nativa con bosques de tala (*Celtis tala*) en el límite de su distribución meridional y arbustales de curro (*Colletia paradoxa*) endémicos del sudeste de la provincia (Cabrera, 1976), la convierten en un sitio de especial interés para su conservación.

Está subdividida para usos diferenciales según lo dispuesto por Dec. Municipal 1020/84, actualmente reglamentado por el dec. Reg. 928/13, básicamente en tres zonas:

- Intangible: Correspondiente al Curral (área terrestre) y al Delta (área acuática), donde se encuentran las colonias de aves y sus sitios de nidificación. El acceso al público está prohibido. Solo se admiten, con permiso, actividades de investigación científica.
- De conservación: La única actividad autorizada es la contemplación de la naturaleza y se permite únicamente en acceso en forma peatonal.
- De usos intensivos: Se pueden desarrollar actividades recreativas, deportivas y contemplativas.

Como no toda la superficie de la laguna es área protegida provincial, en la cuenca coexisten otros usos entre los que se destacan: asentamientos urbanos, explotaciones agrícola-ganaderas extensivas e intensivas -como la frutihortícola- y espacios de conservación (Bó et al. 2009; Romanelli et al. 2012). Inmersa en este ecosistema

agropecuaria en expansión, la Laguna de los Padres sufre un impacto que repercute negativamente en su calidad de agua, en detrimento de los usos actuales y potenciales.

3.1.1 Caracterización fisicoquímica de las aguas de la Laguna de los Padres

A través de la compilación bibliográfica de los valores de los parámetros temperatura (T), conductividad eléctrica (CE), pH y de las determinaciones en agua de carbonato (CO_3^{-2}), bicarbonato (HCO_3^-), sodio (Na^+), potasio (K^+), calcio (Ca^{+2}), magnesio (Mg^{+2}), nitrato (NO_3^-), fluoruro (F^-), sulfato (SO_4^{-2}), cloruro (Cl^-), nitrito (NO_2^{-2}), amonio (NH_4^+), dureza total (DT), sólidos disueltos (SD), sólidos totales (ST), clorofila-a (Cl-a, indicador de biomasa fotosintética) y fósforo total (PT).

En la Tabla 1 se presentan los valores de media, mínimos, máximos y desvío estándar (DE) para los diferentes parámetros determinados. Todos los iones y PT en mg/L, CE en S/cm, DT en mg/L CaCO_3 , T en $^{\circ}\text{C}$, Cl-a en mg/m³.

Tabla 1. Media, mínimos, máximos y desvíos estándar (DE) para todos los parámetros determinados.

Variables	Media	DE	Mínimo	Máxima
T	17.4	6.5	9.2	27.5
CE	971.5	131.6	748.0	1130.0
pH	8.70	0.78	7.00	9.90
CO_3^{-2}	20.0	23.9	0.0	64.3
HCO_3^-	375.3	87.7	212.2	492.8
Na^+	167.4	29.8	116.0	232.9
K^+	10.7	3.2	4.8	17.0
Ca^{+2}	23.5	6.9	8.9	30.4
Mg^{+2}	13.8	2.1	8.8	16.2
NO_3^-	3.0	2.0	1.6	7.9
F^-	1.3	0.4	1.0	1.9
SO_4^{-2}	12.6	5.4	1.0	18.1
Cl^-	69.1	7.4	56.0	80.0
NO_2^{-2}	0.014	0.031	0.000	0.090

NH₄⁺	0.63	0.74	0.11	2.6
DT	115.36	22.0	75.9	138.9
SD	516.3	51.1	412.0	572.0
ST	552.8	30.1	514.0	602.0
Cl-a	181.9	89.3	49.5	289.0
PT	0.39	0.12	0.20	0.55

Nota. Adaptado de Díaz, O. et al., 2008. “*Caracterización fisicoquímica y biológica de tres lagunas pampasicas*”.

Esta información permitió contar con un punto de partida del escenario físico- químico con el cual cuenta el emprendimiento hidropónico. Las condiciones iniciales del agua a ser utilizada como solución nutritiva para el cultivo hidropónico deben ser conocidas para poder establecer de manera anticipada si sería o no necesaria la incorporación de nutrientes al sistema de cultivo, o la realización de ajustes a ciertos parámetros para que el cultivo hidropónico prospere.

Existen algunos criterios importantes que deben ser tomados en cuenta para una efectiva reducción de nutrientes del cuerpo lagunar en estudio. Por este motivo, se plantea un primer escenario ideal, con todos los requerimientos necesarios para un eficiente sistema hidropónico, con la posible adaptación práctica en la Escuela Agropecuaria N°1 Nicolás Repetto. Si la propuesta no resultara económicamente viable, se adoptaría como alternativa la provisión de agua de origen pluvial, mediante estrategias de acopio de agua de lluvia.

3. 2 Sistema de cultivo en Hidroponía

Es una modalidad en el manejo de vegetales, que permite su cultivo sin suelo, que favorecen su producción, principalmente de tipo herbáceo. Bajo esta modalidad se aprovechan sitios o áreas no convencionales, sin perder de vista las necesidades de las plantas, como luz, temperatura, agua y nutrientes. Con esta técnica de cultivo sin suelo, es posible obtener hortalizas de excelente calidad y sanidad, permitiendo un uso más eficiente del agua y los nutrientes.

Las características fundamentales de esta técnica son:

- Mayor productividad que la siembra tradicional, que permiten una mayor concentración de plantas por metro cuadrado y aún menor tiempo de cosecha.
- Favorece un ahorro considerable en el uso del agua. Se consume una cantidad mucho menor de agua que un cultivo en tierra; en este el 80 % del riego se infiltra a las capas inferiores del terreno y otro porcentaje del riego se evapora; mientras que en un cultivo hidropónico se evita totalmente la infiltración del agua así como gran parte de la evapotranspiración, ya que el cultivo se realiza en general en locales cerrados, con humedad relativa elevada.
- Es económico y eficiente en cuanto a la productividad.
- Disminuye las enfermedades de los cultivos, lo que reduce drásticamente la aplicación de agroquímicos.
- Permite al productor obtener cosechas de buena calidad y saludables para su consumo.

El desarrollo actual de la técnica, está basada en la utilización de mínimo espacio, mínimo consumo de agua y máxima producción y calidad (Beltrano, 2015).

Este sistema de cultivo posee algunas limitaciones, como la necesidad de una inversión inicial, mayor necesidad de especialización, dependencia energética y un requerimiento de agua de buena calidad (Castañares, 2020).

3.2.1 Elección del ámbito físico

Para llevar adelante el presente proyecto, lo primero que se debe definir es la localización del sistema de cultivo. El criterio más importante es su relación con la iluminación natural, para lo cual es conveniente ubicarlo en un lugar donde reciba como mínimo seis (6) horas de luz solar (FAO, 2003). Es recomendable que el cultivo esté orientado hacia el sector Norte donde se obtendrá mejor calidad de luz solar, en especial en el periodo invernal. De este modo se asegura que el cultivo tendrá un buen crecimiento.

En aquellas zonas caracterizadas por condiciones climáticas adversas, como es en el caso de la ciudad de Mar del Plata, por excesivas lluvias y fuertes vientos se deberá contar con un espacio físico como un galpón con techo y paredes laterales, en caso de no poseer un sector para el resguardo del cultivos, se podrá implementar algún sistema de producción bajo cubierta (invernadero, microtúneles, entre otros).

El lugar destinado para el sistema de cultivo deberá estar cercado, para impedir la entrada de animales domésticos (gatos, perros, aves de corral, conejos, etc.) o personas ajenas al emprendimiento y/o a la institución educativa, por lo que debe disponer de personal que vele por la seguridad del mismo. Además, debe contar con personas interesadas en comprometerse con el desarrollo de este emprendimiento y también con quienes actúen como voluntarios que participen en los diferentes momentos y etapas del proyecto.

Teniendo estos factores en cuenta, se decidió implementar este proyecto en la Escuela Agropecuaria N°1 Nicolás Repetto (Figura N° 1 y 2), que cuenta con las condiciones, la infraestructura edilicia y el equipo humano requerido.

Se procedió a concretar una visita a campo con destino a dicha escuela. La recepción estuvo a cargo de la Profesora Maria José Lucero Guaquinchay y el equipo directivo de la misma, Director Daniel Lorusso, a los efectos de traducir este proyecto en acciones concretas.



Figura N°1. Escuela Secundaria Agraria N°1, Nicolás Repetto. Fuente: Victoria Vargas.



Figura N°2. Escuela Secundaria Agraria N°1, Nicolás Repetto. Fuente:Victoria Vargas.



Figura N°3. Alumnos de la Escuela Secundaria Agraria N°1, Nicolás Repetto. Fuente: Victoria Vargas.

3.2.2 Selección del sistema hidropónico

A continuación se describirán, en términos generales, las principales técnicas de cultivo hidropónico:

1. Técnicas Aéreas: también conocidas como Aeroponia. La principal característica que tiene este método es que mantiene las raíces de las plantas libres de cualquier otro medio, quedando en contacto con el aire y dentro de un medio oscuro. Se les aplica una solución nutritiva mediante nebulizadores.

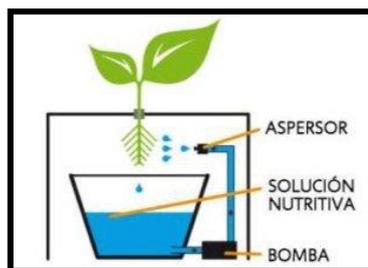


Figura N°4: Sistema Hidropónico Aeroponía.

2. Técnicas Recirculantes: las raíces están sumergidas de forma constante en una solución nutritiva la cual mantiene su pH y concentración de sales de forma correcta.

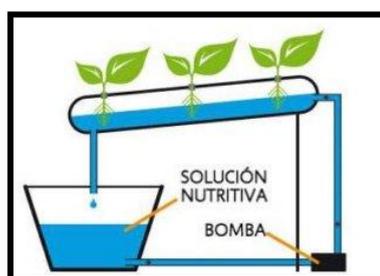


Figura N°5: Sistema Hidropónico NFT.

3. Técnicas de sustratos: esta técnica es la que más similitudes tiene con el método tradicional, se usa un sustrato (de origen natural o sintético, con nutrientes) que se utiliza como medio de sustento para la planta permitiendo la suficiente humedad y la expansión de la raíz.

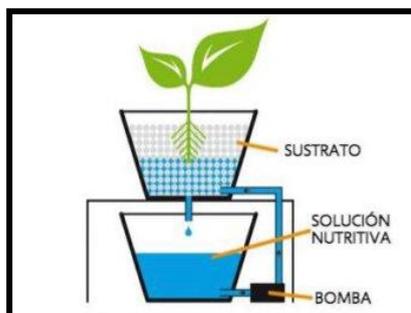


Figura N°6: Sistema Hidropónico con sustrato.

4. Técnicas de raíz flotante: la misma consiste en utilizar contenedores, en los cuales no se debe permitir la entrada de luz a las raíces del cultivo. El oxígeno que necesitan las plantas llega a través del agua, por ello se debe mover el agua utilizando bombas de aire.



Figura N°7: Sistema Hidropónico Raíz Flotante.

5. Técnica de mecha o pabilo: no requiere bombas para el transporte de la solución nutritiva desde el depósito hasta las plantas. Las plantas reciben la solución mediante mechas o pabilos. El sistema es muy versátil y puede usar diferentes tipos de sustratos. Esta técnica es recomendable para plantas que requieran poca agua.

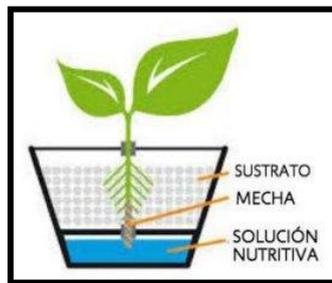


Figura N°8: Sistema Hidropónico de mecha.

Sobre la base de la bibliografía y las características del lugar físico disponibles, se seleccionó el sistema hidropónico más apropiado y eficiente ante, además, las características y condiciones del establecimiento educativo donde se implementará el proyecto.

De las posibilidades disponibles, el sistema más adecuado resulta ser el de recirculación de solución nutritiva NFT (Nutrient Film Technique), que tiene sus orígenes en Inglaterra. Durante la década de los sesenta este sistema se desarrolló para aumentar la productividad del sector de producción hidropónica mediante el uso total del espacio, aprovechando al máximo el recurso hídrico, y favoreciendo la absorción en los sistemas radiculares de las plantas (González, 2008). El principio básico es la circulación constante de una lámina fina de solución nutritiva (de 0,5 a 1,0 cm) que tiene contacto con las raíces, favoreciendo la oxigenación y el suministro adecuado de nutrientes minerales para el desarrollo de las plantas; entonces, como consecuencia del fácil acceso a dichos nutrientes, el gasto energético de la planta lo concentra únicamente en un crecimiento sano. Cabe resaltar la importancia que tiene el oxígeno disuelto en esta técnica, ya que su concentración en la solución nutritiva depende de lo demandado por las plantas. De tal manera, a mayor número de plantas, mayor

será entonces el requerimiento de oxígeno. Se considera que la temperatura de la solución nutritiva también tiene una directa relación con la cantidad de oxígeno consumida por la planta, debido a que cuando dicha temperatura es mayor de 22°C disminuye la cantidad de oxígeno disuelto en la solución.

A diferencia de otros sistemas de hidroponía, las plantas se cultivan en ausencia de sustrato, por lo cual éstas se encuentran suspendidas en canales de cultivo. Otra característica importante del sistema, es que la solución nutritiva debe ser bombeada desde el extremo más alto de cada canal, donde a través de la gravedad fluye, pasando por las raíces de las plantas, hacia el otro extremo del canal. De esta manera, se va irrigando la parte inferior de las raíces hasta que el agua finalmente cae de regreso al depósito de almacenamiento, posibilitando así la recirculación de la solución nutritiva.

Una de las ventajas que ofrece el sistema NFT es su mayor eficiencia en cuanto a la utilización de los elementos minerales esenciales para el crecimiento de las plantas, de agua y oxígeno. En contraste con los sistemas hidropónicos populares de sustrato sólido o "raíz flotante", el NFT maximiza el contacto directo de las raíces con solución nutritiva que es constantemente renovada y, por ende, el crecimiento es acelerado, lo que hace posible obtener en el año más ciclos de cultivo. Con la ausencia de sustrato se evitan las labores de desinfección de éste, y se favorece el establecimiento de una alta densidad de plantación.

3.2.3 Componentes y Materiales

Los elementos esenciales para el sistema de cultivo hidropónico NFT a implementar son:

1. Especies aptas para el cultivo.
2. Sustratos.
3. Ciclo de cultivo.
4. Tanque colector.
5. Canales de cultivo.
6. Bomba.
7. Red de distribución y drenaje.
8. Solución nutritiva.
9. Monitoreo de la solución nutritiva.

A continuación se detallan las características más relevantes de cada elemento y materiales para un sistema hidropónico eficiente, ante la posible reducción de las concentraciones de nutrientes de nitrógeno (N) y fósforo (P) en las aguas de la Laguna de los Padres.

3.2.3.1 Especies aptas para el Cultivo

La especie a cultivar es el componente más importante de los sistemas hidropónicos, ya que de la correcta funcionalidad de los demás componentes dependerá la calidad de planta que se tenga, y por tanto, los rendimientos. Las plantas que comúnmente se cultivan en hidroponía son especies de alto valor comercial, las cuales se aprovechan por sus usos alimenticios u ornamentales, dentro de ellas podemos mencionar:

- Hortalizas:
 - Hortalizas de hoja: Lechuga, acelga, espinaca, col, apio, arúgula, berros.
 - Hortalizas de flor: Brócoli, coliflor, alcachofa, etc.
 - Hortalizas de fruto: Tomate, pimiento morrón, pepino, chile manzano, melón, sandía, calabacín, berenjena y fresa, etc.
- Especies aromáticas: Albahaca, menta, cilantro, perejil.
- Ornamentales: Rosas, orquídeas, crisantemos, lirios, gerberas, etc.

Para el proyecto se seleccionó la especie *Lactuca sativa* (Figura N°8), conocida comúnmente como lechuga, la más susceptible de ser cultivada en el área de la Laguna de los Padres. Las que más se adaptan a esta técnica son las especies de lechugas de hojas crespas o rizadas.

Es una especie de estación fría con temperaturas óptimas de crecimiento y desarrollo diurnas entre los 18 y 25 °C y nocturnas de 10 a 15°C (Maroto, 2002; Saavedra, 2017).



Figura N°9. Ejemplar de *Lactuca sativa* (n.v. lechuga).

3.2.3.2 Sustratos

En la hidroponía, como primer paso, las plantas deben ser germinadas en un sustrato, independientemente del sistema hidropónico que se elija para su crecimiento y cultivo. Siempre será preferible usar sustratos para germinar desde un inicio, para que cuando se realice el trasplante, no contamine la solución nutritiva.

La correcta elección de un sustrato dependerá entonces de la disponibilidad del mismo, las condiciones climáticas, el costo, las posibilidades de instalación y principalmente de la homogeneidad de propiedades físicas y químicas.

En general, los sustratos se clasifican por su origen. Los sustratos se clasifican, según su forma química, en orgánicos e inorgánicos. Dentro de los primeros se encuentran:

- Naturales, los cuales están sujetos a descomposición biológica, como son peat-moss¹ y turbas.
- Subproductos y residuos de actividades agrícolas, industriales y urbanas; fibra de coco, aserrín, cortezas, virutas de madera, cascarilla de arroz, entre otros.
- De síntesis, polímeros orgánicos no biodegradables, que se obtienen mediante una síntesis química como la espuma de poliuretano, poliestireno expandido, espuma fenólica.

Dentro de los sustratos inorgánicos, se encuentran::

¹ También conocido como turba es un sustrato que se forma a través de la descomposición de la materia orgánica. Se caracteriza por ser una masa ligera y esponjosa fácil de manipular. Disponible en:

<https://www.portalfruticola.com/noticias/2018/09/21/principales-caracteristicas-del-peat-moss-turba-rubia-para-los-cultivos>

- Naturales, los cuales se obtienen a partir de rocas o minerales de origen diverso y no requieren un proceso de transformación (arena de río, arena de minas, arena de mar, gravas y piedra).
- Procesados, aquellos que han sufrido algún proceso para su obtención como la perlita, vermiculita, lana de roca y arcilla expandida.
- Residuos y subproductos industriales (escorias de alto horno, estériles de carbón).

El problema de la disponibilidad de sustratos, los costos y su manipulación son importantes a la hora de su elección, por ejemplo el uso de sustratos orgánicos naturales como el peat-moss para germinar semillas hasta el estadio plántula, está sujeto a la degradación biológica, lo que resulta ser una limitante en sistemas de cultivo en solución, ya que las partículas se disgregan a lo largo del ciclo de cultivo e interfieren en el funcionamiento normal del sistema; o la fibra de coco, la cual contiene elevados niveles de salinidad, por lo que deben darse tratamientos previos al cultivo.

3.2.3.3 Ciclo de cultivo

En especies de hoja, cultivadas en sistemas NFT, suele dividirse el ciclo del cultivo en:

1. Siembra:

Las semillas de todas las especies requieren por lo menos de tres factores ambientales para que la germinación ocurra: 1) agua, 2) oxígeno y 3) temperatura. Un cuarto factor, la luz, parece ser esencial para la germinación de algunas semillas de especies silvestres. Las plantas deben ser previamente germinadas en un buen sustrato, el cual deberá tener un comportamiento similar a una esponja: porosidad alta, buena capacidad de retención de agua, fácilmente disponible, drenaje rápido, buena aireación, adecuada distribución del tamaño de las partículas, baja densidad aparente y estabilidad, algunas de las características deseadas para el eficiente crecimiento de las semillas. La duración de siembra hasta el trasplante a sistema NFT es de 15 a 28 días en lechuga. Es recomendable que la siembra se realice en espuma fenólica o plug² de siembra (Figura N°9), también llamados bandejas de siembra, colocando una semilla de lechuga por celda (Castañares, 2020).

² Plántula para trasplante con su cepellón que evoluciona independiente en un pequeño contenedor de una bandeja, adosado a otros. El plug puede ser trasplantado a una celda de mayor tamaño para obtener un plug mayor o una maceta (McMahon, P. 2006). Disponible en: <http://floricultura34.blogspot.com/2008/07/bandejas-alveoladas-plugs-y-trasplantes>.

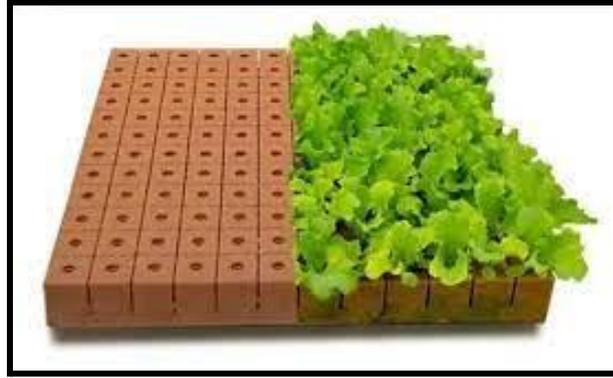


Figura N°10: Plancha de Espuma Fenólica.

2. Trasplante:

En el trasplante, la planta se saca del semillero donde germinó y generó sus primeros brotes. Se hace cuando el plantín alcanza unos 10 centímetros de altura o presenta cuatro o cinco hojas verdaderas. Luego se pasa a los canales de cultivos donde permanecerá hasta que sea tiempo de su cosecha. Se estima un ciclo total de la lechuga hidropónica entre 38 a 47 días.

3.2.3.4 Tanque Colector

La función de este elemento es almacenar la solución nutritiva, para poder distribuirla hacia los cultivos. Existen varios tipos de tanques pero su elección está basada en el tipo de material, tamaño y aislación. Se recomienda que su material sea de polietileno, PVC o fibra de vidrio. En lo que se refiere a su volumen, éste vendrá determinado fundamentalmente por la superficie de cultivo. Es importante que el tanque de almacenamiento de la solución mantenga su contenido fresco y aislado de la luz directa, por lo que debe contar con tapa e idealmente estar bajo el nivel del suelo o en una instalación cubierta.

Para la estimación del volumen promedio del cuerpo de agua, se deben considerar varios factores propios de la laguna:

- Es de régimen permanente.
- Su área es de 2.16 km², variando a lo largo de los años, dependiendo de los períodos secos y lluviosos de la zona. El crecimiento o la disminución varía de acuerdo a la época dependiendo principalmente de las precipitaciones.
- De profundidad media de 1.24 m.
- Posee un arroyo afluente y otro efluente.

- Posee una regulación hídrica antrópica para desagote de la laguna, la cual se realiza mediante una compuerta en la naciente del arroyo efluente administrada por la municipalidad.

Estas variaciones afectan al volumen de agua contenido en la laguna, la cual dependerá en gran medida de las precipitaciones y del manejo de la compuerta. Se estima una variación promedio estos años de 1.62 a 2.19 hm³ con una media de 1.89 hm³ (Massone et al., 2017).

Por lo tanto, al considerar que el volumen promedio de agua es de 1.89 hm³, se propone (en base a la bibliografía reunida), la existencia de dos tanques colectores de 2000 litros cada uno.

La elección del tanque viene determinada por la especie y el número de plantas del cultivo. En la Tabla 2, se indica la capacidad del tanque de acuerdo al consumo de solución según la especie y número de plantas.

Tabla 2. Volumen de solución consumida por día de la especie *Lactuca sativa*.

Especie	Volumen solución consumida (l · planta · día)	Densidad plantación (planta/m ²)	Capacidad del tanque (l/m ²)
Lechuga	0.3	24	9

Nota. Adaptado de , Klepsh R., 2018. “Proyecto de invernadero de 500 m² para agricultura urbana en Santiago de Compostela”.

Uno de los tanques será utilizado para el almacenamiento del agua de la laguna, previo a la distribución de la misma como solución nutritiva empleada para el desarrollo del cultivo hidropónico. El otro tanque estará al final del sistema hidropónico.

Con el empleo de los tanques se podrán realizar muestreos periódicos, no solo para comparar valores de los parámetros a observar, sino para poder tener un control ante cualquier eventualidad que pueda perjudicar al cuerpo de agua receptor. Asimismo, disponer de tanques de almacenamiento para el agua se verá justificado por la presencia de las bombas que impulsan la solución a los canales de cultivo.

3.2.3.5 Canales de cultivo

El sistema NFT se caracteriza por no utilizar ningún tipo de sustrato, sino por el contrario, es un sistema estrictamente hidropónico, o sea, se cultiva directamente en agua con sales minerales disueltas. Así, al no contar con un medio sólido de sostén, éste es brindado a

las plantas por el tipo de contenedor utilizado como también por el canal de cultivo, el cual permite la sujeción de las plantas. La segunda función de los canales y de igual importancia a la anterior, es permitir que la solución nutritiva pase en forma expeditiva a través de ellos.

Para favorecer la oxigenación de las raíces, los canales han de tener como máximo una longitud de 15 metros, ya que a mayor longitud disminuye la concentración de oxígeno. En este caso, se opta por la elección de canales de sección rígida rectangular, de PVC, color blanco liso (ancho de 80 mm por un alto de 42 mm) de 10 metros de largo, ya que son los más adecuados para el sistema y aseguran que el agua de la laguna (solución nutritiva) no se calentará en los días con temperaturas elevadas.

En el caso de la lechuga, la distancia entre plantas y entre los canales de cultivo debe ser aproximadamente unos 20 cm, y los canales deberán tener perforaciones de un diámetro de 50 mm, tal que permitan su desarrollo óptimo de la planta. Por lo tanto, el canal de cultivo deberá tener 50 orificios para la colocación de las plántulas a una distancia de 20 cm cada uno.

Determinaron 4 bancadas con 8 canales de cultivo cada una, con un promedio de 1600 plantas en total. El ancho de bancada es de 1.6 metros por 10 metros de largo con una separación entre ellas de 20 cm entre canales. La pendiente longitudinal de un 3%, tal que permita el retorno de la solución nutritiva al tanque colector. Se estima una superficie a ocupar por las bancadas de 93.5 m² aproximadamente (Ver Anexo II).

3.2.3.6 Bomba

Corresponde a uno de los componentes claves del sistema, el cual requiere una preocupación especial no sólo en cuanto a su elección, sino también a su operación. Su función es impulsar permanentemente la solución nutritiva desde el tanque colector hasta la parte alta de los canales de cultivo. Debe localizarse en forma próxima al tanque, sobre una base firme para evitar movimientos y vibraciones; de igual forma debe situarse próxima a un suministro de electricidad (renovable o no renovable). El sistema eléctrico no solo proveerá de electricidad a los distintos componentes, sino también posibilita programar turnos de encendido de las bombas a través de timers con una programación de inactividad de 15 minutos por 30 minutos de circulación, es decir que los timers cortan la corriente por un periodo de 15 minutos para luego restablecerla durante 30 minutos. La recirculación continua de la solución es recomendable desde el punto de vista del cultivo, pero como contraparte se

promueve el desgaste prematuro del sistema de bombeo, aumentando costos de mantenimiento, razón por la cual se recomienda la opción de intermitencia.

Al mismo tiempo, deberá tenerse especial preocupación de no hacer funcionar la bomba en seco y adoptar las protecciones termoelectricas necesarias que eviten la pérdida total de la bomba frente a eventuales fallas en el sistema.

El flujo recomendado para la solución nutritiva debe estar comprendido entre 1 y 4 litros por minuto; este caudal permite que las raíces de las plantas reciban una dosis adecuada de oxígeno, agua y nutrientes. Ha de tenerse en cuenta que cuando la planta va creciendo puede aumentarse dicho flujo ya que alcanzan tal nivel de magnitud radicular que se entrecruzan las raíces formando un conglomerado conocido como “colchón de raíces”, el cual dificulta el paso de la solución nutritiva y su absorción. Por tanto, se escoge en función de los cultivos seleccionados un caudal de $1.5 \text{ l/min} = 90 \text{ l/h}$ y la altura de la lámina será de 4 mm.

El sistema de bombeo está compuesto por tres bombas centrífugas. Una de las bombas está ubicada previa al primer tanque de almacenamiento del agua de la laguna con el objetivo de bombear dicha agua. La segunda estará ubicada después del primer tanque, y será la que impulse el caudal de 90 l/hora hacia los 32 canales de cultivo por medio de una red de distribución, y finalmente la tercera bomba está ubicada después del segundo tanque, la cual tendrá la función de bombear el agua nuevamente a la laguna (Ver Anexo III).

Tanto la bomba que succiona el agua de la laguna para ingresarla al primer tanque como la que impulsa el agua hacia la laguna una vez ingresada al segundo tanque, tendrán un sistema de filtro para asegurar el buen funcionamiento de las mismas y la no existencia de partículas/materiales exóticos provenientes del cultivo hidropónico.

3.2.3.7 Red de distribución y drenaje

Son las encargadas de conducir la solución nutritiva desde el tanque hasta la parte superior de los canales de cultivo. Serán de PVC y/o polietileno. En relación a su dimensión, depende del volumen a transportar a través del sistema, el cual será de 1.5 l/min por lo que se estima un diámetro de 1 pulgada para las tuberías; y en relación a la superficie del cultivo hidropónico y ubicación de sus componentes (tanque- bombas), se estimó un mínimo de 25 metros de tubería de distribución (Ver Anexo III)

3.2.3.8 Tubería colectora

La tubería colectora recoge la solución nutritiva desde los canales de cultivo y la lleva de retorno hacia el tanque. La tubería se ubica al frente y en un nivel más bajo que la altura inferior de los canales; de esta forma la solución nutritiva desciende por gravedad, oxigenándose. Además, se encuentra en pendiente descendente hacia el tanque colector. Las plantas cultivadas con esta técnica obtienen oxígeno desde la solución nutritiva y desde la superficie radical expuesta a la atmósfera dentro de los canales de cultivo. Así se recomienda permitir la mayor distancia posible entre la desembocadura de la tubería colectora y el nivel de disolución en el tanque. Se estimó un mínimo de 9.25 metros de tubería colectora (Ver Anexo III).

3.2.3.9 Solución nutritiva

Dentro del campo de la hidroponía, la solución nutritiva es un elemento de suma importancia. El resultado del sistema hidropónico es función de la misma y sus características químicas. Esta tiene como objetivo satisfacer las necesidades nutricionales de forma permanente, manteniendo los niveles adecuados de los elementos o nutrientes esenciales para garantizar la viabilidad del cultivo (Arcos et al., 2011). El cultivo de lechuga requiere de diversos elementos (Tabla 3), unos en mayor concentración que otros, como es el caso de los elementos mayores, llamados así porque la planta los requiere en grandes cantidades/proporciones como nitrógeno, fósforo y potasio, seguidos de los elementos secundarios, considerados así porque son consumidos en cantidades intermedias como calcio, magnesio y azufre, los cuales, son indispensables en la formación de los órganos vegetales. Finalmente se encuentran los elementos menores como cobre, boro, hierro, manganeso, zinc, molibdeno y cloro, requeridos en muy pequeñas concentraciones, pero esenciales para administrar la asimilación de otros nutrientes. Estos elementos menores tienen funciones vitales en los sistemas enzimáticos (Marulanda & Izquierdo, 2003). Por otro lado, el exceso de algunos de estos pueden ocasionar toxicidad al cultivo.

Una de las claves para el éxito del cultivo hidropónico es la composición de la solución nutritiva, la cual en este contexto será el agua de la laguna, ya que la misma deberá contener todos los elementos mencionados en forma adecuada (concentraciones y proporciones relativas) y en las cantidades apropiadas para que cumplan correctamente el rol que desempeñan en el metabolismo vegetal.

Tabla 3. Consumo de nutrientes por planta de lechuga en un sistema hidropónico NFT.

Nutrientes	Consumo (mg) por planta de lechuga
N	917
P	174
K	1024
Ca	258
Mg	101
Fe	24
Mn	2.4
Zn	2.4
Cu	0.1

Nota. Adaptado de Castillo, C. 2004. "Determinación de los efectos en rendimiento de la producción de lechuga hidropónica y convencional en condiciones de El Zamorano, Honduras"

3.2.3.10 Monitoreo de la solución nutritiva

En este último apartado se detallan los principales controles que se deben realizar en la solución nutritiva.

- **pH:** indica la acidez o alcalinidad de una solución. De acuerdo al mismo puede modificarse la forma química de los nutrientes y con ello afectar su disponibilidad para las plantas. Deben realizarse mediciones a diario.
- **Conductividad eléctrica (CE):** es una medida de la concentración de las sales disueltas en el agua. Dado que la CE está relacionada con la concentración de nutrientes, valores muy bajos de este parámetro puede determinar un retraso o inhibición del crecimiento. Por otro lado, una CE que supere los umbrales indicados a continuación (Tabla 4), puede generar problemas de toxicidad y competencia entre nutrientes. Al igual que el pH, la CE deberá medirse a diario.

Tabla 4. Umbral de CE requerido en diferentes especies de cultivo hidropónico.

Especie	Umbral de CE (dS m-1)
Lechuga	1.3
Espinaca	2.0
Frutilla	1.0
Col	1.8

Nota. Adaptado de Castañares, J. 2020 "ABC de la Hidroponía".

- **Temperatura:** tendrá un efecto en la disponibilidad de nutrientes, en el oxígeno disuelto y en la actividad radical. Como regla general, esta no debería ser marcadamente inferior a la temperatura ambiente (20-25 °C). En días cálidos, con una elevada transpiración, temperaturas muy bajas en la zona de las raíces pueden conducir a un estrés en las plantas. Al mismo tiempo, las bajas temperaturas pueden producir la precipitación de muchas sales, impidiendo su absorción. Sumado a lo anterior, las bajas temperaturas pueden reducir el crecimiento de las plantas. Por otro lado, temperaturas muy elevadas pueden provocar un estrés térmico. Asimismo, la solubilidad del oxígeno disminuye con el aumento de la temperatura, lo que puede ocasionar una falta de oxígeno en las raíces.
- **Oxigenación:** el contenido de oxígeno de la solución nutritiva afectará la actividad de las raíces, particularmente la absorción de agua y nutrientes. En sistemas NFT el movimiento de la solución en los caños, la caída de ésta al tanque y el retorno son suficientes para lograr la oxigenación.

4. Adaptación del sistema NFT a las condiciones reales de la Escuela Agropecuaria N°1 Nicolás Repetto

A partir de lo expresado anteriormente, se adaptará el sistema NFT a la situación real de la escuela. De acuerdo a los elementos y condiciones que debe tener un sistema NFT para ser eficiente, la escuela cuenta con:

4.1 Espacio físico

La escuela cuenta con un invernadero propio (Figura N° 10, 11 y 12) con una superficie de aproximadamente 70 m², cerrado parcialmente, techado y accesible a pie. Posee cubierta

exterior translúcida de plástico, que permite el control de la temperatura, la humedad y otros factores ambientales para favorecer el desarrollo de las plantas.



Figura N° 11. Invernadero propio en las instalaciones Escuela Agropecuaria N°1 Nicolás Repetto. Fuente: Victoria Vargas.

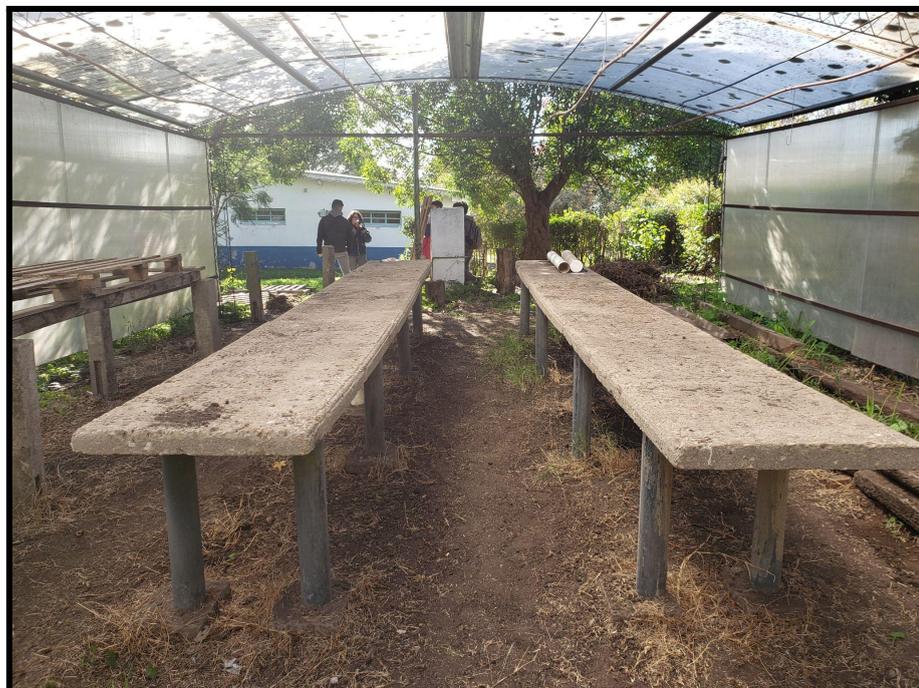


Figura N° 12. Infraestructura interior del invernadero. Fuente: Victoria Vargas.



Figura N° 13. Vista lateral invernadero. Fuente: Victoria Vargas.

4.2 Suministro eléctrico

Dentro de las instalaciones cercanas al invernadero destinado para el proyecto se posee suministro eléctrico (Figuras N° 13 y 14) destinado al funcionamiento de la bomba.



Figuras N° 14 y 15. Tablero eléctrico en condiciones óptimas para su uso. Fuente: Victoria Vargas.

Como se mencionó anteriormente, una de las recomendaciones para este proyecto es la posibilidad de incorporar paneles solares como fuente energética del sistema de producción. Como se sabe, la energía solar es aquella energía producida por el sol la cual es convertida en energía útil ya sea para calentar algo o producir electricidad. En la actualidad, es una de las

energías renovables más desarrolladas y usadas en todo el mundo, es una fuente inagotable, de poco mantenimiento y resistente a condiciones climáticas adversas.

Otro motivo por el cual es recomendable la implementación de paneles solares es la falta frecuente de suministro eléctrico de la zona, situación mencionada por el director de la escuela, Daniel Lorusso, en una de las visitas a la institución. La interrupción del suministro de energía eléctrica en el sistema hidropónico podría traer graves consecuencias, como el daño que se le genera a la bomba y la falta de circulación de la solución nutritiva al sistema hidropónico, entre otros.

4.3 Bomba

La institución posee un sistema de bombeo, que cuenta con una bomba centrífuga de marca Vasser (Figura N°15) con las siguientes características:

- Qmax:90 l/min.
- Hmax: 26 metros.
- kW: 0,75
- HP: 1



Figura N°16. Bomba centrífuga de marca Vasser. Fuente: Victoria Vargas.

Se recomienda la utilización de timers con una programación de inactividad de 15 minutos por 30 minutos de circulación, para no desgastar en forma prematura la bomba, lo que generaría aumento de costos de mantenimiento. El caudal a impulsar necesario para cada

canal de cultivo (número estimado de 24 unidades) será de 1.5 l/min, es decir, un total de 43.2 l/min . (Ver Anexo II)

4.5 Canales de cultivo

Conociendo las medidas del invernadero, se optó por una reducción de bancadas y consecuentemente de los canales de cultivo. De acuerdo a la superficie del invernadero se determinaron 3 bancadas con 8 canales de cultivo cada una, con un promedio de 960 plantas en total. El ancho de bancada es de 1.6 metros por 8 metros de largo con una separación entre ellas de 20 cm entre canales. La pendiente longitudinal de un 3% permite el retorno de la solución nutritiva al tanque colector. (Ver Anexo II).

4.6 Tanque Colector

El establecimiento posee un tanque de PVC de un volumen aproximado de 500 litros destinado al proyecto (Figura N°16). Se recomienda que el tanque esté bajo tierra para poder tener la temperatura controlada, para no dañar las raíces. En caso contrario, se evaluó una segunda opción de revestir al tanque para asegurarse de que no haya fluctuaciones térmicas que perjudiquen al cultivo.



Figura N° 17. Tanque de PVC. Volumen aproximado de 500 litros. Fuente: Victoria Vargas.

Se debe tener en cuenta que la ubicación de la escuela está a unos 700 metros de la Laguna de los Padres, lo que dificulta transpolar el proyecto ideal de manera real, por el costo

que implica una red de distribución de tanta extensión. Por este motivo, se optó por un traslado del tanque para su llenado a través de un carro con un vehículo, el cual traslada, hasta la laguna, recolecta el agua con un previo filtrado manual y se almacena en el tanque, el cual se vuelve a llevar hasta el invernadero. Esto permitirá realizar muestreos de calidad de agua y llevar a cabo un estudio detallado de las características fisicoquímicas, previo a su vuelco al cuerpo lagunar.

El consumo máximo de solución nutritiva por planta es de unos 288 litros/día, se recomienda tener un tanque de almacenamiento de un volumen mínimo de 500 litros con la solución nutritiva ante cualquier emergencia.

4.7 Cultivo

Al ser una escuela agraria, la institución posee todos los elementos destinados para una eficiente germinación y crecimiento de las plántulas de lechuga (semillas, semillero, sustrato). La escuela posee mano de obra especializada y un lugar disponible para su resguardo.

4.8 Red de distribución y drenaje

En relación con su dimensión, el volumen a transportar a través del sistemas será de 1.5 l/min, por lo que se estima un diámetro de 1 pulgada para las tuberías; y en relación a la superficie del cultivo hidropónico y ubicación de sus componentes (tanque - bombas), se estimó un mínimo de 20 m de tubería de distribución.

4.9 Tubería colectora

Como se detalló anteriormente, la función de la tubería es recoger la solución nutritiva desde los canales de cultivo y llevarla de retorno hacia el tanque de almacenamiento. Siempre debe poseer un nivel más bajo en comparación con los canales de cultivo. De esta forma la solución nutritiva desciende por gravedad, oxigenándose. Se estimó un mínimo de 6.80 m de tubería colectora.

4.10 Monitoreo de la solución nutritiva

Los principales controles que se deben realizar en la solución nutritiva son el pH, conductividad eléctrica, temperatura y oxigenación. Es recomendable que sus controles sean diarios, o en su defecto, de dos a tres veces por semana.

5. Conclusiones

Se propuso un proyecto innovador, no insertado aún en el mercado de la producción hortícola de la zona, mediante el cual se puede producir una hortaliza de consumo alimentario en la sociedad de la región, totalmente “ecológica”, es decir, sustentable, sostenible, ambientalmente amigable y en condiciones óptimas para su producción y calidad. Este alimento puede ser producido con escaso o nulo impacto ambiental, considerando que se propone un cultivo no tradicional sino hidropónico, el cual no requiere, *a priori*, del uso de suelo, de fertilizantes ni de otros agroquímicos.

Se propone su implementación en un contexto real, una institución educativa que forma técnicos agropecuarios, y que dispone de infraestructura, recursos humanos (docentes, estudiantes, ambos con aval directivo) y equipamiento acorde a los requerimientos del emprendimiento propuesto.

Este proyecto expone una forma alternativa de producción hortícola que puede ser insumo cognitivo a estudiantes de la institución educativa, que no genera pasivos ambientales y que promueve la remoción de las elevadas concentraciones de nutrientes que poseen las aguas de la laguna, un ecosistema naturalmente eutrófico, el cual ve aumentadas sus concentraciones de nutrientes (principalmente de nitrógeno) producto de las actividades antrópicas circundantes (especialmente la agricultura intensiva y extensiva).

Se recomienda, a futuro, la posibilidad de insertar al proyecto un sistema de acopio de agua que permita el aprovechamiento de un recurso natural poco utilizado en la zona, abasteciendo así al sistema hidropónico de manera sustentable y sostenible. Además, se propone adicionar al suministro de energía eléctrica, una fuente de energía renovable (energía solar). Ayudará, en lo económico a la reducción de costos eléctricos, mantenimiento (debido a la larga vida de los paneles solares) e instalación. En lo social, contribuye a generar una sustentabilidad propia del proyecto y un desarrollo dinámico- ambiental en la institución. En cuanto a lo ambiental, aporta a la reducción de las emisiones de CO₂ y otros gases

contaminantes a la atmósfera, no consume combustibles, no produce residuos, ni genera ruidos y es una fuente de energía inagotable.

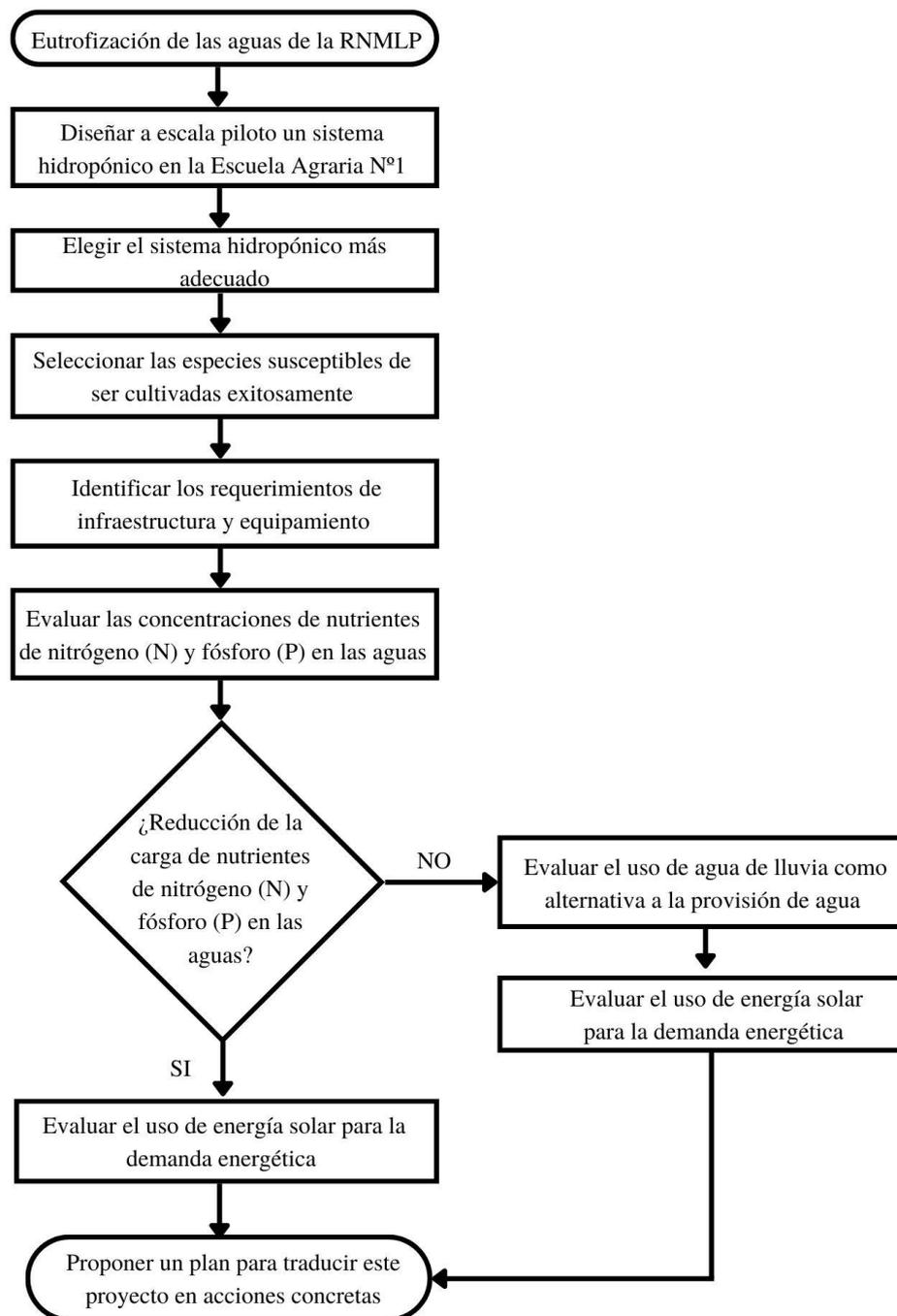
Si bien, la inversión inicial es mucho mayor que la de recursos no renovables, el proyecto centra su objetivo en la conservación del ambiente y en la incorporación de buenas prácticas ambientales³.

³ Aquellas acciones que procuran reducir los impactos negativos que se generan en ciertas actividades antrópicas y producen un deterioro ambiental. Su objetivo es aplicar medidas sencillas y útiles que se puedan adaptar a todas las personas, logrando incrementar el compromiso y mejora para el ambiente.

6. Anexos

6.1 Anexo I

En el presente anexo se representará en forma sinóptica este proyecto final.



6.2 Anexo II

En el presente anexo se llevará a cabo el dimensionamiento del sistema hidropónico NFT. Cálculos realizados en función del caudal requerido para asegurar el paso de la lámina nutritiva que atraviesa los canales.

6.2.1 Cálculos para el Sistema de cultivo IDEAL

Canal de cultivo

- largo: 10 metros.
- ancho de canal: 0.08 m
- distancia entre orificios: 0.2 m
- diámetro de orificio: 0.05 m

Cantidad de plántulas por canal de cultivo: 50 unidades.

Bancada de cultivo

- ancho de bancada: 1.6 m
- largo de bancada: 10 m
- separación por bancada para una mejor manipulación del cultivo: 0.7 m
- cantidad de canales de cultivos por bancada: $1.6 \text{ m} / 0.2 \text{ m} = 8 \text{ canales}$

Cantidad de plántulas por bancada: $8 \text{ canales} * 50 \text{ unidades} = 400 \text{ unidades}$

Total de:

$4 \text{ bancadas} = 32 \text{ canales de cultivo} = 1600 \text{ plantas de lechuga.}$

Superficie a ocupar

Sup. a ocupar: $[(\text{separación entre bancadas} * \text{cantidad de separación}) + (\text{ancho de cada bancada} * \text{cantidad de bancadas})] * (\text{largo de bancada} + \text{un exceso de } 0.5\text{m de ambos lados para el paso}) = [(0.7\text{m} * 3) + (1.6 * 4)] * [(10 + 1\text{m})] = (2.1 + 6.49) * 11 = 93.5\text{m}^2$

Bomba

El caudal a impulsar necesario para cada canal de cultivo va a ser de $1.5 \text{ l/min} = 2160 \text{ l/día.}$

Por tanto el caudal de la bomba de impulsión del tanque colector será:

$Q_{bomba} = Q_{canal} * n^{\circ} \text{ canales} + 20\% \text{ de excedente para la recirculación de la solución nutritiva} = (1.5 \text{ l/min} * 32 \text{ canales}) + 20\% = 48 \text{ l/min} + 9.6 = 57.6 \text{ l/min} = 82944 \text{ l/diarios.}$

Consumo máximo de solución nutritiva por planta

Cantidad de plantas * Volumen disolución consumida= 1600 planta* 0.3 l /planta día= 480 litros/día.

6.2.2 Cálculos para el Sistema de cultivo REAL

Canal de cultivo

- largo: 8 metros.
- ancho de canal: 0.08 m
- distancia entre orificios: 0.2 m
- diámetro de orificio: 0.05 m

Cantidad de plántulas por canal de cultivo: 40 unidades.

Bancada de cultivo

- ancho de bancada: 1.6 m
- largo de bancada: 8 m
- separación por bancada para una mejor manipulación del cultivo: 0.7 m
- cantidad de canales de cultivos por bancada: $1.6 \text{ m} / 0.2 \text{ m} = 8 \text{ canales}$

Cantidad de bancadas: 3 (por el ancho del invernadero, se debe considerar la separación por bancada para la eficaz manipulación de las plantas)

Cantidad de plántulas por bancada: 8 canales * 40 unidades= 320 unidades

Total de:

3 bancadas= 24 canales de cultivo= 960 plantas de lechuga.

Bomba

El caudal a impulsar necesario para cada canal de cultivo va a ser de 1.5 l/min= 2160 l/día.

Por tanto el caudal de la bomba de impulsión del tanque colector será:

$Q_{bomba} = Q_{canal} * n^{\circ} \text{ canales} + 20\% \text{ de excedente para la recirculación de la solución nutritiva} = (1.5 \text{ l/min} * 24 \text{ canales}) + 20\% = 36 \text{ l/min} + 7.2 = 43.2 \text{ l/min} = 62208 \text{ l/diarios.}$

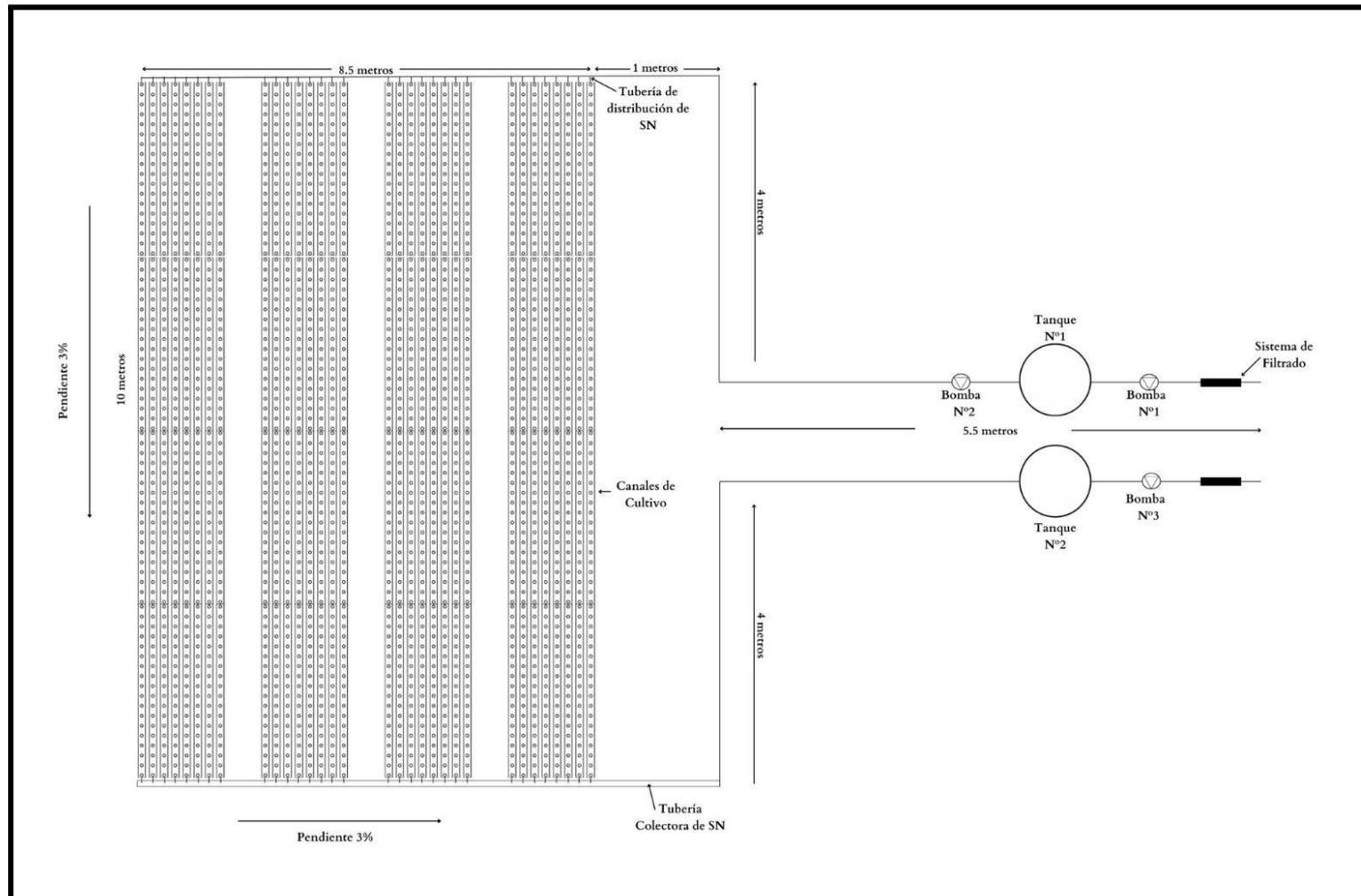
Consumo máximo de solución nutritiva por planta

Cantidad de plantas * Volumen disolución consumida= 960 planta* 0.3 l /planta día= 288 litros/día.

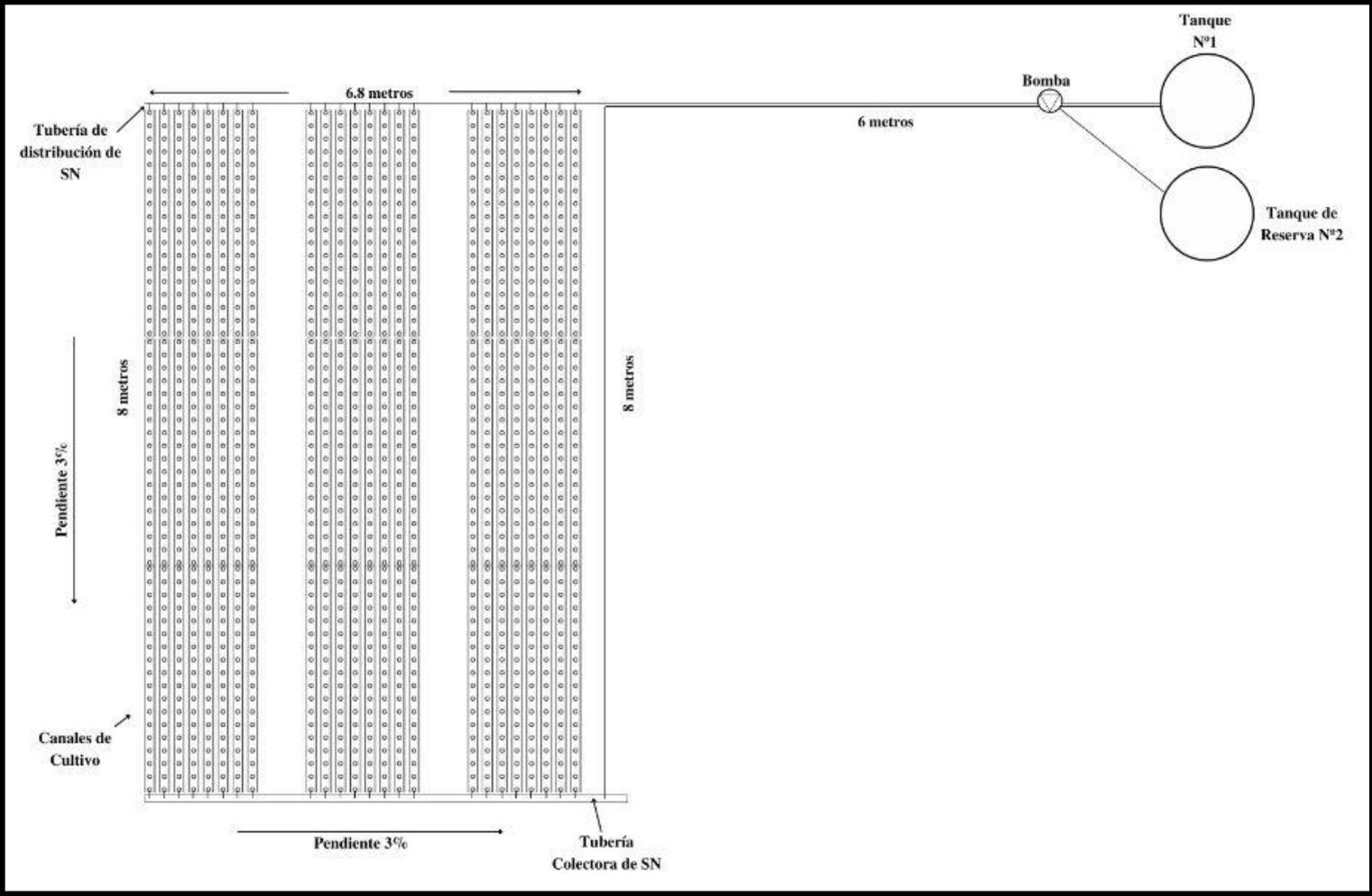
6.3 Anexo III

En el presente anexo se presentan los diseños simplificados de los sistemas hidropónico NFT a partir de una elaboración propia sin escala.

6.3.1 Sistema de cultivo IDEAL



6.3.2 Sistema de cultivo REAL



Referencias

- AEMA, Energy & Environment. *Técnicas Hidropónicas*. Publicado: 23/11/2020
Consultado: 12/05/2022. Disponible en:
<https://aemahispanica.com/actualidad/tecnicas-hidroponicas/>
- Beltrano J., Gimenez D. (2015). *Cultivo en hidroponía*. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata. Editorial: Universidad de La Plata.
Consultado: 27/04/22. Disponible en:
http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Castañares, J. 2020. “*ABC de la Hidroponía*”. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria Área Metropolitana de Buenos Aires. Agencia de Extensión Rural Luján; Argentina. Consultado: 10/04/22.
Disponible en:
https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_amba_-_abc_de_la_hidroponia.pdf
- Cárdenas Castillo, C.M., 2004, “Determinación de los efectos en rendimiento de la producción de lechuga hidropónica y convencional en condiciones de El Zamorano, Honduras”, Ciencia y Producción Agropecuaria. Consultado: 15/05/22. Disponible en:
<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/2a7a8460-9311-4331-953f-ea4ffe23e460e/content>.
- Colasurdo, V. et al., 2011. “*Análisis de la calidad del agua de la laguna De los Padres: potencial uso para riego*”. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata (2011) Vol 110 (1): 20- 25. Consultado: 28/07/2022. Disponible en:
<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/15708>
- De Marco S., Vega L., Bellagamba P. (2011). *La reserva natural del Puerto Mar del Plata, un oasis urbano de vida silvestre*. Universidad FASTA.
- Decreto 1020/84. *Plan de Manejo para la Reserva Integral Laguna de los Padres*. Municipalidad de General Pueyrredon, Argentina.
- Díaz O., Colasurdo V., Grosman F., Sanzano P., 2009 “*CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y BIOLÓGICA DE TRES LAGUNAS PAMPASICAS*”, Instituto Multidisciplinario sobre Ecosistemas y Desarrollo Sustentable. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA). Consultado: 4/4/22.
Disponible en:

<https://1library.co/document/zke5l64z-caracterizacion-fisicoquimica-y-biologica-de-tr-es-lagunas-pampasicas.html>

- Geraldí A., Piccolo M., Perillo G. (2011). *Lagunas bonaerenses en el paisaje pampeano*. Instituto Argentino de Oceanografía, Universidad Nacional del Sur. Conicet. Volumen 21 número 123. Consultado: 26/04/22. Disponible en: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/21369/CONICET_Digital_Nro.24595.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Massone H. E., Quiroz Londoño O. M., Romanelli A., Donna F., “*Proyecto waterclima LAC 2015-2017*” *Compilación de informes técnicos producidos en el Área Piloto Mar del Plata*, Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario and Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, Guía didáctica 3, 2017. Consultado: 01/06/2022. Disponible en: <https://docplayer.es/94185166-Proyecto-waterclima-lac-compilacion-de-informes-tecnicos-producidos-en-el-area-piloto-mar-del-plata.html>
- Manual de Hidroponía. OASIS Easy Plant. Consultado: 4/05/22. Disponible en: <https://www.oasisgrowersolutions.com/pdf/mx/manual-hidroponia.pdf>
- Municipalidad de General Pueyrredón. Recursos Naturales y guardaparques. Consultado: 29/04/22. Disponible en: <https://www.mardelplata.gob.ar/Recursosnaturalesyguardaparques>
- Pedrotta V. (2017). *Tras las huellas de los jesuitas en las pampas argentinas. La reducción “Nuestra Señora de la Purísima Concepción de los Indios Pampas” (1740-1753)*. Trabajos y Comunicaciones, 2da. Época, N° 45. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Departamento de Historia. Consultado: 27/04/22. Disponible en: https://memoria.fahce.unlp.edu.ar/art_revistas/pr.7734/pr.7734.pdf
- Quirós R, (2005). *La ecología de las lagunas de las Pampas*. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. Consultado: 26/04/22. Disponible en: https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_peces/piscicultura/11-ecologia_la_gunas_pampas.pdf
- Reina K., Constanza F., “*Proyecto de invernadero de 500 m² para agricultura urbana en Santiago de Compostela (A Coruña)*”, Escuela de Ingeniería Agraria y Forestal. Galicia. Consultado: 4/05/22. Disponible en: https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/9678/SUBANEJO7.1_SISTEMANEFT.pdf?sequence=41&isAllowed=y
- Romanelli, A., Quiroz Londoño O., Massone H., Martínez D., Bocanegra E., 2010. *El agua subterránea en el funcionamiento hidrológico de los humedales del Sudeste*

Bonaerense, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Boletín Geológico y Minero, 121.
Consultado: 22/07/22. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/277761403_El_agua_subterranea_en_el_funcionamiento_hidrologico_de_los_humedales_del_Sudeste_Bonaerense_Provincia_de_Buenos_Aires_Argentina