

54



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

**FORRAJES HIDROPONICOS
PRADERAS MAGICAS**

**(EVALUACION PRODUCTIVA, NUTRITIVA Y ECONOMICA
DE CUATRO GRAMINEAS FORRAJERAS BAJO SISTEMA DE
PRODUCCION HIDROPONICO.)**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER LOS TITULOS DE
INGENIERO AGRICOLA
Y DE**

MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

P R E S E N T A N :

MARIA ELENA ROMERO AMADO

JOSE VICENTE ZENTENO CRUZ

ASESOR: ING. EDGAR ORNELAS DIAZ
COASESOR: M.V.Z. JESUS GUEVARA VIVERO

282254

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO DE MEXICO

2000



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLÁN
P R E S E N T E.

Departamento de
Exámenes Profesionales

ATN.: Q. M. DEL CARMEN GARCIA MIJARES
JEFE DEL DEPARTAMENTO.

Con base al artículo 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a Usted que revisamos el TRABAJO de Tesis con el nombre de:

"Forrajes Hidropónicos Praderas Mágicas".

que presenta la pasante: ROMERO AMADO MARIA ELENA
con número de cuenta : 9156876-8 para obtener el Título de :

INGENIERA AGRICOLA

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuatitlán Izc., México, a 10 de Marzo de 1999

Presidente I.A. DENEZ CAMACHO MORFIN

Vocal MVZ. JESUS GUEVARA VIVERO

Secretario ING. EDGAR ORNELAS DIAZ

1er. Sup. MVZ. SILVIANO TREJO NUÑEZ

2do. Sup. IAZ. JESUS ALBERTO GUEVARA GONZALEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

FECHA: 10/03/99
LUGAR: CUAUTITLÁN

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLÁN
P R E S E N T E.

Departamento de
Exámenes Profesionales

ATN.: Q. M. DEL CARMEN GARCIA MIJARES
JEFE DEL DEPARTAMENTO.

Con base al artículo 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a Usted que revisamos el TRABAJO de Tesis con el nombre de:

"Forrajes Hidropónicos Praderas Mágicas".

que presenta el pasante: ZENTENO CRUZ JOSE VICENTE
con número de cuenta : 8806218-1 para obtener el Título de :

MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E.
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautitlán Izc., México, a 10 de Marzo de 1999

Presidente I.A. DENEZ CAMACHO MORFIN
Vocal MVZ. JESUS GUEVARA VIVERO
Secretario ING. EDGAR ORNELAS DIAZ
1er. Sup. MVZ. SILVIANO TREJO NUÑEZ
2do. Sup. IAZ. JESUS ALBERTO GUEVARA GONZALEZ

DEDICATORIAS

HAY UN SER AL QUE QUIERO DEDICAR ESTOS AÑOS
DE ESFUERZO QUE HOY SE VEN CONCLUIDOS COMO LA
PRIMERA ETAPA DE MI DESARROLLO PROFESIONAL.
LE DOY ANTES QUE NADA LAS GRACIAS CON TODO EL CORAZON
POR QUE EL EN SU INFINITA GRANDEZA , INMENSA INTELIGENCIA
E INAGOTABLE BONDAD HA GUIADO MI CAMINO Y A PUESTO
EN MI VIDA, SERES MARAVILLOSOS QUE ME HAN LLENADO DE AMOR ,
DE PACIENCIA, Y DE MOMENTOS MARAVILLOSOS QUE ME IMPULSAN
A SER , CADA DIA UN MEJOR SER HUMANO Y UN MEJOR, PROFESIONISTA.
GRACIAS INFINITAMENTE JESÚS POR ESTAS ESTELLAS QUE GUIAN
MI CAMINO .

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO QUE A PESAR DE
TODO SEGUIRA SIENDO LA MÁXIMA CASA DE ESTUDIOS, Y HOY MAS QUE
NUNCA ES DEVER DE SUS EGRESADOS DEMOSTRAR SUS CALIDAD CON
HECHOS.

CON TODO MI AMOR LES DEDICO A USTEDES ESTE TRABAJO.

A

DON JULIAN AMADO.

EN DONDE QUIERA QUE ESTE SEGUIRA ILUMINANDO MI VIDA

A

MIS PADRES:

AURORA.

CLAUDIO.

MI MAS DIGNO Y CLARO EJEMPLO

A

MIS HERMANOS:

CLAUDIO ALFREDO.

SANTIAGO JAVIER.

JORGE.

MIGUEL ANGEL.

MIS GRANDES ALIADOS Y COMPAÑEROS DE MI VIDA.

A

MIS AMIGOS:

MA. DE LOURDES.

LILIANA.

ALEJANDRO.

ALFREDO.

VICENTE.

MIS COMPLICES, MIS HERMANOS, MIS MEJORES AMIGOS
Y COMPAÑEROS.

A

JORGE LUIS.

SIMPLEMENTE GRACIAS, ERES UN SER MARAVILLOSO.

A

VICTOR PAVON.

ERES UN GRAN EJEMPLO.

A

MIS ASESORES

M.V.Z. JESÚS GUEVARA.

ING. EDGAR ORNELAS.

GRACIAS POR SU APOYO Y PACIENCIA.

CON MUCHO CARÍÑO E INFINITO AGRADECIMIENTO
PARA USTEDES.

MARIA ELENA ROMERO AMADO.

DEDICATORIAS.

A la UNAM.

Por otorgarme el honor de formarme
Profesionalmente dentro de tan prestigiada
Casa de Estudios.

A la F.E.S.C.

Gracias por formar parte de tan
Entrañable institución.

Al Doctor Jorge Alfredo Cuellar Ordaz:

Gracias por haberme otorgado tu amistad,
Paciencia y entendimiento hacia mi persona
Provocando un cambio en la percepción de
la vida, gran parte de los conocimientos
Adquiridos en la F.E.S. te los debo a ti.

Al Doctor Jesús Guevara Vivero:

Gracias por dirigir este trabajo de tesis
Tanto en su observación como con sus
Conocimientos.

A mis padres:

Anastasio Zenteno Valerio y
Enriqueta Cruz Cid

Gracias por que sin su apoyo incondicional
No sería lo que soy, gracias por su fe y
Confianza depositada en mí; Mi infinito
Agradecimiento.

A mis Hermanos:

Félix, David, Tacho, Angélica, Zeferino, Susana,
Isidro, Enriqueta.
Gracias por su apoyo, su cariño, su amistad y su
Enorme calidad humana, los amo.

INDICE.

Lista de cuadros y figuras.

Resumen.	Pagina
1.-Introducción.....	1
1.1.- Objetivos e Hipótesis.....	4
1.1.1.- Objetivos.....	4
1.2.1.- Hipótesis.....	4
II.- Revisión de Literatura.....	5
2.1.- Generalidades de la hidroponía.....	6
2.1.1.- Ventajas de la hidroponía.....	7
2.1.2.- Desventajas de la hidroponía.....	9
2.1.3.- Importancia de la hidroponía.....	10
2.2.- Forrajes hidropónicos.....	11
2.2.1.- Fisiología de la producción.....	11
2.2.2.- Factores determinantes de la germinación.....	12
2.2.3.- Invernadero.....	14
2.2.4.- Sistemas de riego.....	15
2.2.5.- Proceso productivo.....	16
2.3.- Antecedentes de producción.....	19
2.3.1.- Nivel mundial.....	19
2.3.2.- Nivel Nacional.....	20
2.4.- Valor nutritivo.....	21
2.5.- Condiciones Ambientales.....	23
2.6.- Densidad de siembra.....	23
2.7.- Sustratos.....	24
2.8.- Disolución nutritiva.....	24
2.8.1.- Fuentes.....	25
2.8.2.- Cálculos.....	28
2.8.3.- Procedimientos para la preparación.....	32
2.9.- Calidad del agua.....	33
2.10.- Valor del pH.....	33
2.11.- Riegos.....	34
2.12.- Cosecha.....	34
2.13.- Recomendaciones de alimentación animal.....	35

III MATERIALES Y METODOS.

3.1.- Localización del área de estudio.....	37
3.2.- Condiciones Ambientales.....	37
3.3.- Características de la cámara.....	37
3.4.- Características del material vegetal.....	38
3.5.- Diseño Experimental.....	38
3.6.- Análisis estadístico.....	38
3.6.1.-Tratamientos.....	39
3.6.2.- Manejo Agronómico.....	39
3.6.3.-Disolución nutritiva.....	40
3.6.4.- Parámetros a evaluar.....	40

3.6.5.- ¿Como, Porque Y Para que? De los parámetros evaluados.....	40
IV ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	44
V .- CONCLUSIONES.....	53
VI.- COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES.....	55
VII.- ANEXOS.....	57
VIII. BIBLIOGRAFIA.....	61

LISTA DE CUADROS.

Cuadro No. 1 . Análisis Nutricional en 45 kilogramos(100libras) de semilla de avena y pasto de avena a seis días de producido.

Cuadro No.2 Valor nutritivo de pasto de cebada comparado con alfalfa y avena.

Cuadro No. 3 Densidades de siembra de gramíneas forrajeras para la producción de forraje verde hidropónico. (F.V.H.).

Cuadro NO. 4 Altura del F.V.H. obtenido en cámaras comerciales.

Cuadro No. 5 Gramíneas Forrajeras utilizadas en la producción de forrajes verdes hidropónicos (F.V.H.)

Cuadro No. 6 Acomodo de las especies forrajeras al interior de la cámara incubadora de pasto.

Cuadro No. 7 Disolución nutritiva empleada en la producción de forrajes verdes hidropónicos (F.V.H.)

Cuadro No. 8 Componentes del análisis químico bromatológico.

Cuadro No. 9 Altura del forraje Hidropónico a los 11,13 y 15 días de desarrollo

Cuadro No. 10 Peso Fresco del Forraje hidropónico a los11,13 y 15 días.

Cuadro No. 11 Porcentaje de humedad del forraje Hidropónico a los 11,13 y 15 días de cosecha

Cuadro No.12 Porcentaje de digestibilidad del forraje hidropónico a los 11,13 y 15 días de cosecha.

Cuadro No. 13.Porcentaje de proteína cruda del forraje hidropónico a los 11.13 y 15 días.

Cuadro No. 14 Porcentaje de Fibra Detergente Ácido del Forraje Hidropónico a los 11,13 y 15 días de cosecha.

RESUMEN.

Para la presente investigación fueron utilizadas las instalaciones del invernadero de cristal número 2 de Ingeniería Agrícola, así como los laboratorios de Bromatología y nutrición de Medicina Veterinaria, Ubicados en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan (F.E.S-C) de la Universidad Nacional Autónoma de México, (U.N.A.M.).

El estudio se realizó en la cámara de tipo rústico con cubierta plástica, postes de madera, sistema de riego de nebulización, piso de tezontle, charolas de plástico, con una dimensión de 0.21 metros cuadrados en las que se realizó la siembra manejando densidades uniformes para las cuatro especies forrajeras (un kilogramo por cada charola).

Bajo características hidropónicas, empleando la técnica del cultivo a raíz desnuda. Y características homogéneas en cuanto a riegos, disolución nutritiva, temperatura, humedad y luz. Teniendo como objetivo central evaluar la calidad alimenticia del forraje hidropónico, así como también la rentabilidad y eficiencia del sistema.

Empleando para tal objetivo cuatro especies forrajeras Avena (*Avena sativa* L.), Cebada (*Hordeum vulgare*), Centeno (*Secale cereale* L.), Trigo (*Triticum aestivum*). Con diseño experimental factorial 4*3 con 4 tratamientos 3 repeticiones y distribución al azar. La parcela experimental fue de 36*59 centímetros.

De los cuales se cosecharon tres periodos para cada especie. La primera cosecha se realizó a los 11 días a partir de la siembra, la segunda a los 13 días y la tercera a los 15 días. Esto con la finalidad de evaluar en los distintos periodos de desarrollo la calidad nutritiva de los forrajes.

Se realizó análisis de varianza y comparación de medias utilizando la prueba de Tukey al 0.05 % de probabilidad.

Las variables de estudio para estudiar para evaluar la calidad alimenticia de producción de los forrajes fueron:

% de Digestibilidad del cual obtuvimos valores que van desde 39.2% hasta 64.2%

% de Proteína Cruda, que oscila entre 4.90 hasta 6.06%

% de Fibra Detergente ácido, los cuales tuvieron variación de 49.8% hasta 77.7%.

Altura de planta, las cuales van desde 15.3 cm. Hasta 26.0 cm.

Peso fresco el cual fue desde 11.6 hasta 14.0 kilogramos.

% de materia Seca la cual varió desde 18.8% hasta 30.2%.

Se pudo saber que el factor especie tuvo influencia de manera altamente significativa en los resultados de cinco de las seis variables de estudio. Excepto en, Proteína cruda en donde es determinante la edad y también en peso fresco en donde a más días a cosecha mayor peso fresco.

En cuanto a la comparación de medias de los diferentes factores muestran que la mejor calidad nutritiva es obtenida por el Centeno seguido de la Avena, Cebada y Trigo, teniendo como momento más conveniente de cosecha 11 días (primera cosecha).

Por lo que respecta a la evaluación económica podemos considerar que es una alternativa muy conveniente dados los costos de producción que estos tienen.

I.- INTRODUCCIÓN.

El sector agropecuario en México se encuentra sumergido en una grave crisis económica, social, política e incluso cultural; factores tienen al sector primario estancado, lo que ocasiona que la inversión en el campo no se visualice como una buena alternativa.

Es muy importante mencionar que México es uno de los países más montañosos del mundo pues de sus 196.7 millones de hectáreas solo el 36% presenta pendientes inferiores al 25% de donde resulta que el 64% presentan pendientes que limitan severamente la agricultura (Sánchez y Escalante).

Por si esto fuera poco añadiremos que el 64.12% del territorio presenta desde erosión moderada, hasta completa, siendo más notable en los estados de Tlaxcala, México, Puebla, Zacatecas, San Luis Potosí, Guanajuato, Nuevo León, Coahuila, Oaxaca y Sonora (Sánchez y Escalante).

Aunado a lo anterior existen suelos en diversas regiones del país, que presentan los problemas siguientes: salinidad, drenaje deficiente, pedregosidad y hasta capa arable somera (Sánchez y Escalante).

Un régimen de lluvias tardías combinado con heladas tempranas, en la mayor parte del norte y centro de nuestro país, limitan las fechas de siembra y las especies que pueden cultivarse, así como el número de cosechas que se pueden obtener (una por año en este último caso) (Sánchez y Escalante).

El incremento en los precios de los insumos, el control de precios de productos básicos, así como las crecientes importaciones de granos, leche en polvo, y carne; además de los sistemas de producción poco rentables sustentados algunos de ellos, en el uso intensivo de concentrados y otros en una ganadería extensiva cuya productividad es mínima agudizan la problemática.

Cabe mencionar que más del 51% de nuestro territorio (100 millones de has.) Se destinan a la producción de pastizales o agostaderos (Calva 1993. Siendo estos sistemas deficientes con producciones abundantes en algunos periodos y escasez en otros, en función de la estacionalidad climática del año.

Considerando que la alimentación en el proceso ganadero ocupa entre el 60 y 70% de los costos de producción es deseable que los alimentos se produzcan dentro de las unidades de explotación ganadera y se asegure su suministro, a lo largo del año, pero con mayor interés en épocas invernales y de sequías. Periodos en los cuales el ganado sufre de hambre, ya que las praderas se hallan sometidas a su natural cese de producción vegetativa debido a las bajas o altas temperaturas y a la escasez de agua. Es importante mencionar que estos periodos representan grandes pérdidas de peso para el ganado.

Que el ganado pierda peso en una temporada adversa representa que el valor económico se esfume, para el bolsillo del ganadero (y por ende en la economía nacional), también esto significa que mientras tengan menos peso que el debido, proporcionarán menos rendimientos (leche o carne) inferiores a los normales.

A falta de alimento el animal tendrá que utilizar sus propias reservas corporales, lo que representa un debilitamiento general y de esta manera será más susceptible a enfermedades, lo cual repercute una vez más en la ya maltrecha economía campesina

Pero no se pretende en este trabajo hacer un análisis detallado de las limitantes impuestas al sector agropecuario de nuestro país, sino solamente demostrar que en el territorio nacional se encuentran registros donde el clima, el suelo y la situación económica por la que atraviesa el país, hacen de la agricultura una actividad incosteable y peligrosa.

Debemos estar conscientes que esta situación solo se puede superar buscando alternativas de tipo productivo que nos estimulen a invertir en proyectos rentables para que se produzca más y mejor, y que permitan hacer un mejor uso de los recursos del medio ambiente. Producir en este contexto implica visualizar al sector agropecuario de una forma diferente a la convencional y es por eso que el presente trabajo surge de la necesidad de buscar alternativas de tipo productivo que permita a través del uso de técnicas de vanguardia, apoyar de manera integral al sector agropecuario de México.

Entre las alternativas usadas en otras partes del mundo destaca una técnica de producción agrícola, que utiliza de manera más eficiente el recurso agua y menos precia las limitantes impuestas por el suelo.

Paralelamente a lo anterior planteamos que la hidroponía es un sistema cuya utilización racional permitirá indirectamente evitar la erosión y el agotamiento de los recursos naturales (agua, suelo, vegetación), en estas zonas marginadas (Sánchez y Escalante.

La hidroponía se desarrolla bajo diferentes modalidades entre las cuales está el cultivo en solución nutritiva. Uno de los aspectos de este método es la producción intensiva de forraje verde hidropónico el cual tiene como propósito producir hierba de forma intensiva, continuamente y durante todo el año o en las épocas más críticas (de invierno y sequía) De alto valor nutritivo, altamente digestibles, de bajo costo y en el menor tiempo posible.

En los últimos años se han desarrollado con éxito sistemas hidropónicos para producir intensivamente forrajes bajo condiciones controladas de tal manera que una superficie de 27 metros cuadrados se puede producir forraje de primera calidad para aproximadamente 20 vacas durante todo el año (Resh).

La hidroponía, considerada como un sistema de producción agrícola, presenta un gran número de ventajas, tanto desde el punto de vista técnico como del económico comparado, a otros sistemas del mismo género.

Por supuesto sería un error considerar a la hidroponía como un sustituto de la agricultura tradicional, lo que se propone es utilizarla como una alternativa tecnológica que posibilita el producir, de manera económica, en aquellos lugares en donde la agricultura convencional es difícil e incluso imposible debido a las limitantes ya señaladas.

Es nuestro propósito central proporcionar la información necesaria a todas aquellas personas que se interesen en evaluar en la práctica la viabilidad de este sistema de producción en las condiciones antes citadas.

1.1. - OBJETIVOS E HIPÓTESIS.

1.1.1. - OBJETIVOS:

A) OBJETIVO GENERAL.

I.- Evaluar el rendimiento, calidad alimenticia y los costos de cuatro gramíneas forrajeras: Avena (Avena sativa L.), Cebada (Hordeum vulgare L.), Centeno (Secale cereale L.) Trigo (Triticum aestivum) (Robles.

B) OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- 1) Determinar el tiempo más adecuado para la cosecha de entre tres fechas establecidas 11,13 y 15 días, con base a su rendimiento calidad y costos.
- 2) Definir la especie (s) más conveniente (s) en la producción de forrajes hidropónicos teniendo como parámetro, su velocidad de crecimiento, producción de materia verde, producción de materia seca y su aprovechamiento.
- 3) Evaluar los costos de producción del sistema propuesto, y su rentabilidad.

1.1.2. - HIPÓTESIS

La producción de forrajes bajo un sistema hidropónico es una alternativa viable, ya que a través de este se obtienen hierbas frescas con mayor calidad nutricional y con menores costos de producción que los producidos comúnmente en suelos.

II. - REVISIÓN DE LITERATURA.

La hidroponía es una técnica de producción de cultivos sin suelo la cual ha venido cobrando importancia como una alternativa de producción en la agricultura moderna a escala mundial y también en nuestro país. Los países desarrollados ven en ella una alternativa económica para automatizar y programar su agricultura intensiva, principalmente en hortalizas y plantas ornamentales. Actualmente se le emplea con mucha frecuencia. En los países en vías de desarrollo, la hidroponía se puede ofrecer como una opción para:

Producir económicamente, cultivos de alto valor, en localidades con fuertes limitantes de suelo o de agua.

Para generar divisas a través de la exportación de cultivos de alto valor nutritivo producidos en más cantidad y con más calidad. (Resh)

Así como mejorar los ingresos de las familias campesinas de escasos recursos.

Sin embargo, el tipo de sistema hidropónico que se requiere en países como el nuestro, es diferente al usado en los desarrollados. Aquí buscamos la facilidad de manejo y la posibilidad de hacerla económica para nuestras condiciones tanto en instalaciones como en operación y con la posibilidad de usar materiales y equipos que podamos conseguir en nuestro país (Resh).

2.1 – GENERALIDADES DE LA HIDROPONIA.

El cultivo de las plantas sin tierra, se ha desarrollado a partir de los descubrimientos y experiencias llevadas a cabo para determinar que sustancias hacen crecer las plantas, así como la composición de ellas (Resh)

Diversos son los antecedentes históricos entre los cuales podemos mencionar los jardines colgantes de Babilonia, los jardines flotantes de los Aztecas en México (chinampa) y los de la China Imperial los cuales son ejemplos de cultivos hidropónicos, existen también jeroglíficos egipcios fechados cientos de años antes de Cristo, que describen el cultivo de plantas en agua; La primera noticia científica data de 1600 cuando Van Helmont mostró en su experiencia que las plantas obtienen sustancias a partir del agua (Resh).

Sachs 1860 y Knop 1861 (citados por Resh 1992) a través de sus investigaciones dan origen a la nutri cultura; estas primeras investigaciones en nutrición vegetal demostraron que se podía obtener un crecimiento normal en las plantas, sumergiendo las raíces en una solución acuosa que contuviera sales de Nitrógeno (N), Fósforo (P), Azufre (S), Potasio (K), Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) los cuales se definen en la actualidad como macro elementos.

Con posteriores avances en técnicas de laboratorio y química descubrieron los micro elementos o elementos trazas, estos incluyen al Hierro (Fe), Cloro (Cl), Manganeso (Mn), Boro (B), Zinc (Zn) y Molibdeno (Mo) , Cobre (Cu) (Douglas).

Al comienzo de los años treinta; Gericke(citado por Resh 1992) de la Universidad de California comenzó los ensayos de nutrición vegetal a escala comercial, denominando este sistema de cultivo en nutrientes hidroponics, palabra derivada del griego hidro (agua) y ponos (labor, trabajo) literalmente trabajo en agua.

En 1950 se expanden los cultivos en plan comercial a través del mundo en países tales como: Italia, España, Francia, Inglaterra, Alemania, Suecia e Israel.

Durante la Segunda Guerra Mundial él ejercito de los Estados Unidos construyó varias instalaciones hidropónicas con el objeto de abastecer de hortalizas frescas a los soldados estacionados en lugares aislados. (Resh)

Durante el periodo de la ocupación estadounidense al Japón (al terminar la Segunda Guerra Mundial) él Ejercito de Estados Unidos construyó en la Isla de Chofú la instalación hidropónica más grande del mundo la cual cuenta con 31 hectáreas (Resh).

Después de esta Guerra, el desarrollo de la hidroponía se incremento, tanto a nivel comercial, como en programas de investigación. Gracias al avance tecnológico de varias industrias de aplicación obligadas en el desarrollo de los cultivos sin tierra, se han podido dar grandes pasos;

Los plásticos son un claro ejemplo de la construcción de todo tipo de invernaderos y recipientes, los cuales permiten manejos controlados de temperatura, luz y solución nutritiva, las prácticas de manejo se optimizan en cultivos bajo plásticos ya que las lluvias, vientos, heladas, plagas y enfermedades no inciden directamente sobre la planta (Calderón).

Los adelantos en la fabricación de bombas, relojes, tuberías de plástico, válvulas selenoides y otros equipos han permitido automatizar por completo el sistema hidropónico; el desarrollo de plaguicidas, fertilizantes, sustratos y semillas mejoradas inciden ampliamente en la reducción de capital y costos de operación. Grandes complejos hidropónicos trabajan actualmente en Arizona, Islas Canarias, Hawai, Canadá, Bahamas, África Central y del Este, Kuwait, Brasil, Polonia, Singapur, Malasia, e Irán. En la región del Cáucaso existe un Instituto de Cultivos Hidropónicos (Calderón).

En América del Sur ya se cuenta con áreas extensas de cultivos establecidos tanto al aire libre como bajo techo. La producción de forraje verde hidropónico (F.V.H.) ha ganado amplio espacio en la alimentación del ganado (Calderón).

Aunque la hidroponía es una ciencia joven, ha podido adaptarse a diferentes situaciones, desde los cultivos al aire libre y en invernadero, hasta los altamente especializados en submarinos atómicos, para obtener verduras frescas para la tripulación. Al mismo tiempo es usada en países del tercer mundo para producir alimentos en áreas limitadas; países pequeños cuya principal industria es el turismo, pueden proveerse de hortalizas con esta tecnología. (Resh)

Desde 1970 en el Japón esta ganando rápida popularidad el desarrollo de los cultivos hidropónicos; los resultados de este método han permitido producir en sólo cuatro meses, de una sola planta, 300 y 400 pepinos o melones perfumados, una col que creció a una altura de seis metros y plantas de caña de azúcar que se elevaron de cinco a seis metros. La inversión requerida para el desarrollo de esta técnica es bastante elevada pero es compensada por la duplicación de las cosechas, de tal forma que en dos o tres años queda amortizada la inversión. Japón ya dispone de unas 900 biogranjas y ha exportado sistemas a África del Sur, Malasia, Arabia Saudita y otros países (Calderón).

Ahora la mayoría de los investigadores trabajan principalmente en dos aspectos: primero, buscar sistemas hidropónicos más baratos y fáciles de manejar para la gente no preparada en fisiología vegetal, química y sistemas hidropónicos complejos, y segundo, en estudios que abarquen diversos aspectos de nutrición vegetal. En la actualidad se considera a la hidroponía como una rama establecida de la agronomía, que esta en expansión (Calderón).

2.1.1- VENTAJAS DE LA HIDROPONIA

La hidroponía, considerada como un sistema de producción agrícola, presenta un gran número de ventajas, tanto desde el punto de vista técnico como del económico, con respecto a otros sistemas del mismo género, pero bajo cultivo en suelo; entre las que más sobresalen se pueden mencionar las siguientes:

- ✓ Balance ideal de aire, agua y nutrientes: Con algunas excepciones, al utilizar un sistema de cultivo en suelos, es sumamente difícil abastecer a las raíces simultáneamente con las cantidades de agua, aire y nutrientes que requieren. Cuando el suelo se satura (irrigación o lluvia), el agua se encuentra disponible para las raíces en grandes cantidades pero el

oxígeno del suelo tiende a ser limitante; a medida que el suelo va perdiendo agua la cantidad de oxígeno disponible va en aumento. Después de pasar por un intervalo en que las proporciones de agua y oxígeno son óptimas, el agua tendera a ser el factor limitante para el desarrollo de las plantas.

En hidroponía, dadas las características del sistema, es posible mantener tanto el aire, como el agua dentro del rango óptimo requerido por los cultivos. Esta situación se puede apreciar esquemáticamente en la figura 1 y 2

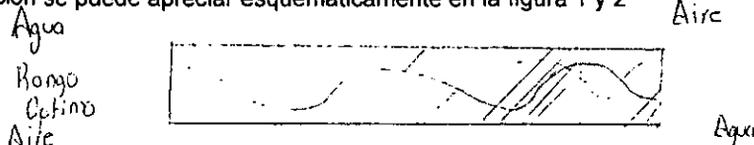


Fig.1 Balance de aire y agua disponible para las plantas bajo condiciones comunes de campo (Sánchez y Escalante)

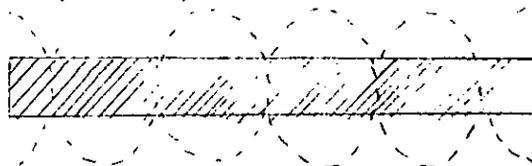


Fig. 2 Balance de aire y agua disponible para las plantas bajo sistema hidropónico (Sánchez y Escalante)

Los nutrientes se proporcionan al cultivo hidropónico junto con el agua, listos para ser asimilados en forma de solución balanceada y con la presión osmótica adecuada. Las inconsistencias en la fertilización y las pérdidas de los fertilizantes en los suelos desaparecen con un sistema de cultivo hidropónico.

- ✓ Permite una mayor densidad de población: Dado que los nutrientes no son limitantes, las plantas cultivadas en hidroponía pueden plantarse más cerca (entre un 10 y un 30 %) que sus similares en suelo; Aquí el factor que viene a limitar la densidad es la luz.
- ✓ Se puede corregir fácil y rápidamente la deficiencia o el exceso de un nutriente: En el suelo, corregir una deficiencia nutricional o el efecto tóxico de un ion es cosa de meses o años, mientras que en un sistema hidropónico, es cosa de unos cuantos días.
- ✓ Perfecto control del pH: Uno de los factores que influyen notablemente en la asimilación de nutrientes y por lo tanto en el rendimiento de las plantas es el pH. En hidroponía, al trabajar con sustratos inertes, es muy fácil y barato ajustar y mantener el pH en el ámbito deseado.
- ✓ No se depende tanto de los fenómenos meteorológicos: Normalmente los cultivos en hidroponía se protegen contra los vientos fuertes, las granizadas, las altas y bajas temperaturas, sequías, etc. Esto permite una mayor expresión del potencial genético de las plantas y, desde luego, del rendimiento, por lo que incluso se puede predecir con más seguridad el monto de la cosecha para planear su venta con anticipación.

- ✓ **Mayor precocidad en los cultivos:** En cultivos hidropónicos anuales se ha encontrado que, aún al aire libre éstos maduran, dependiendo de la especie, de 10 a 60 días antes que sus similares bajo condiciones de suelo.
- ✓ **Gran ahorro en el consumo de agua:** En hidroponía, generalmente se recircula el agua y se riega por método de subirrigación en lechos impermeables. De esta manera, casi todo el gasto de agua es debido a la transpiración. Se requiere mucho menos agua para lograr iguales rendimientos. Se considera que se gasta aproximadamente veinte veces menos cantidad de agua con un sistema hidropónico.
- ✓ **Se reduce en gran medida la contaminación del medio ambiente y los riesgos de erosión:** Pocos sistemas de producción (intensiva y altamente tecnificada) de alimentos poseen esta ventaja.
- ✓ **La recuperación de lo invertido es rápida,** lo que depende sin embargo, del cultivo y del tipo de sistema empleado (Sánchez y Escalante).

2.1.2 – Desventajas de la hidroponía.

Después de señalar varias de las múltiples ventajas que representa la hidroponía sobre los sistemas de cultivo en suelo, es lógico que surja la siguiente pregunta: ¿por qué siendo la hidroponía tan ventajosa no ha alcanzado una popularidad más amplia? Esta interrogante se resuelve si se considera la poca difusión que se da y los argumentos vertidos en contra de la hidroponía, que enseguida se discuten como desventajas del sistema hidropónico.

- ✓ **Requiere para su manejo a nivel comercial de conocimiento técnico combinado con la comprensión de los principios de fisiología vegetal y de química inorgánica:** A gran escala la hidroponía tiene márgenes estrechos de seguridad para alcanzar el éxito y es peligroso ignorar este hecho. Se requiere de cierta destreza técnica, conocimiento hortícola y control científico, por lo que si alguien intenta trabajar a este nivel deberá proveerse de un asesor que posea estas cualidades (por ejemplo un agrónomo especialista en hidroponía o en suelos o un Ingeniero agrícola o profesionalista similar) o bien adquirir experiencia por su propia cuenta.

Si bien es cierto que para trabajar con cultivos bajo el sistema hidropónico a nivel comercial se requiere de cierta habilidad técnica, también lo es cuando se habla de sistemas intensivos de cultivo en suelo. Desde luego que cualquier persona que intente trabajar a nivel comercial en hidroponía o en suelo debe estar completamente seguro de que su nivel técnico es el adecuado (Sánchez y Escalante).

Las argumentaciones anteriores no son válidas, si hablamos a pequeña y mediana escala, en donde para tener éxito en el manejo del sistema hidropónico sólo se requiere seguir al pie de la letra ciertas recomendaciones sencillas.

- ✓ En el ámbito comercial el gasto inicial es relativamente alto: El costo para establecer un sistema de cultivo hidropónico a nivel comercial es alto, ya que por lo general se tienen que construir camas y depósitos de concreto u otro material perdurable, comprar el material a usar como: Sustrato, bombas, tuberías, y en donde el clima es desfavorable, invernadero, si bien los gastos iniciales son elevados se pueden equiparar a los gastos en maquinaria agrícola como tractores, arados, etc., y al mayor terreno que se necesita para cultivar en suelo. Esta desventaja no se aplica, desde luego, a instalaciones a pequeña y mediana escala, porque no requieren de mucho equipo y las instalaciones se pueden hacer muy sencillas y con materiales baratos y de desecho, además de que se pueden ampliar progresivamente.
- ✓ Se requiere cuidado con los detalles: muchos de los fracasos en hidroponía a nivel comercial se han debido al descuido de algunos detalles como el de no mezclar correctamente la solución nutritiva, usar tuberías o depósitos galvanizados, lo que ocasiona toxicidad por zinc, darle demasiada o muy poca pendiente a las camas provocando asfixia en las raíces por humedad constante, no usar las cantidades adecuadas de micro nutrimentos, el no mantener el pH de la solución dentro de cierto rango, no analizar el agua utilizada para preparar la solución, etc.
- ✓ Requiere de un abastecimiento continuo de agua: desde luego que esta situación limita hasta cierto punto al cultivo hidropónico, pero es necesario resaltar que limita mucho más la agricultura de riego ya que en esta última se necesita más agua que la indispensable para mantener a un sistema hidropónico de las mismas dimensiones (Sánchez y Escalante).

2.1.3- Importancia de la hidroponía.

Varios autores coinciden en que la hidroponía, considerada como un sistema de producción agrícola, tiene una gran importancia dentro de los contextos ecológico, económico y social. Sánchez y Escalante consideran que dicha importancia se basa en la gran flexibilidad del sistema, es decir, por la posibilidad de aplicarlo con éxito, bajo muy distintas condiciones (ecológicas, económicas y sociales) y para diversos usos.

- ✓ Para producir alimentos en zonas áridas.
- ✓ Para producir en regiones tropicales.
- ✓ Para producir bajo condiciones de clima templado y frío.
- ✓ Para producir en lugares donde el agua tiene un contenido alto de sales.
- ✓ Para producir en aquellos lugares en donde no es posible la agricultura normal debido a limitantes de suelo, como salinidad, erosión, pedregosidad, rocosidad, arcilla, tepetate, con pendientes fuertes etc.

- ✓ Para producir hortalizas en las ciudades, donde son caras y escasas.
- ✓ Para la producción intensiva de forraje: Este tipo de sistemas puede tener importancia en regiones donde la época seca o la fría o ambas, sean muy prolongadas, con la consecuente escasez de forraje verde durante una gran parte del año (Sánchez y Escalante).

2.2. - FORRAJES HIDROPONICOS.

El forraje verde hidropónico (F. V. H.):

Es el resultado del proceso de germinación de granos de cereales o leguminosas (maíz, sorgo, cebada, alfalfa) que se realiza durante un periodo de 9 a 15 días, captando energía de la iluminación constante y asimilando los minerales de la solución nutritiva. El grano germinado alcanza una altura promedio de 25 centímetros (en cámaras de tipo comercial); el animal consume la planta formada por tallos, hojas verdes, los restos de semilla y la raíz (Calderón).

El principal propósito de la producción intensiva de hierba en hidroponía es establecer una producción continua de forraje fresco de alto valor nutritivo en el menor tiempo posible (Calderón).

Con la producción de forraje verde hidropónico se pueden satisfacer las necesidades en productos verdes vivos durante todo el año; el forraje se puede cultivar en una área muy pequeña en comparación con los campos destinados para la alimentación animal (Resh).

El forraje verde hidropónico brinda todas las vitaminas libres y solubles, haciéndolas más asimilables, lo que no ocurre con el grano seco. El uso del forraje verde hidropónico puede evitar el uso de las vitaminas sintéticas y cualquier otro tipo de suplemento nutritivo. La vitamina E por ejemplo, es completamente asimilable y está en libre circulación por toda la planta joven (Calderón).

2.2.1. - Fisiología de la producción de F. V. H.

En el proceso de germinación de una semilla se producen una serie de transformaciones cualitativas y cuantitativas muy importantes. El embrión de la futura planta despierta de su vida latente, provocando la ruptura de los tagumentos seminales y a partir de un almacén de energía, es capaz de transformarse en pocos días en una plántula con capacidad para captar energía del sol (fotosíntesis) y absorber elementos minerales de la solución nutritiva.

La germinación se inicia desde el momento en que se somete a la semilla a imbibición o hidratación. Las enzimas se movilizan invadiendo el interior de la semilla y ocurre una disolución de las paredes celulares por la acción de ellas. Posteriormente se liberan granos de almidón que son transformados en azúcares y así empieza el proceso de germinación, en el que podemos diferenciar tres fases importantes que son:

- *Absorción del agua.
- *Movilización de nutrientes
- *Crecimiento y diferenciación.

✓ *Absorción del agua.*

Durante esta fase se inicia la actividad vital de la semilla, es decir, se reanuda el metabolismo, para lo cual se necesitan condiciones adecuadas de humedad, temperatura y Oxígeno. Una vez reunidos estos factores, la semilla va aumentando de volumen por la absorción del agua, el embrión se hincha se reblandecen las cubiertas protectoras y las reservas alimenticias comienzan una serie de reacciones químicas y biológicas que hacen que el embrión se desarrolle.

✓ *Movilización de nutrientes.*

En la segunda fase, los cotiledones se van reduciendo mientras la nueva planta consume sus reservas, pues el alimento almacenado en ellos es digerido por la acción del agua, se descomponen mediante la respiración, o se usan en el desarrollo de nuevas estructuras. Los alimentos almacenados en los cotiledones generalmente se encuentran en cantidades suficientes para sostener el crecimiento de la plántula hasta cuando ésta pueda empezar a fabricar su propio alimento.

✓ *Crecimiento y diferenciación.*

Se puede definir el crecimiento como la síntesis del material vegetal (biomasa), que normalmente viene acompañada de un cambio de forma y un aumento irreversible de la masa del organismo, órgano o célula. Este es susceptible de ser medido por el aumento de la longitud o del diámetro del cuerpo del vegetal y su aumento en peso. El crecimiento de las diferentes partes de la planta suele determinar por la altura, el área foliar o el peso seco; en relación con el tiempo transcurrido durante el ciclo de vida. La diferenciación es el proceso mediante el cual se forman y reproducen las diferentes clases de células. En una planta el crecimiento y la diferenciación transcurren paralelamente y por ello, parecería tratarse de un solo proceso que llamamos desarrollo. Una vez que han aparecido las raicillas y las primeras hojas, la planta está capacitada para obtener los nutrientes del medio externo y demás elementos para fabricar su propio alimento (fotosíntesis), motivo por el cual se deben exponer a condiciones óptimas de luminosidad, oxigenación y nutrición (Calderón).

2.2.2. - Factores determinantes de la germinación.

Además de las condiciones ambientales adecuadas, las semillas deben reunir para germinar condiciones propias o intrínsecas. Es decir, deben tener el grado de madurez necesario y estar bien desarrolladas e íntegras lo cual significa que se hayan cosechado en el momento oportuno y no hayan sido objeto del deterioro o ataque de plagas, que puedan afectar la vitalidad del embrión. Por otra parte, las sustancias nutritivas de reserva de los cotiledones deben ser suficientes para sostener la plántula. Es muy importante que las semillas no sean demasiado viejas, ya que con el paso del tiempo disminuye su viabilidad (capacidad para germinar).

A) *Fotosíntesis.*

Es el resultado de una absorción de energía por acción de la clorofila. La energía lumínica entra dentro de un sistema biológico. La conversión de energía luminosa en energía química tiene lugar solamente con la presencia de la clorofila. El resultado de esta clase de síntesis es la formación de muchos compuestos de varios átomos de Carbono. La hoja es el órgano encargado de la fotosíntesis, que es su función primaria. Para el desarrollo de este proceso se necesita la clorofila presente en los cloroplastos; se ha establecido que el mesófilo o lámina foliar es el tejido en el cual se verifica la fotosíntesis, con el paso de la luz solar por el tejido superior de la hoja. Del mismo modo es necesaria el agua en la planta y el anhídrido carbónico del aire, que penetra a través de los estomas.

B) *Condiciones Ambientales.*

Los factores ambientales que ejercen mayor influencia en la producción de forrajes son la luz, la temperatura, la humedad, la oxigenación y el gas carbónico:

La calidad de luz se refiere a la longitud de onda del rayo luminoso. Las plantas crecen mejor cuando la luz incidente contiene la totalidad del espectro solar, que cuando tienen solamente una parte de él. La duración del día o fotoperíodo influye sobre el desarrollo vegetativo. La luz solar no debe ser excesiva, ya que causa quemazón en las plantas, principalmente en las bandejas superiores.

La temperatura influye sobre todos los procesos de la planta, las temperaturas extremas afectan el rango de adaptación y la distribución de las especies. El rango óptimo de temperatura es distinto para las diferentes especies, la ideal es de 20° y debe ser lo más constante posible; un aumento de esta puede causar hongos y una baja retarda el crecimiento.

El agua afecta el crecimiento de las plantas porque interviene en los procesos fisiológicos internos. Dentro de ciertos límites, la actividad metabólica de las células de las plantas está en estrecha relación con su contenido de agua. La expansión celular depende de un mínimo de turgencia celular y la elongación de tallos y hojas se detiene rápidamente por la carencia de agua.

La humedad ambiental es de gran importancia para procurar condiciones de asimilación adecuadas, ya que ejerce una influencia directa en el trabajo que desempeñan las hojas. Debe haber una humedad cercana al 100% para asegurar un adecuado desarrollo del sistema radicular. Las radículas de las plantas jóvenes son incapaces de crecer en ambientes secos. Como el cultivo del forraje hidropónico es un cultivo a raíz desnuda, es decir sin sustrato, se deberá realizar en un ambiente con una alta humedad relativa, por encima del 85%. Esta humedad se consigue con la frecuencia de los riegos y la evapotranspiración de las plantas.

Es indispensable una buena aireación para obtener el intercambio gaseoso. De acuerdo con el sitio en que se vaya a construir el invernadero, hay que tener en cuenta estos factores para adoptar los correctivos necesarios (Calderón).

2.2.3. - Invernadero (Cámara incubadora de pastos.

En este punto nos referimos al invernadero de producción de forraje verde hidropónico.

A) *Tamaño.*

El invernadero deberá construirse de acuerdo con la cantidad de forraje que se quiera producir diariamente, dejando un margen de seguridad. Se sabe que cuatro m² son suficientes para producir quince kilogramos por día de forraje.

Este valor corresponde a la cantidad de forraje que se puede producir en un sistema convencional. Debe entenderse que se trata del área neta ocupada por la instalación que generalmente se construye de cuatro a seis pisos o niveles.

B) *Ubicación.*

Debe estar cerca al establo, para facilitar el suministro de forraje a los animales, su manejo, control y supervisión constante. Su ubicación también depende de la funcionalidad de las instalaciones de agua y luz.

C) *Construcción.*

El invernadero tendrá particulares características de acuerdo con el clima en que se vaya a establecer la producción de forraje. Si es para climas cálidos, se puede hacer alto y sin cubrir las partes laterales del invernadero o cubrirlas parcialmente. Si es para clima frío y con el fin de regular la temperatura, especialmente en horas de la noche, se ha construir un invernadero hermético y con doble pared de plástico.

D) *El piso.*

La experiencia aconseja que el piso del invernadero para producción de forraje verde hidropónico debe ser de concreto, ya que por la gran frecuencia de riegos y la alta humedad relativa es el más funcional para evitar encharcamientos, proliferación de hongos y enfermedades. Es ideal para un correcto manejo sanitario de la explotación. También, se puede hacer con gravillas u otros materiales similares.

E) *Estructura de soporte.*

Comprende toda la estantería para soportar las bandejas en que se va a cultivar el forraje y puede ser de madera, metal, PVC. Su altura debe ser tal que ofrezca comodidad en las diferentes labores de cultivo. Cada módulo tendrá pendientes longitudinales y transversales para permitir el drenaje de la solución nutritiva en todos los sentidos.

F) *Modulación.*

Generalmente, se construyen módulos de cuatro a seis niveles, separados entre sí por calles de un metro, para facilitar las labores de siembra, cosecha y aseo.

Los niveles van separados entre sí cada cincuenta centímetros y el primer nivel dista treinta centímetros del suelo; cada nivel debe tener una pendiente del 10%, para drenar la solución sobrante de las bandejas.

H) *Recipientes de cultivo o bandejas.*

Son los recipientes que se usan para colocar la semilla para el desarrollo del cultivo; pueden ser de diferentes materiales, como asbesto - cemento, lámina galvanizada, fibra de vidrio, material plástico, o formaletas de madera cubiertas de polietileno. Sus medidas varían de cuarenta a sesenta centímetros de ancho y de ochenta a ciento veinte centímetros de largo; su profundidad es de dos a cinco centímetros (Calderón).

2.2.4. - Sistema de riego.

Hay varios sistemas de riego: Por gravedad, por micro aspersión y por nebulización.

El sistema por gravedad, se coloca una tubería perforada en la parte superior del último nivel, por la cual sale el agua de riego. Esta recorre las bandejas superiores y va drenando hacia los demás niveles.

En el sistema por aspersión, la tubería va colocada a cierta altura de las bandejas, normalmente treinta, cuarenta centímetros y de ella salen los micro aspersores o boquillas de automatización que asperjan el agua sobre el cultivo. Se necesita una línea de tubería por cada piso de bandejas. Este es el sistema que ha dado mejores resultados. Presenta ventajas considerables frente a los demás tipos de riego, ya que es uniforme y el tamaño de la gota no ocasiona ningún daño a la semilla; además de aumentar la humedad relativa del invernadero, regula la temperatura y en el intervalo de cada riego las raíces se oxigenan (Calderón).

La nebulización es una variante de la microaspersión en la cual la presión del sistema es mayor y el tamaño de la gota es más pequeño, denominándose neblina. En todos los casos el riego se realiza de manera intermitente y sin permitir que se produzcan encharcamientos. Durante los periodos en los que no hay riegos, las raíces van tomando el oxígeno del medio ambiente.

El sistema de riego consta básicamente de los siguientes elementos:

A) *El tanque.*

Es aquí en donde se prepara la solución nutritiva para el riego del cultivo, el tamaño del tanque varía de acuerdo con el tamaño del invernadero y con las necesidades de riego. El parámetro que sirve para determinar el tamaño del tanque es que para producir un kilogramo de forraje necesitamos dos litros de agua. El

tanque debe ser inerte con la solución nutritiva, de fácil mantenimiento, que proteja la solución de la acción de la luz y de elementos extraños a la solución

B) *Motobomba.*

El equipo de riego consta de una motobomba apta para el uso propuesto. En el mercado hay numerosas marcas y tipos, que deben seleccionarse de acuerdo con los siguientes factores: Capacidad necesaria (litros/ hora); potencia requerida en caballos de fuerza (H. P.); material de construcción; conexión eléctrica disponible, entre otros.

C) *Tubería y mangueras.*

Para la distribución de la solución nutritiva se utilizan tuberías en PVC. O mangueras de polietileno, estas últimas son las más usadas, el diámetro de la manguera deberá calcularse de acuerdo con el caudal y la longitud del tramo a regar.

D) *Aspersores.*

Estos son pequeños dispositivos mediante los cuales se realiza la aspersión del agua o en algunos casos la nebulización. Consta de una o varias piezas plásticas con un orificio de salida de poco diámetro; cuando el agua sale, generalmente choca contra una placa deflactora, la cual hace que el agua se disperse en innumerables gotitas. Van conectados a la tubería de riego y cada aspersor riega cuatro bandejas; este concepto puede variar de acuerdo con el tamaño de las bandejas; también hay aspersores de diferentes referencias, que mojan diferentes diámetros de cultivo.

E) *Filtros*

Para evitar que se obstruyan los aspersores se debe tener un adecuado sistema de filtros, que pueden ser de arena o de malla.

F) *Equipo de control.*

El riego se puede hacer con un sistema automático que regule la frecuencia y duración de los riegos; Para este fin la instalación deberá ir provista de un reloj controlador del tiempo de riego. Este sistema ha demostrado ser altamente conveniente cuando se requieren altas frecuencias de riego (Calderón).

2.2.5 - Proceso de producción de Forraje Verde Hidropónico (F. V. H..)

A) *Selección de semilla.*

Debemos considerar algunos aspectos como son la especie, la calidad de esta y su tratamiento de pre siembra. Resh recomienda usar trigo, avena, cebada, arroz y maíz para producción de forraje hidropónico. De estas, la cebada y la avena se han usado con mayor frecuencia. La semilla a utilizar requiere ser de buena calidad para asegurar una buena germinación y sanidad del forraje, siendo condición conocer su origen y manejo anteriores.

B) *Lavado.*

Se inunda el grano en un tanque o recipiente, con el fin de retirar todo el material que flote, como lanas, basura, granos partidos y cualquier otro tipo de impurezas.

C) *Pregerminación.*

Consiste en activar la semilla, es decir, romper el estado de latencia en que se encuentra. Los factores determinantes en la pregerminación son la temperatura, la humedad y la oxigenación.

Para realizar la pregerminación, la semilla se humedece durante 24 horas con agua bien aireada; una vez cumplido este tiempo, se drena el agua para que la semilla pueda respirar y se deja reposando durante 48 horas en los recipientes debidamente tapados para mantener la humedad ambiental alta.

D) *Recipientes.*

La siembra se hace sobre las bandejas que se han seleccionado las cuales pueden ser de lámina galvanizada o asbesto – cemento entre otros. Las charolas son largas y delgadas aunque varían en sus dimensiones, un metro de largo por 50 cm. De ancho es un buen tamaño), con menos de 10 cm de altura. Se colocan mediante bastidores adecuados en filas horizontales y verticales (distintos niveles).

La distancia entre un piso y otro debe ser de 50 a 60 cm (Sánchez y Escalante).

La siembra se realiza en forma cuidadosa para evitar daños a la semilla; la densidad de siembra varía de acuerdo con el tamaño del grano a sembrar.

E) *Germinación*

La germinación comprende el conjunto de cambios y transformaciones que experimenta la semilla en determinadas condiciones de humedad, aireación y temperatura, que le permite iniciar su vida activa hasta convertirse en la futura planta.

La germinación se puede llevar a cabo mediante la hidratación de la semilla en tanques o recipientes plásticos se inunda la semilla durante 24 horas, en cuyo caso se habla de un proceso de pregerminación o también en las bandejas de cultivo, iniciando el riego inmediatamente después de la siembra. Durante este periodo el embrión rompe la cutícula de la semilla y emerge la radícula.

Investigaciones realizadas indican que las semillas poseen sustancias que inhiben la germinación y que durante el remojo quedan disueltas en el agua pudiendo ser extraídas; por lo que es conveniente cambiar el agua varias veces. El tiempo de germinación varía entre 24 y 48 horas, que es cuando los granos han alcanzado estructuras radiculares notorias, formando de tres a cuatro raicillas. Se puede considerar que el proceso de germinación ha terminado cuando los cotiledones han salido del tagumento de la semilla.

F) *El riego.*

A partir del momento de la siembra se debe suministrar solución nutritiva. El riego se puede aplicar bajo el concepto de que el grano o la parte aérea debe permanecer húmeda, evitando encharcamientos en las bandejas. Se pueden hacer aplicaciones de ocho riegos diarios, es decir uno cada hora a partir de las ocho de la mañana y hasta las cuatro de la tarde realizando ciclos de riego de un minuto cada vez.

G) *Crecimiento.*

En el proceso de crecimiento intervienen varios factores:

- ✓ Absorción de solución nutritiva.
- ✓ Movilización de nutrientes.
- ✓ Luminosidad.
- ✓ Humedad.
- ✓ Temperatura.

En esta etapa actúan interrelacionados los factores citados anteriormente, los cuales deben mantenerse en condiciones óptimas. La aplicación de solución nutritiva se hace con una frecuencia de cinco a ocho riegos diarios. Las bandejas se exponen totalmente a la acción de la luz. El invernadero aporta una buena luminosidad, facilitando el proceso de fotosíntesis y la síntesis de algunas vitaminas como el caroteno; en general con buena luminosidad se favorece la calidad nutritiva del forraje y se mejoran las condiciones de sabor o palatabilidad para los animales.

El periodo de crecimiento dura de 9 a 12 días, dependiendo de las condiciones climáticas, para obtener forraje con una altura de 20 a 25 centímetros. En este estado la planta, tanto en su parte aérea como en su zona radicular, está en crecimiento acelerado; posee poco contenido de fibra y un alto contenido de proteína, parte de la cual se encuentra en formación por lo que gran cantidad de aminoácidos están libres y son fácilmente aprovechables por los animales que la consumen (Calderón).

Con el forraje verde hidropónico podemos alimentar ganado vacuno, porcino, caprino, y equino, conejos y una gran cantidad de animales domésticos, con excelentes resultados. Las ventajas del forraje verde hidropónico se pueden resumir así: Suministro constante durante todos los días del año, evitando alteraciones digestivas; menor incidencia de enfermedades; aumento en la fertilidad; aumento en la producción de leche y en general todas las ventajas que los animales pueden obtener de una buena alimentación (Calderón).

Esta técnica puede ser de valor en zonas áridas o frías donde no se puede contar con una fuente permanente de forraje verde o los costos de adquisición del

mismo son muy elevados. También en el trópico en donde el calor es muy extremo y el ganado debe estar a la sombra el mayor tiempo posible, esta técnica puede resultar redituable. Los resultados permiten asegurar un mayor rendimiento de leche en vacas, del número de huevos en gallinas, o de la ganancia de peso en cerdos.

En distintas partes del mundo esta técnica ha probado ser redituable por lo que quizá convenga experimentarla en las zonas áridas y tropicales de nuestro país. Cabe mencionar que en México ya se comercializan unidades hidropónicas de este tipo para la producción super intensiva de forrajes (Sánchez y Escalante).

Es de gran relevancia mencionar que en 30 metros cuadrados se puede producir lo que en una hectárea por año, y el consumo de agua es de 1 a 2 litros por cada kilogramo de forraje producido en tanto que en una parcela normal se gastan 1200 metros cúbicos, por hectárea para producir 150 toneladas de forraje.

Lo cual implica que hay un ahorro equivalente de 11700 metros cúbicos en el cultivo por hidroponía, reduciendo 50 veces el gasto de agua sin contar las pérdidas por almacenaje, conducción y eficiencia del riego; siendo que la composición química del pasto hidropónico es aproximadamente de 10 a 13% de materia seca, 20% de proteína cruda y 79% de nutrientes totales, digestibles, con alto contenido de B-caroteno que puede beneficiar la digestibilidad (Pérez).

2.3. - ANTECEDENTES DE PRODUCCIÓN.

2.3.1. - Nivel Mundial.

Gran Bretaña y Estados Unidos han desarrollado unidades hidropónicas que producen volúmenes elevados y constantes de forraje verde. En Gran Bretaña están las unidades " Landsaver HD 1000" y la " Hidrograss", consisten en una cabina hermética formada por paneles de fibra de vidrio y dotadas de su propio sistema de calefacción, que mantienen constante la temperatura a 20° C. El ciclo de aplicación de nutrientes es controlado por un dispositivo automático de riego para la rápida producción de forraje (Resh).

En Estados Unidos hay sistemas similares denominados " cavas". La luz se suministra artificialmente, utilizando tubos fluorescentes. Dentro de los módulos aislados térmicamente hay una estantería que soporta las bandejas, en las cuales se siembran 1.7 kilos de semilla, que cosechan a los seis días de la siembra, con producciones de 12.5 kilogramos de forraje (Calderón).

La empresa Hydroculture Inc. De Arizona (EUA) construye unidades comerciales adaptadas en cajas de remolques de trailer cuyo equipo lo integran charolas de 90 x 30 cm. Construidas de fibra de vidrio, colocadas en bastidores secuenciados en las paredes laterales, sistema de riego automático con retorno de excedentes al depósito de la solución nutritiva, sistema de iluminación y sistema de control de temperatura (Anónimo 1985).

Según Bentley (1959) citado por (Sánchez y Escalante), una unidad comercial (Buckey Grass Incubator) de 60 charolas y que ocupe aproximadamente 11m. cuadrados (120 pies cuadrados) de superficie, produce más de 45 toneladas de

forraje verde al año sin considerar las condiciones climáticas que imperen en el exterior. Además, según varios análisis realizados, el forraje producido hidropónicamente presenta un alto valor nutritivo y de gustosidad (Guzmán).

Existen pruebas (Arano 1976; citado por Resh 1992) de que las unidades hidropónicas para el cultivo de hierbas producen alimento para los animales a la mitad del costo convencional. Esto se basa en la gran cantidad de combustible necesitado para la producción y transporte de los forrajes producidos de manera tradicional. Las unidades hidropónicas para el cultivo de hierba pueden producir esta a lo largo del año en el sitio de consumo, no siendo necesario ni el almacenamiento ni el ensilado, ya que la hierba fresca se produce diariamente. Esta hierba puede crecer en una área muy pequeña en comparación con los campos destinados para la alimentación animal. Los gastos en insecticidas, fertilizantes, maquinaria para el cultivo, así como todas las labores necesarias para los cultivos al aire libre de forrajes, puede calcularse que son diez veces mayores que los normales en el cultivo hidropónico de hierba (Resh).

2.3.2. - Nivel Nacional.

En México no se pueden usar estos sistemas de producción tal cual se usan en los países del primer mundo, esto dada la deficiente economía del productor. Por lo cual se han tenido que adaptar los sistemas de producción de "incubadoras de hierba" con muy buenos resultados en cuanto a rendimiento y costos, por estudios anteriores se sabe que bajo buenas condiciones ambientales, de nutrición y de calidad de la semilla, se alcanza un rendimiento de 10 a 12 veces el peso de la semilla en seco, en un periodo, de 7 a 10 días y a 20 centímetros de altura, a demás de que los costos son 10 veces menores que los registrados por los cultivos tradicionales (Pérez).

Guzmán (1979) hizo un estudio comparativo de forrajes creciendo bajo sistema hidropónico y en el sistema tradicional cultivo sorgo (Sorghum vulgare), maíz, (Zea mays) chícharo de vaca, (Setaria sphacelata) alfalfa, (Medicago sativa) trébol, (Trifolium cesupinatum) dando los forrajes hidropónicos mayor rendimiento en peso fresco y en materia seca que los producidos en suelo.

San Miguel (1982), estudio la producción de avena, trigo y cebada. Para lo cual concluyo que la calidad en cuanto a Fibra, Proteína, Extracto Libre de Nitrógeno y Digestibilidad la obtuvo en primer lugar el Trigo, después la Cebada y finalmente la Avena. En general concluye que los forrajes hidropónicos son factibles de producirse constantemente, dada su calidad nutritiva y su menor costo, que los tradicionales.

La producción de hierba hidropónica está siendo explotada tanto en Puebla (rancho " La Fortuna") como en otros estados de la República. Existen diferentes tamaños que producen cantidades de ochenta, ciento setenta o cuatrocientos kilos diarios de pasturas destinados a todo tipo de animales (Anónimo 1985).

Por sus magníficos resultados también algunas agrupaciones de campesinos la están utilizando con mucho éxito, en aquellas zonas áridas donde la producción depende de las lluvias. " Se han constituido en el eje central de la economía de los ejidatarios y campesinos en las explotaciones de bovinos y caprinos " Rivera, al hablar sobre la cantidad de kilos que diariamente se cosechan, reportó que

diariamente se retiran 32 charolas levantando 640 kilos de pastura. (Miguel Ángel Rivera propietario de una de las cámaras que producen alimento inducido; Anónimo 1985)

Gómez (1990) En su trabajo concluyó que es posible producir germinados en condiciones rústicas con niveles nutricionales aceptables. En cuanto a costos de producción de forrajes hidropónicos, menciona que es mucho más barato la producción en condiciones adaptadas que en campo; por lo tanto es una buena razón para ser utilizado en zonas rurales, en donde se cuenta con pocos recursos económicos y con periodos de sequía muy largos.

2.4. - VALOR NUTRITIVO.

El forraje verde hidropónico brinda todas las vitaminas libres y solubles, haciéndolas más asimilables, lo que no ocurre con el grano seco, (cuadro número 1).

El uso del forraje verde hidropónico puede evitar la utilización de vitaminas sintéticas y cualquier otro tipo de suplemento nutritivo, La vitamina E por ejemplo, es completamente asimilable y está en libre circulación por toda la planta joven. (Calderón)

CUADRO No. 1

Análisis nutricional en 45 kilogramos (100 libras) de semilla de avena y pasto de avena a los seis días de producción

Concepto.	Semilla.	Pasto.
Materia seca, lbs	89.24	84.80*
Proteína, lbs	13.39	18.65
Extracto etereo, (grasa) lbs	3.76	4.41
Minerales, lbs	2.87	3.31
Calcio, lbs	0.056	0.202
Fósforo, lbs	0.32	0.43
Caroteno, mg	-----	33,136**
Vitamina E, mg	1600	4,154
Riboflavina, mg	175	1,891
Tiamina, mg	280	1,091
Niacina, mg	640	8,818
Vitamina C, U.I.	-----	370,356

Fuente: Douglas , 1976

nota: 1 lb = 0.4536 kg

*Ocurrió una pérdida de cinco por ciento de materia seca en estas muestras

**Equivalente a 55,237,712 U.I. de vitamina A.

Al suministrar forraje verde hidropónico durante toda la dieta alimenticia, se evitan trastornos digestivos causados por los cambios de composición y procedencia de los alimentos para uso animal (Calderón).

El análisis de laboratorio practicado sobre materia seca, no considera el valor energético utilizable de un cuerpo vivo en evolución biológica acelerada, destinado a ser consumido fresco y cuya acción de catálisis sobre los restantes elementos de la

ración, solamente se puede comprobar experimentalmente por el método de equivalencia real por sustitución (Calderón).

Este método comprobado en la práctica en gran cantidad de casos, nos da siempre los mismos resultados. En análisis de laboratorio se ha comprobado que en los excrementos de los animales alimentados con forraje verde hidropónico, no hay vitamina E, lo cual demuestra su completa asimilación (Calderón).

Recordemos que la vitamina E tiene una gran importancia para la fertilidad de los animales y el forraje verde hidropónico la contiene en una proporción elevada. La vitamina C pieza clave de todo sistema vitamínico, que reemplaza a la vitamina A en caso de deficiencia, actúa sobre los epitelios germinativos, mostrando su valor en los reproductores (Calderón).

En una prueba de producción lechera con una dieta de hierba hidropónica, frente a uno de forraje normal tal como grano o heno, un grupo de 60 vacas que tuvieron una dieta solo de hierba incrementaron su producción lechera en un 10.07% sobre las que tuvieron la dieta normal. Además, el grupo alimentado con hierba hidropónica produjo una mantequilla que contenía un 14.26% mayor de grasa que las alimentadas con la dieta regular (Resh).

Esto es muy claro y fácil de observar el cuadro No. 2 en donde el F. V. H. es comparado con otros alimentos.

Es relevante mencionar que cada kilogramo de forraje verde hidropónico es equivalente nutricionalmente a tres kilogramos de alfalfa verde, consumiendo hojas, grano y raíz (Resh).

CUADRO No. 2

VALOR NUTRITIVO DE PASTO DE CEBADA COMPARADO CON ALFALFA Y AVENA.

CONTENIDO	PASTO DE CEBADA*	ALFALFA**	AVENA***
Proteína.	18.31%	16.3%	8.5%
Grasa	4.24%	2.5%	2.7%
Fibra	17.17%	28.4%	33.5%
Extracto libre de Nitrógeno.	53.35%	43.8%	49.5%
Total de nutrientes Digestibles.	79.01%	55.77%	54.99%

FUENTE: Anónimo; 1981. Nota: * 9 días de edad ** floración al diez por ciento.

*** Estado masoso lechoso

2.5-CONDICIONES AMBIENTALES.

Los factores ambientales que ejercen mayor influencia sobre los forrajes son la luz, la temperatura, la humedad y la oxigenación. El rango óptimo es distinto para las diferentes especies, la temperatura ideal es de 20° C y debe ser lo más constante posible, un exceso de temperatura puede causar hongos y una temperatura baja retarda el crecimiento (Sánchez y Escalante).

La humedad ambiental es de gran importancia para procurar condiciones de asimilación adecuadas, ya que ejerce una influencia directa en el trabajo que desempeñan las hojas. Debe haber una humedad cercana al 100% para asegurar un adecuado desarrollo del sistema radicular. Las radículas de las plantas jóvenes son incapaces de crecer en ambientes secos. Como el cultivo de forrajes hidropónicos es un cultivo a raíz desnuda, es decir, sin sustrato, se deberá tener un ambiente con una alta humedad relativa, por encima del 85% la cual se consigue con la frecuencia de riegos y la evapotranspiración de las plantas (Calderón).

Comúnmente se utilizan lámparas fluorescentes de 40 watts, con reflectores para proveer a las plantas de iluminación continua durante las 24 horas (o cuando menos 15 a 16 horas) (Sánchez y Escalante).

2.6. - DENSIDAD DE SIEMBRA.

La densidad óptima de siembra en cada cereal depende de las características de la semilla respecto a tamaño, peso específico y forma, es muy importante que estas provengan de lotes limpios, de malezas y estén libres de plagas y enfermedades, de preferencia no utilizar semillas tratadas con fungicidas; la humedad de la semilla debe ser del 12% y debe haber tenido un periodo de reposo para cumplir con los requisitos de madurez fisiológica. En el siguiente cuadro se mencionan densidades de siembra para algunas especies (Calderón, Sánchez y Escalante).

CUADRO No. 3

DENSIDADES DE SIEMBRA DE GRAMINEAS FORRAJERAS PARA LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPONICO.

Especie.	Dosis de Siembra K /m ²	Año.	Autor
Trigo	2-3	1980	Kresnoshchenko
Cebada,Trigo	3-6	1981	Resh
Avena, Maíz	2.5	1981	Hernández
Trigo, Cebada	1-3	1983	Sánchez y Escalante

2.7 – SUSTRATOS.

Se pueden utilizar sustratos de tipo orgánico que sean digestibles por el ganado, tales como pajas de trigo, de cebada o cereales similares. Estos sustratos son picados en trozos de 2 a 3 cm. De longitud para su arreglo en las camas de siembra favoreciendo así un mejor acondicionamiento. Este material debe ser esterilizado con vapor de agua, en tambos de lámina de 200 litros de capacidad acondicionados de forma tal como las vaporeras o los esterilizadores de tierra que se utilizan en viveros e invernaderos (Pérez).

Después de este tratamiento, la paja se distribuye en capas compactas y homogéneas sobre la cama de siembra con un espesor de 1 a 1.5 cm. Para esto, se utilizan alrededor de 250 g. de paja seca por metro cuadrado (Pérez).

Sin embargo, el uso de sustratos orgánicos en la producción de hierbas hidropónicas modifica teóricamente la composición química del forraje (reportado por los laboratorios Agri-Science), disminuyendo el contenido de proteínas y grasas en un 2.9% y 4% respectivamente, así como también incrementa el contenido de fibra en el orden de un 5% entre otras (Pérez).

Dadas estas características es conveniente que el cultivo se realice a raíz desnuda, es decir, sin ningún sustrato; para poder obtener de manera más precisa el valor nutritivo de los forrajes a producir.

2.8 - SOLUCIÓN NUTRITIVA.

Es muy importante mencionar que no existe ninguna diferencia en el funcionamiento de las plantas que crecen en un cultivo hidropónico y aquellas que lo hacen en la tierra. La planta desde que comienza la germinación de la semilla, debe desarrollar sus diversos órganos (tallo, hojas, flores y frutos) y efectuar las variadas funciones de nutrición, respiración, transpiración y floración. En una palabra debe vivir y para ello debe extraer las sustancias nutritivas del medio en que viva. En uno u otro sistema los elementos nutritivos disponibles en el suelo son iguales a los que existen en una solución nutritiva hidropónica (Calderón).

Uno de los principales beneficios con que cuenta la hidroponía es la adaptación de las diferentes especies de cultivo a las soluciones nutritivas.

La composición y correcto balanceo de las soluciones es un punto importante en el éxito de las cosechas. Las soluciones deben contener todos los nutrientes que cada especie cultivada normalmente extrae del suelo (Calderón).

En la tierra tanto los componentes orgánicos (humus) como inorgánicos deberán ser transformados en sales disponibles, tales como Calcio, Magnesio, Nitrógeno, Potasio, Fósforo, Hierro, Azufre, Manganeseo, Cobre, Zinc, Boro, Molibdeno, Cobalto, Cloro; estas sales deberán disolverse con el agua presente en el suelo para poder ser absorbidas por las raíces de la planta. La diferencia entre la solución nutritiva del suelo y la hidropónica está en la disponibilidad y cantidad de sales absorbidas por las raíces (Calderón).

En los cultivos hidropónicos se optimiza la nutrición mineral de las plantas, dándole a cada una todos los elementos minerales en forma y cantidad que son requeridos y en el momento más oportuno. De esta optimización resulta en general una mayor productividad y un mejor desarrollo de la planta. (Calderón)

2.8.1- Fuentes.

Al elaborar las soluciones a partir de reactivos o fertilizantes simples, debe considerarse la posibilidad de disponer de estos en el mercado, su facilidad de almacenamiento, solubilidad y costos. (Sánchez y Escalante)

NITROGENO (N)

El N es absorbido por las plantas casi exclusivamente en forma de nitrato (NO_3^-) y en forma de amonio (NH_4^+), soluble en agua.

En hidroponía la mayoría del N se proporciona con base a nitratos.

El amonio, en la mayoría de los casos, sólo se usa como fuente suplementaria, ya que elevadas concentraciones de este ion pueden causar daños fisiológicos a las plantas.

Para la producción de forrajes hidropónicos la solución es como cualquier tipo estándar de solución nutritiva, debe proporcionarse a media concentración. (Sánchez y Escalante)

Las principales fuentes de nitrógeno son:

- ✓ Nitrato de potasio. El cual no es muy recomendable ya que es caro y difícil de conseguir en pequeñas cantidades, pero además de proporcionar una buena parte de nitrógeno en forma de nitrato puede proporcionar la totalidad de potasio requerido.
- ✓ Nitrato de calcio. En México sólo puede conseguirse como reactivo analítico, lo cual hace imposible su uso a escala comercial. Es una fuente satisfactoria de nitrógeno y calcio soluble.
- ✓ Nitrato de sodio. También conocido como nitrato de Chile. Es una buena fuente de nitrógeno, pero se debe tomar en cuenta que el sodio que entra en la solución sólo va a incrementar el contenido de sales sin contribuir a la alimentación vegetal.
- ✓ Nitrato de amonio. Contiene iones tanto de nitrato como de amonio, pero, como la proporción de este último es elevada, no se recomienda su uso como fuente exclusiva de nitrógeno. En México es muy fácil de conseguir y además a bajo precio.
- ✓ Sulfato de amonio. Es muy barato y fácil de conseguir en México. Puede proporcionar la cantidad necesaria de amonio en la solución. Contribuye a acidificar la solución y proporciona también parte del azufre necesario.

- ✓ Fosfato monoamónico (18-46-0) y Fosfato diamónico (18-46-0) Aunque se utilizan como fuente de fósforo son un buen complemento de nitrógeno en forma amoniacal.
- ✓ Urea. Se utiliza como fuente de nitrógeno principalmente en la producción intensiva de forraje en hidroponía.

FOSFORO (P).

La forma en que el fósforo es asimilable por las plantas es como ion fosfato (PO_4)⁼. Dentro de las principales fuentes se tienen:

- ✓ Superfosfato de calcio simple: es de las fuentes más usadas de fósforo, ya que además de ser barato y fácil de conseguir contiene calcio, azufre y varios microelementos como impurezas, es difícil de disolver.
- ✓ Superfosfato de calcio triple. Contiene menos calcio e impurezas pero más fósforo que el superfosfato simple; su precio es un poco más elevado y también es difícil de disolver.
- ✓ Fosfato de amonio y fósforo diamónico: son más fáciles de disolver que los anteriores, proporcionan también nitrógeno amoniacal.
- ✓ Acido fosfórico: se utiliza con relativa frecuencia, en forma de solución débil, añadiendo a su vez una pequeña cantidad de hidróxido de sodio para corregir la excesiva acidez. Normalmente es una fuente suplementaria de fósforo, utilizada para regular el pH, en vez de ácido sulfúrico.

POTASIO (K)

Sus principales fuentes son:

- ✓ Nitrato de potasio: como ya se mencionó, además de proporcionar el potasio necesario es fuente también de una buena parte de nitrógeno.
- ✓ Sulfato de potasio: es más barato y fácil de conseguir en México que el anterior; proporciona también azufre.
- ✓ Cloruro de potasio: se puede usar, pero hay que tener muy en cuenta que eleva el contenido de cloro en la solución pudiendo incluso ocasionar toxicidad en las plantas.

CALCIO (Ca).

Las principales fuentes de calcio son:

- ✓ Nitrato de calcio: muy soluble, pero no se consigue en México como fertilizante comercial.

- ✓ Superfosfato (simple y triple): proporciona una buena cantidad de calcio necesario, pero es difícil de diluir.
- ✓ Sulfato de calcio (yeso): aunque es difícil diluir, es barato y fácil de conseguir.
- ✓ Cloruro de calcio: aunque es muy soluble, debe tomarse en cuenta que eleva el contenido de cloro en la solución, el cual en altas concentraciones puede ocasionar toxicidad en las plantas, por ello se recomienda su uso pero con precaución.

Azufre(S)

Normalmente el azufre es utilizado por las plantas en forma de sulfatos (SO_4) =; como las plantas tienen límites de tolerancia muy amplios para el azufre, este casi nunca se contabiliza al hacer la solución nutritiva, pues se considera que siempre queda dentro de los límites adecuados. Sus principales fuentes son:

- ✓ Sulfato de amonio.
- ✓ Sulfato de potasio.
- ✓ Superfosfato.
- ✓ Sulfato de magnesio (sal de epsom). Además de azufre proporciona el magnesio necesario.
- ✓ Sulfato de calcio (yeso).

MAGNESIO (Mg).

Son dos las principales fuentes de este elemento:

- ✓ Sulfato de magnesio(sal de epsom): este fertilizante es el que se usa casi exclusivamente como fuente de magnesio en hidroponía, debido a su solubilidad, bajo costo y accesibilidad.
- ✓ Sulfato de magnesio(anhidro): es más caro y difícil de conseguir en el mercado que el anterior.

FIERRO (Fe).

Existen tres fuentes principales:

- ✓ Sulfato ferroso: para disolver bien el pH de la solución deberá ser menor de seis. Es la fuente más barata de hierro.
- ✓ Cloruro férrico: es más caro y difícil de conseguir que el primero.
- ✓ Quelatos: proporcionan hierro asimilable por períodos de tiempo más largos que el sulfato ferroso y previenen la precipitación del fósforo. Su precio es elevado.

- ✓ Otras fuentes de hierro son las sales orgánicas solubles como el citrato ferroso y el tartrato ferroso.

MANGANESO(Mn).

El manganeso, en la solución nutritiva, es proporcionado como sulfato, cloruro o quelatos de manganeso.

BORO (B).

Se asimila como borato (BO_3)- y sus principales fuentes son el ácido bórico y el borax (tetraborato de sodio).

COBRE (Cu).

Sus principales fuentes son el sulfato y cloruro de cobre.

Zinc (Zn)

Se aporta a la solución como sulfato o cloruro de zinc.

Molibdeno(Mo).

Este elemento es requerido en tan pequeñas cantidades que se encuentra como impureza en otros fertilizantes y, por lo tanto no requiere de ninguna fuente adicional.

2.8.2 –CÁLCULOS.

La concentración de cada uno de los elementos en la solución se puede expresar de varias maneras, pero son tres las que más se usan en hidroponía.

- ✓ Solución molar. Es la que resulta de disolver el peso molecular, expresado en gramos (mol) de una sustancia en agua hasta completar un litro de solución. El peso molecular se obtiene sumando los pesos atómicos de cada uno de los átomos que intervienen en una molécula de la sustancia considerada.

Por ejemplo para preparar una solución molar de nitrato de amonio se procede a hacer los cálculos como sigue:

Formula: $\text{NH}_4 \text{NO}_3$

Suma de pesos atómicos:

Nitrógeno (2 átomos) = 14 (2) = 28

Hidrógeno (4 átomos) = 1 (4) = 4

Oxígeno (3 átomos) = 16 (3) = 48

Peso molecular = 80

El peso molecular es 80, por tanto una solución molar de nitrato de amonio será aquella que contenga 80 gramos de esta sal, disueltos en un litro de solución. En hidroponía las soluciones generalmente no son tan fuertes y se expresan siempre en milimoles (mM) (Sánchez y Escalante).

- ✓ Solución normal. Se obtiene disolviendo el peso equivalente de una sustancia en agua hasta completar un litro de solución. El peso equivalente se calcula dividiendo el peso molecular de la sustancia entre la valencia de su catión.

Por ejemplo, si se quiere hacer una solución normal de nitrato de calcio, los cálculos pueden hacerse como sigue:

Formula: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

Calcio (1 átomo) = 40 (1) = 40

Nitrógeno (2 átomos) = 14 (2) = 28

Oxígeno (6 átomos) = 16 (6) = 96

Peso molecular = 164

Peso equivalente = $\frac{\text{peso molecular}}{\text{valencia del catión}} = \frac{164}{2}$

Peso equivalente = 82.

- ✓ Partes por millón. Este es el método más fácil de entender y, por lo tanto será el que más frecuentemente se use.

Por ejemplo:

Se requiere calcular la cantidad de cada fertilizante para preparar 200 litros de solución nutritiva de acuerdo a las concentraciones siguientes:

- A) Se escribe la formula. En este caso KNO_3 .
- B) Se obtiene su peso molecular. 101
- C) En el caso de que el fertilizante aporte dos nutrimentos diferentes, el cálculo se hace sobre el elemento que primero limite la cantidad de fertilizante. Generalmente es el elemento que más ppm aporta por gramo de fertilizante. En este caso particular el elemento que primero limita la cantidad de KNO_3 es el potasio que tiene un peso atómico de 39 contra sólo 14 del nitrógeno, o sea que cada 101 gramos de nitrato de potasio disueltos en 1000 litros de agua se están aportando 39 ppm de potasio y 14 de nitrógeno
- D) Se determina qué porcentaje del elemento a calcular existe en relación al peso molecular del fertilizante.

$$\% \text{ del elemento} = \frac{\text{peso atómico}}{\text{peso molecular}} (100) = \frac{39}{101} (100) = 38.6$$

Porcentaje de potasio = 38.6

- E) De este porcentaje, por medio de una proporción, se calcula la cantidad de fertilizante requerido para dar la concentración dada del elemento. En este caso se busca la cantidad de KNO_3 necesaria para hacer una solución de 300 ppm de potasio en 200 litros de agua .

Concentración del fertilizante

$$= \frac{\text{Concentración del elemento} (100)}{\text{Porcentaje del elemento}} = \frac{300}{38.6} (100) = 777 \text{ ppm}$$

777 ppm equivalen a una cantidad de 777 gramos en 1000 litros de agua, por lo tanto para 200 litros será:

$$X = \frac{(777)(200)}{1000} = 155 \text{ gramos}$$

Es decir, se necesitan 155 gramos de KNO_3 para proporcionar las 300 ppm de potasio en 200 litros de agua.

F) Si el fertilizante incluye otro elemento esencial para la nutrición vegetal, se calcula la cantidad ya añadida de dicho elemento. En el ejemplo, el KNO_3 además de proporcionar las 300 ppm de potasio, proporciona una cantidad importante de nitrógeno que es necesario contabilizar. Este cálculo se realiza mediante una sencilla proporción de acuerdo a la relación N : K, La relación N : K es de 1:2.8 . entonces:

$$1: 2.8 :: X : 300 \quad X = 300/2.8 = 107 \text{ ppm}$$

Es decir, que 155 gramos de KNO_3 disueltos en 200 litros de agua, además de proporcionar 300 ppm de potasio, suministran 107 ppm de nitrógeno.

Como la concentración deseada de nitrógeno en el ejemplo es de 200 ppm requeridas y 107 ppm ya aportadas, es decir, 93 ppm. Por ello se tiene que recurrir, como una fuente adicional, a otro fertilizante nitrogenado. Una vez escogida esta fuente (supóngase nitrato de amonio) se procede como en el caso anterior :

A) Formula $\text{NH}_4 \text{NO}_3$

B) Peso molecular: 80

C) Elemento que limita la cantidad de fertilizante. En este caso sólo existe nitrógeno, es decir, no existe otro elemento a contabilizar en la solución.

D) Porcentaje del elemento en relación al peso molecular.

$$\% \text{ de N} = 28/80 (100) = 35\%$$

Como la molécula de nitrato de amonio posee dos átomos de nitrógeno se tomó como numerador a la suma de los pesos atómicos de esos dos átomos ($14 + 14 = 28$).

E) La cantidad de fertilizante requerido.

$$\text{Concentración de } \text{NH}_4 \text{NO}_3 = 93 / 35 (100) = 266 \text{ ppm}$$

O sea, se requiere disolver 266 gramos de $\text{NH}_4 \text{NO}_3$ en 1000 litros de agua para obtener 93 ppm de nitrógeno. Como en el ejemplo se necesitan 200 litros de solución, entonces: $266 : 1000 :: X : 200$

$$X = \frac{266(200)}{1000} = 53 \text{ gramos}$$

Es decir, basta añadir 53 gramos de $\text{NH}_4 \text{NO}_3$ a los 200 litros de solución que se está elaborando para obtener las 93 ppm del nitrógeno faltantes.

E) Dado que este fertilizante no aporta otro elemento no se realiza este paso.

Hasta ahora se han calculado el nitrógeno y el potasio. El siguiente elemento a calcular será el fósforo, cuya fuente podría ser, por ejemplo, el superfosfato simple. Se procede de igual manera

- A) Fórmula $\text{Ca} (\text{H}_2 \text{PO}_4)_2 \cdot 2 \text{H}_2 \text{O}$ (esta fórmula no incluye el sulfato de calcio y demás material usado como inerte por lo que el peso molecular no concuerda)
- B) Peso molecular 750 (aproximadamente)
- C) Elemento que limita la cantidad de fertilizante. En este caso es el fósforo y que aunque la relación P: Ca es de 1: 3.8, en el ejemplo sólo se requieren 60 ppm de fósforo contra 300 ppm de Ca.
- D) Porcentaje del elemento en relación al peso molecular 7 % de fósforo

E) Cantidad de fertilizante requerido.

$$\text{Concentración del superfosfato} = 60 / 7 (100) = 857 \text{ ppm}$$

Es decir, se requieren 857 gramos de superfosfato simple en 1000 litros de agua para hacer una solución de 60 ppm de fósforo. Como la solución que se está elaborando tiene un volumen de 200 litros entonces:

$$857 : 1000 :: X : 200 \quad X = \frac{857 (200)}{1000} = 171.4 \text{ gramos}$$

Por lo tanto, se requieren 171.4 gramos de superfosfato simple en la solución de 200 litros para aportar 60 ppm de fósforo.

F) Cálculo para el otro elemento aportado por el fertilizante. En este caso se debe calcular cuánto calcio se suministró a la solución al añadir a la misma las 60 ppm de fósforo. Como la relación P: Ca es de 1: 3.8 se tiene

$$1:3.8::60: X \quad X = (3.8) (60) = 228 \text{ ppm}$$

O sea, que 171.4 gramos de superfosfato simple aportan las 60 ppm de fósforo y además 228 ppm de calcio requerido.

Dado que se requieren 300 ppm de calcio es necesario suministrar otras 72 ppm de alguna otra fuente, por ejemplo el sulfato de calcio (yeso).

A) Fórmula $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

B) Peso molecular 172

C) Elemento que limita la cantidad de fertilizante. En este caso, como ya se mencionó el azufre no se contabiliza, por lo que sólo se toma en cuenta el calcio.

D) Porcentaje del elemento en relación al peso molecular. % de Ca = 23%

E) Cantidad de fertilizante requerido.

$$\text{Concentración de } \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 72 / 23 (100) = 313 \text{ ppm}$$

O sea. 313 gramos de sulfato de calcio en 1000 litros de agua proporcionan 72 ppm de calcio. Para obtener la misma concentración en los 200 litros de solución se tiene que:

$$313 : 1000 :: X : 200 \quad X = \frac{313 (200)}{1000} = 62.6 \text{ gramos}$$

Se requieren 62.6 gramos de yeso en los 200 litros de solución para obtener 72 ppm de calcio faltantes.

Hasta aquí se ha efectuado el cálculo de cuatro elementos. Para los demás nutrientes el cálculo se efectúa de igual forma.

Se debe mencionar por último, que para el cálculo de la cantidad de fertilizante requerida para preparar una solución dada, se ha procedido considerando que éstos son 100% puros. Sin embargo, para los casos en que no lo sean, habrá que considerar su índice de pureza para ajustar los cálculos. Por ejemplo, se había calculado que para preparar 200 litros de solución con 300 ppm de potasio se requerían 155 gramos del fertilizante nitrato de potasio; pero supóngase que su índice de pureza no fuera de 100 % sino de 90%, entonces habría que hacer la siguiente corrección.

$$155/0.90 = 172 \text{ gramos.}$$

Es decir, considerando el 90 % de pureza, se requerirían 172 gramos de nitrato de potasio en vez de los 155 gramos considerados para un 100 % de pureza (Sánchez y Escalante).

Briggs (1975), evaluó el cultivo de cebada en solución, encontrando varias concentraciones "óptimas" por ejemplo: Fe 11.2 ppm, Ca 40ppm, hasta 3.7 ppm de K y estos varían con el estado de desarrollo.

Sánchez del Castillo (1985), recomienda usar en la fertilización del pasto hidropónico una fórmula aproximada de 200-25-100-100-25-25 ppm de N-P-K-Ca-Mg-Fe respectivamente.

Unidades comerciales de producción de pasto hidropónico que distribuye el rancho Criadero "La Fortuna" (1985), se emplean la solución nutritiva de 522-149-422-10-8-1 ppm. de N-P-K-Ca-Mg-Fe respectivamente. La información sobre dosis de la solución no se proporciona por interés de la empresa.

2.8.3 – PROCEDIMIENTOS PARA LA PREPARACIÓN DE LA SOLUCION NUTRITIVA.

De acuerdo a Penningsfeld se puede hacer la disolución de la siguiente manera:

- 1) Nitratos
- 2) Sulfatos
- 3) Fosfatos
- 4) Adicionando al final el Fe y micronutrientes.

Procedimiento:

- 1) Pesar los fertilizantes
- 2) Llenar el depósito de la solución, a un 90% de su capacidad
- 3) Acidular el agua, con ácido sulfúrico
- 4) Adicionar los macronutrientes en forma nitrada (las fuentes de nitrógeno)
- 5) Adicionar las fuentes sulfatadas (las fuentes de sulfato)

- 6) Adicionar las fuentes fosfatadas (las fuentes de fosfato)
- 7) Se añade al final el Fe y los micronutrientes.

2.9. - CALIDAD DEL AGUA.

Penningsfeld y Kurmann (1983) indican que el agua que es utilizada en los cultivos hidropónicos puede ser obtenida de diferentes fuentes: lluvia, ríos, corrientes subterráneas, lagos, pozos, etc. En general todas las fuentes naturales contienen cantidades variables de sales en solución y si van a ser usadas en hidroponía deben ser sometidas a un análisis químico, para determinar su contenido de sales minerales, teniendo como máximo 200 ppm de contenido total de sales. (Islas)

En tanto que Sánchez y Escalante mencionan que si los sólidos totales presentes en el agua sobrepasan las 3000 ppm, ésta no se debe usar en hidroponía a menos que un experimento demuestre lo contrario.

Con menos de 3000 ppm de sólidos totales, el agua puede usarse en hidroponía si se toman en cuenta los siguientes detalles:

- ✓ Sólidos totales
- ✓ Cloruros, si los sólidos totales exceden 500 ppm
- ✓ Dureza; si es alta debe analizarse para calcio y magnesio.
- ✓ Metales pesados, sulfuros y cloro libre sólo cuando se sospeche.

2.10 - VALOR DEL pH.

Ya sea a nivel de agricultura convencional en el suelo, o de hidroponía, el pH de la solución que rodea a las raíces es de extrema importancia para un adecuado crecimiento de las plantas.

Este factor es muy a menudo, manejado inadecuadamente en hidroponía, situación que ocasiona como respuesta un debilitamiento general y un rendimiento bajo de las plantas.

Un concepto, que a veces no se entiende muy bien en relación al pH, es que el cambio del mismo en una unidad significa un aumento o decremento de 10 veces en alcalinidad o acidez. Esto significa que un pH de 4 no es una vez, más ácido, ni el doble de ácido que un pH de 5, sino 10 veces más ácido y 100 veces más que un pH de 6.

La mayoría de las plantas crecen muy bien con una solución nutritiva que tenga un pH de 5 a 6.5. Se considera, en términos, que el mantener la solución en un pH de 6 a 6.5 favorece un crecimiento vegetal satisfactorio.

Para medir el pH del agua o de la solución nutritiva se puede utilizar papel indicador; el pH se determina mediante la comparación del color que toma el papel al introducirlo en la solución, con un catálogo cromático testigo (carta de colores).

Este método es el más sencillo, más barato y por lo tanto más usado en hidroponía (Sánchez y Escalante).

Penningsfeld y Kurmann (1983) señalan que es necesario un ajuste frecuente del valor del pH, porque los cambios bruscos de la concentración de iones hidrógeno, causan daño a las plantas. La reacción neutra o ligeramente alcalina de la disolución nutritiva provoca la inmovilización del Fósforo, Hierro, Boro y Manganeso, lo cual suele dar motivo a las deficiencias correspondientes.

Se recomienda un ajuste del pH entre 5.5 y 6.5, ya que en este rango la mayoría de los nutrientes se encuentran en forma disponible para los cultivos. Frecuentemente el pH se eleva ligeramente durante el desarrollo del cultivo por lo que se utiliza ácido sulfúrico, ácido nítrico o fosfórico para ajustar al rango deseado (Islas).

2.11 - RIEGOS.

Hay varios sistemas de riego: Por gravedad, por microaspersión y por nebulización. En el sistema por gravedad se coloca una tubería perforada en la parte superior del último nivel, por la cual sale el agua de riego, esta recorre las bandejas superiores y va drenando hacia los demás niveles. En el sistema por aspersión, la tubería va colocada a cierta altura de las bandejas, normalmente 30 ó 40 centímetros, y de ella salen los microaspersores o boquillas de automatización que rocían el agua sobre el cultivo. Se necesita una línea de tubería por cada piso de bandejas. Este es el sistema que ha dado mejores resultados, presenta ventajas considerables frente a los demás (Resh).

2.12. - COSECHA.

Esta se hace cuando la plántula ha alcanzado una altura promedio de 25 centímetros (en cámaras de tipo comercial como las que anteriormente se mencionaron que son usadas en países altamente desarrollados). Este desarrollo demora entre 9 y 15 días, dependiendo de la temperatura, las condiciones ambientales, el invernadero y la frecuencia del riego.

Como resultado obtendremos un gran tapete radicular ya que las raíces se entrecruzan unas con otras por la alta densidad de siembra. Este tapete esta formado por las semillas que no alcanzaron a germinar, las raíces y la parte aérea de 25 centímetros de altura aproximadamente dependiendo de la especie. (Calderón)

Pese a que en cámaras rústicas no se han obtenido alturas semejantes; las que se han logrado obtener y tomando en consideración sus costos que llagan a ser por mucho menores a los de cámaras de alto nivel tecnológico se consideran que hasta ahora los que se han conseguido son muy satisfactorios, un claro ejemplo de esto es el cuadro siguiente (cuadro número 4)

CUADRO No. 4

ALTURA DE PLANTA DE FORRAJE VERDE HIDROPONICO PRODUCIDO EN CAMARA TIPO RUSTICO.

ESPECIE	ALTURA.
Cebada	16.5cms.
Avena	15.7cms.
Triticale	14.2cms.
Maíz	13.5cms.
Trigo	12.9cms.

Fuente: Pérez (1987)

2.13. - RECOMENDACIONES PARA LA ALIMENTACIÓN ANIMAL.

Con el objeto de conocer el fenómeno de la producción mediante el clima controlado, Agrosintesis visito al señor Miguel Angel Rivera, residente en Puebla y propietario de varias de éstas cámaras en las cuales produce alimento inducido para sus ejemplares equinos, porcinos, ovinos y caprinos.

Miguel Angel Rivera, al hablar sobre la cantidad de kilos que diariamente se cosechan, reportó el mejoramiento de la fertilidad que experimentan los ejemplares hembras, de todos los tipos de animales. Dando espectacularidad en el desarrollo y mantenimiento de vientres.

"Diariamente se retiran 32 charolas -dijo- levantando 640 kilos de pastura. Esto da para alimentar un hato de 250 vientres (cerdos), si hablamos de equinos para unas 60 yeguas, o para 300 borregas. En cuanto a pruebas realizadas dentro de su rancho en los equinos se han observado aumento de fertilidad, un 10 % más de cría en potrillos y un similar porcentaje en lechones y lo mismo se reflejó en pruebas realizadas en Estados Unidos."

Si queremos ir más allá señalemos que este tipo de alimentación se refleja también en la mejor disponibilidad para resistir cualquier tipo de enfermedades. En los zoológicos de San Diego y en la Universidad de Tucson, Arizona, los animales que ingirieron alimento inducido ganaron fuerzas y defensas para contrarrestar cualquier tipo de epidemia, en contraposición a los otros ejemplares con diferente alimentación. (Anónimo 1981)

"Para la alimentación de vacunos se suelen suministrar de 12 a 18 kilogramos de F.V.H. repartido en dos raciones, generalmente a las horas de los ordeños, suprimiendo otros complementos, como los concentrados.

La anterior ración es suficiente para complementar en forma adecuada la dieta de una vaca lechera al aportar hasta 1800 gramos de proteína por día (Calderón).

Se han encontrado aumentos en la producción lechera entre un 10 y un 20% frente a dietas tradicionales.

"En los animales de este tipo se pueden dosificar aproximadamente de 1.5 al 2 por ciento de su peso vivo, esto quiere decir que a un bovino de 100 kilos se le suministrarán dos kilos de alimento inducido, que bien reemplazan al alimento balanceado en respetable proporción. Por ejemplo, en los porcinos (vientres) utilizando cuatro kilos de pastura y medio kilo de balanceado, buscamos optimizar los resultados que perfectamente reemplazan a tres kilos de alimento balanceado."

Para la alimentación de cerdos se han utilizado dosis de 2 hasta 6 kilogramos diarios de F.V.H.

Esta dosis reemplaza la ración de concentrado entre un 20 y un 50 % el óptimo está alrededor de un 30%.

Se usa en los períodos de crecimiento y ceba que van desde 16 hasta 90 kilogramos de peso vivo del animal.

También el F.V.H. se ha utilizado en la alimentación de conejos, como complemento proteínico a la fibra proveniente de otras fuentes, suministrando a cada animal adulto entre 300 y 500 gramos diario. (Calderón)

III. - MATERIALES Y MÉTODOS.

Este trabajo de tesis fue realizado en tres etapas secuenciales las cuales fueron:

1. Producción de pasto hidropónico, de cuatro gramíneas forrajeras: Avena (*Avena sativa* L.), Cebada (*Hordeum vulgare* L.), Centeno (*Secale cereale* L.), Trigo (*Triticum aestivum*) (Robles).
2. Evaluación química por medio de análisis químico proximal (A. Q. P.).
3. Presentación y análisis de costos.

3.1. – LOCALIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO.

La fase de producción de los F.V.H. se llevó a cabo en el invernadero de cristal número dos del Departamento de Ciencias Agrícolas de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán U.N.A.M.

La fase 2 (Análisis de calidad nutricional) se llevó a cabo en los laboratorios de Bromatología y Nutrición animal.

Y la fase 3 (Evaluación económica relación costo-beneficio), se realizó bajo la asesoría de profesores de ambas carreras; de la misma facultad ubicada en el Municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México.

La mencionada institución se localiza en, Latitud Norte 19° 37' y 19° 45', Longitud Oeste 99° 07' y 99° 14' del Meridiano de Greenwich (Martínez).

3.2. – CONDICIONES AMBIENTALES.

Con clima tipo C(Wo) (W) b(i') que corresponde al tipo templado, el más seco de los subhúmedos, con régimen de lluvias de verano, e invierno seco (menos del 5% de la precipitación anual), con verano largo y fresco, con temperatura extrema respecto a su oscilación (García).

La temperatura media anual es de 15.7° C. y su precipitación media anual es de 605 mm. (Martínez).

3.3. – CARACTERÍSTICAS DE LA CÁMARA.

La cámara es de ambiente semicontrolado cubierto con plástico térmico calibre PF 600 cuenta con una superficie total de 14.99 metros cuadrados, sus dimensiones son 4.90 mts., de largo por 1.70 de ancho con una altura de 1.80 mts. En su interior cuenta con 12 charolas de 0.36 mts. De largo por 0.59 de ancho.

Piso de concreto recubierto con tezontle, instalación eléctrica con focos de 60 watts a distancia de 1.30 mts. Entre cada uno y a una altura de 1.50 mts. Del piso, termómetro de máximas y mínimas y un hidrómetro para registrar temperaturas y humedad ambiental respectivamente, durante el ciclo de cultivo.

El sistema de riego consta de los siguientes elementos: El tanque de concreto en donde se preparo la solución nutritiva para el cultivo el cual tiene una capacidad de 280 litros moto bomba de 0.5 HP y riego a través de boquillas nebulizadoras.

3.4. – CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL VEGETAL.

CUADRO NO. 5

GRAMINEAS FORRAJERAS UTILIZADAS EN LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPONICO (F. V. H.)

ESPECIE	VARIEDAD	CICLO
Avena	Chihuahua	Intermedio
Cebada	Cerro prieto	Tardío
Centeno	Criollo	Intermedio
Trigo	Pavón	Intermedio

Fuente: Robles; 1991

3.5. – DISEÑO EXPERIMENTAL.

En la presente investigación se utilizó un Diseño Factorial 4 * 3 cuatro tratamientos (especies) y tres niveles (fechas de cosecha) con una distribución completamente al azar. Las parcelas experimentales constituidas por charolas de 0.36 mts. de largo por 0.59 mts. de ancho las cuales fueron subdivididas en tres fracciones (repeticiones) para realizar la evaluación de las variables en estudio.

3.6. – ANÁLISIS ESTADISTICO.

El análisis de varianza, y comparación de medias se llevara a cabo por el método de Tukey al 0.05 % de probabilidad para cada una de las variables evaluadas.

CUADRO NO. 6

ACOMODO DE LAS ESPECIES FORRAJERAS AL INTERIOR DE LA CAMARA INCUBADORA DE PASTOS.

E4 * * *	E1 * * *	E2 * * *	E3 * * *	E3 * * *	E1 * * *
E2 * * *	E3 * * *	E1 * * *	E4 * * *	E2 * * *	E4 * * *

Nota: * Repeticiones = 36 unidades experimentales.

3.6.1. – TRATAMIENTOS.

Cuatro especies forrajeras con tres repeticiones cada una.

E1 Avena (*Avena sativa* L.)

E2 Cebada (*Hordeum vulgare* L.)

E3 Centeno (*Secale cereale* L.)

E4 Trigo (*Triticum aestivum*) (Robles).

Manejando características homogéneas para las cuatro especies en cuanto a:

- Riegos.
- Disolución nutritiva.
- Temperatura.
- Humedad.
- Luz.

3.6.2. - MANEJO AGRONÓMICO.

A) LAVADO.- Se inundaron las semillas en un recipiente, con la finalidad de retirar todo el material que flote como: basura, semillas vanas, partidas y cualquier otro tipo de impurezas.

B) REMOJO O PRE GERMINACIÓN.- Consistió en humedecer durante 24 horas las semillas en agua tratada con hipoclorito de calcio (blanqueador comercial al 10% con la finalidad de eliminar todos los tratamientos y fumigaciones a las que habían sido sometidas las semillas.

Una vez transcurrido este tiempo, se drenó el agua para que las semillas pudieran respirar y se dejaron reposar durante 48 horas, en recipientes debidamente tapados para mantener la alta humedad.

C) SIEMBRA.- La siembra se realizó en charolas previamente lavadas manejando una densidad de un kilogramo por charola en general para las cuatro especies trabajadas que son: Avena (*Avena sativa* L.), Cebada (*Hordeum vulgare* L.), Centeno (*Secale cereale* L.) y Trigo (*Triticum aestivum*) (Robles).

D) RIEGOS.- A partir del momento de la siembra se proporcionaron los riegos. Se realizaron ocho riegos diarios a partir de las 8 a.m. y hasta las 4 p.m. realizando ciclos de riego de un minuto cada vez. Los primeros dos días de siembra se regó con agua corriente, a partir del tercer día se regó con solución nutritiva, manejando pH 6.5.

E) COSECHA.- Esta se realizó a los 11, 13 y 15 días a la siembra obteniendo como resultado un gran tapete radicular formado por las semillas que no alcanzaron a germinar, raíces y parte aérea.

3.6.3. -DI SOLUCIÓN NUTRITIVA.-

La disolución nutritiva empleada para la producción de los F.V.H. en nuestra investigación, fue anteriormente evaluada por Pérez en 1987.

CUADRO No. 7
SOLUCIÓN NUTRITIVA EMPLEADA EN LA PRODUCCIÓN DE FORRAJES VERDES HIDROPONICOS (F. V. H.)

Elemento	Fuente	ppm.	Volumen total
Nitrógeno	Urea	125	280 litros pH 6.0
Fósforo	Superfosfato de calcio triple.	35	
Potasio	Nitrato de potasio	100	
Calcio	Nitrato de calcio	5	
Magnesio	Sulfato de magnesio	4	
Hierro	Sulfato ferroso	2	

Fuente: Pérez 1987

3.6.4. - PARÁMETROS A EVALUAR.

Las variables cuantificadas para determinar la conveniencia de la producción de forrajes por métodos hidropónicos esta enfocada básicamente en tres puntos que son los siguientes:

- A) Rendimiento.
- B) Calidad.
- C) Costos.

3.6.5 - Como, Por que y para que de los parámetros a evaluar

A) RENDIMIENTO.

En fisiología vegetal se usan como parámetros de crecimiento el peso y la longitud, entre otros.

Altura de planta.

La cual se toma al momento de la cosecha del tapete de forraje, esta es medida desde la base del tapete hasta la punta de la planta, se miden en promedio

veinte plantas de forma aleatoria y se saca un promedio de estas, lo que se considera un dato para la evaluación de este parámetro.

Peso fresco del Forraje Verde Hidropónico (F. V. H.).

El cual es determinado al momento de la cosecha, se pesa el tapete radicular previamente seccionado de la charola de producción. Como son tres repeticiones, lo que nos daría una charola completa se suman y se obtiene un peso promedio por especie y por edad.

CALIDAD NUTRICIONAL

El análisis químico bromatológico es un factor esencial para valorar el poder nutritivo de un alimento, así como su poder productivo, pues se determina mediante el cuantitativamente, los principios inmediatos que lo constituyen.

CUADRO No. 8

Componentes del Análisis Químico Bromatológico.

A L I M E N T O S	1) Agua	(humedad)	
		Porción incombustible.	Cenizas, sales minerales Sales inorgánicas.
	2) Materia Seca.		Proteína cruda o bruta.
		Porción Combustible	Grasa cruda o bruta (extracto etéreo) Extracto libre de nitrógeno Fibra cruda.

Se llaman principios inmediatos por ser los primeros en identificarse en el proceso de desintegración analítica en el laboratorio.

Porcentaje de Humedad.

El primer paso del modelo analítico de cualquier producto consiste en determinar el contenido acuoso. El método más utilizado para la mayoría de los alimentos el de la diferencia de peso al ser sometido el producto a desecación en estufa (Magliorini).

Los forrajes verdes, cualquiera que sea la especie de que procedan, así como las raíces, nabos, remolachas y zanahorias forrajeras, pueden llegar a tener un 85 a 88 % de agua, y aunque ésta carezca de valor nutritivo no deja de jugar un papel importante en la función del organismo del animal, pues si no la contienen las raíces

o el forraje en cantidades suficientes para cubrir las necesidades el animal tiene que completarla con agua bebida directamente.

Un animal alimentado con forrajes verdes, ensilados o raíces, tendrá menos necesidad de agua que si consumiera forrajes henificados o deshidratados.

Cenizas.

Se consideran cenizas el residuo de alimento después de su combustión. Al igual que el resto de los principios nutritivos, las cenizas se calculan en porcentaje ,sobre materia seca.

Digestibilidad (In- vitro)

El valor energético de un alimento depende en gran medida de su utilización digestiva. No todas las especies forrajeras ofrecen un producto igualmente digestible. Su grado de digestibilidad depende de la especie y el estado de desarrollo de la planta en el momento de ser cortada o cosechada.

Los azúcares y el almidón son digeridos fácilmente por los animales y posee elevado valor alimenticio. En cambio los hidratos de carbono complejos que constituyen las fibras leñosas de las plantas, se digieren de un modo menos completo.

Esta técnica se sugiere para determinar la digestibilidad in vitro de la materia seca y orgánica de forrajes. La técnica ha sido comparada con la digestibilidad in vivo por los autores encontrando una buena correlación en pastos tropicales.

Proteína

Las proteínas son de extraordinaria importancia en la alimentación animal. Tanto en las plantas como en los animales, no solo el protoplasma de las células vivas, sino también el núcleo que regula la actividad de cada célula, está constituida principalmente por proteínas (Morrison).

Las proteínas son consideradas la estructura de los tejidos en la medida, que principalmente esta relacionadas con la generación de nuevos tejidos y la reparación de los viejos. Por lo tanto las proteínas constituyen la mayor parte de los músculos, los órganos internos, los cartílagos y el tejido conectivo, así como la piel, el pelo la lana, las plumas, las pezuñas y los cuernos. Las proteínas forman parte del sistema nervioso e incluso del esqueleto, al que dan tenacidad y elasticidad (Morrison).

Dado que el elemento característico de las proteínas es el nitrógeno, los métodos de cuantificación de proteína se basan esencialmente en la determinación del contenido de nitrógeno de la muestra suponiendo que todo el nitrógeno está en forma de proteína.

Fibra detergente Acido.

La fibra de los alimentos esta integrada por la celulosa y otros hidratos de carbono insolubles e los ácidos débiles y en los álcalis débiles. El porcentaje de fibra, se determina hirviendo una muestra del alimento sucesivamente en un ácido débil y un álcali débil y separando por lavado el material disuelto.

Es importante conocer el contenido de fibra de los diversos alimentos, pues de esta fracción forma parte mayoritariamente la celulosa (95%) el resto corresponde a la hemicelulosa y a la lignina fundamentalmente. Durante bastante tiempo se a considerado que está fracción correspondía a la parte no digestible del alimento, hasta que se ha podido comprobar posteriormente que una parte importante de la fibra, sobre todo la celulosa, es digerida por el organismo animal y actúa como fuente energética. Por consiguiente, el contenido de celulosa de los alimentos se utiliza en la actualidad, más como un factor corrector del valor energético de los alimentos, que como índice de digestibilidad (Magliorini).

RELACIÓN COSTO-BENEFICIO.

La cual será determinada básicamente con una gráfica, que nos indicara el punto de equilibrio de la inversión que proponemos.

Considerando tres fechas de cosecha:

A los 11 días a la siembra

A los 13 días a la siembra

A los 15 días a la siembra

Para cada uno de los cuatro tratamientos.

IV.- ANÁLISIS DE RESULTADOS.

La toma de muestras para la realización de las evaluaciones de producción, (altura de planta y peso de materia verde) se realiza a los 11, 13 y 15 días a partir de la fecha de siembra.

Dichas muestras fueron llevadas a cámaras de secado para realizar posteriormente los análisis bromatológico y químico proximales, en base seca.

Sobre la base de estos datos podemos determinar la calidad y cantidad del producto y esto tomarlo como una herramienta importante para determinar la conveniencia en la inversión de este proyecto.

El análisis estadístico se realizó en el paquete SPSS Win y consistió de un análisis de varianza con un nivel de 0.05, así como una correlación de medias a través de la prueba de Tukey y también con un nivel de significancia del 0.05 % de análisis.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Al analizar el cuadro No. 9, en donde se reporta la altura del F.V.H. a distintas edades y especies. Se puede apreciar que de las cuatro especies presentan resultados muy variables.

Al comparar el crecimiento de las cuatro especies experimentadas se encuentra en promedio:

- A) El forraje de trece días creció en promedio 0.5 cm, más que el de 11 días.
- B) Y que el germinado de 15 días creció 1.75 cm. Más que el grupo de 11 días, observándose que si hay diferencia estadística entre estos grupos.
Con respecto a las especies podemos mencionar que, la que presentó mayor alturas en promedio fue Centeno seguido de la Cebada, la Avena y el Trigo.

Al analizar el cuadro No. 10 donde se registró el peso del forraje fresco a los 11, 13 y 15 días se puede apreciar lo siguiente:

- A) Que en las especies trabajadas se observa que el forraje de trece días de las distintas especies dio 1.11 Kg en promedio más que el de once días.
- B) También se puede apreciar que el forraje de quince días dio en promedio para las cuatro especies trabajadas (Avena, Cebada, Centeno y Trigo) 1.28 Kg más que el de trece días y 2.4 Kg en promedio que el de once días.

Al observar estos resultados se puede saber que conforme aumentan los días de germinación aumenta también el peso y la diferencia de peso entre los días trece y quince fue mayor que la de once y trece días a la cosecha.

Al analizar los cuadros 11, 12, 13 y 14 (humedad, digestibilidad, proteína y fibra detergente ácido), respectivamente que son los análisis químico proximales.

Se puede valorar que la especie que arroja mejores resultados fue el Centeno seguido de Avena, Cebada y Trigo.

En el análisis del cuadro No. 11 el cual se refiere a la humedad del forraje trabajado se puede observar que conforme avanza la edad el material se lignifica y por consiguientes los porcentajes de humedad van disminuyendo

Lo cual lo podemos observar claramente al exponer los siguientes datos:
Forraje de once días a la cosecha 77.06%, a los trece días 77.02% y quince días 75.71%.

En referencia a las especies y el contenido de humedad podemos decir que la que presenta menor porcentaje de humedad es la Avena la cual contiene un 69.80% de humedad seguida del Trigo que presenta un 76.12%, el Centeno con 79.32% y por último la Cebada con un 81.18% de contenido acuoso, por lo que la consideramos menos recomendable.

Con respecto a la Digestibilidad de las 4 gramíneas forrajeras (Cuadro No.12) podemos comentar que el comportamiento de dichos indicadores presentan un comportamiento variable ya que:

A) Que el forraje de once días (sin considerar en este momento la especie) tiene valor de 49.91%, el de trece días reporta valores de 51.75 % y el de quince días 47.06 % consideramos que estos resultados resultan ser muy peculiares ya que se sabe que a mayor edad menor digestibilidad de los forrajes ingeridos, por lo tanto la variabilidad entre los once y trece días es relativamente muy poca la diferencia entre ambos por lo que consideramos que se sigue cumpliendo la regla, a la que se hacía la referencia.

La diferencia que se presenta en los días once y trece de cosecha suponemos que se debe a errores de tipo humano en el proceso, como pueden ser; un mal manejo de las muestras.

C) Y que con respecto a la especie la que presenta mejores características es la especie No. 4 Trigo la cual presenta un índice de digestibilidad del 64.28 % en promedio para las tres fechas de cosecha, seguida de la Avena la cual presenta un 51.04 %, igual para sus tres fechas de cosecha, a continuación se encuentra la especie No., tres Centeno y por último La Cebada la cual reporta un 39.29 % de digestibilidad.

Al tomar referencia del cuadro No. 13 podemos observar que la edad más adecuada para la cosecha resulta ser a los 11 días, es decir la más joven ya que a más edad va disminuyendo el nivel proteico del forraje.

Y que de las cuatro especies trabajadas la que reporto mejores resultados en cuanto a su calidad proteica fue, la Avena con 6.50 % de proteína seguido del Centeno el cual fue ligeramente más bajo, 0.03% menor con respecto a la anterior; la Cebada con 0.62% y el Trigo con 1.11%, menores en función del valor proteico de la Avena.

En relación a la Fibra Detergente Acido (F.D.A.) Cuadro No. 14 se observa que los porcentajes de fibra, son muy diferentes entre si, en relación a la especie y ala edad:

A) Para sustentar lo anterior podemos decirles que lo referente a ala edad se manejan porcentajes que van de menor a mayores porcentajes de fibra los cuales con respecto a nuestros niveles de cosecha fluctúan entre 57.32% para once días, 58.98% para trece días y 67.71 % para 15 días; esto es debe a que a mayor edad, mayores contenidos de fibra en el material vegetal.

B) En relación a alas especies se puede mencionar que la que menores cantidades de fibra contiene es la especie No. 4 Trigo 49.84%, seguida por la Avena con 49.95%, la Cebada 77.70% y el Centeno que contiene 66.66% de fibra.

Los porcentajes reportados de fibra nos hacen remitimos a la relación mencionada por Robles; El cual dice que los forrajes jóvenes poseen un contenido

proteico inverso al contenido de fibra es decir que si para nuestra investigación se obtuvieron "bajos contenidos de proteína", se obtengan altos % en cuanto a fibra.

En lo referente a los costos que es también un punto muy importante a tratar en todo proyecto, se puede saber que el modulo de producción propuesto es altamente accesible a los ganaderos de nuestro país, ya sean pequeños o medianos productores.

Y resultan más los beneficios de este sistema que el manejo en suelo ya que este no esta restringido por las inclemencias climatológicas las cuales constantemente ponen en riesgo la actividad ganadera en nuestro país, básicamente por la falta de alimento, es por este importante factor que muchos productores terminan con números rojos, por lo cual lo consideramos una buena alternativa.

CUADRO No. 9

Altura de los Forrajes Verdes hidropónicos a los 11, 13 y 15 días de desarrollo.

Especies	Día 11	Día 13	Día 15
Avena	20.00	20.53	21.33
Cebada	25.06	25.83	27.03
Centeno	25.00	26.16	27.06
Trigo	15.00	15.50	17.03

CUADRO No. 10

Peso Fresco del Forraje Hidropónico a los 11, 13 y 15 días de cosecha.

Especies	Día 11	Día 13	Día 15
Avena	12.40	13.60	15.50
Cebada	12.50	13.73	14.80
Centeno	11.40	12.40	13.50
Trigo	10.40	11.43	12.50

CUADRO No. 11

 Humedad del Forraje Hidropónico a los 11,13 y 15 días de cosecha

Especies	Día 11	Día 13	Día 15
Avena	71.18	75.06	63.16
Cebada	77.01	82.82	83.71
Centeno	81.55	75.92	80.47
Trigo	78.51	74.31	75.53

CUADRO No.12

 Digestibilidad del Forraje Hidropónico a los 11,13 y 15 días a la cosecha.

Especies	Día 11	Día 13	Día 15
Avena	50.69	52.03	50.40
Cebada	40.10	40.60	37.15
Centeno	46.21	48.70	36.33
Trigo	62.67	65.77	64.38

CUADRO No. 13

Proteína Cruda del Forraje Hidropónico a los 11,13 y 15 días a la cosecha.

Especies	Día 11	Día 13	Día 15
Avena	6.50	4.84	4.87
Cebada	5.88	4.92	5.06
Centeno	6.47	5.35	4.97
Trigo	5.39	5.07	4.71

COSTOS DE INVERSIÓN DE CAMARA TIPO RUSTICO DE FORRAJES VERDES HIDROPONICOS.

Concepto de Inversión.	Especificaciones.	Precio.	Unidades Requeridas.	Costo total.
Plástico térmico	Calibre 600 Rollo 6.30*75mt.	\$1850.0	6.30*5.30mt.	\$130.73
Tablones de madera		\$144.0	8 polines	\$1152.00
Clavos	Para madera	\$20.00	.250 gr	\$5.00
Corcholatas	De refresco	-----	50	-----
Tezontle	Rojo	-----	-----	\$50.00
Cable	De dos polos	\$3.0/mt.	15 m	\$45.00
Focos	60 W	\$3.50	6	\$21.00
Soquets	comunes	\$3.00	6	\$18.00
Cinta aislante	mediana	\$5.00	1	\$5.00
Tubo P. V. C.	½ pul. (6mt.)	\$32.00	1	\$32.00
Nebulizadores	sup.de riego 2mt. /unidad	\$6.64	6	\$39.84
Motobomba	.5Hp	\$482.00	1	\$482.00
Tinaco	450lt.	\$530.00	1	\$530.00
Plomería	codos, abraza- deras etc.	\$30.00	---	\$30.00
Termómetro	max. y min.	\$210.00	1	\$210.00
Charoías	0.36*0.59mt. *0.7cm.	\$31.00	110	\$3410.00
Bascula	capacidad 2Kg.	\$210.00	1	\$210.00
Cubetas	cap. 16 lt.	\$5.00	6	\$30.00
TOTAL DE COSTOS DE ADAPTACIÓN.....				<u>\$6400.57</u>

2. - COSTOS DIRECTOS.

Concepto de Inversión.	Especificaciones.	Precio.	Unidades Requeridas.	Costo total.
Mano de obra	1 jornal	\$30.00	½ jornal	\$15.00
Electricidad	mensual	\$20.00	8h.al día	\$ 0.66
Fertilizantes				
Urea	bulto 50k.	\$90.00	49.82 gr	\$ 0.089
Sulfato ferroso	1 Kg	\$8.00	5.27 gr	\$ 0.042
Sulfato de calcio	bulto 50 k.	\$68.50	209.47 gr	\$ 0.286
Sulfato de magnesio	bulto 50 k.	\$110.50	41.03 gr	\$ 0.090
Nitrato de calcio	bulto 50 k.	\$220.00	10.27 gr	\$ 0.045
Acido sulfúrico	6 k.	\$91.20	30 ml	\$ 0.405
Clarasol	½ lt.	\$3.00	10 ml	\$ 0.060
Semilla				
Avena	tonelada	\$1369.00	1k. /charola	\$1.36
Trigo	tonelada	\$1320.00	1k/charola	\$1.32

3. - DEPRECIACIÓN.

Se calculo de la siguiente forma: Dividiendo el costo de la construcción y el equipo entre la vida estimada de servicio.

Costos de adaptación. 2990.57/5años = 598.11
Vida probable

598.11 Depreciación anual.

Costo de charolas 3410/ 10 años =341.00
Vida probable

587.11 + 341.00 = 928.11 Depreciación anual. Misma que puede ser utilizada parcialmente para mantenimiento de la cámara

4. - COSTOS TOTALES.

CONCEPTO	ESPECIFICACIONES	Costo	Costo/día
Mano de obra	2 horas diarias	\$7.50	\$7.50
Agua	Pago bimestral	\$20.00 \$0.33	
Electricidad	Pago mensual	\$20.00	\$0.66
Disolución nutritiva	mensual	\$0.95	<u>\$0.03</u>

Gastos globales. = \$8.52 Los cuales son absorbidos por 110 charolas que es la capacidad de la cámara.

Costos al día por charola = Gastos globales/ No. De charolas

$$= 8.52/110 = 0.07$$

CONCEPTO	ESPECIFICACIONES	Costo/Charola
Semillas	Avena	\$1.36
	Trigo	\$1.32

$$\text{Costo de sostenimiento al día} * \text{Número de días} = 0.07(11) = 0.77$$

$$\begin{aligned} \text{Costo de semilla} + \text{Número de días} &= 1.36 + 0.77 = \$ 2.13 \text{ para Avena} \\ &= 1.32 + 0.77 = \$2.09 \text{ para Trigo} \end{aligned}$$

\$2.13 Costo por charola de F. V. H. De Avena con un rendimiento de 13.8 kilogramos de Materia verde y con un 30.2% de Materia seca esto es igual a 4.17 kilogramos. Esto equivale a un costo de \$0.51 el kilogramo de materia seca.

\$ 2.09 Costo por charola de F. V. H. De Trigo con un rendimiento promedio de 11.44 kilogramos de Materia verde, con un porcentaje de 25.8% de Materia seca, esto es equivalente a 2.95 kilogramos. Esto equivale a un costo de \$0.70 el kilogramo de materia seca.

V. - CONCLUSIONES.

Sobre la base de los resultados obtenidos, mediante estudios bromatológicos y químico proximales; Podemos concluir:

Qué el mayor porcentaje de Digestibilidad se obtuvo con la especie No. 4 (Trigo) seguido de las especies Avena, Centeno y Cebada.

El mayor porcentaje de proteína cruda es obtenido a los 11 días (primera cosecha). Así también podemos concluir que el mayor porcentaje de proteína cruda se obtuvo de la especie Avena.

Al comparar las cuatro especies forrajeras entre si, se determino que con la especie No. 2 (Cebada) se obtiene el mayor % de fibra seguido del Centeno, Avena y Trigo.

La mayor altura de planta se obtuvo con el Centeno seguido de la Cebada, Avena y Trigo.

El factor Peso Fresco se vio influenciado por la variable cosechas presentando el mejor resultado la última que es a los 15 días ya que con esta se obtuvo una mayor cantidad de kilogramos.

Este factor también esta influenciado por las especies siendo, la de mejores resultados la Avena seguida de la Cebada, el Centeno y el Trigo.

En cuanto al porcentaje de humedad podemos mencionar que se obtuvo un menor % de este factor con la especie No.1 (Avena), seguido de la especie No. 4 (Trigo), la 3 (Centeno) y la especie No. 2 (Cebada).

Por todo esto podemos concluir que las especies más convenientes para la producción de F. V. H. resulto ser en cuanto a "calidad", tomando como determinantes el % de digestibilidad, el de proteína cruda y porcentaje de materia seca son el Trigo y la Avena.

Y en cuanto a rendimiento tomando como factores de mayor influencia el peso fresco y el peso seco, obtuvimos los mejores resultados con el Trigo y la Avena.

CUADRO No. 15

Valor nutritivo de pastos de Avena, Cebada, Centeno y Trigo producido en la F. E. S. CUAUTILAN- U.N.A.M.

Contenido	Avena	Cebada	Centeno	Trigo
Digesti.(%)	51%	39.0%	43.0%	64.0%
Proteína[%]	5.40	5.29	5.60	5.06
Fibra (%)	49.9	77.7	67.8	49.9
M.S. (%)	30.2	18.8	20.7	23.8
Altura (cm)	20.6	25.9	26.0	15.8
Peso (Kg)	13.8	13.6	12.4	11.4

En lo que se refiere a la evaluación económica podemos concluir que la propuesta es buena.

Consideramos que es rentable y que todavía los costos directos los podemos reducir, hasta en un 50 % si eliminamos el sueldo del jornal y fuera el productor quien invirtiera su propia fuerza de trabajo

Y de esta manera el productor tendrá un ahorro en su costo de producción enfocada a la alimentación de su ganado.

VI - COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES.

Con la producción de forrajes hidropónicos no proponemos descartar los tradicionales sistemas de producción por el contrario lo recomendamos cuando los sistemas antes mencionados sufran de retroceso en la producción por causas climáticas o en los lugares que geográficamente no son aptos para la agricultura tradicional.

En el Sistema hidropónico no se excluye a ninguna especie forrajera, la única limitante, será la disponibilidad de la semilla, pues la utilización de las especies Avena, Cebada, Centeno y Trigo fue debido, básicamente a que se pueden conseguir fácilmente en la zona.

Respecto a la solución nutritiva sugerimos se cambie la fuente y las ppm de Nitrógeno para de esta manera obtener índices mayores de Proteína, Ya que tomando como fuente la Urea, (fuente de $N NH_4$) la planta será sometida a un proceso fisiológico más complejo, Por lo que ,sugerimos consulte en el capítulo 2 las fuentes diversas de Nitrógeno existentes, en el mercado.

Es importante recordar que esta fuente de alimento, sugerimos sea complementada con alimento o forraje disponible en la zona, puesto que es importante no perder de vista que el F.V.H. es un complemento y no un sustituto de la dieta diaria del ganado. Aunque en casos extremos podemos permitirnos alimentar a los animales única, y exclusivamente con este alimento.

Se propone que el presente trabajo sea base de futuras investigaciones que no solo abarque la valoración cualitativa y cuantitativa de los nutrientes contenidos en el forraje sino también la biodisponibilidad (desdoblamiento y absorción del alimento), en el metabolismo animal.

VII ANEXOS.

ALTURA DE PLANTA

CUADRO No. 9ª

Análisis de Varianza para Altura factor Especies

F.V.	Error	S.C	C.M.	F.C.	F.T.
Tratamiento	3	649.5475	216.5158	258.0556	.00001
Error	32	26.8489	.8390		
Total	35	676.3964			

CUADRO No. 9 b

Prueba de Tukey para Altura factor especies

Media	ESPECIE	
15.8444	Grp 4	
20.6222	Grp 1	*
25.9778	Grp 2	**
26.0778	Grp 3	***

Subgrupo 1

Grupo	Grp 4
Media	15.8444

-

Subgrupo 2

Grupo	Grp 1
Media	20.6222

Subgrupo 3

Grupo	Grp 2	Grp 3
Medias	25.9778	26.0778

- PESO FRESCO.

CUADRO No. 10 a,
Análisis de Varianza para P. F. factor especies.

F.V.	Error	S.C.	C.M.	F.T.	F.C.
Tratamiento	3	34.2119	11.4040	10.1094	.0001
Error	32	36.0978	1.1281		
Total	35	70.3097			

CUADRO No. 10 b
Prueba de Tukey para el factor especies

Medias	ESPECIE	
11.4444	Grp 4	
12.4333	Grp 3	
13.6778	Grp 2	*
13.8333	Grp 1	**
Subgrupo 1		
Grupo	Grp 4	Grp 3
Medias	11.4444	12.4333

Subgrupo 2		
Grupo	Grp 3	Grp 2
Medias	12.4333	13.6778

Subgrupo 3		
Grupo	Grp 2	Grp 1
Medias	13.6778	13.8333

CUADRO No. 10 c
Análisis de varianza para el peso fresco del F.V.H. factor cosechas.

F.V.	Error	C.M.	S.C	F.C.	F.T.
Tratamiento	2	34.6156	17.3078	16.0014	.00001
Error	33	35.6942	1.0816		
Total	35	70.3097			

CUADRO No. 10 d,
Prueba de Tukey para P. F. factor cosechas.

Medias	COSECHA	
11.6750	Grp11	
12.7917	Grp13	*
14.0750	Grp15	**
Subgrupo 1		
Grupo	Grp11	
Media	11.6750	

Subgrupo 2		
Grupo	Grp13	
Medias	12.7917	

Subgrupo 3		
Grupo	Grp15	
Medias	14.0750	

HUMEDAD

CUADRO No. 11
Análisis de Varianza para % de Humedad factor especies.

F.V.	Error	C.M.	S.C.	F.C.	F.T.
Tratamiento	3	673.5986	224.5329	3.4412	.0282
Error	32	2087.9671	65.2490		
Total	35	2761.5657			

CUADRO No. 11 B,
Prueba de Tukey para % de humedad factor especie.

Media ESPECIE

69.8043	Grp 1	
76.1232	Grp 4	
79.3220	Grp 3	
81.1854	Grp 2	*

Subgrupo 1

Grupo	Grp 1	Grp 4	Grp 3
Medias	69.8043	76.1232	79.3220

Subgrupo 2

Grupo	Grp 4	Grp 3	Grp 2
Medias	76.1232	79.3220	81.1854

DIGESTIBILIDAD

CUADRO No. 12
Análisis de varianza para la digestibilidad del F.V.H., factor especies

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	Probabilidad
Tratamiento	3	.3223	.1074	31.4835	.00001
Error	32	.1092	.0034		
Total	35	.4315			

CUADRO No. 12
Prueba de Tukey para digestibilidad factor especies.

.3929	Grp 2	
.4375	Grp 3	
.5104	Grp 1	*
.6428	Grp 4	***

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Subgrupo 1
Grupo Grp 2 Grp 3
Media .3929 .4375

Subgrupo 2
Grupo Grp 3 Grp 1
Media .4375 .5104

Subgrupo 3
Grupo Grp 4
Media .6428

PROTEINA

Cuadro NO.13 a

Análisis de Varianza para Proteína cruda del F.V.H., factor cosechas

F.V.	Error	S.C	C.M	F.C.	F.T.
Tratamiento	2	9.5460	4.7730	6.9046	.0031
Error	33	22.8120	.6913		
Total	35	32.3580			

CUADRO No. 13 b

Prueba de Tukey para PROTEINA CRUDA por el factor cosechas.

Media COSECHA
4.9080 Grp15
5.0503 Grp13
6.0645 Grp11 **

Subgrupo 1

Grupo Grp15 Grp13
Media 4.9080 5.0503

Subgrupo 2

Grupo Grp11
Media 6.0645

CUADRO No. 14^a

Análisis de Varianza para F. D. A. Factor especies

F.V.	Error	S.C.	C.M.	F.C.	F.T
Tratamiento	3	5147.4451	1715.8150	4.8590	.0068
Error	32	11299.8245	353.1195		
Total	35	16447.2696			

Cuadro No. 14 b

Prueba de Tukey para F. D.A. para el factor especies

Medias ESPECIE

49.8475 Grp 4
 49.9612 Grp 1
 67.8678 Grp 3
 77.7037 Grp 2 **

Subgrupo 1

Gropo	Grp 4	Grp 1	Grp 3
Medias	49.8475	49.9612	67.8678

Subgrupo 2

Grupo	Grp 3	Grp 2
Medias	67.8678	77.7037

CUADRO No. 15

Análisis de varianza para cenizas del F.V.H. factor cosechas

F.V.	Error	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.
Tratamiento	11	.0012	.0001	0.75	.6819
Error	23	.0036	.0001		
Total	34	.0048			

Prueba de Tukey de Cenizas del F.V.H. factor especies.

Media	Especie
.0227	Avena
.0255	Cebada
.0180	Centeno
.0206	Trigo

VIII BIBLIOGRAFIA.

Alexopoulos C. S. 1985 Introducción a la micología Ed. Omega Barcelona España.

Anónimo, Agrosíntesis 1981; La pradera de probeta revoluciona la ganadería Vol. 12 No. 4, México.

Anónimo, Agrosíntesis 1981; La Pradera de probeta revoluciona la ganadería. 12 (7): México.

Anónimo, Agrosíntesis, 1982; Cultivo sin suelo "Hidroponía" Vol. 13 No. 9 México

Anónimo, Criadero La Fortuna 1985, . S.f. Pradera Mágica. Circular a cargo de Ed. Dalco (Km 5, carretera Puebla- Atlixco) México.

Azcarate G. J. ,1985; Normas Elementales de Alimentación del Ganado Vacuno, Madrid España

Bidwell R.G.S. 1994 Fisiología vegetal AGT Editor S.A.

Briggs, D. E. 1978, Barley Edited By Champman and Hahh Ltd. New York Estados Unidos

Bueno S. G. 1993, Efecto de la distancia entre plantas sobre el rendimiento forrajero y calidad nutritiva de dos variedades de girasol (*Helianthus annuus*, L.) establecido bajo condiciones de temporal en Ajuchitlan Edo. De Guerrero. Tesis F. E.S. C; U. N. A. M

Calderón F. Cultivos Hidropónicos 1991No. 1COLJAP VER. Bogotá Colombia.

Calderón F. Cultivos Hidropónicos 1991No. 9 COLJAP VER. Bogotá Colombia.

-Calva J. L. 1993, La Disputa por la Tierra; Ed. Fontanamara México:

Douglas S. J. 1976 Advance Guide To Hydroponics Soilles Cultivación Pelham Books: London

Frank B. M. 1985 alimentos y Alimentación del ganado tomo I, fundamentos de la nutrición animal, Productos alimenticios, Unión tipográfica Editorial México.

García E.,1973 Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. Dirección General de Publicaciones U.N.A.M. México .

Gómez Ch. Ma. C. 1990; Evaluación de la calidad nutritiva de forraje hidropónico de cebada obtenidos en condiciones de campo en el poblado de Ixtahuaca de Cuatemoc municipio de Temascalapa. México, Tesis de la F.E.S.C; U.N.A.M.

- Guzmán, J. B. A. 1979 Study on the grown, yield, chemical composition and cellulose digestibility of fodder crops under hydroponic (Bengal) and conventional soil systems. National Bairy Res. Inst; Karnal, Haryana, India Thesis Abstract 5 (1): 15.
- Hernández H. J.N. 1981; Estudio de factibilidad económica para la producción de forrajes en cultivos hidropónicos en una cámara comercial tesis Tecnológico de Monterrey México.
- Islas A. C .H. 1993 ,Producción de chile habanero (*Capsicum sinense* Jacq) en hidroponía bajo condiciones de invernadero, en Tecuila Texcoco, Edo. De México, Tesis Chapingo.
- Jean D. 1980; Producción de forrajes, Ed. Mundi- Prensa Madrid España.
- Jiménez M., A. 1985, Producción de Forrajes. Apuntes de clases del departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma, Chapingo, México .
- Kresnoshchenko, N. V. 1978 Enns, I. Ya. Forage crops-all the year round. Technika v Sel'skom Khozyaistve (ex URSS)
- Lira S.R. H. 1994, Fisiología vegetal Ed, trillas México.
- Martínez M. R. 1994; Capacidad Productiva de híbridos trilineales experimentales de maíz (*Zea mays*) L.) pumas en Valles Altos Tesis F.E.S.C., U.N.A.M
- Maynard A. L. 1981 Nutrición animal Septima edición , México.
- Migliorini F., 1984 El cultivo rentable de las plantas forrajeras, Ed. De Vecchi, S.A.
- Morrison F. B. 1977 Compendio de alimentación del ganado Ed. UTEHA, México.
- Noguez H. R. 1996; Poda y densidad de plantación de jitomate (*L. esculentum* Mill) cultivo en Hidropónia Tesis F. E. S. C. , U. N. A. M.
- Orozco L. F. Revisión 1990.
- Pérez L. I. 1987; Producción de Forrajes en hidroponía, Chapingo México
- Resh M. 1992; Cultivos Hidropónicos Ed. Mundi-Prensa Madrid España .
- Robles S. R. 1991; Producción de granos y forrajes De. Noriega UTEHA 5 edición México.
- Rojas G. M. 1980 Fisiología vegetal aplicada Mc GrawHill.
- Salisbury B. F.; 1994 Fisiología Vegetal Grupo editorial Iberoamericano.

San Miguel F. J. 1982; Evaluación del consumo de pasto hidropónico en borregos pelibuey de engorda. Tesis Ing. Agr. Zootecnists. ITESM- Div. de Ciencias Agrícolas y Marítimas. Monterrey, N.L. México.

Sánchez del C. F. y Escalante E. R. 1988 ; Principios y métodos de cultivos hidropónicos Ed. Patuach. Chapingo México .

Sánchez M., A y Sánchez 1981; Producción Intensiva de forrajes en hidroponía. . Tesis Ing. Agrónomo especializado en Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo México.

Secretaria de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural, 1998;Centro de Estadísticas Agropecuarias ; Consumo aparente de productos agrícolas 1925 – 1997. México.

Tejada H. I. 1985, Manual de Laboratorio para análisis de ingredientes utilizados en la alimentación animal., México.