

300627

4



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE QUIMICA
Incorporada a la U.N.A.M.

Situación Actual del Alga Spirulina en la Alimentación

EJEMPLAR UNICO

T E S I S

Que para obtener el título de:
QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO
p r e s e n t a :
ROCIO DEL CARMEN SALAS LISCI

NOTA: TESIS NOJADA Y MANCHADA

2002

México, D. F.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

**TESIS CON
FALLA DE
ORIGEN**

Con cariño y agradecimiento

A mi madre.

A Fernando, mi gratitud por su apoyo y dedicación.

Mi reconocimiento

a mis maestros.

Así como a todas las personas que me ayudaron en alguna forma para realizar este trabajo.

Este trabajo se realizó gracias a la información y ayuda que me facilitó el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Texas en Austin.

I N D I C E

	Página
CAPITULO I	
INTRODUCCION	6
Generalidades	14
CAPITULO II	
VALOR NUTRICIONAL.	22
Análisis para la Composición Química y Calidad Pro tética	25
Proteínas	26
Lípidos	38
Vitaminas	40
Pigmentos	40
Digestibilidad	41
Valor Biológico	41
Efectos Secundarios Provocados por Ingestión de <u>Spirulina.</u>	42
Metabolismo y Constituyentes Celulares	42
CAPITULO III	
PRODUCCION	43
Cultivo y Cosecha.	45
Cultivo en Pequeña Escala de <u>Spirulina</u>	46
Cultivo a Gran Escala de <u>Spirulina</u>	57
Costos de Producción	72
Industrialización.	76
Métodos de Incorporación de la <u>Spirulina</u> a la Die- ta Humana	81

	Página
a) Incorporación a Productos de Cereal Horneado. . .	82
b) Incorporación a Productos Lácteos	84
c) Incorporación a Carnes	85
d) Incorporación a Mezclas Vegetales	86
e) Incorporación a Especies.	87
Aceptación de la <u>Spirulina</u>	87
Sugerencias	89
Ejemplo de una Receta a Base de <u>Spirulina</u>	90
CAPITULO IV	
CONCLUSIONES	92
BIBLIOGRAFIA	94

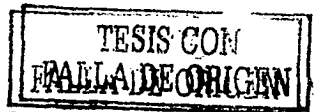
CAPITULO I

I N T R O D U C C I O N

Entre muchos alimentos extraños que encontraron los conquistadores de México durante el siglo XVI había una sustancia verde cosechada del Lago de Texcoco que los Aztecas llamaron "Tecuitlatl".

Aunque los Aztecas obviamente disfrutaban de la Spirulina su nombre Tecuitlatl se traduce literalmente como "excremento de piedra". Resulta curioso que un alimento tan popular se le denomine con ese nombre. Sin embargo, los excrementos tenían un valor distinto para los Aztecas que para los occidentales de hoy en día. En la ausencia de hervíboros domesticados, los antiguos mexicanos no tenían estiércol para fertilizar y utilizaban el excremento humano en su lugar. Como la tierra era una Diosa Madre para los Aztecas y el excremento era la única forma práctica de renovar la tierra, al excremento se le veía como una ofrenda para los dioses. El náhuatl (lengua de los Aztecas) contenía muchas palabras derivadas de Cuitlatl (o "excremento") ninguna de las cuales tiene sentido negativo (10).

Los habitantes indígenas cultivaron Spirulina en el antiguo Lago de Texcoco que rodeaba la ciudad de Tenochtitlán, y hoy en día en algunos mercados mexicanos todavía se puede encontrar un alimento similar al pastel de "Tecuitlatl" de los Aztecas, a base de alga Spirulina. El alga puede haber pasado



por la ruta de la esclavitud desde la costa de Guinea hasta el Lago Chad, aunque no hay evidencia de que así haya sido. Aunque la Spirulina se presenta naturalmente en el Lago Chad, también es posible que los Kanembu hayan descubierto su valor nutritivo por sí solos (63).

La sustancia se vendía en mercados de toda la República y frecuentemente se comía con maíz y otros cereales locales o en una salsa llamada "Chilmolli" preparada con tomate, chiles y diversas especias. El Chilmolli resultó ser el antepasado del mole en la cocina mexicana actual.

Si la Spirulina se hubiera importado a México sería irónico pensar que los grupos étnicos locales no la hubieran incorporado a su dieta.

Cuando los españoles llegaron a México la Spirulina se cultivaba regularmente en el Lago de Texcoco. En el Siglo XV el rey poeta Netzahualcoyotl construyó un sistema de puentes sobre el lago, y como resultado la capital Azteca se rodeó de grandes porciones de agua lodosa de baja concentración, denominados "chinampas". De un lado del dique los indios cultivaban maíz, frijol, calabaza, tomate, chile y otras verduras. Del otro lado, crecía la Spirulina (42) (100).

A los españoles nunca les gustó el Tecuitlatl como alimento, pero reconocieron que los indios lo consideraban delicioso y que lo consumían y comercializaban en grandes cantidades. Tampoco tenían los españoles ninguna idea sobre su correcta clasificación. Reportaron que el Tecuitlatl crecía en el Lago de Texcoco, pero lo llamaron "Lodo", y por lo

tanto, lo clasificaron como mineral de la tierra conquistada, Reconocieron que el lodo verde alimentaba pájaros además de humanos, atrayendo a millones de aves al gran lago que antiguamente cubría la mayoría del valle central y que rodeaba la capital Azteca de Tenochtitlán (33).

Fray Toribio de Benavente (Motolinía) llegó al Valle de México en 1594 y describió una cosecha de Tecuitlatl de la siguiente forma:

"Crece en el agua del lago de México, un lodo muy fino en determinada época del año, y cuando está más espeso los indios lo recolectan con una red muy fina hasta que sus canoas se llenan del lodo; en la orilla hacen una masa con arena de cuentas muy finas de 3.5 a 5.0 m de ancho y un poco menos de largo y lo ponen a secar hasta que se hace un pastel de 3.5 cm de grueso. En unos días se seca hasta el grosor de una moneda gastada y se rebana en pasteles parecidos a los ladrillos. Los indios lo comen con gozo y este producto se intercambia por otras mercancías así como el queso entre los españoles. Los que gustan de los condimentos indios lo encuentran sabroso y ligeramente salado" (96) (75).

De acuerdo con archivos antiguos, el Tecuitlatl se consumía y se vendía después de la conquista española. Un siglo más tarde, había desaparecido de los registros de comercio de la Ciudad de México, pero no de la dieta de los indios que residían a orillas del Lago de Texcoco (43).

A pesar de su importancia evidente, el Tecuitlatl no logró sobrevivir las rápidas transformaciones ecológicas y sociales que se iniciaron con la conquista de los españoles. Para controlar las inundaciones en el Valle de México, los españoles drenaban el sistema de los lagos aztecas. La agricultura basada en los lagos del tipo de Chinampas dejó de ser económicamente importante. Los lagos ricos y productivos de entonces se convirtieron en las planicies salinas y polvos de los tiempos modernos. Lo que en alguna época fué un lago dividido con agua dulce para la agricultura y agua salada para la algocultura, es hoy una planicie seca. El comercio del Tecuitlatl murió, pero la Spirulina sobrevivió en los restos de los lagos de Texcoco. Los científicos de "Sosa Texcoco, S. A.", que es la compañía que mantiene la concesión para la producción de sosa de esta zona, se dieron cuenta de la existencia de la Spirulina en la década de 1960. Dichos científicos supieron que algunos indios que vivían en la orilla del lago cosechaban todavía Tecuitlatl (84).

Mucho del desarrollo técnico y comercial de la Spirulina hoy en día, se le atribuye al "Instituto Francés del Petróleo" (IFP) y sus colaboradores internacionales.

Sosa Texcoco actualmente ha desarrollado el cultivo de la Spirulina por su cuenta; empezó este trabajo en colaboración con el IFP y es actualmente el mayor productor de - - Spirulina: de 1 a 5 toneladas por día, en condiciones seminaurales.

Además, Sosa Texcoco ha desarrollado un gran número de

evaluaciones importantes sobre nutrición y aceptación de la Spirulina.

Cuando las pruebas hechas en México confirmaron los resultados de los franceses, en el sentido de que la Spirulina tiene la misma calidad que la proteína del huevo y gran riqueza de vitaminas y minerales, se decidió producir Tecuitlatl para venta comercial (10).

El interés en las algas microscópicas se inició a principios de 1940 cuando Alemania y Estados Unidos estaban interesados en estudios de fotosíntesis para los cuales el alga es un buen modelo experimental. Los resultados demostraron que las Clorofíceas (algas verdes) y las Cianofíceas (algas azul-verdosas) podrían utilizarse como fuentes alimenticias (47), en vista de que tenían un alto contenido proteico, una porción comestible de 100% y una relación grande entre la superficie y la masa (lo cual da tasas de crecimiento mayores que los de cualquier otra planta superior). Sus requerimientos de cultivo son muy simples y su producción es más eficiente que la agrícola, lo cual da la facilidad de control y por lo tanto permite la selección de características deseables.

Algunas Clorofíceas (Chlorella, Scenedesmus, etc.), han sido estudiadas del punto de vista nutritivo (9). Aunque la calidad de sus proteínas es bastante buena, son pobres en Aminoácidos azufrados. Además, el mal sabor parece ser la barrera principal para la explotación del alga verde como alimento humano. Por ello, la Spirulina se ha considerado como

la mejor opción para la obtención de proteína unicelular.

El análisis químico ha revelado que la Spirulina contiene de 65 a 70% de proteína, porcentaje mayor a cualquier otro alimento natural. También contiene los ocho aminoácidos esenciales, ácidos grasos no saturados y siete de las principales vitaminas: A, B₁, B₂, B₆, B₁₂, C y E.

Grandes cantidades del alga aparecían naturalmente en el Lago de Texcoco, donde podía cultivarse durante casi todo el año.

La identificación tentativa del alga se hizo en la década de 1940, por el arqueólogo sueco Sigvald Linne, debido a que muy pocos expertos habían empezado a considerar el alga como fuente de alimentación.

El verdadero éxito de la identificación del Tecuitlatl no se hizo en México, sino en África. Durante la década de 1950, el deseo mundial de encontrar nuevas fuentes de proteína para alimentar a la población humana llevó a los investigadores a estudiar las posibilidades de la algocultura en gran escala. En 1963 el IFP se interesó en algunos reportes respecto a un pastel hecho con el alga seca y llamado "Dihe" que comían los pueblos de la orilla del Lago Chad, en África (20).

Mientras los franceses experimentaban con cultivos de Spirulina en condiciones de laboratorio, los belgas descubrieron por otro lado el Dihe y reportaron técnicas indígenas de algocultura. Jean Leonard, un botánico civil que estuvo en una expedición militar belga, en 1964, y que cruzó el Sahara

desde el Atlántico al Mar Rojo, se interesó en los pasteles de Dihe que vió en los mercados en la región de Kanem, en Fort Lamy, al noroeste del Lago Chad y que eran comidos por la tribu "Kanembu", quienes obtenían la mayoría de las proteínas para su alimentación a partir de la Spirulina (60). La salud de este pueblo, especialmente con respecto a la incidencia de Kwashiorkor en tribus cercanas que no ingieren el alga, refleja el potencial de la Spirulina para corregir la desnutrición (23). Los vientos empujan el alga hacia la orilla del lago, donde se juntan y se concentra en una masa espesa. Mujeres con palas arrastran la masa de alga a depresiones circulares en la arena donde la dejan secar al sol. Conforme se convierte en una gelatina azul-verdosa, la superficie brillante se suaviza a mano y se marca en cuadros. Cuando la mayor parte del alga se ha evaporado o filtrado en la arena, los cuadrados se levantan, se secan en tapetes y se cortan en pasteles pequeños, planos y frágiles. Los Kanembu comen Dihe en una salsa espesa y picante hecha con tomates, chile y varias especias, como alimento principal en la dieta de la región (61).

La similitud entre el Dihe cocinado con chiles y tomates y la salsa azteca Chilmolli es inevitable. Los chiles y tomates son nativos de México y sus precursores no crecen en forma natural en el Africa: ambos se han abierto camino como resultado del comercio de esclavos. El Tecuitlatl puede haber seguido la misma ruta, ya que los barcos que llevaban esclavos al Nuevo Mundo regresaron a Africa con maíz y tabaco,

los que fueron rápidamente adaptados por culturas nativas como un alimento compacto de alta energía que no se estropea y que es fácil de transportar. El Tecuitlatl puede haberse llevado a África como alimento para los esclavos durante el viaje (38).

Desde hace mucho tiempo resultó obvio que los métodos convencionales de agricultura, aunque pueden mejorar su rendimiento mediante tecnologías modernas, son insuficientes para proporcionar toda la proteína necesaria para la población rápidamente creciente del mundo. Entre las fuentes no convencionales de proteína, los microorganismos han recibido atención especial. En 1968 se organizó una conferencia en el Massachusetts Institute of Technology sobre microorganismos (66) y muchas de las experiencias con éstos se han discutido bajo el nombre de "Proteína Unicelular" (PUC).

Algunos de los congresos, simposios y foros internacionales sobre nuevas fuentes de proteína donde se han discutido las propiedades del alga Spirulina son los siguientes (64):

- 1) Tercer Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos en Washington, D. C. (EUA), en Agosto de 1970.
- 2) Noveno Congreso Internacional de Nutrición en México, D.F. (México), en Septiembre de 1973.
- 3) Conferencia Internacional de Proteínas en Cambridge, Massachusetts (EUA), en Mayo de 1973.
- 4) Cuarto Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos en Madrid (España), en Septiembre de 1974.

- 5) Simposium de Sustratos de Protefna Unicelular, presentado en el Primer Congreso Químico de Norte América, en México, D. F., en Diciembre de 1975.
- 6) Conferencia Técnica de la F.A.O. sobre Acuacultura en Kyoto (Japón), en Mayo de 1976.
- 7) Seminario Europeo sobre Sistemas Biológicos de Conversión de Energía Solar en Grenoble-Antrons (Francia), en Mayo de 1977.
- 8) Noveno Simposium Internacional sobre Algas en Santa Bárbara, California (EUA), en Agosto de 1977.

El presente trabajo se ha desarrollado para recopilar distintas fuentes de información, en apoyo del interés mundial de encontrar nuevas fuentes de protefna que ayuden a aliviar el problema de la desnutrición.

GENERALIDADES SOBRE EL ALGA SPIRULINA

El antiguo Tecuitlatl se ha identificado como el alga azul-verde Spirulina geitlerlei, que es un alimento nutritivo y barato, que puede ayudar a combatir la desnutrición en el mundo moderno. Sus fósiles son conocidos desde el Paleozoico. Son más abundantes en aguas dulces que en mares. La estructura simple unicelular es una evidencia de su naturaleza primitiva. La mayoría de las células están rodeadas por una vaina gelatinosa que retiene el agua.

La Spirulina es un alga Cianofceca, que se presenta bajo la forma de un filamento en forma de elipse, tiene sólo 10 micras de ancho y una longitud de 0.025 mm (81), son

procariotes, es decir que no muestran un núcleo definido, con membrana celular y nucleolo, sino que el material nuclear está disperso en una región que ocupa generalmente el centro de la célula. Los pigmentos celulares de estas algas son clorofila, carotenoides y un pigmento azul o ficocianina, que no están organizados en cloroplastos, sino que están distribuidos difusamente en la parte externa del citoplasma. La reproducción se efectúa únicamente por medios asexuales. No hay células flageladas de ninguna especie. La reserva alimenticia de estas algas es un carbohidrato parecido al almidón (8).

Las algas son organismos de gran importancia biológica y económica. Todas ellas, por tener clorofila, efectúan la fotosíntesis en presencia de la luz, y por lo mismo, son capaces de elaborar sustancias orgánicas nutritivas que aprovechan en su alimentación y además, liberan oxígeno, que emplean los animales para la respiración (15).

Un filamento del alga Spirulina está formado por un número de células con paredes delgadas con muy poca celulosa (20%), lo que hace que el alga sea fácil de digerir por el hombre (97).

El alga Spirulina, puede ser fotosintética y estrictamente autótrofa, sólo requiere nutrientes inorgánicos (como fertilizantes); sin embargo, es mucho más resistente a la alcalinidad que otras algas y que la mayoría de las plantas. Habita en los mares naturales poco profundos, con fuerte alcalinidad, salinidad elevada y una temperatura de 35°C.

La proteína del alga como fuente de alimentos no convencionales, no es el resultado de descubrimientos científicos recientes. Se piensa que las algas fueron los primeros fotosintetizadores durante millones de años, cuando ayudaron a modificar la atmósfera original de lejanos tiempos, rica en C^{12} y C^{13} , isótopos estables del Carbono.

Se consumen aproximadamente cuarenta variedades de algas marinas macroscópicas hoy en día en Japón, China, Corea y Filipinas. Nutritiva y económicamente, las algas alimenticias más importantes en Japón hoy en día son (72.5):

Porphyra, Laminaria y Undaria, conocidas popularmente como Nori, Kombu y Wakane respectivamente. Estas algas crecen durante todo su ciclo activo en su ambiente marino y natural y a veces en países susceptibles se cultivan en áreas terrestres llamadas "criaderos".

Otra área del mundo en la que las algas marinas han tenido importancia histórica en la dieta humana es la de Inglaterra y países Escandinavos. Durante siglos el alga roja Chondrus crispis ha sido importante como una base para sopas en pueblos costeros. Cuando se establecieron los pueblos del continente Norteamericano, el alga era un alimento común para los pioneros.

Un alga que promete ser un contribuyente vital a la fuente de alimentos y de proteínas en el mundo es el alga azul-verdosa multicelular del género Spirulina.

Los registros de las expediciones de Cortés indican que los indios aztecas comían el alga azul-verde y se sabe también

que las tribus africanas comían un alga similar (9).

El alga Spirulina consumida durante siglos en México y África posee las cualidades deseables de alto contenido proteico y crecimiento rápido, y no tiene la pared celulósica que comúnmente se encuentra en el alga verde y que produce bloqueo intestinal y diarrea.

Se ha visto que la Spirulina es mucho más adaptable a condiciones de cultivo masivo y mucho más económica que lo que se había determinado con Clorella.

La población del mundo ha sobrepasado los 4.5 mil millones de seres humanos (37) y aumenta a una velocidad de 58% anual. El suplemento alimenticio se debe duplicar en los próximos 30 años para que la gente en el mundo pueda mantener sólo su dieta actual que, a la fecha, resulta inadecuada en muchos países (2,79).

Actualmente, un octavo de la población sufre de desnutrición. Mil millones de seres humanos tienen dietas bajas en proteínas y se estima que 400 millones tienen insuficiente consumo de calorías (1).

Los científicos predicen que habrá en el mundo en un futuro un periodo de hambre, y la población sobrepasará por mucho la producción de alimentos en muchas áreas subdesarrolladas. Sin embargo, el problema puede aliviarse parcialmente si los esfuerzos actuales en el cultivo masivo del alga en estudio resultan exitosos.

De las proteínas unicelulares, las que parecen tener un buen futuro son aquellas que provienen de las algas que - -

contienen clorofila y por lo tanto, pueden utilizar la energía solar para la síntesis de compuestos orgánicos. No todas las algas verdes pueden ser consumidas por el hombre, ya que necesitan poseer ciertas características, siendo las más importantes: alto contenido de proteínas, buena digestibilidad y ausencia de toxicidad. Además, es importante que su cultivo no presente grandes problemas y tenga buen rendimiento para que su industrialización sea atractiva desde el punto de vista económico. El alga azul-verde, Spirulina, reúne todos los requisitos anteriores (67).

Además, en base libre de agua, la Spirulina tiene de 60 a 70% de proteína. Esta proteína contiene la mayoría de los aminoácidos necesarios para la nutrición humana y animal y se compara favorablemente con otras proteínas vegetales. Su tamaño (0.25 mm de longitud) y su forma helicoidal hacen posible desecharla por filtración.

La Chorella y el Scenedemus, que también se han considerado como posibles fuentes de alimento, deben separarse por centrifugación, que es un proceso caro.

El cultivo de las algas en general, y de la Spirulina en particular, tiene muchas ventajas sobre el cultivo de otras proteínas naturales. Debido a los altos rendimientos del alga, se requiere de una menor superficie para producirla, que para obtener una cantidad equivalente de proteína a partir de frijol de soya, por ejemplo. El alimento de frijol de soya tiene cerca de 44% de proteína. Una de las posibles utilizaciones de la Spirulina es para incrementar el contenido

proteico de forrajes como se utiliza el frijol de soya y por éso la hemos comparado con esta leguminosa. El cultivo del alga no requiere tierra fértil; al contrario pueden aprovecharse terrenos semiáridos y no productivos para la construcción de canales normales que puedan cultivarse de 2 a 3 veces por año; la cosecha del alga es un proceso continuo a lo largo de todo el año (es decir que no hay época en las que solamente pueda cosecharse y otras en las que no). Los nutrientes añadidos a un sistema de cultivo de algas se utilizan completamente mientras los fertilizantes para cultivos de cosechas terrestres se lavan en corrientes o se filtran en las capas superiores de la tierra. Los ingredientes básicos para el cultivo del alga (agua, bióxido de carbono, nitrógeno y luz), son baratos y abundantes.

Para alimentar una población siempre creciente en el mundo y al mismo tiempo elevar los estándares nutricionales de los subalimentados habrá que vencer difíciles obstáculos a menos que se encuentren nuevas alternativas para proporcionar proteínas de alta calidad, necesarias para la vida.

Las formas superiores de vida tales como el hombre, ganado, etc. son por su propia naturaleza incapaces de sintetizar algunos aminoácidos que constituyen a las proteínas. Sólo los vegetales pueden sintetizar todos los aminoácidos esenciales a base de materias primas simples, como nitrógeno inorgánico, agua, bióxido de carbono y luz solar.

Aunque los vegetales superiores han sido cultivados por miles de años, y los vegetales inferiores de crecimiento más

rápido y mayor rendimiento, con alta producción de protefnas, tales como las algas, prácticamente no han sido explotadas comercialmente; la obtención de protefnas en gran escala por medio de dichos organismos, es una de las opciones más promisorias.

Actualmente se pueden identificar dos especies de Spirulina:

Spirulina platensis y Spirulina maxima.

El alga azul-verde Spirulina ha sido objeto de muchas pruebas por un gran número de organizaciones desde que la ciencia la dió a conocer. Se ha determinado su contenido de protefna y el espectro de aminoácidos y de ésta se han estudiado sus características nutritivas por seres humanos, ratas y pollos con algun detalle, aunque desgraciadamente no siempre bajo óptimas condiciones científicas. Por ejemplo, la Spirulina se ha usado para alimentar grupos piloto de bebés, personas desnutridas, atletas y grupos promedio, en experimentos patrocinados por el IFP, quien ha ejecutado también estudios de nutrición animal. La idea general es que la protefna contenida en la Spirulina es de buena calidad, se presenta en forma fácilmente disponible y se digiere con facilidad. No se han encontrado factores tóxicos. Asimismo, ya que el color verde del material puede ser problemático, se han descubierto técnicas relativamente simples para descoloración natural. El sabor es noble y por lo tanto puede modificarse para obtener una variedad de sabores, incluyendo algunos delicados.

A pesar de su larga historia de uso inocuo por seres

humanos y de las numerosas pruebas de nutrición humana que se han hecho, el uso de Spirulina como alimento animal sin duda presenta un mercado más adecuado y con menos problemas de aceptación.

El pueblo japonés es conocido por incorporar desde hace muchos años dicha alga a su dieta.

Además de poder proporcionar información para evaluar sus posibilidades para la nutrición humana, el uso de Spirulina como alimento animal puede liberar algunos de los productos tradicionales usados para alimentar animales, tales como frijol de soya y otros granos, permitiendo que éstos se utilicen más directa y eficientemente en la dieta humana. Además, se espera que en el futuro cercano la Spirulina se convierta en alimento proteico de consumo humano (21).

CAPITULO II

VALOR NUTRICIONAL

El Instituto Nacional de Nutrición, a través de su División de Nutrición, ha establecido una serie de experimentos para evaluar las propiedades nutritivas de la Spirulina para su posible consumo en los seres humanos (10).

El estudio comprende las siguientes etapas: determinación de la composición química del alga, estimación de la calidad de sus proteínas y evaluación de la tolerancia en ratas, mediante dietas ricas en Spirulina en un concentrado proteico utilizado para suplementar cereales. Los análisis normalmente se efectúan con muestras de Spirulina que ha sido secada por aspersion y cuya calidad ha sido estandarizada. También se efectúan con muestras del alga proveniente del Lago Chad y procesadas en la planta del IFP, para fines de comparación.

El rendimiento normal es de 14 gramos de alga seca/m²/dfa, o sea 50 toneladas/hectárea/año, equivalentes a 32 toneladas de proteína seca por hectárea por cada año. Este es un rendimiento muy impresionante, especialmente cuando se le compara al de otros productos agrícolas: por ejemplo, el rendimiento de maíz en muchos países desarrollados es entre 50 y 400 kilogramos de proteína/hectárea/cosecha. Se piensa que la mitad del requerimiento diario de proteína en el hombre para la población del mundo entero podría obtenerse a partir de

una superficie del tamaño del condado de Essex en Inglaterra, utilizando protefnas a partir de algas. Este hecho hace muy promisorio el estudio de Spirulina como fuente de protefna unicelular (47).

Uno de los problemas más grandes a los que se enfrenta gran parte de la humanidad es la insuficiente disponibilidad de protefnas de buena calidad (tales como las de leche, carne o huevo), que son escasas y con frecuencia están mal distribuidas entre los sectores de la población por su elevado costo. Las técnicas modernas de cultivo, transporte, almacenamiento y tecnologfa de alimentos han disminuido un poco el problema de la escasez de protefnas, pero han sido insuficientes para su resolución total. Esta situación ha hecho volver la vista hacia otras fuentes de protefna que han sido poco usadas en la alimentación humana. Se han estudiado muchos recursos y los que parecen tener mayores posibilidades son las harinas de las semillas oleaginosas (como la soya, cacahuete y algodón), el concentrado protéico de pescado (también llamado harina de pescado) y las protefnas unicelulares (aquellas que provienen de las algas microscópicas como la Spirulina, bacterias, hongos, protozoarios y levaduras) (67).

Al crecer el interés de la Spirulina como fuente alimenticia, crece la importancia del conocimiento detallado de los constituyentes celulares del alga para conocer su papel potencial en la nutrición humana. La Spirulina posee la organización celular procariótica peculiar de las cianofitas,

aunque la composición exacta de los nutrientes en las células varía con las condiciones de extracción y cultivo. Las proporciones de los mayores elementos constituyentes son como sigue: 65% de materia protéica, de 16 a 18% de carbohidratos, de 2 a 3% de lípidos y también contiene Ca, K, Fe, F y Na, o sea todos los minerales vitales para el mantenimiento del control muscular y el mantenimiento del tejido vivo (14).

La composición química de la Spirulina revela un alto contenido de proteína de excelente calidad, un contenido moderado de lípidos (predominando los ácidos grasos esenciales, particularmente el ácido gamalinoléico), un contenido moderado de carbohidratos de bajo poder calórico, un contenido bajo de ácidos nucleicos (característico en los vegetales), minerales nutritivos y cantidades importantes de vitaminas (en particular B₁₂ y E) (64) (104).

La Spirulina no es tóxica y cumple con todos los requerimientos sanitarios, ya que el contenido de metales pesados es prácticamente nulo y está totalmente libre de plaguicidas. Sin embargo, durante los últimos cinco años se ha estado comprobando que la producción se ve ligeramente afectada por las estaciones del año, aunque no se han encontrado factores tóxicos (104) (29).

PROPIEDADES FISICAS

Apariencia:	Polvo fino
Color:	Verde oscuro
Olor y Sabor:	Parecido a vegetales marinos
Densidad:	0.5 g/l
Tamaño de partícula:	9-25 micrones

ANALISIS PARA LA COMPOSICION QUIMICA Y CALIDAD PROTEICA

(89.52).-

Para obtener la protefna, se mide el nitrógeno por el método Macro-Kjeldahl y el resultado se multiplica por 6.25. Dicho factor se usa porque se sabe que la Spirulina tiene un contenido bajo de nitrógeno no protéico. Los lípidos, cenizas y fibra cruda se determinan con los métodos de la AOAC (4) y la humedad se estima por técnicas de calentamiento directo. El triptófano se determina por el método de Spies y Chambers (106) y el resto de los aminoácidos se miden con un analizador de aminoácidos automático tipo Beckman modelo 116. La UNP (utilización neta de protefna) se efectúa con la técnica de Miller (71) y el PER sigue exactamente las mismas condiciones, pero midiendo el aumento del peso del cuerpo en ratas en 28 días, en lugar de cambios de nitrógeno (19).

En el alga Spirulina se han analizado los macronutrientes, los aminoácidos y la toxicidad. Los datos obtenidos se presentan a continuación:

Protefnas (Nitrógeno x 6.25)	63.9% \pm 0.8
Grasa (Extracto etéreo)	5.6 \pm 0.2
Fibra cruda	5.8 \pm 0.1
Cenizas	5.8 \pm 0.3
Humedad	7.9 \pm 0.4
Carbohidratos	14.7
Xantófilos	1.40 g/kg de producto a 1.80 g/kg de producto

β Caroteno	1.50 g/kg de producto a
	1.90 g/kg de producto
Clorifila "a"	6.10 g/kg de producto a
	7.60 g/kg de producto

El contenido de fibra cruda, o sea la parte no digerible es bajo, debido a que la pared celular de la Spirulina es más delgada que en otros microorganismos. Lo anterior es importante, ya que una pared celular gruesa puede causar problemas de digestibilidad. Aunque el alga crece en un medio rico en sales, su contenido de minerales no es muy elevado.

PROTEINAS

El más importante atributo nutricional de la Spirulina es su contenido proteico, excepcionalmente alto. Chiu y - - Leesley (59) dieron a conocer el alto valor protéico de la Spirulina por comparación con otras fuentes comunes, tanto vegetales como animales. Las concentraciones de aminoácidos de Spirulina han sido analizadas y reportadas por un gran número de investigadores.

La Spirulina se cuenta entre los productos más ricos en proteína. Para las regiones subdesarrolladas, una nueva fuente de proteínas debe presentar una composición equilibrada en aminoácidos para complementar eficazmente los alimentos ya disponibles para los consumidores. Los aminogramas han mostrado la calidad de estas proteínas, cuya composición es similar a las de las proteínas animales. Todos los aminoácidos indispensables están presentes en cantidades suficientes, según las normas de la F.A.O., exceptuando una deficiencia en cistina y en metionina (28).

El contenido protéico y el espectro de aminoácidos están interrelacionados en la nutrición humana y animal, además de estar involucrados otros factores fisiológicos y nutricionales.

Para mantener el crecimiento, la reproducción y la reparación de tejidos, los organismos requieren una dotación específica cualitativa y cuantitativa de aminoácidos. Estos pueden obtenerse de proteína hidrolizada en el proceso digestivo, o cuando ésto no proporciona suficiente cantidad de determinado aminoácido que los organismos son incapaces de sintetizar (y por lo que reciben el nombre de "esenciales"), dichos aminoácidos deben agregarse individualmente a la dieta para que ésta sea completa. Estos aminoácidos indispensablemente deben estar disponibles a partir del medio ambiente y en cantidades bien definidas que varían de acuerdo a las especies y de acuerdo al estado fisiológico del organismo (salud, nivel de actividad, etc.). Si no se mantiene el equilibrio, ya sea por exceso o por falta de suministro, aparece de inmediato un estado desbalanceado o de deficiencia nutricional.

El equilibrio de los aminoácidos es muy importante como factor determinante en la eficiencia de una dieta, junto con las características generales del alimento ingerido (tales como suministros de energéticos, contenido total de nitrógeno en proporción relativa de lípidos y carbohidratos, disponibilidad de vitaminas y minerales, etc.). Tanto el número como el tipo de aminoácidos esenciales dependen de la especie involucrada. Por ejemplo, hay ocho aminoácidos esenciales para el

hombre, diez para el puerco y doce para el pollo. El equilibrio necesario entre los aminoácidos que forman la proteína de los alimentos y la digestibilidad de éstos últimos determinan la eficiencia o "valor biológico" de las proteínas, misma que se mide con diversas pruebas biológicas.

La calidad de una proteína o la composición de una dieta desbalanceada se mejoran si se adicionan los factores deficientes. Sobre este principio descansan los suplementos de las dietas. Esto tiene particular importancia para los dietistas o nutriólogos que participan en la batalla contra la desnutrición, y es de importancia para criadores que intentan lograr condiciones de máximo crecimiento para cerdos, pollos, pavos u otros animales de cría.

Se ha demostrado que la adición a la dieta de aminoácidos esenciales faltantes en la cantidad requerida, le da a la proteína vegetal una eficiencia y un valor nutritivo comparable a los de la proteína animal. De este modo la proteína vegetal enriquecida puede compararse a la proteína animal, siendo más barata que ésta.

En cuanto al problema de pureza de la mayoría de las proteínas unicelulares, el Comité Consultor de Proteínas de la F.A.O. sugiere que la máxima contribución de proteína unicelular en la dieta de un adulto corresponda a no más de dos gramos de ácido nucléico al día.

La Spirulina tiene aproximadamente 4.3 gramos de ácido nucléico por cada 100 gramos de producto, de tal forma que el límite superior para el consumo diario del alga en un

adulto sería de 46 gramos. Este límite debe disminuirse proporcionalmente para niños, utilizando además al peso como guía. Sin embargo, este límite de 46 gramos es suficientemente amplio, si se considera que la Spirulina no necesita estar presente en grandes cantidades en ninguna dieta, especialmente cuando se le utiliza o adiciona como un concentrado proteico para complementarse en mezclas de cereales.

CONTENIDO DE PROTEINAS Y ESPECTRO DE AMINOACIDOS (113)

Contenido de Proteínas

(% en Peso de Proteína Cruda en Base Seca)

<u>Producto</u>	Más Alto que <u>Spirulina</u>	<u>Spirulina</u> 65.7	Más Bajo que <u>Spirulina</u>
<u>Fuentes Vegetales:</u>			
Manzanas			1.8
Almendras			19.5
Levadura de cerveza			49.6
Naranjas			7.0
Ejotes			26.1
Frijol de soya			40.4
<u>Fuentes Animales:</u>			
Carne (asada)			53.1
Queso (cheddar)			39.2
Pollo			59.4
Arenque	94.8		
Huevo (entero)			49.2
Gelatina	98.8		
Bacalao	73.0		
Hígado de ternera	68.0		
Langosta	86.3		
Leche (descremada)			36.8
Ostión			46.5
Salmón			64.7
Camarón (enlatado)	82.0		
Atún			65.5

El valor nutricional de las proteínas es función no solo de la cantidad de éstas, sino también de su calidad.

Algunas proteínas, como las de la leche y las de huevo tienen un buen balance de aminoácidos esenciales y como consecuencia su valor nutritivo es alto. En cambio son deficientes en alguno de ellos y su valor nutritivo es bajo, como por ejemplo la germen, el gluten de trigo o la zeína del maíz (65).

En la siguiente tabla se observa el contenido de aminoácidos esenciales del alga Spirulina, en la que con fines de comparación se presentan simultáneamente los de la proteína "tipo" de la FAO (Food and Agriculture Organization).

CONTENIDO DE AMINOACIDOS DE LA PROTEINA DE REFERENCIA
DE LA FAO Y DE LA SPIRULINA (67)
(Gramos por 100 g de Proteína)

<u>AMINOACIDO</u>	<u>FAO</u>	<u>SPIRULINA</u>
Valina	4.2	5.09
Isoleucina	4.2	5.42
Treonina	2.8	4.95
Fenilalanina	2.8	5.16
Leucina	4.8	6.82
Lisina	4.2	3.58
Metionina	2.2	2.06
Triptófano	1.4	1.13

Se puede ver que de acuerdo con la proteína "tipo" de la FAO en la proteína de Spirulina el aminoácido limitante es el triptófano (51).

Son conocidas las limitaciones de este patrón de aminoácidos, que ha sido criticado por proponer cantidades desproporcionadamente altas de este aminoácido, por lo que es posible que en la Spirulina fueran limitantes la lisina o la metionina, que son los otros aminoácidos con mayor frecuencia que están bajos en las proteínas vegetales. De todas maneras, ninguno de estos aminoácidos está realmente bajo, y de esta parte del estudio se puede concluir que los aminoácidos de Spirulina están bastante equilibrados.

La función primaria de las proteínas de la dieta es la de suministrar una mezcla de aminoácidos en el modelo adecuado para la síntesis de proteína, pero no es una prueba definitiva. Se deben evaluar directa o indirectamente las funciones antes mencionadas. Entre los muchos métodos biológicos que se han probado, destacan por su importancia los que utilizan a la rata en crecimiento como animal de experimentación, en la que se mide la velocidad de crecimiento o la incorporación de nitrógeno.

La velocidad de crecimiento de un animal bajo condiciones definidas proporciona una forma relativamente simple de medir el valor de la dieta. Si la dieta contiene cantidades insuficientes de uno o más aminoácidos esenciales, el crecimiento es un índice sensible de la disponibilidad de los aminoácidos y puede usarse para evaluar el efecto total de la proteína en la dieta.

COMPOSICION DE AMINOACIDOS DE SPIRULINA (g/100 g DE PROTEINA) (64)

	Diamond Shamrock,	Sosa Texcoco 1978	Bourges, 1971 Chad Mex	Clement et al., 1967	Chiu et Unión Indus- trial	al., Ashi- Chem- ical	Becker and Venka- Taraman, 1978	Wouters, 1969	Patrón de Amino- ácidos de la FAO según Chiu et. al., 1978
Asp	4.8	5.97-6.43		8.6	5.37	9.2		9.67	
Glu	7.47	8.29-8.94		12.6	16.03	13.9		14.41	
Ala	4.2	4.97-5.82		6.8	12.64	8.2		8.08	
Tri	1.68	0.82-1.13		3.95±0.43	4.29	4.9		4.94	
Phe	2.33	2.77-3.95	4.5 5.2	4.97±0.63	5.02	4.5	}6.0	4.90	}6.0
Ilu	2.99	3.69-4.13	4.4 4.4	6.03±0.51	5.94	5.6	3.1	6.75	4.0
Thr	2.35	3.18-4.17	5.0 5.0	4.56±0.1	4.19	4.9	4.9	5.51	4.0
Val	3.05	4.20-6.00	6.1 5.1	6.49±0.39	6.46	7.0	4.7	6.12	5.0
Leu	4.35	5.56-5.80	7.6 6.8	8.02±0.7	9.21	8.7	7.0	9.61	7.0
Lys	2.08	2.96-4.00	3.7 3.6	4.59±0.43	5.39	4.2	4.6	5.96	5.5
Met	1.22	1.59-2.17	1.6 1.1	1.37±0.35	0.87	2.7	}3.2	2.25	}3.5
Cys	0.41	0.56-0.67		0.4	2.81	0.4		0.47	
Trp	0.67			1.4		1.8	1.7		1.0
His	0.66	0.89-1.08		1.77	2.01	1.3		1.76	
Ser	1.88	3.18-4.00		4.2	5.42	4.8		5.88	
Gly	2.71	3.17-3.46		4.75	4.87	4.9		5.18	
Arg	2.91	4.46-5.98		6.5	6.14	6.4		10.04	
Pro	1.96	2.68-2.97		3.9				4.21	

Como la fisiología humana es semejante a la de la rata, lo que se refiere a la utilización metabólica de las proteínas en la dieta, los resultados son aplicables a la evaluación de las dietas para el consumo del hombre.

El índice de eficiencia proteica (PER) es probablemente el parámetro más ampliamente usado de todos los métodos para la evaluación de la calidad de las proteínas. Otro método usado es la utilización neta de la proteína (NPU).

La evaluación de la calidad nutritiva de la proteína de la Spirulina se puede realizar determinando el PER y el NPU al nivel de 10% de proteína en la dieta, con el objeto de comparar resultados:

EFICIENCIA PROTEICA NETA (PER) Y UTILIZACION
PROTEICA NETA (NPU) DEL ALGA SPIRULINA (10)

<u>Dieta</u>	<u>% de Proteínas en la dieta</u>	<u>Número de Animales</u>	<u>P E R</u>	<u>% de Caseína</u>	<u>N P U</u>	<u>% de Caseína</u>
Caseína	10	9	0.29	---	61.5	---
<u>Spirulina</u>	10	8	2.61	82	56.6	92
			0.15		4.3	

Como puede verse, tanto el PER como el NPU son bastante altas y representan el 87% y el 92% respectivamente, de los valores de caseína. Estos resultados se correlacionan bastante bien con los encontrados en el análisis químico.

Debido al alto contenido en proteína y a su buena calidad, se considera que el alga debidamente procesada podría constituir un concentrado proteico capaz de enriquecer a los alimentos, por lo que se puede proceder a diseñar mezclas,

agregando Spirulina a diversos alimentos de bajo costo y gran consumo, como los cereales, en las proporciones que permitirán utilizar la combinación de sus aminoácidos. Se han estudiado las mezclas que ofrecen mayores posibilidades, como son las siguientes:

COMPOSICION DE MEZCLAS A BASE DE SPIRULINA (10)

Gramos por 100 g de Mezcla Final	Porcentaje de la Protefna	% de Protefna en la Mezcla Final	Aminoácido Limitante	
<u>Spirulina</u>	11.0	50	14.3	Trip.
Maíz	89.0	50	39.4	
<u>Spirulina</u>	27.0	75	23.4	Trip.
Maíz	73.0	25		
<u>Spirulina</u>	14.0	50	18.3	Trip.
Maíz	86.0	50		
<u>Spirulina</u>	5.0	25	13.5	Met.
Maíz	95.0	75		
<u>Spirulina</u>	13.5	50	17.0	Trip.
Maíz	69.0	30		
Avena	21.5	20		
<u>Spirulina</u>	7.5	40	12.3	Trip.
Maíz	61.5	40		
Arroz	31.0	20		

Se puede ver que en todos los casos, con excepción de la formada por 95% de trigo y 5% de Spirulina, el aminoácido limitante es el triptófano, lo que es un grave inconveniente

ANÁLISIS CON
FALLA DE ORIGEN

ya que es un aminoácido caro y que difícilmente podría usarse para elevar la calidad de las mezclas.

Se ha estudiado el Índice de Eficiencia Protéica de las mezclas, de la caseína, del maíz y del trigo. Algunas mezclas se probaron a dos niveles de proteínas para conocer la influencia del nivel de la proteína de la dieta (113), y los resultados son los siguientes:

EFICIENCIA PROTEICA (PER) DE MEZCLAS A BASE DE SPIRULINA

<u>Fuente de Proteína en la Dieta</u>	<u>% de Proteína en la Dieta</u>	<u>Número de Ratas</u>	<u>P E R</u>	<u>% del PER de Caseína</u>
Caseína	10	9	3.02	---
Maíz	7	7	1.49	49.3
Trigo	9	7	1.73	58.0

Se puede ver que la calidad nutricional del maíz es bastante baja, siendo aproximadamente la mitad del valor de la caseína. Cuando al maíz se le adiciona un 11% de Spirulina, su eficiencia proteica se eleva bastante, lo cual es muy importante para las condiciones de nuestro país, en el que el maíz es un alimento básico de grandes sectores de la población. Por lo que se refiere al trigo su valor es también bastante bajo, pero al mezclarlo con 5% de Spirulina su calidad nutricional se eleva, y con 11% de alga, alcanza valores muy altos que presentan 90% del obtenido con caseína. En esta mezcla, el nivel de proteína de la dieta si fué importante y los mejores resultados se encontraron al nivel de las mezclas de alga-maíz con arroz y avena, dieron también excelentes resultados, o sea que el alga se puede combinar perfecta-

mente con los cereales en diferentes proporciones (30).

Se ha determinado también la utilización protéica neta (NPU) observándose así mismo resultado, con excepción de que la mezcla de Spirulina, maíz, arroz y avena tuvo un NPU más baja de lo esperado (67).

UTILIZACION PROTEICA NETA (NPU) DE MEZCLAS

A BASE DE SPIRULINA

Fuente de Proteína en la Dieta	% de Proteína en la Dieta	Número de Ratas	N P U	% de NPU de Caseína
Caseína	10.0	9	54.4 \pm 6.5	---
Maíz	7.0	7	30.5 \pm 3.3	56.1
Trigo	9.0	7	32.5 \pm 3.0	60.0

Paralelamente a la determinación de la calidad nutritiva se hicieron pruebas en ratas, de tolerancia a niveles elevados del alga. A ratas del mismo lote se les administró durante 100 días una dieta que contenía únicamente Spirulina, vitaminas y minerales. Ninguno de los animales mostró signos externos de intolerancia o toxicidad por la dieta. Al final del periodo se procedió al examen macroscópico de los órganos y glándulas, encontrándose normales. Finalmente, se realizó el análisis anatomopatológico de las mismas, encontrándose iguales que las que provenían de un grupo de ratas alimentadas con dieta normal (67).

Así pues, el alga Spirulina es una buena fuente de proteínas por su alto contenido y por su equilibrada composición de aminoácidos esenciales.

Puede constituir un concentrado protéico, ya que tiene la capacidad de complementar a varios cereales.

A bajas concentraciones mejora la calidad del maíz y todavía es mejor cuando se adiciona arroz, pero su mayor efecto es con trigo, ya que se obtienen PER y NPU bastante altos.

Por lo tanto se considera que la Spirulina ofrece una muy buena posibilidad de utilizar organismos unicelulares en la alimentación humana, con todas las ventajas que tiene este grupo de organismos, como son su gran velocidad de reproducción, sus pocos requerimientos nutricionales y su alto contenido en proteínas, pero sin las desventajas que se encuentran en otras proteínas unicelulares.

LIPIDOS

La composición de lípidos en la Spirulina ha sido reportada por Sosa Texcoco, y Paoletti (88). Este análisis define y cuantifica los ácidos grasos y los lípidos insaponificables (105) (50).

T A B L A (67)
A L G A S P I R U L I N A

	<u>M I N I M O</u>	<u>M A X I M O</u>
LÍPIDOS TOTALES	6.0%	7.0%
ACIDOS GRASOS	4.9%	5.7%
Láurico (C ₁₂)	180 mg/kg	229 mg/kg
Mirfístico (C ₁₄)	520 mg/kg	644 mg/kg
Palmítico (C ₁₆)	16,500 mg/kg	21,141 mg/kg
Palmitoléico (C ₁₆)	1,490 mg/kg	2,035 mg/kg
Palmitolinoléico (C ₁₆)	1,750 mg/kg	2,565 mg/kg
Heptadecanóico (C ₁₇)	90 mg/kg	142 mg/kg
Esteárico (C ₁₈)	Trazas	353 mg/kg
Oléico (C ₁₈)	1,970 mg/kg	3,009 mg/kg
Linoléico (C ₁₈)	10,920 mg/kg	13,784 mg/kg
γ Linolénico (C ₁₈)	8,750 mg/kg	11,970 mg/kg
α Linolénico (C ₁₈)	160 mg/kg	427 mg/kg
Otros	7,000 mg/kg	699 mg/kg
INSAPONIFICABLES	1.1%	1.3%
Esteroles	100 mg/kg	325 mg/kg
Alcoholes Triterpénicos	500 mg/kg	800 mg/kg
Carotenoides	2,900 mg/kg	4,000 mg/kg
Clorofila "A"	6,100 mg/kg	7,600 mg/kg
Otros	1,400 mg/kg	150 mg/kg
3-4 Benzopireno	2.6 µg/kg	3.6 µg/kg

VITAMINAS

Se encontró que por lo general la Spirulina es rica en vitaminas del complejo B, en comparación con otras algas:

ALGA SPIRULINA (104)

Vitaminas (mg/kg)

Biotina (H)	promedio	0.4
Cianocobalamina (B ₁₂)	promedio	2
d- Ca- Pantotenato	promedio	11
Acido Fólico	promedio	0.5
Inositol	promedio	350
Acido Nicotínico	promedio	118
Piridoxina (B ₆)	promedio	6
Riboflavina (B ₂)	promedio	40
Tiamina (B ₁)	promedio	55
Tocoferol (E)	promedio	190

PIGMENTOS

La composición de pigmentos de la Spirulina incluye la clorofila A, varias ficobiliproteínas y carotenoides. La clorofina A y los pigmentos carotenoides, constituyen la proporción cuantitativamente mayor de los extractos lipídicos de las células. Los pigmentos biliprotéicos consisten en pigmentos biliares tetrapirrólicos, no-cíclicos, unidos en forma covalente a una proteína. Se ha sugerido por distintas observaciones que estos pigmentos principales son más abundantes en la Spirulina. Deficiencias de nitrógeno y azufre en

el medio de cultivo causan una pérdida selectiva de ficocianina, indicando que el pigmento sirve como una fuente de dichos nutrientes en caso de urgencia. Los carotenoides y xantofilas también son importantes; los primeros como fuente de vitamina A y las segundas como agentes colorantes de alimentos (87, 53, 39).

DIGESTIBILIDAD

Su baja cantidad de elementos celulósicos es un factor favorable para la buena digestibilidad de las algas.

Los experimentos efectuados con ratas y pollos han permitido determinar un coeficiente de utilización digestiva del 75%.

El valor nutritivo de la Spirulina es muy alto, aunque su digestibilidad aparente es un poco baja, pero la utilización metabólica de los aminoácidos resulta excelente.

VALOR BIOLÓGICO

Se ha determinado un valor biológico, que es una medida de la eficiencia como nutriente, entre 60 y 65%, lo cual es comparativamente alto ya que el promedio de los alimentos de una dieta normal fluctúa alrededor del 45%. Por lo tanto, la Spirulina presenta un valor nutritivo interesante. Además la Spirulina tiene la ventaja, sobre otras fuentes protéicas, de haberse consumido desde hace siglos por poblaciones africanas y aztecas en calidad de condimento y alimento. Esto constituye una prueba de su no toxicidad y de su aceptabilidad.

EFFECTOS SECUNDARIOS PROVOCADOS POR INGESTION DE SPIRULINA

Se ha visto que en caso de sustituciones de Spirulina en forraje, a concentraciones hasta de 15% no hay influencia negativa en el desarrollo (116).

Además no hay ninguna influencia en los órganos de reproducción y en el peso de los órganos como la vesícula seminal al ingerir Spirulina.

METABOLISMO Y CONSTITUYENTES CELULARES

Se ha demostrado que el ciclo de Calvino es el mecanismo de incorporación de CO₂ al alga azul-verde (115). Aunque los productos de la biosíntesis (proteínas, carbohidratos, lípidos, etc.) dependen de muchos factores en células de crecimiento exponencial con condiciones óptimas de crecimiento, el producto principal del metabolismo, es la proteína. Se sabe que el carbono que se fija en la fotosíntesis durante el crecimiento exponencial se incorpora rápidamente a los aminoácidos.

El efecto de transferir células en crecimiento exponencial a un medio que carezca de una fuente de nitrógeno asimilable, es que el flujo de carbono cambie de síntesis de proteínas a síntesis de carbohidratos (40). La división celular no continúa después de que el nitrógeno cae por debajo de un valor limitado. La fotosíntesis continuada produce una expansión celular y aumenta el peso seco promedio por célula.

CAPITULO III

PRODUCCION

Aunque la Spirulina ha recibido mucha publicidad en los últimos diez años, su comercialización ha sido lenta. La compañía Sosa Texcoco, de México es la única en el mundo que actualmente opera un proceso industrial a gran escala. Sin embargo, el cultivo de algas es una operación secundaria, ya que su interés principal es la concentración de la salmuera por evaporación solar.

Se han editado algunos reportes a nivel de estudio de factibilidad, en los que la proteína de Spirulina se trata como curiosidad meramente científica, a menos que pueda ser producida en cantidad masiva y en forma confiable y a un costo accesible para las naciones pobres. Otros estudios estiman la factibilidad de considerar la construcción y operación de plantas que produzcan Spirulina como único producto, en donde el diseño esté basado en técnicas utilizadas en el proceso de Sosa Texcoco. En algunos casos se intenta diseñar plantas que ofrezcan velocidades máximas de producción para minimizar los costos de energía, mantenimiento e inversión de capital. En algunos casos se hacen diseños a partir de información preliminar suponiendo o no disponibilidad actual de servicios auxiliares (25).

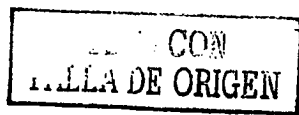
En México las personas que viven en la pobreza subsisten con una dieta casi vegetariana que les proporciona

alrededor de 18 g de proteína. Si se añadieran unos 10 g de Spirulina de alta calidad a su dieta diaria podría mejorar mucho su condición nutricional y por lo tanto, su salud general. Teóricamente, una producción diaria de 48.8 toneladas de Spirulina, que se pueden producir en 500 hectáreas del Lago de Texcoco, pueden garantizar un consumo diario de aproximadamente 20 g de proteína de alta calidad para toda la población mexicana (105).

En la planta piloto situada en la orilla externa del Caracol de Sosa Texcoco, que es un evaporador solar gigante de 800 hectáreas, actualmente la producción alcanza una tonelada métrica por día de Spirulina seca.

En un futuro cercano se planea expandir la producción de Spirulina en el Lago de Texcoco a 5 toneladas métricas por día, lo cual aparentemente es un gran incremento, pero es pequeño comparándolo con el rendimiento total del lago: hay aproximadamente 500 hectáreas de agua disponible para producción de Spirulina en el espiral exterior del Caracol, lo cual es suficiente para producir casi 44 toneladas métricas cada día.

La mayoría de la Spirulina producida en la planta del Lago de Texcoco se exporta al Japón, cuyos habitantes son antiguos consumidores de algas marinas similares a este producto natural y en donde se usa para mejorar el color de la yema de huevo, para aumentar la pigmentación de los peces dorados y acelerar su crecimiento, así como para mejorar la capacidad reproductora de peces de agua dulce, crustáceos, moluscos y gusanos de seda (25).



El mayor potencial inexplorado de la Spirulina es como un alimento para la población mundial en crecimiento. La Spirulina se multiplica rápidamente, dividiéndose tres veces al día y florece en aguas demasiado saladas. Todo lo que necesita es la cantidad adecuada de radiación solar y un nivel alto de salinidad. Por ejemplo, el Valle de México tiene cerca de 240 días de sol por año y las aguas del Lago de Texcoco tienen un alto contenido de sales. Bajo tales condiciones, una sola hectárea puede producir entre 12 y 30 toneladas de proteína a partir de Spirulina. Bajo condiciones ideales, la misma área puede producir hasta 50 toneladas.

CULTIVO Y COSECHA.

El cultivo del alga se hace en forma natural sin nutrientes adicionales y sin energía de mezclado para estimular la producción.

La variedad de los métodos que existen para la producción de bióxido de carbono para un medio de cultivo es grande, pero el más común de ellos es burbujear una mezcla de aire con 1 a 5% de bióxido de carbono, a través de un tubo perforado o en un aparato similar. Actualmente, existe un sistema nuevo de cosecha en una planta de tratamiento de desechos de Lubbock, en el estado de Texas, en Estados Unidos, en el cual una corriente libre de alga se presuriza en presencia de aire entre 2 y 4 kg/cm² (18). El líquido se satura de aire a alta presión y a la entrada del sistema de cultivo y con la presión atmosférica se forman microburbujas que hacen que el alga flote en la superficie.

En el proceso de Sosa Texcoco, la Spirulina, que se encuentra en el evaporador solar llamado "El Caracol" en el La go de Texcoco, pasa por una filtración y de ahí se corta y se lava. Después de hecha la extracción se efectúa una ruptu ra (o desintegración), luego una pasteurización y un secado por atomización (o esparado), un enfriamiento y finalmente se lleva a tanques de almacenamiento.

El producto final (que es un polvo o tabletas) tiene las siguientes propiedades:

pH	=	8.3
Densidad aparente	=	0.6 g/cm ³
Estabilidad de emulsión	=	90.0
Solubilidad máxima	=	8 - 10

El producto final se empaqa en bolsas de polietileno negras para evitar que se oxiden los carotenoides y las vitaminas.

El producto se garantiza por un año, ya que no existen problemas de rancidez, además de que se lleva un control estricto de calidad.

En México se han hecho pruebas páneces en Sosa Texcoco, pero el interés primordial no es la elaboración de productos terminados (sólo se fabrican actualmente en polvo o en tabletas), sino la obtención del alga para adicionarla a otros alimentos (104).

CULTIVO EN PEQUEÑA ESCALA DE SPIRULINA.

Se puede cultivar Spirulina en un acuario pequeño de 10 galones de sección transversal rectangular, como los utilizados

para peces tropicales. Es necesario iluminar el acuario, ya que la Spirulina es un organismo fotosintético (48).

La temperatura del acuario debe controlarse alrededor de 35° C. También se necesita agitar el medio de cultivo continuamente con una bomba de aire pequeña, para que el alga no sedimente en el fondo del acuario, ya que no recibiría su suficiente luz y moriría. Los mejores resultados se obtienen burbujando aire en pequeños orificios perforados en un tubo anclado a lo largo del acuario. Este arreglo proporciona un suave movimiento giratorio al medio, lo que garantiza que ca da alga obtenga suficiente luz. Este equipo debe prepararse con anticipación y probarse con agua, una vez normalizado su funcionamiento, debe llenarse el medio junto con el cultivo y desde ese momento se mantienen en forma contínua, la temperatura, la luz y el burbujeo del aire (77, 78).

El alga crece hasta que el medio presenta un color verde de esmeralda oscuro.

La Spirulina se reproduce por fisión binaria de 2 a 3 veces por día. Se puede cosechar cuando su concentración alcanza un nivel adecuado (normalmente entre 4 y 7 días). Se puede ver la concentración según la profundidad a la que desaparece de la vista un objeto de color blanco (46).

Como la Spirulina es un alga, se puede cosechar simplemente filtrando el medio con un trapo de tejido abierto.

Después de que el producto se ha cosechado, se debe lavar con agua fresca, mientras está todavía en el filtrado, para quitar los restos de las sales nutritivas. El alga

contiene cerca de 85% de agua y se puede conservar secándola o congelándola. El secado puede hacerse al sol, cuidándola de insectos o en un horno a temperatura sumamente baja (6).

La congelación es el método menos recomendable, ya que también se congela al 85% de agua, haciendo más voluminoso el producto.

La mayoría de las condiciones para el crecimiento de la Spirulina en el laboratorio han sido estudiadas. Las cuatro variaciones mayores que afectan la velocidad de crecimiento son: temperatura, luz, alcalinidad y concentración de nutrientes en el medio. Existen algunos intentos sin éxito para la optimización de las concentraciones de nutrientes en los medios de cultivo, pero los efectos en otras condiciones han sido bien estudiadas (31, 70).

En un cultivo al aire libre, en Estados Unidos, se han logrado cosechas de Spirulina en estado durmiente que han sobrevivido a temperaturas de congelación logradas bajo una capa de hielo en el tanque de cultivo.

En el balance de procesos de producción de alga se debe definir un balance óptimo entre las superficies, en tal forma que permita la mayor distribución posible de nutrientes, bióxido de carbono y luz. La profundidad del medio, la concentración celular y las turbulencias son factores, ya que cada uno de ellos afecta la intensidad de luz que llega al alga (93).

En la producción comercial de algas, la localización de la planta es uno de los factores de mayor importancia.

Por ejemplo, el sitio que se escoja debe tener un clima caliente con suficiente luz de sol y un suministro de agua adecuado. En consideración de los requerimientos de transporte, el sitio debe de estar rodeado de servicios de ferrocarril (73).

Para mantener altos rendimientos, la capa de suspensión debe tener una profundidad apropiada, de manera que el alga no requiera excesivo mezclado para mantenerse en suspensión. Sin embargo, debe ser lo suficientemente espesa para que el flujo sea continuo a pesar de las condiciones del clima u otras interrupciones en el proceso. La suspensión del alga puede mezclarse utilizando una variedad de métodos, incluyendo mezclado mecánico, burbujeo de aire y aumentado la turbulencia mediante flujo forzado alrededor de mamparas. Todos estos métodos involucran el suministro de energía al sistema de cultivo y todos los sistemas tendrán que incluir uno o más de ellos (57).

La tabla siguiente muestra la forma de preparación de un medio adecuado para crecimiento de Spirulina. Este medio probablemente permite la producción total de cerca de 3 g de alga seca (la Spirulina contiene alrededor de 85% de agua durante el crecimiento) por litro de medio (80, 36).

MEDIO PARA EL CRECIMIENTO DE SPIRULINA (97)

<u>Componentes</u>	<u>Cantidad/litro de medio</u>	<u>Cucharadas/ 10 galones</u>
Na ₂ CO ₃	10.0000 g	76.00
H ₃ PO ₄ (como ácido al 85%)	0.1765 ml	1.34
HNO ₃ (como ácido al 70%)	2.0284 ml	15.40
NaCl	1.0000 g	7.60
K ₂ SO ₄	1.0000 g	7.60
MgSO ₄ . 7H ₂ O*	0.2000 g	1.50
CaCl ₂ . 2H ₂ O*	0.0400 g	0.30
Soluciones de elementos traza	1.0000 ml	7.60
Soluciones de quelatos	1.0000 ml	7.60

Soluciones que Contienen Trazas de Algunos Elementos**

<u>Componentes</u>	<u>Gramos/litro de solución</u>	<u>Cucharadas/ 10 galones</u>
H ₃ BO ₃	2.85	21.60
MnCl ₂ . 4H ₂ O	1.81	13.70
ZnSO ₄ . 7H ₂ O	0.22	1.67
CuSO ₄ . 5H ₂ O	0.08	0.60
Co (NO ₃) ₂ . 6H ₂ O	0.044	0.33
MoO ₃	0.015	0.11

Soluciones de Quelatos

<u>Componentes</u>	<u>Gramos/litro de solución</u>	<u>Cucharadas/ 10 galones</u>
EDTA (Acido Etilenediamintetra-acético)	30.2	23
KOH (como base al 85%)	18.0	14
FeSO ₄ . 7H ₂ O	25.0	19

*Añadir sólo si se usa agua destilada o desmineralizada. Al usar agua blanda de la llave, dichos compuestos no son necesarios.

****Sólo usar agua desmineralizada en pequeñas cantidades. Sólo se requieren 37.85 ml (7.5 cucharadas) para un tanque de 10 galones.**

En medios de crecimiento caseros, se debe controlar el pH en forma diaria, añadiendo suficiente carbonato de sodio para ajustar el pH a 9.5, lo cual corresponde a condiciones óptimas. Semanalmente, se deben añadir 38 litros de medio preparado por cada medio kilogramo de alga seca que se haya cosechado.

En cuanto a cultivo, también deben reponerse las pérdidas por evaporación del medio acuífero, tomando en cuenta la reposición por agua de lluvia y utilizando agua destilada para lavado. Toda agua de repuesto debe de estar libre de cualquier tipo de alga.

El bióxido de carbono no necesita suministrarse durante las horas de oscuridad, excepto para mantener el pH. Aunque la respiración es continua de noche, la fotosíntesis se detiene y la adición continua de bióxido de carbono produce un descenso en la alcalinidad (11).

La contaminación de los cultivos abiertos a la atmósfera es un miedo justificable, pero a la fecha no existen reportes publicados que mencionen la ocurrencia actual de este problema. Una ventaja de la alta alcalinidad es que la contaminación por otros microorganismos no es frecuente, ya que las bacterias prefieren un medio más neutro o ácido. Los riesgos de contaminación pueden minimizarse si se mantiene un cultivo

mixto de Spirulina, ya que las bacterias que atacan a una variedad de Spirulina, pueden no ser virulentas para otras variedades del alga.

Otra forma de contaminación que puede originarse dentro del sistema es la acumulación de sólidos disueltos indeseables tales como magnesio y cloruros. Estos últimos pueden eliminarse del sistema purgando una recirculación sin alga en la corriente de entrada o utilizando métodos comercialmente disponibles. Los iones de calcio o magnesio pueden eliminarse por tratamiento convencional con sosa o carbonato. Si el calcio no se elimina, el medio rico en carbonato hace que precipite el carbonato de calcio, lo cual obliga a que se adicionen carbonatos o bicarbonatos al medio que los ha perdido (3).

La producción en escala comercial de la proteína de origen algal, y de la Spirulina en particular, no presenta aparentemente problemas que no se puedan resolver. Las dudas mayores implican cosecha, contaminación y mantenimiento del alga en la suspensión. De estos tres, el riesgo de contaminación sería el problema mayor porque no puede resolverse con aplicación directa de principios de ingeniería.

Comparada con otras algas, la Spirulina tiene una velocidad de crecimiento relativamente alta. La velocidad de crecimiento específico (U) se calcula de la siguiente forma (83):

$$U = U I / (I + K),$$

en donde:

I = Intensidad de la luz incidente

U = Velocidad máxima de crecimiento (2.2 g/día a 35°C)

K = Constante de saturación de la luz (10 klux)

La velocidad de crecimiento en la región lineal se expresa de la siguiente forma (82):

$$dX / dt = (u/ah) \ln (I/k) + 1,$$

en donde:

a = Coeficiente de absorción por unidad celular, medida en concentración (1.58 l/g-cm)

h = Distancia de la superficie iluminada (cm)

X = Concentración celular (en g/l)

Kosarik (55) reportó velocidades de crecimiento en laboratorio de hasta 0.25 g/l-día, lo cual es comparable a velocidades reportadas por el IFP. Haciendo escalación de este modelo a plantas a nivel industrial, se puede obtener rendimientos anuales de más de 40 toneladas métricas por hectárea (16 ton/acre-año), como pronóstico.

El desarrollo de procesos de producción del alga no ha sido muy rápido. Aunque se han hecho varias veces, no se conocen plantas en operación a nivel realmente industrial.

La velocidad de crecimiento de la Spirulina es mayor a una temperatura de cerca de 35°C (82), con velocidades del 75% del máximo en los extremos de 30 y 40°C (109). De acuerdo con Pinevitch et al. (92), una temperatura menor de 32°C es favorable bajo malas condiciones de iluminación. El incremento de la intensidad de la luz tiene un efecto positivo en la velocidad de crecimiento en todos los rangos de flux luminosos (90). Esto parece indicar que el alga no puede recibir

mucha luz, pero Fox (41) en sus experimentos hechos en la India encontró que una intensidad luminosa muy grande es nociva, por lo que se vio obligado a producir sombra en su sistema para mantener tasas altas de crecimiento. Una mayor concentración celular tiene más o menos el mismo resultado, lo cual fué demostrado por Ogawa y Terui (83), quienes encontraron que en un cultivo mixotrófico (en que las células obtienen carbono por ingestión de bióxido de carbono o material orgánico), el inóculo debe tener un tamaño superior al crítico o de lo contrario mueren las células. En sus estudios demostraron que la muerte de la célula puede evitarse incrementando el tamaño del inóculo o reduciendo la concentración de los iones magnesio.

Ogawa et al. (82) demostraron que el pH óptimo se encuentra en el rango de 8.5 a 10.5 y que las variaciones en este rango no tienen efecto sobre la velocidad de crecimiento. Experimentos posteriores efectuados por Kosarik (55) indicaron un pH óptimo alrededor de 9.5 y más allá de los límites de 8.0 y 11.0 la velocidad de crecimiento disminuye fuertemente. La ocurrencia de este rango óptimo mejora los prospectos de controlar el pH en un estanque de cultivo a gran escala. Durante el proceso fotosintético, el pH incrementa conforme el carbono inorgánico en la solución es utilizado por el alga.

El bióxido de carbono es un ingrediente importante en la producción de Spirulina. En base seca, el alga contiene 51% de carbono. Como la mayoría de las algas azul-verdosas,

la Spirulina es fotoautotrófica, o sea que produce energía por fotosíntesis y el carbono se obtiene directamente a partir del dióxido de carbono, el cual también es útil para mantener su medio ambiente y la alcalinidad adecuada. Bajo condiciones de laboratorio, el enriquecimiento continuo del cultivo con dióxido de carbono sólo es necesario si su concentración en el aire es baja, por ejemplo alrededor del 5%. Si se utiliza una mezcla más concentrada de dióxido de carbono, el burbujeo intermitente evita que el pH aumente fuera del rango de operación y mantiene la pérdida del gas en un mínimo. En alcalinidades altas, las burbujas de dióxido de carbono se absorben completamente antes de que alcancen la superficie. Clement y Van Landeghem (22), obtuvieron más del 90% de utilización de dióxido de carbono a partir de una mezcla al 5% de aire, burbujéandose en una profundidad de aproximadamente un metro. Cuando se suprime el dióxido de carbono durante 24 horas, la acumulación de la biomasa continúa a régimen permanente, lo cual resulta en una demanda constante de carbono inorgánico y por lo tanto incrementa el pH de una unidad (45).

En un sistema con carbono inorgánico limitado, como ocurre en la producción masiva de Spirulina, la velocidad de crecimiento del alga se controla por la concentración del carbono inorgánico total (91). Por lo tanto, el carbono total está dado por la suma de la concentración del carbonato, la concentración del ácido carbónico, la concentración del dióxido de carbono y la concentración del bicarbonato.

La concentración real del CO_2 no es el factor que controla el crecimiento de las células, ya que a pH altos la mayoría de los compuestos de carbono aparecen en forma de bicarbonatos o carbonatos. Sin embargo, el dióxido de carbono puede obtenerse económicamente utilizando gases de combustión del gas natural u otras fuentes de combustible fósil, así como los subproductos del proceso de la síntesis de amoníaco.

La alcalinidad del medio es un elemento favorable para el montaje de la instalación, ya que se lleva a cabo por la introducción de bicarbonato, cuya concentración se mantiene constante por medición y suministro de CO_2 .

Por otro lado, el medio acuoso favorece la utilización correcta de elementos nutritivos y asegura un mayor dominio del cultivo, con posibilidades de controlar el crecimiento y obtener así rendimientos óptimos (34).

En un análisis detallado del Lago Aranguadi en Etiopía, llevado a cabo para explicar la razón por la que este lago en particular tiende a mantener grandes poblaciones de algas en mayor proporción que otros lagos en el mundo, se encontró que existía menor salinidad y alcalinidad que en otros lagos.

Resulta necesario un conocimiento del desarrollo de Spirulina en lagos naturales para explicar el crecimiento denso de colonias de alga que ocurre periódicamente (44).

CULTIVOS A GRAN ESCALA DE SPIRULINA (85)

Los requerimientos de la Spirulina para su cultivo a gran escala son:

- a) Suplemento constante de nutrientes químicos.
- b) Temperatura alrededor de 35°C.
- c) Exposición todo el día, de la superficie del medio de crecimiento al sol o a la luz fuerte.
- d) Una acción de mezclado constante en el medio de crecimiento para que el alga comparta la luz disponible.
- e) Protección contra predadores naturales.

Procedimiento.

1. Preparación de un acuario casero.
2. Preparación de dos tanques al aire libre para acumular cantidades de cultivo.
3. Construcción de un canal de cultivo grande.
4. Llenado del canal de crecimiento principal.
5. Cosecha continua.
6. Area de lavado.
7. Secado del alga.

1. Preparación de un Acuario Casero.-

Se prepara un acuario casero conteniendo el medio de nutrientes más completo posible. Se introduce la muestra de Spirulina al acuario y enciende las luces, el termostato y el equipo de mezclado. En pocos días el agua toma un color verde oscuro conforme se establece el cultivo de alga. Si se decide tener más de un acuario, se debe inocular cada uno de ellos para obtener un cultivo tan grande y sano como sea posible y

eventualmente transferirlo a los tanques de crecimiento al aire libre (12).

2. Preparación de Requerimientos.-

Se requieren dos tanques al aire libre listos para recibir el primer cultivo del acuario. Es esencial tener una gran cantidad de inóculo concentrado para el tanque grande. Se puede hacer esto usando dos tanques "de generación". El primer tanque se llena con el medio hasta una profundidad de 25 cm, seguidamente se vierte en él el inóculo del acuario casero.

El segundo tanque de generación se llena hasta alcanzar 15 cm de profundidad. Si se hace esto en un clima muy caliente, con el sol muy fuerte, cada tanque de generación debe cubrirse con una tela delgada durante los primeros días. Dicha tela también se usa posteriormente para los filtros de cosecha. En forma ideal se debe mezclar tanto como sea posible.

3. Construcción de un Canal de Cultivo.-

El rendimiento anual se realiza en función de proteína deseada. Una forma de calcularlo, es mediante el número de personas que van a alimentarse con Spirulina y la porción de la proteína que se deriva del alga, que se ingiere diariamente. Para calcular lo anterior, se puede seguir el siguiente ejemplo:

Sea N el número de personas que consumen el alga, P el porcentaje de proteína diaria ingerida del alga, M = al número de meses calientes con sol por año (porque hay que cultivar en exceso para los meses fríos).

La fórmula para aplicar es:

$$\text{Area} = 14 \text{ N P} / \text{M}$$

Después de calcular el área requerida, debe considerarse el sitio y las dimensiones reales. Posteriormente, es necesario diseñar un sistema de canales rectangulares con el área total, calculada en forma anterior (114).

Esencialmente, la planta de crecimiento de Spirulina es un sistema de canales tortuosos que forman un ciclo cerrado. El espesor es de 3.35 m (exceptuando el canal de cosecha), pero éste se ha escogido para ajustar el área global. El ancho del canal puede ser de cualquier tamaño que sea conveniente.

La principal restricción es que no puede haber partes metálicas en contacto con el medio; las cabezas de los tornillos deben estar ampliamente cubiertas con resina epóxica o con pintura de alberca (se prefiere la primera).

Las paredes de los canales pueden hacerse con marco de 5 por 10 cm. Pueden convertirse en marcos utilizando planchas de 5 por 10.

Las paredes externas también deben acoplarse a la cara del agua con un material plano del tipo masonita o de madera balsa.

La pared entre el medio de cultivo y el canal principal debe estar también aplanada en ambas caras. Si el subsuelo local es arcilla, se puede empacar la cama del campo acuffero con un rodillo y se pueden construir paredes de arcilla reforzada con patines ocasionales, o con refuerzo para

producir ahorros considerables. En forma similar si se dispone de una superficie de concreto o impermeable (como por ejemplo un estacionamiento o un campo de aviación), se puede usar este material como base.

Si es necesario impermeabilizar el campo acuifero se sugiere usar láminas plásticas de tipo agrícola ultragruesas. Se deben utilizar los rollos lo más ancho y lo más largo posibles para minimizar el número de juntas. La cinta de cloruro de polivinilo (PVC), sirve para unir las juntas en la unión con el marco de madera aplicando un cuadrado de 5 x 5 cm de cinta de PVC como refuerzo antes de engrapar.

También se debe utilizar un día sin lluvia para aplicar las capas y los contrapesos antes de llenar con agua para poner los marcos en su sitio hasta que esté listo para usarse. Cerca del momento de establecer el drenaje, se deben de tomar providencias para vaciar el campo acuifero. La forma más simple es utilizando un tubo de drenaje de 61 cm de largo por 10 cm de diámetro. El tubo puede ponerse en posición fija contra la pared de soporte y hacer que sea impermeable con las cintas adheribles. Para sellar el extremo sobrante sólo se debe cortar un círculo de la plancha plástica y pegarse con cinta en la abertura. Se debe tener cuidado en el asentamiento del drenaje. El efluente no daña la vida de las plantas si se diluye conforme sale del drenaje, ya que sólo actuará como un fertilizante y probablemente sólo se deba drenar una vez al año.

1. 2. 3. 4.
FALLA DE ORIGEN

A continuación se explica una forma de circulación de medio de crecimiento. Para mantener el diseño lo más simple posible se puede emplear un agitador de paletas, utilizando lámina plástica corrugada de la empleada en techos, para los huecos, tubo hueco para las vigas de soporte y utilizando tuercas y tornillos plásticos para eliminar la posibilidad de corrosión.

Además, cualquier material que se utilice dictará el tipo de diseño específico. No puede usarse metal ni madera balsa a menos que estén absolutamente cubiertos con resina epóxica. La transmisión se hace con un tubo plástico o de madera. Las dimensiones de los vanos no son críticas. Se debe tener espacio entre el vano y la superficie. El número de paletas depende del área del campo acuífero. Debe tener una paleta estrecha corriente arriba del medio de cultivo y una paleta de tamaño completo en medio del campo acuífero. Si se tienen más de 122 m de longitud de canal, se debe tener una paleta intermedia por cada 122 m extras. Por ejemplo, un campo acuífero hecho de 305 m de canales de 3 m de ancho necesitará 3 paletas intermedias, adicionales a la pequeña del juego de cultivo.

Finalmente se debe agitar el medio. Se sugiere un promotor fijo de turbulencia del tipo simple, ya sea un baffle o mampara. El propósito de la mampara es impartir un movimiento ondulatorio para facilitar el mezclado del medio que fluye. Esto puede colocarse a una cuarta parte del camino en cada sección recta de flujo del canal.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Para hacer ésto, se puede utilizar el mismo material de las paletas de los vanos. Se debe disponer de 1.3 cm entre la mampara y las paredes y 7.5 cm de claro arriba y abajo con un ángulo de 45° con la horizontal. Se les puede montar aplicando soportes verticales de madera en cada esquina y asegurando la parte superior de los soportes a la parte superior de la pared. Se tendrá que ajustar esta distancia para determinar la localización más adecuada y el ángulo de las mamparas. Se debe notar que el medio de cultivo pueda utilizarse como segundo tanque de crecimiento y que cuenta con suficiente estructura de soporte para mantener ambos volúmenes (111).

4. Llenado del Canal de Crecimiento.-

El llenado del campo acuffero es una tarea lenta que requiere cuidado y paciencia. Si se ha dispuesto los canales se debe suponer que el jugo de cultivo será el segundo tanque de crecimiento y que el primer tanque de crecimiento ya está lleno y concentrado (con una visibilidad de 2.5 cm con la prueba de la cuchara plástica), sellando un tramo del canal corriente abajo del medio de cultivo utilizando una plancha plástica de soporte con cinta para mantenerlo en su sitio igual que antes. La longitud del corte puede calcularse a partir de la fórmula siguiente (que supone que el medio de cultivo tiene 25.4 cm de profundidad y 5 cm de ancho).

$$\text{Longitud} = \frac{\text{longitud del medio de cultivo} \times 60}{\text{espesor del canal principal}}$$

Por ejemplo, con un medio de cultivo de 30.5 cm y un canal principal de 25.4 cm de ancho, se deben sellar 22 m del canal.

El canal debe llenarse a una profundidad de 15 cm con el medio y se debe de abrir la válvula de corriente abajo en el medio de cultivo. Se debe mezclar con las paletas de limpieza utilizando agitadores o paletas temporales durante una semana, día y noche. El mejor método es con una manguera de jardín con perforaciones de 3.1 mm de diámetro en ambos lados del canal, anclada con rocas y burbujeando aire desde un extremo con una aspiradora casera.

Conforme progresa la semana del llenado, se debe añadir agua de una manera gradual hasta una profundidad de 45.7 cm y se debe continuar agitando hasta que se logre obtener una alta concentración. Durante una o dos semanas se debe llenar gradualmente el campo acuífero en donde el canal tenga la longitud mayor que 30 veces de longitud intermedia, y sólo falta un paso adicional. Se debe de sellar una longitud de canal igual a 30 veces la longitud temporal y repetir la acumulación gradual del inóculo. Esta acumulación lenta es necesaria para evitar la caída de concentración de más de 1/10 en cualquier punto. Tal caída probablemente mataría el cultivo y tendría que empezarse desde el principio. Si el procedimiento se sigue al pie de la letra, sólo es necesario repetirlo una vez por año.

Después de esto, se dispone de un cultivo masivo de Spirulina circulando en el campo acuífero.

Las paletas de mezclado se conectan con un tubo plástico fuerte o con una varilla de madera a un mecanismo que esté separado del campo acuífero. La barra de la transmisión debe girarse mediante un sistema de baleros con un motor eléctrico, un motor de gasolina o un molino. La única regla por aplicar es la de que, independientemente del sistema que se utilice, la velocidad de las paletas deberá ser menor que aquella velocidad que cause salpicamiento.

5. Cosecha Continua.-

La cosecha debe hacerse en forma continua. Después del arranque, se debe dejar que el cultivo aumente su concentración y entonces se establecen nidos de cultivo en su lugar, según el procedimiento siguiente:

Utilizando placas de madera de 5 x 10 cm, se construye un marco de 51 cm de ancho en su dimensión exterior, con 51 cm bajo la línea del pivote y 101.5 cm encima. La parte inferior debe sostener un filtro en el marco, según se describe a continuación: se deben poner dos bloques pequeños de madera atornillados a la pared cubriendo las cabezas de los tornillos con resinas para que sirvan de topes.

Las salientes horizontales del marco de 2.5 x 10 cm deben ajustarse exactamente al montaje del marco de cultivo. La pantalla frontal debe tener ventanas de "nylon" o metálicas para atrapar insectos que puedan no ser atrapados en la red del alga. Esta malla debe ser fácil de retirar después de la cosecha para poder quitar el alga. Se pueden hacer arreglos para un ensamblaje rápido y desensamblaje fácil

haciéndoles una pequeña perforación en cada esquina y teniendo alfileres de madera de 2.5 x 10 cm en el marco para ajustar con dichas perforaciones. La tela de tejido fino utilizada como filtro de algas debe estar fija al marco.

Para empezar se suministran 6 de estos filtros, y conforme se avance en el proyecto se ponen más. El total necesario depende del campo acuífero y del método que se utilice para sacar el producto.

Siempre debe estar un filtro en su posición. Se debe colocar un filtro en el montaje sobre el marco de pivote, balancearlo hasta que flote y se apoye suavemente sobre los bloques. Se debe cuidar de impactos violentos que producirían fugas a su alrededor. La rapidez de llenado del filtro sólo se puede adquirir con experiencia sobre este particular. Se debe quitar el filtro cuando sostiene alrededor de 5 cm de alga y se le debe reemplazar con un filtro nuevo.

6. Area de Lavado.-

El lavado de la plasta del filtro puede hacerse fácilmente si se dispone de un área de lavado corriente abajo del punto de cosecha.

Se puede disponer de una placa de madera balsa recubierta con una placa de plástico permanentemente para que el canal principal drene allí en forma continua. Se puede disponer de varillas de 5 x 10 cm para soportar el filtro mientras se rocía con regaderas verticales durante aproximadamente 5 minutos.

7. Secado.-

El secado del alga es la tarea final. Generalmente se reconoce que el secado es la etapa de procesamiento que más afecta la calidad nutritiva del alga.

Los métodos utilizados para secar el alga varían desde el secado al sol (tratamiento tradicional de nativos africanos y americanos) (41), secado por aspersión o con rodillos (104), hasta el secado por congelación (lío-filización) (108).

La solarización emplea la temperatura más baja de todos los procesos calóricos, por lo que retiene más nutrientes que otros procesos.

El secado por congelación retiene tantos nutrientes como en el secado al sol, pero es el proceso más caro que existe a escala industrial (102).

En forma seca la proteína puede utilizarse en todas las categorías de alimentos (productos cereales, productos lácteos, carne y alimentos similares).

Rendimiento.

En contraste, aún en sistemas agrícolas de energía intensa como en Estados Unidos, una hectárea de maíz no produce más de 400 kilogramos de proteína, y una hectárea de frijol de soya, que es el cultivo de cereal con más contenido de proteína, produce sólo 780 kilogramos de proteína.

Los hongos son la única cosecha que puede producir más proteína que el alga (de 50 a 80 kilogramos por hectárea al año), pero la proteína del hongo carece de varios de los aminoácidos que se consideran esenciales para la buena nutrición

Asimismo, la producción del hongo es complicada y cara en comparación con la producción de algas (26).

Un ejemplo de lo anteriormente mencionado, es el proceso denominado "Hyperion", que puede lograr cultivos de Spirulina con una técnica continua, bajo condiciones controladas, en canales de producción al aire libre, de poca profundidad y gran longitud, conteniendo un medio acuoso de alta alcalinidad. Se mantiene el flujo en cada canal mediante la recirculación de una cantidad apropiada del medio con el alga en crecimiento. Se bombea un exceso de CO_2 para que éste recircule al fluir con el alga por los canales. Otros nutrientes y trazas de elementos necesarios para el desarrollo, también se agregan al medio en forma continua. Cualquier material orgánico o inorgánico que pueda ser nocivo a la Spirulina o a las criaturas de las cuales se alimenta, se elimina en forma continua. La concentración del alga en crecimiento se mantiene lo más posible en el nivel óptimo mediante cosechamiento continuo de diversos puntos. Los "alimentos" de la Spirulina son agua, CO_2 , carbonato de sodio, ácido fósfórico, ácido nítrico, cloruro de sodio, sulfato de potasio, sulfato de magnesio, cloruro de calcio y trazas de elementos que lleva el agua de recirculación y el medio alcalino de relleno. Durante el paso por los canales, la Spirulina convierte estos alimentos, mediante la fotosíntesis, en proteínas, carbohidratos, vitaminas y otros compuestos orgánicos y produce oxígeno que escapa a la atmósfera.

En múltiples puntos del área de producción, una porción controlada del alga se cosecha en forma de lodo. Esta corriente se lleva a una estación central de producto terminado donde al lodo se le quita primero el agua y luego se seca, acondiciona y almacena.

El medio recuperado en la estación central de producto terminado se regresa a los canales de producción después de añadirle los nutrientes, trazas de elementos y agua necesarios como repuesto. La cantidad de agua de repuesto necesaria es la que se perdió por evaporación menos la precipitación pluvial (evaporación neta) más una pequeña cantidad añadida por pérdidas mecánicas y de purga.

El proceso "Hyperion" ofrece ventajas sustanciales sobre métodos agrícolas convencionales existentes para la producción de proteínas vegetales y animales así como otros procesos para producir las llamadas "Petroproteínas" (también llamadas proteínas unicelulares, PUC o proteínas sintéticas), a partir de substratos a base de petróleo o gas natural.

Se puede alcanzar un rendimiento mucho mayor de proteína por unidad de área. Por supuesto, el rendimiento depende de muchos factores, tales como condiciones climáticas, latitud, composición del medio, eficiencia de operación, etc. para un determinado proceso (69).

En vista de que los frijoles de soya son actualmente la fuente de mayor rendimiento y mayor extensión en el mundo de proteínas vegetales, la comparación entre Spirulina y frijol de soya resulta muy informativa:

1) El rendimiento promedio del frijol de soya en Estados Unidos, por ejemplo, es menor del 1/29 del rendimiento esperado de Spirulina por unidad de área, ya que el frijol de soya tiene menor proteína que la Spirulina (40.4 contra 65.7% en peso en base seca). La Spirulina produce casi 49 veces más proteína por unidad de área, además del problema de vender subproductos (aceite y alimento), lo cual ocurre en el frijo de soya y no ocurre con la Spirulina.

2) Al igual que otras Cianofitas, la Spirulina crece mejor en medio alcalino. Esto quiere decir que el CO₂, fuente del carbono para la fotosíntesis, puede disolverse muy fácilmente en el medio y utilizarse más eficientemente que con otros cultivos convencionales. Esto no ocurre con algas de otras clases (por ejemplo en el alga verde), que crecen en condiciones neutras o ácidas.

3) Las tierras marginales o industriales que son agrícolamente improductivas, son perfectamente adecuadas para el cultivo de Spirulina, siempre y cuando sean planas y dispongan de agua y condiciones climáticas adecuadas.

4) La Spirulina crece bien en áreas tropicales y subtropicales donde se necesitan mucho las proteínas y donde no crecen cultivos ricos en proteínas.

5) Aunque el crecimiento y, por lo tanto, la velocidad de cosecha dependen de la temperatura, la operación puede ser continua siempre y cuando la temperatura del medio de crecimiento durante el día esté entre 15 y 35° C.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

6) El rendimiento del material utilizable es mayor que el del cultivo convencional. La Spirulina es esencialmente 100% de proteína cruda, carbohidratos, vitaminas y minerales. Por ejemplo, es rica en beta-carotenos (precursor de la vitamina A) y contiene cantidades notables de las vitaminas B₁, B₂, B₆, B₁₂ y C. El desperdicio fibroso es prácticamente nulo (112).

7) Los requerimientos de mano de obra por unidad de área de cultivo y por unidad de peso de cosecha son considerablemente menores.

8) El cultivo y la cosecha son factibles de controlar automáticamente.

9) Los costos de operación son bajos por comparación con cultivos convencionales. La inversión de capital es menor si se toma en consideración el valor de la tierra utilizada.

10) Los nutrientes de la planta se utilizan más efectivamente ya que no se agotan por deslaves de agua de lluvia, como en el caso de la mayoría de los cultivos.

Las proteínas obtenidas en sustratos de metanol han sido consideradas como las más económica de la categoría de proteínas sintéticas, por lo que la comparación siguiente se considera representativa con esta "petroproteína" como material protéico sintético:

1) La Spirulina es un recurso renovable en contraste con cualquier producto basado en materias primas derivadas de combustibles fósiles.

2) La Spirulina se ha consumido por seres humanos durante largos períodos, proporcionando evidencias de que es nutritiva, digerible y no tóxica. Este hecho anima al público y aumenta la aceptación en el mercado.

3) La inversión de capital y los costos de operación son mucho más bajos que para el proceso de obtención de petroproteínas.

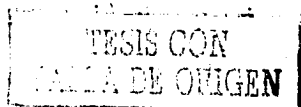
4) La materia prima y los costos de energéticos son mucho más bajos porque el bióxido de carbono y el agua son las materias primas principales y la luz solar es la principal fuente de energía.

5) No se tienen que resolver problemas difíciles y costosos de liberación de calor, como ocurre en el caso del proceso de petroproteínas.

6) La forma helicoidal de la Spirulina y su gran tamaño con respecto a otras algas permite cosecharla por filtración, sin recurrir a la alternativa de alto costo, de separarla por centrifugación, lo cual se usa para recuperar microorganismos a partir de petroproteínas (49).

7) La Spirulina, al igual que el frijol de soya y otros productos agrícolas similares, contiene sólo alrededor del 4% de ácidos nucleicos, comparado con un 10 a 15% para la petroproteínas.

Los ácidos nucleicos deben de estar por debajo del 5% en alimentos consumidos por humanos para evitar la formación excesiva de ácido úrico, que ocasiona la enfermedad conocida como la "gota". Por lo tanto, no es necesario eliminar ácido



nucléico de la Spirulina para la nutrición humana, mientras que la eliminación de ácido nucléico, necesaria para las peptidoproteínas sean adecuadas para el consumo humano tiene un costo elevado.

COSTOS DE PRODUCCION.

La tecnología de la Spirulina permite realizar una producción masiva a un precio poco elevado y factible, por las siguientes razones:

1) El gas carbónico es una materia prima barata y de fuentes abundantes. En particular, es un subproducto de la combustión de productos petroleros, lo cual es importante para evaluar los cultivos de Spirulina.

2) Como todo organismo microscópico, las algas tienen un elevado índice de crecimiento, por comparación con otras plantas superiores, por lo que fácilmente se obtienen rendimientos de 140 kilogramos de materia seca por hectárea y por día, en cultivos al aire libre.

3) En suma, la posibilidad de cultivar sobre terrenos incultivados constituye un factor favorable.

El precio de venta del producto de alga seca es posiblemente la variante más importante en el cálculo de la economía del proceso.

Los alimentos que tienen alto contenido de proteína, como por ejemplo el alimento del frijol de soya y el alimento de pescado están evaluados con un precio en el mercado de acuerdo a su contenido proteico.

La Spirulina seca con 66% de proteína se proyecta que encontrará un precio 1.5 veces mayor que el del alimento de frijol de soya que contiene 44% de proteína. El precio del alimento del frijol de soya puede variar ampliamente.

Sin embargo, el precio de venta del kg de proteína es superior al precio de las harinas utilizadas para alimento de animales. Por el contrario, es bastante competitivo en lo que concierne a la alimentación humana. Estos diferentes aspectos son por lo tanto favorables para una explotación intensiva de las algas como fuente de proteínas por lo que la Spirulina ha provocado un vivo interés en los organismos de las Naciones Unidas que se ocupan de la Nutrición Humana (UNICEF/FAO/ONU, etc.).

La inversión de capital de un proyecto para la producción de Spirulina se agrupa en las siguientes categorías:

Terreno

Preparación del terreno

Áreas anexas

Equipo del proceso

Otros equipos

Tuberías y subestación eléctrica

Se requiere terreno adicional para accesos, servicios auxiliares y para área no productiva; el área adicional se estima como un 25% del área de producción.

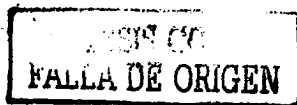
Los costos de equipo del proceso incluyen no sólo el equipo que se usa directamente en el secado y el procesamiento del alga, sino también en el mezclado y almacenamiento

del medio de nutrientes.

Los costos de requerimientos químicos deben basarse con los fabricantes de cada producto en particular.

El precio de venta del producto de alga seca, es posiblemente, la variable más importante en el cálculo de la economía de cualquier proceso de industrialización de Spirulina. Los alimentos animales de alta proteína (como por ejemplo el alimento de frijol de soya y el alimento de pescado) se pueden evaluar con un precio en el mercado basado en su contenido protéico. El precio del alimento del frijol de soya varía ampliamente, pero se tiene un promedio de \$4,900.00 (MN) por tonelada entre enero de 1977 y julio de 1980 (37). Para el propósito de cualquier análisis, se puede considerar un precio de venta de Spirulina del orden de \$7,400.00 (MN) por tonelada para 1980.

A continuación se muestra una comparación de costos entre el proceso "Hyperion" para la producción de Spirulina y sus competidores mayores, a un nivel de producción de 57,937 toneladas de proteína cruda (64).



	Producto (miles de U.S. dólares) "Hyperion"	Frijol de Soya	Petro-Protefna a partir de Metanol
Inversión fija del capital excluyendo terreno	867,576	373,608	1'176,000
costo del terreno	24,000	1'868,000	Despreciable
Inversión de capital fijo total	891,576	2'241,600	1'176,000
Costo de producción por to nelada de producto crudo (exceptuando utilidad)	3'085,700	6'044,640	9'426,720
Costo de producción por to nelada de producto crudo, incluyendo utilidad anual e impuesto del 10% sobre el terreno y 20% en el capital restante	6'121,680	10'558,320	13'484,640
Costo por tonelada de pro- ducto crudo en almacén al precio de mercado de expor tación. Excluyendo utilidad sobre el capital e incluyen do la utilidad anterior	4'399,200	8'023,920	10'529,040
sobre capital fijo	7'447,200	12'537,600	14'588,640

El análisis económico anterior demuestra que las protef
nas a partir del proceso Hyperion tienen menor costo que
cualesquiera de sus posibles competidores a gran escala y
pueden dar un retorno de la inversión atractivo, bajo cual-
quier condición imaginable en el mercado, como por ejemplo,
competencia con frijol de soya al costo (excluyendo utilidad).
Esta situación se ejemplifica por los rendimientos del 18.20%

TESTES CON
FALLA DE ORIGEN

y 30.5%. Los otros niveles de rendimiento (39.1% y 45.9%), probablemente no son relevantes porque la petroproteína lógicamente no puede ser considerada como un competidor a corto plazo.

Un retorno de la inversión realista para una planta con proceso "Hyperion" puede ser mayor que el anteriormente mostrado, en el que las cifras exactas dependen del mercado específico escogido por áreas geográficas. Lo más probable es que la Spirulina compita al principio con alimentos de pescado que son muy similares en contenido de proteína cruda (cerca de 64%) y que se vende en volúmenes relativamente grandes (1'806,000 toneladas por año en diecisiete países de Europa Occidental en 1972). Si la Spirulina compitiera en alimentos de pescado en Europa a precio de 1980, produciría una utilidad de alrededor de \$10,560.00 (MN) por tonelada cruda. Esto significa un retorno a la inversión anual antes de impuestos (al 100% de la capacidad de la planta) de alrededor de 35% del capital total invertido.

INDUSTRIALIZACION.

La estructura terciaria de la mayoría de las proteínas se destruye a temperaturas superiores a los 40 - 50°C, pero esta desnaturalización no afecta su valor nutritivo, ya que sus componentes se catabolizan a segmentos de aminoácidos durante la digestión (103).

La adición de calor en la mayoría de los casos es beneficiosa para los alimentos de alto contenido proteico porque mejora la digestibilidad del alimento para las proteasas

intestinales. Sin embargo, el calor excesivo causa la formación de nuevos eslabones en cadenas péptidas, creando aminoácidos "unidos" que resisten a las enzimas digestivas. De interés particular en esta área son los aminoácidos termolábiles: lisina, treonina y triptófano. La retención de la lisina tiene una importancia crítica porque es un aminoácido esencial que el cuerpo no adquiere fácilmente en comparación con otros aminoácidos.

La investigación intensiva de la carencia de lisina a temperaturas en aumento indica una relación proporcionalmente indirecta entre la pérdida de ésta y el incremento de temperatura. Calentando el alga no se modifica el contenido de triptófano y treonina (27).

Cuando los productos alimenticios se procesan con calor se retiene una mayor cantidad de nutrientes termolábiles en el centro del producto que en la superficie externa (mayormente expuesta al calor). Debido a que los procesos de secado requieren el calentamiento de la Spirulina para producir un polvo, no se puede proteger físicamente a ninguna porción de los aminoácidos, de la pérdida de deshidratación. Sin embargo, las temperaturas mayores durante tiempos largos han demostrado la retención de más proteínas, vitaminas y pigmentos.

El calentamiento excesivo desnaturaliza las proteínas, reduciendo la palatabilidad del alimento y frecuentemente reduciendo cambios de color. Esto ocurre principalmente en procesos que utilizan Spirulina seca. Los procesos de secado

al sol producen un producto menos coloreado con sabor más ligero. El secado a temperaturas más altas (de 100 a 200°C) durante tiempos cortos producen hojuelas "quemadas" de color oscuro con textura frágil, sabor permanente y olor desagradable.

El alga debe de secarse para fines de esterilización, empaçado, transporte, almacenamiento y facilidad de uso en sistemas alimenticios. Otros pasos adicionales pueden incluir decoloración, que puede garantizarse para consideraciones de consumo humano, y procesamiento adicional para dar mayor aceptabilidad nutritiva. Todo ésto eleva los costos de producción totales (41).

Se recomienda que se consuma el alga en forma fresca y que sólo seque aquella fracción que se necesite almacenar para largo plazo. Si se dispone de un refrigerador lo suficientemente grande, no se necesita secar sino simplemente almacenar en bloques de alga; sin embargo, como el alga contiene 85% de agua, ésto es bastante ineficiente. Por ejemplo, el alga húmeda suficiente para suministrar el 50% de requerimiento protéico de una persona para el mes pesa aproximadamente 7 kilogramos y ocupa 6.8 litros. Por lo tanto un congelador convencional de 680 litros sólo podría mantener una cantidad suficiente (al 60% de consumo de proteínas) para 24 personas durante 24 meses. Sin embargo, existen muchos medios naturales de preparar y almacenar el alga. El ingenio es lo que debe de suministrar la solución más adecuada. Una

forma es construir una instalación para desecarla al sol, con lo cual semejaría un herbario con soportes de maderas internos en los que se colocarían charolas de alga húmeda finamente atomizadas para secar.

Lo mejor de todo, es un horno eléctrico colocado a 82°C porque ésto pasteuriza el alga y la convierte en un producto muy seguro para almacenar. En cualquier método que se utilice se debe de extender el alga en charolas en capas delgadas de espesor no mayor de 2.5 cm. Después de secar, el alga se convierte en hojuelas, las cuales pueden almacenarse en jarras sin aire durante años.

Entre las dos variedades de Spirulina las diferencias taxonómicas no reflejan prácticamente ninguna variación nutricional. Sin embargo, la selección de una técnica para el procesamiento del producto tiene un impacto crítico en el valor nutritivo del producto final. La Spirulina se cosecha y concentra por filtración y luego se lava para quitarle sales residuales del medio de cultivo. El concentrado se usa entonces, ya sea congelado o deshidratado. Debido a que la Spirulina deshidratada (seca) puede almacenarse a 25°C, el secado es el método de procesamiento utilizado con mayor frecuencia.

La adición de calor en la mayoría de los casos es benéfica para alimentos de alta proteína porque mejora la digestibilidad del alimento por la proteasas intestinales. En general, temperaturas más bajas por tiempos más largos han de mostrado ser más adecuadas para retener más proteínas, vitaminas y pigmentos.

En vista de que las fuentes de alimentos tradicionales y las técnicas agrícolas se desarrollan linealmente, mientras que los humanos necesitan alimentación y se multiplican exponencialmente, la necesidad de alimentos concentrados de nutrientes se hace más evidente. Este objetivo puede cumplirse parcialmente suplementando alimentos (35).

Tikker (110) describió las características necesarias para una fuente proteica "perfecta", mencionando los siguientes atributos:

- 1.- Económico
- 2.- Rápidamente renovable
- 3.- No tóxico
- 4.- Digerible
- 5.- Nutritivo
- 6.- Paladeable

Las algas han demostrado gran potencial en el cumplimiento de estos requerimientos:

La proteína del alga económica y el crecimiento puede optimizarse en aguas no fértiles.

Como la velocidad de crecimiento del alga es alta (hasta tres generaciones por día) y los procedimientos de cosecha son simples, el rendimiento de proteína es mucho mayor que el de cosechas agrícolas convencionales. El almacenamiento hasta por 2 años a 25°C no produce efectos indeseables o nocivos al consumidor (105).

Las algas tienen un espectro de sabor desde insípido hasta picante, dependiendo del tipo y técnica de procesamiento (17).

Las técnicas para la preparación de alimentos con - - -
Spirulina deben seguir los siguientes pasos:

- 1.- Preconcentración
- 2.- Filtración
- 3.- Desintegración celular*
- 4.- Decoloración*
- 5.- Secado
- 6.- Preparación del alimento

*Estos pasos se realizan sólo si se desea decoloración del producto.

MÉTODOS DE INCORPORACION DE LA SPIRULINA A LA DIETA HUMANA.

En vista de que la Spirulina es una fuente no convencional de proteína, la mayoría de la gente no está familiarizada con sus características. El alga puede usarse en estado crudo en dos formas: como un producto húmedo concentrado (con consistencia de budín de chocolate batido), o en pastiles secos con hojuelas (que pueden modelarse en tabletas u homogeneizarse en polvo fino). El material húmedo es de color verde oscuro, casi negro y tiene un sabor ligero y terroso, pero distinto al de la hierba, como podría esperarse. Las hojuelas secas tienen un color verde oscuro con textura frágil. Cuando está molida en polvo, aparecen tonos más claros.

Se puede suponer que la reducción del tamaño de las partículas permite que el material se hidrolice homogéneamente y así se incorpore a los alimentos de manera más uniforme que en otras formas (37).

El sabor de la Spirulina es bastante comparable al de las hojuelas de mostaza, con una definida astringencia no muy diferente a la del orégano. Posee un sabor ligeramente fermentado y a veces deja un sabor de boca metálico.

El polvo de Spirulina es menos denso que el del trigo, arroz y otras harinas de cereales.

No se han hecho experimentos sobre la velocidad de deshidratación, elasticidad, viscosidad, o retención de humedad de la Spirulina, aunque se estima que para dichos conceptos el polvo de alga se comporta como la harina refinada de trigo.

a) Incorporación a Productos de Cereal Horneados (32)

Desde el punto de vista nutricional, el grupo de los cereales es la categoría más apropiada para la fortificación de nutrientes con Spirulina, debido a que los cereales comprenden la mayoría de las dietas de todas las civilizaciones. En países pobres o subdesarrollados, los almidones forman aproximadamente del 80 al 90% de cada alimento en su dieta. En naciones occidentales desarrolladas, hay un rápido incremento en el consumo del pan (por ejemplo, las ventas de alimentos rápidos y aperitivos han aumentado notablemente). Debido a que este tipo de alimentos es de consumo amplio, su fortificación es una forma efectiva de aliviar el problema de la malnutrición (72).

Los agentes esponjantes en altas concentraciones (particularmente el royal y el almidón) producen un sabor rápidamente identificable que satisfactoriamente enmascara el sabor

poco familiar del alga.

Se han hecho algunos experimentos en panes de alta humedad con buenos resultados. Los "Bisquets" pequeños han demostrado ser excelentes vehículos para cantidades significativas de alga (de 5-15%). El sorgo y el trigo integral deben producir aun mejores resultados debido a que ambos tienen un sabor ligeramente picante y fermentado (56).

Una firma comercial mexicana introdujo al mercado una galleta de Spirulina a principios de 1977. Tal producto de baja humedad subraya la habilidad del alga para almacenarse por largos periodos de tiempo para su explotación (hasta tres años sin consecuencias dañinas). En mercados occidentales, los panecillos fritos pueden cumplir con el mismo fin. En este caso, el tinte verde y el sabor del alga, similar al del orégano, han demostrado ser agradables más que extraños; por ejemplo, existe un producto comparable en el mercado de Estados Unidos como panecillos fritos salados para sopas, producido por la compañía "Pepperidge Farm Foods, Ind." y otros competidores.

En la categoría de productos de cereales, aparentemente las pastas son un alimento promisorio para la incorporación de algas. Los "Spaghetts" de espinaca verde son bastante comunes; se puede uno preguntar ¿por qué no "Spaghetti" de alga verde? no sólo ambos productos tienen un color idéntico sino que los sabores son muy similares. Las pastas son algunos de los productos alimenticios más promisorios para el suplemento con Spirulina porque algunos obstáculos de aceptabilidad

desaparecen por la misma naturaleza del producto (94).

b) Incorporación a Productos Lácteos.

Debido a que el grupo de la leche contiene cantidades considerables de proteína de alta calidad en forma de caseína, la adición de algas para fines proteícos es menos importante que en los grupos de cereales universalmente conocidos. Sin embargo, diversos productos en esta categoría no son tan ricos como la leche, que es la que se toma como referencia. Existen otros artículos consumidos como golosinas, los cuales son un objeto más deseable en esta división.

Las deficiencias de proteína no están limitadas a los grupos socioeconómicos inferiores. Por ejemplo, en Estados Unidos muchas personas (especialmente niños y adolescentes) están desnutridos por una selección inadecuada de alimentos. Además de que cada vez se toman más comidas fuera del hogar, la fortificación de aperitivos y postres se convierten en una respuesta sensata para invertir esta tendencia.

El alga Spirulina se puede integrar a diversos postres. Morimura y Tamilla (74) añadieron grandes cantidades del alga azul-verde Chorella al helado de vainilla, obteniendo altos resultados de aceptación. Utilizada en esta forma, el color verde oscuro del alga se acentúa, sin modificar el sabor básico del postre. En forma similar, la Spirulina podría añadirse a budines, productos helados y yoghourts para simular las variedades de pistache.

Los quesos, particularmente los añejos, poseen sabores y olores similares a los atributos técnicos del alga. La

Spirulina podría combinarse fácilmente con los quesos para untar, aderezos de ensaladas y "dips", con pequeñas diferencias en calidad o color del producto.

Gran número de alimentos se preparan con crema agria, yoghurt o mantequilla como ingredientes principales. La sen sación de ácido láctico de estos productos, combinada con la variedad de otros ingredientes (sobre todo especias) sugieren que la adición de proteínas de alga no tenga efectos en la aceptación del producto final (98).

Los rollos hechos con leche y crema (especialmente los preparados con royal), cumplen con todas las características ideales para la adición de Spirulina. Los "dips" y los aderezos a base de crema agria y yoghurt, especialmente las variedades sazonadas con ajo, aguacate o queso tipo "roquefort" también se consideran como buenas posibilidades. Estas recetas no sólo poseen sabores característicos, sino que tienen tintes verdosos que pueden acomodar al alga en una forma útil.

c) Incorporación a Carnes.

El futuro de la incorporación del alga en la carne y productos relacionados es tan promisorio como en otros grupos alimenticios. Esta división se menciona sin embargo, para demostrar la versatilidad del polvo de Spirulina en todo el espectro alimenticio. Al respecto, resulta evidente que la forma más conveniente de Spirulina es la de un polvo de tipo harinoso. Debido a este atributo, el alga se puede utilizar para aumentar el contenido protéico de las carnes

coloreadas artificialmente cuando se usan cortes más baratos.

La Spirulina también puede combinarse junto con el pescado y la proteína de soya en concentrados, aunque hasta la fecha estos productos no han resultado muy palatables y por lo tanto tienen poco uso en la dieta humana. El uso de varios tipos de alga con subproductos de carne aparenta ser muy útil en alimentos animales, pero está limitada con respecto a los alimentos humanos.

d) Incorporación a Mezclas Vegetales.

Al igual que con las carnes, el alga se usa mejor con alimentos picados o en puré en este grupo, o como adición a otros componentes. Existe una variedad ilimitada de vegetales que acomodan fácilmente la adición de la Spirulina. El color verde oscuro del polvo se enmascara fácilmente en la mezcla, al igual que cualquier otra verdura de color verde oscuro como constituyente mayor. La espinaca y las verduras tienen un color y un sabor similar al del alga. Por lo tanto, los platillos en que estos compuestos son el tema principal deben tener éxito particular.

Al igual que los guisados, las salsas pueden prepararse fácilmente con cantidades significativas de Spirulina. Tipos similares a la crema de espinaca pueden ser los más exitosos. Las calidades similares de estos dos alimentos crudos aumentan la factibilidad de la incorporación del alga en platos como los siguientes: "Crepas Magdalena", "Soufflé de Espinacas", "Ostiones Rockefeller", y otros platos elegantes. La "Salsa Florentina" no sólo es similar en color y sabor, sino

que es fácil de hacer, barata y muy versátil, al igual que la Spirulina.

Similar a las salsas son las sopas, que constituyen una variante más líquida. Debido a que muchas verduras se preparan como puré para las sopas, las algas pueden utilizarse con mayor variedad en esta clase. Las algas de color verde oscuro son las más paladeables en las sopas cremosas. Las cremas de brócoli, espárragos, espinacas y chícharos pueden representar una base exitosa para suplemento protéico.

e) Incorporación a Especias.

Como se ha descrito con anterioridad, la Spirulina tiene un sabor picante similar al del orégano. Este atributo debe permitir que el polvo se use más libre en alimentos picantes, especialmente al estilo italiano o mexicano y con mayor frecuencia en estilos delicados del tipo de la comida francesa tradicional. Utilizada como sazonador, imparte un sabor curioso a las ensaladas cuando se añade al aderezo, pan frito o cuando se espolvorea junto con ingredientes de sabor similar, tales como mostaza, apio o espinaca.

ACEPTACION DE LA SPIRULINA

A pesar de que estos artículos llevan relativamente poco tiempo en el mercado, se ha visto una aceptación inmediata y asombrosa. Según se ha podido comprobar mediante algunas entrevistas (47) con los dueños de tiendas naturalistas, los productos en cuestión tienen cada día más demanda debido a que el público está comprobando en su propio organismo los benéficos efectos de la Spirulina.

También por medio de entrevistas con los consumidores de Spirulina (43) ha sido posible determinar que las primeras reacciones orgánicas se dejan sentir a partir del tercer o cuarto día de ingerir el producto. Todos los entrevistados han coincidido en afirmar que el primer síntoma benéfico es un mejor funcionamiento del aparato digestivo y que después se presenta una mejora en la circulación sanguínea y una sensación de ligereza. Todas estas reacciones parten de un hecho fundamental: la Spirulina contribuye a regular el metabolismo (43), y con éllo todo el organismo empieza a funcionar a un ritmo más equilibrado.

Por supuesto, los productos elaborados con alga no son una panacea para todos los males, pero sí contienen una elevada cantidad de nutrientes que reactivan el metabolismo, evitando la acumulación de colesterol en la sangre, evitando problemas renales y pulmonares y mejoran visiblemente la actividad digestiva y glandular (99).

La Spirulina es completamente digerible y no causa ningún efecto lateral. A través de su larga historia, en su uso como alimento humano no ha habido evidencia de complicaciones. En segundo lugar, no es objetable su sabor, lo que han confirmado los franceses, belgas y japoneses. Ambas razones difieren con experiencias pasadas en la producción de algas. Por ejemplo, Chlorella y Scenedesmus son dos géneros estudiados durante casi 20 años como posibles fuentes de alimentos, pero ambas tienen paredes celulares duras que resisten la

acción de las enzimas de la digestión. Esta resistencia produce cólicos gastrointestinales después de la ingestión del alga. Aunque se habían desarrollado algunos métodos para eliminar estos efectos, cada paso adicional aumentaba el costo y la complejidad de producción, por lo que ambas fueron finalmente desechadas (62).

SUGERENCIAS.

Los "bisquets" de Spirulina pueden mejorarse fácilmente de diversas formas. Las técnicas de secado correcto eliminan la mayoría del sabor inaceptable. La decoloración del alga mejora mucho la cantidad que puede añadirse al alimento ya que este tipo de proceso no sólo reduce los efectos del tinte natural del producto sino que disminuye un poco el sabor original. El uso concentrado de alga fresca podría permitir una mayor suplementación, ya que el sabor que queda en la boca se reduce tremendamente cuando se usa Spirulina en estado fresco. Si se estandariza la fórmula de muestra de referencia, se puede obtener un producto más sabroso y tierno, que simultáneamente incremente la calificación de la evaluación sensorial para el producto de Spirulina.

El sabor del "Royal" no cubre el sabor dejado por la Spirulina, tan bien como se espera. Se recomiendan panes con levadura, ya que estos alimentos han recibido altas calificaciones en juzgados de pruebas, en estudios anteriores (58). Debido a que los alimentos fríos y calientes con alga incorporada han tenido éxito, los productos de este tipo se

recomiendan más que un alimento blando, servido a temperatura ambiente. Los platillos picantes o con sabor específico también son vehculos favorables para la suplementación con Spirulina.

Ejemplo de una Receta a Base de Spirulina.-

La forma de cocinar el alga depende del consumidor.

Por razones de seguridad, se sugiere que cuando se utilice el alga seca o fresca se cocine para que cualquier bacteria que pudiera contaminarla se elimine por efecto del calor.

Existen muchas variantes de recetas a base de Spirulina. Además, para emplearla en recetas normales, se debe modificar ésta, reduciendo a la mitad la cantidad de proteína (sea de carne, pollo, queso, pescado, etc.), añadiendo una taza por persona de alga húmeda o dos cucharadas por persona de alga seca. Por ejemplo:

RECETA DE "GOULASH" HUNGARO

(para 6 personas)

Ingredientes:

- 6 tazas de alga húmeda (ó 12 cucharadas de hojuelas de alga seca
- 700 g de carne para guisado, cortadas en cubos de 2.5 cm
- 2 cebollas grandes picadas
- 3 pimientos verdes, rebanados
- 300 g de pasta de tomate o equivalente
- 2 cucharadas de pimienta

2 cucharadas de "paprika" (pimentón)

2 cucharadas de sazonador italiano

Preparación:

Humedézcase la carne en agua durante una hora. Fría las cebollas y los pimientos en mantequilla hasta que las cebollas empiecen a ponerse cafés. Añada la cebolla y la mezcla de pimientos, las especias y hierbas, la pasta de tomate y el alga a la carne guisada y cocínese durante 30 minutos. Sírvasse en una cama de arroz.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES

El futuro de la alimentación en México y en el mundo depende de los avances logrados en la aplicación de la tecnología para el mejor aprovechamiento de los recursos actuales y de la investigación sobre nuevas fuentes de alimentos. La Spirulina es uno de los primeros pasos a este respecto. Su aplicación como complemento alimenticio, tanto humano como animal, presenta un panorama alentador al problema alimentario actual.

Debido a un rápido crecimiento por el uso eficiente de los nutrientes y de la energía solar, la Spirulina puede reconocerse por tener aplicaciones de gran potencial. Probablemente, el uso más importante es la producción de protefina y por el momento no existe indicación de que ninguna alga y otra cosecha potencial tenga probabilidades de mejorar la Spirulina en la producción económica de protefina comestible.

La mayor parte de las investigaciones sobre la Spirulina se han hecho en algunas áreas de la Fisiología y de la aceptabilidad nutricional. Aunque todavía existe mucho trabajo por hacer para la optimización biológica y para el diseño de la ingeniería de proceso, hasta la fecha no ha aparecido ninguna evidencia que sugiera obstáculos fuertes para que la Spirulina se convierta en una fuente importante de protefina en el futuro.

Analizando la situación actual de este producto en México vemos que su producción se está incrementando en forma

muy satisfactoria, ya que de 500 toneladas cosechadas en 1980, el nivel tendrá un pronóstico de duplicación por cada año que transcurra.

Además, el alga Spirulina es una buena fuente de proteínas por su alto contenido y por su equilibrada composición de aminoácidos esenciales. El alga puede formar parte de un concentrado protéico, ya que tiene la capacidad de complementar a varios cereales. A bajas concentraciones mejora la calidad del maíz y todavía es mejor cuando se adiciona al arroz. El mayor efecto es con trigo, ya que se obtienen PER y UPN altos.

Se considera que la Spirulina ofrece un alto potencial en la utilización de organismos unicelulares en la alimentación humana; sus ventajas de gran velocidad de reproducción, pocos requerimientos nutricionales, alto contenido de proteínas, ausencia de efectos tóxicos, fácil digestión y facilidad para el procesamiento mecánico del producto, la hacen muy adecuada para el consumo humano.

Por todo lo anterior, la Spirulina posee propiedades únicas que la convierten en una fuente barata de proteínas con gran potencial para el futuro de la humanidad.

Del presente trabajo se puede concluir que debido a sus excelentes cualidades nutricionales y con los grandes avances logrados en los últimos años en la tecnología de su procesamiento, la Spirulina puede usarse en un futuro próximo en países que presenten problemas de desnutrición por falta de alimentos con un alto contenido de proteínas.

B I B L I O G R A F I A

- 1.- Abbot, J.C. 1966. Protein Supplies and Prospects: The Problem. Am. Chem. Society. 1-2.
- 2.- Abelson, P.H. 1971. Food Politics, Economics, Nutrition and Research. Am. Association for the Advancement of Sci. pp. 10.
- 3.- Al'bitskaya, O.N., Zaitseva, G.N., Pakhomova, M.V. 1974. Physiological and biochemical peculiarities of a culture of Spirulina platensis algae. Microbiol. 43 (4) 551.
- 4.- Association of Official Agricultural Chemists. 1965. Official Methods of Analysis of the AOAC. 10th. Ed. Washington.
- 5.- Bauman, H.E. 1975. Cereal products Technology of Fortification of Foods. Washington, D.C. National Academy of Sci.
- 6.- Becker, E.W. y Venkataraman, L.V. 1978. A manual on the Cultivation and Processing of Algae as a Source of Single Cell Protein. Wesley Press. Mysore, India.
- 7.- Beltrán, E., Ruz, O.M. 1970. Biología Contemporánea. Ed. ECLALSA. México. 31-34.
- 8.- Beltrán, E., Ruz, O.M. 1970. Biología Contemporánea. Ed. ECLALSA. México. 33-34.
- 9.- A Blue-Green Alga as a Human Food Source. 1968. Nutrition Reviews. 26:182.
- 10.- Bourges, H., Sotomayor, A., Mendoza, E. y Chavez, A. 1971. Utilization of the algae Spirulina as a protein source. Nutr. Rep. Int. 4 (1) : 31.

- 11.- Brewer, P.G. y Goldman, J.C. 1976. Alkalinity changes generated by phytoplankton growth. Limool. Oceanogr. 21:108.
- 12.- Burlew, J.S. 1953. Algae culture from laboratory to pilot plant. Publ. 600. Carnegie Institute, Wash. D.C. 123.
- 13.- Carr, N.G. y Whitton, B.A. 1973. The Biology of Blue-Green Algae. University of California Press. Berkeley. pp. 676.
- 14.- Clement, G., Giddey, C. y Menzi, R. 1967. Aminoacid composition and nutritive value of the alga Spirulina maxima. J. Sci. Food. Agric. 18:497-501.
- 15.- Clement, G., Durand-Chastel, H. y Henny, V. 1969. Une nouvelle algue alimentaire. Overdruk vit Voeding. 30 (12):772.
- 16.- Clement, G. y Durand-Chastel, H. 1972. Spirulina Food for tomorrow, In Proc. of the IX Int. Congress of Nutrition, Mexico City, Mexico, Sept.
- 17.- Clement, G. 1974. Nutritional and biochemical quality of Spirulina algae for human consumption. IV Int. Congress of Food Science and Technology. 8a:30.
- 18.- Clement, G. 1973. Producing Spirulina with CO₂. Int. Conference of Single Cell Proteins. Cambridge, Mass. MIT Press.
- 19.- Clement, G. 1968. A New Food Algae. Int. Symposium of New Sources of Protein for Human Consumption.
- 20.- Clement, G., Henny, V. 1964. A new food algae. IFP.

- 21.- Clement, G., Giddey, C. 1967. Aminoacid comparison and nutritive value of the algae Spirulina maxima. Sci. Agric. 18:179.
- 22.- Clement, G. y van Landeghem, H. 1976. Influence of CO₂ in Spirulina cultures. Science. 196:430-2.
- 23.- Clement, G. y Durand-Chastel, H. 1970. Alimentos para el mañana. Primer simposio mundial de zonas áridas. México.
- 24.- Clement, G. 1971. Nestlé Research News. Editado por Nestlé. pp. 59.
- 25.- Conferencia presentada por la ATAM en 1980 sobre el alga Spirulina.
- 26.- Courts, A. 1973. Recent advances in protein production. Process Biochem. 8:31-33.
- 27.- Charenkova, H.A. 1975. Effect of extreme temperature on growth of the blue-green algae Spirulina platensis. CR. Acad. Bulg. Sci. 28:799-802.
- 28.- Chiu, R.J., Liu, H.I. y Soong, P. 1978. The mass production and development of blue-green algae Spirulina. Industrial Tech. Res. Institute, Hsinchu, Taiwan.
- 29.- Daft, M.J. y Stewart, D.P. 1971. Bacterial pathogens of freshwater blue-green algae. Mew. Phytol. 70:819-29.
- 30.- Dam, R. 1965. Utilization of algae as a Protein source for humans. J. Nutrition. 86:376.
- 31.- Davis, K.A., Dedrick, C.S., French, H.W. y Spoehr, H.A. 1953. Laboratory experiments on Chlorella culture. Carnegie Institute, Washington, D.C. pp. 15.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- 32.- De Renzo, J. 1975. Doughs and Baked Goods: Chemical, Air, and Non-leavened products. Park Ridge, N.J. Noyes. 134.
- 33.- Díaz del Castillo, B. 1955. Historia Verdadera de la Conquista de la Nueva España. Porrúa, México. 1:279.
- 34.- Droop, M.R. 1973. Some thoughts on nutrient limitation in algae. J. Phycol. 9:264-72.
- 35.- Durand-Chastel, H. y Sánchez, C.S. 1970. Progress in the industrialization of photosynthesis through the use of the alga Spirulina. Presented by Sosa Texcoco at the 1st. Chem. Congress of the North Amer. Cont., Mexico. Dec.
- 36.- Droop, M.R. 1974. The nutrient status of algal cells in continuous culture. J. Mar. Biol. Assoc. U.K. 54: 825-55.
- 37.- Estadísticas proporcionadas por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos referente a la producción y al precio de productos agroindustriales. 1980.
- 38.- Farrar, W.V. 1966. Tecuítlatl: A glimpse of Azteca food technology. Nature. 211 (5047):341.
- 39.- Fogg, G.E., Stewart, W.D.P., Fay, P. y Walsby, A.E. 1973. The Blue-Green Algae. Academic Press. New York. pp. 459.
- 40.- Fogg, G.E. 1975. Algal Cultures and Phytoplankton Ecology. The University of Wisconsin Press. Madison. pp. 175.

- 41.- Fox, R.D. y Navisari, I. 1973. An experimental respirating basin for Spirulina culture, Laboratoire de la Roquette, France. (unpublished manuscript).
- 42.- Furst, P.T. 1978. Spirulina: A nutritious alga, once a staple of the World's hungry people. Human Nature, March. 61:60-65.
- 43.- Furst, P.T. 1978. Spirulina. Human Nature. 3:61-65.
- 44.- Fott, B. y Karim, A. 1973. Spirulina plankton community in a lake in Jebel Marra, Sudan. Arch. Protistenk. 115:408.
- 45.- Goldman, J.C. 1973. Carbon dioxide and pH: Effect on species succession of algae. Science. 182:306-7.
- 46.- Goldman, J.C. 1979. Outdoor algal mass cultures I. Applications Water Res. 13:1.
- 47.- Gordon, I.F. 1970. Algae Proteins and the Human Diet in Protein as Human Food. (R.A. Lawie Editor) Butterworths, London. pp. 328.
- 48.- Goldman, J.C. 1979. Outdoor algal mass cultures II. Photosynthetic yield limitations. Water Res. 13:119.
- 49.- Holm-Hansen, O. 1968. Ecology, Physiology and Biochemistry of blue-green algae. Ann. Rev. Microbiol. 22:47-70.
- 50.- Hudson, B.J.F. 1972. Aspects of Vegetable Structural Lipids the lipids of the alga Spirulina. Dept. of Food Sci. Univ. of Reading. 13.
- 51.- IFP. 1970. State of development of the IFP algae progress. Institut Français du Pétrole. Report to FAO/WHO/UNICEF Protein Advisory Group. Section One.

- 52.- Jacobs, M.B. 1958. The Chemical Analysis of Food and Food Products. D. Van Nostrand Co. Inc. Princenton. pp. 21.
- 53.- Jones, L.W. y Myers, J. 1964. Enhancement in the blue-green algae, Anacystis nidulans. Plant Physiol. 39: 936-46.
- 54.- Jones, L.W. y Myers, J. 1965. Pigment variations in Anacystis nidulans induced by light of selected wevelengths. J. Phycol. 16-13.
- 55.- Kosarik, N., Nguyen, H.I. y Bergoughou, M.A. 1974. Growth of Spirulina maxima algae in effluents from secondary waste treatment plants. Biotechnol. Bioeng. 16:881-96.
- 56.- Kondrot'ev, Y.I. 1966. Use of 150 grams of dry biomass of unicellular algae in food rations of man. Vopr. Pitan. 25:14.
- 57.- Kratz, W.A. y Myers, J. 1955. Nutrition and growth of several blue-green algae. Amer. J. of Botany. 42:282-7.
- 58.- Lang, 1950, Altschul, A.M. 1974. Ed. New Protein Foods, New York. Academic Press.
- 59.- Leesley, M.E. 1976 (unpublished manuscript). The Algal Protein Research Project. The University of Texas, Austin.
- 60.- Leonard, J. 1966. The 1964-65 Belgian Trans-Saharan Expedition. Nature. 209 (5019):126.

- 61.- Leonard, J. y Compere, P. 1967. Spirulina platensis (Gom.) Geilt algae bleue de grande valeur alimentaire par sa richesse en proteíns. Bull. Jard. Bot. Nat. Belg. 37 (1):Supplement.
- 62.- Lipinsky, E.S. y Litchfield, J.H. 1970. Algae, Bacteria, and yeasts as a food and feed. CRC Critical Rev. on Food. Tech. 1:581.
- 63.- López Gómara, F. 1958. Conquista de México. Porrúa, Mexico. 348.
- 64.- Marquis, S.A. y Wilson, C.A. 1979. A Scientific Review of Spirulina. The University of Texas at Austin Chemical Engineering Department.
- 65.- Martínez, N, N.G. 1971. Carbohidrates of Spirulina maxima. University of Puerto Rico, Faculty of Engineering, Biochemical Engineering Laboratories, Mayaguez, Puerto Rico.
- 66.- Mateles, R.J. y Tannenbaum, S.R. 1968. Single Cell protein The MIT Press. Cambridge, Mass.
- 67.- Mendoza, M.E. 1971. Aspectos nutricionales de una profetna unicelular. Tecnología de Alimentos. 6 (22):21-30.
- 68.- Meyers, J. 1960. Culture of unicellular algae. Springer Verlag Berlin. 5 (1):211-233.
- 69.- Mikhalov, A.A. y Borisova, I.A. 1975. Seasonal variations in Spirulina platensis productivity and stability. Vestn. Leningi, Univ. Biol. 2:127-34.

- 70.- Mikhalov, A.A. 1973. Effect of temperatura and light conditions of cultivation on the productivity of Spirulina platensis. Biol. Nauki. (Moscow). 15:67-73.
- 71.- Miller, D.S. 1963. A Procedure for Determination of NPU Using Rats Body Nitrogen Technique. Evaluation of Protein Quality. Publication 1100. National Academy of Sciences. Washington.
- 72.- Milner, M. 1974. Protein-fortified cereal foods for developing countries. Cereal Sci. Today. 19:509.
- 73.- Monod, J. 1950. La technique de culture continue, theorie et applications. Ann. Instit. Pasteur. 79:390.
- 74.- Morimura, H. 1954. Preliminary experiments in the use of Chlorella as a human food. Food Tech. 8:179.
- 75.- Motolinfa, T. de 1903. Memoriales (Doc. Históricos de Méjico). México. Vol. 1:327.
- 76.- Myers, J. 1960. Evidences from Action Spectra for a Specific Participation of Chlorophyl A in Photosynthesis. J. Gen. Physiol. 43:723-736.
- 77.- Myers, J. y Graham, J. 1959. On the mass culture of algae II. Yield as a function of cell concentration under continuous sunlight irradiance. Plant. Physiol. 34:345.
- 78.- Myers, J. y Graham, J. 1961. On the mass culture of algae III. Light diffusers; high vs. low temperature. Chlorellas. Plant Physiol. 36:342-46.

- 79.- National Academic of Sci. 1971. Rapid population Growth I-II. Johns Hopkins Press. Baltimore.
- 80.- Nichols, H.W. 1973. Growth media-freshwater. In stein, J.R. Handbook of Phycological Methods. Camgridge press. London, England. 7:24.
- 81.- Nason, A. 1972. Biologfa. Ed. Limusa-Wiley. Mexico. 85-86. 323-330.
- 82.- Ogawa, T., Kozasa, H. y Terui, G. 1971. Studies on the growth of Spirulina platensis II. Growth kinetics of an autotrophic culture. J. Ferment. Tech. 50:143-9.
- 83.- Ogawa, T. y Terui, G. 1972. Growth kinetics of Spirulina platensis in autotrophic and mixotrophic cultures. In Proc. of IV IFS. Ferm. Tech. Today. 4:543-9.
- 84.- Ortega, M.M. 1972. Study of the edible algae of the Valley of Mexico. Bot. Mar. 15:162.
- 85.- Palmer, F.E., Ballard, K. y Taub, F. 1975. A continuous culture apparatus for the mass production of algae. Aquaculture. 6:319-31.
- 86.- Paoletti, C., Pushparah, B. y Florenzano, G. 1968. On Pigments, Growth, and Photosynthesis. J. Phycology. 4:349.
- 87.- Paoletti, C., Florenzano, G. y Blloni, W. 1971. Studies on the carotenoid pigments of Spirulina platensis used in massive culture. Ann. Microbiol. Enzimol. 21:71.

- 88.- Paoletti, C., Pushparah, B. y Florenzano, G. 1976. Unaponifiable matter of green and blue-green algae lipids as a factor of biochemical differentiation of their biomass. Lipids. 11:258.
- 89.- Pearson, D. 1970. The Chemical Analysis of Food. Sixth Ed. Churcill, London. pp. 9.
- 90.- Phillips, J.N. y Myers, J. 1954. Growth rate of Chlorella in flashing light. Plant Physiol. 29:152-60.
- 91.- Phillips, J.N. y Myers, J. 1954. Measurement of algal growth under controlled steady-state conditions. Plant Physiol. 29:148-52.
- 92.- Pinevich, V.V., Verzilin, N.N. y Mikhailov, A.A. 1970. Study of Spirulina platensis. A new object of intensive mass cultivation. Fiziol. Rast. 17:1037.
- 93.- Pipes, W.O. y Koutsoyannis, S.P. 1968, Light Limited growth of Chlorella in continuous cultures. 345.
- 94.- Pirozhenko, S.U. 1976. Biochemical characteristics of Spirulina platensis. (Gom.) Geitl. II, Carbohydrate content. Ukr. Bot. Zh. 32:229.
- 95.- Powell, R.C., Nevels, E.M. y McDowell, M.E. 1961. Algae Feeding in Humans. J. Nutrition. 75:7.
- 96.- Prescott, W.H. 1966. History of Conquest of Mexico. (J.F. Kirk Editor) G. Routledge, London.
- 97.- Protein-from-algae. 1966. Research group of the University of Texas. Small Scale culture of Spirulina algae to produce a high protein food.

- 98.- Richardson, T. 1959. Algae as a source of human food. Nutrition Rev. 17:238.
- 99.- Robinson, R.K. 1974. The potential value of algae as a food supplement. In Proc. of the IV Int. Congress of Food Sci. and Tech.
- 100.- Sahagún, B. de. 1831. Historia Universal de las cosas de la Nueva España. Vol. 7:321.
- 101.- Salisbury, F.B. y Ross, C. 1969. Plant Physiology. Wadsworth Publishing Co. Inc. Belmont. pp. 747.
- 102.- Santillan, I.C. 1974. Cultivation of the Spirulina algae for human consumption and for animal feed. Presented at the IV Int. Congress of Food Sci. and Tech. Madrid, Spain.
- 103.- Sautier, C. y Tremolieres, J. 1975. The nutritive value of Spirulina algae. Ann. Nutr. Aliment. 29 (6):517.
- 104.- Sosa Texcoco, S.A. 1978. (Personal communication). Algae Spirulina a spray-dried natural product. Sullivan, Mexico.
- 105.- Sosa Texcoco, S.A. 1976. Proteins and By-Products. Spirulina Department. Sullivan, Mexico: Sosa Texcoco.
- 106.- Spies, J.R. y Chambers, D.C. 1949. Chemical Determination of Tryptophan in Proteins. Analytical Chem. 21:1249.
- 107.- Tanaka, Y., Matsuguchi, H. y Katayama, T. 1974. Comparative biochemistry of carotenoids in algae IV. Carotenoids in Cyanophyta, blue-green algae, Spirulina platensis. Mem. Fac. Fish. Kagoshima Univ. 23:111-5.

- 108.- Takano, M., Sado, J.I. y Ogawa, T. 1973. Freezing and Freeze-drying Spirulina platensis. Cryobiology. 10:440.
- 109.- Tamiya, H., Hase, E., Shibata, K. y Mituya, A. 1953. Kinetics of growth of Chlorella, with special reference to its dependence on quantity of available light and on temperature. Carnegie Inst. Washington, D. C. 204-34.
- 110.- Tikker, D. 1974. World Protein Shortages and their consequences. Salt Lake City, Utah.
- 111.- Tomiya, H. 1957. Mass culture of algae. Ann. Rev. Plant Physiol. 8:309-34.
- 112.- Tupik, N.D. y Los, S.T. 1976. Biochemical characteristics of Spirulina plantensis I. Water soluble group B vitamins. Ukr. Bot. Zh. 32:39.
- 113.- University of Texas. 1977. A Technical Appreciation of the Protein-From-Algae. Research Program at the University.
- 114.- Ukeles, R. 1973. Continuous culture, a method for the production of unicellular algal foods. Cambridge Press, London, England. 233-56.
- 115.- Vermorel, M., Dumond, D., Le Guyader, G. y Pion, R. 1970. INRA Station d'Etude des Metabolismes CRZV THEIX 63110. Beaumont. 1-10.
- 116.- Wolk, C.P. 1973. Physiology and cytological chemistry of blue-green algae. Bacteriol. Reviews. 37:31-101.
- 117.- Wood, R.B. 1968. The production of Spirulina in open lakes. Presented at the Conf. on Preparing Nutritional Protein from Spirulina. Laboratory for Appl. Microbiol. of the Swedish Country. Stockholm.