



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

DISEÑO DE UNA PLANTA AGROINDUSTRIAL PARA LA PRODUCCIÓN DE
ESPIRULINA (*Arthrospira platensis*) EN POLVO EN LA PARROQUIA DE
PINTAG CANTÓN QUITO.

Autor

Pablo César Carrillo Andrade

Año
2019



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

DISEÑO DE UNA PLANTA AGROINDUSTRIAL PARA LA PRODUCCIÓN DE
ESPIRULINA (*Arthrospira platensis*) EN POLVO EN LA PARROQUIA DE
PINTAG CANTÓN QUITO.

“Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos
para optar por el título de Ingeniero Agroindustrial y de Alimentos”

Profesor guía
Dra. Evelin Alexandra Tamayo Gutiérrez

Autor
Pablo César Carrillo Andrade

Año
2019

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido el trabajo, Diseño de una planta agroindustrial para la producción de espirulina (*Arthrospira platensis*) en polvo en la parroquia de Pintag cantón Quito, a través de reuniones periódicas con el estudiante Pablo César Carrillo Andrade, en el semestre 201920, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

Evelin Alexandra Tamayo Gutiérrez
Doctora en Ingeniería Industrial
CI: 1713985198

DECLARACIÓN PROFESOR CORRECTOR

"Declaro haber revisado este trabajo, Diseño de una planta agroindustrial para la producción de espirulina (*Arthrospira platensis*) en polvo en la parroquia de Pintag cantón Quito. del estudiante Pablo César Carrillo Andrade, en el semestre 201920, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

José Ignacio Ortín Hernández
Master en Gestión de la Seguridad Alimentaria
CI: 1754826517

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”

Pablo César Carrillo Andrade

CI: 1720882933

AGRADECIMIENTO

A mis padres Narcisa y César que con su apoyo, confianza y guía me han impulsado a conseguir este logro académico, a Dios que me dado fortaleza, a mis hermanos que siempre me han impulsado hacia adelante y a mi esposa Irene que me ha apoyado incondicionalmente para culminar mis estudios.

Pablo César.

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación va dedicado a mí hija Julia Adamaris quien es mi motor de vida, gracias a su amor incondicional que me impulsa a salir adelante y ser una mejor persona y a Dios que siempre me ha guiado en los momentos difíciles.

Pablo César

RESUMEN

En el presente trabajo se expone la factibilidad de un proyecto de producción de espirulina en polvo para su posterior comercialización en el mercado nacional e internacional.

Este proyecto surge como una respuesta positiva a los problemas de alimentación y los elevados índices de desnutrición que se observan en los países llamados del tercer mundo y gracias a la creciente aceptación que se ha visto por los productos naturales alrededor del mundo en los últimos años y por los beneficios que la cianobacteria espirulina ha reportado a la salud humana.

Las cianobacterias espirulina han existido en el mundo durante millones de años y nuestros antepasados la consumían dentro de su dieta diaria. En la actualidad su consumo se ha difundido a nivel mundial ya que estudios han demostrado que no solo suple las necesidades como alimento, sino que además proporciona los nutrientes necesarios para el óptimo funcionamiento del organismo y es un producto que es accesible a toda la población mundial.

Se ha considerado el mercado nacional como primera vinculación con nuestro producto debido al tamaño de mercado (17'000.000 de habitantes), y tomando en cuenta que al momento no existe una comercialización abundante de este producto. Si bien en Ecuador no existe una regularización estricta de las normas de producción e higiénicas de la espirulina nuestro proyecto va encaminado a realizar la producción con los más altos estándares de seguridad alimentaria e inocuidad de nuestro producto.

La estrategia para ingresar al mercado nacional va dirigida principalmente a la promoción y publicidad que le demos al producto en su presentación en polvo de 250gr y a futuro en presentación de capsulas de 400mg.

Por otro lado, y debido a que la planta de producción se encontrará en la parroquia de Pintag, esto no solo beneficiará al crecimiento económico local, mediante la creación de fuentes de empleo y desarrollo de la actividad

económica, sino que también incentivará las relaciones comerciales y permitirá un mejor desarrollo de la planta de producción en el sector al proporcionar un producto de calidad y 100% natural que es hecho en Ecuador.

La organización está apoyada por la Quinta los Melinos quienes ayudaran con infraestructura y me persona quien será el encargado directo de la producción y desarrollo de la empresa.

Toda la información necesaria contenida en esta investigación se encuentra ordenada en el siguiente índice.

ABSTRACT

In the present work the feasibility of a production project of spirulina powder for its later commercialization in the national and international market is exposed.

This project emerges as a positive response. Feeding problems and high malnutrition rates observed in the countries for the benefits that Spirulina cyanobacteria has reported to human health

Spirulina cyanobacteria have existed in the world for millions of years and our ancestors consumed it within their daily diet. Currently, its consumption has spread worldwide since studies have shown that not only supplies the needs as food, but also provides the necessary nutrients for optimal functioning of the body and is a product that is accessible to the entire world population.

The national market has been considered as the first link with our product due to the size of the market (17,000,000 inhabitants), and taking into account that at the moment there is no marketing with this product. Although in Ecuador there is no strict regularization of the production and hygienic standards of spirulina, our project is aimed at producing the highest standards of food safety and safety of our product.

The strategy to enter the national market is mainly directed to the promotion and publicity that we give to the product in its presentation in powder of 250gr and in the future a presentation in capsules of 400mg.

On the other hand, and because the production plant will be located in the Pintag parish, this will not only benefit local economic growth, through the creation of employment sources and the development of economic activity, but will also encourage commercial relations and will allow a better development of the production plant in the sector by providing a quality and 100% natural product that is made in Ecuador.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación	3
1.2. Alcance	5
1.3. Problema	6
1.4. Objetivos.....	8
1.4.1. Objetivo general	8
1.4.2. Objetivos específicos.....	8
2. MARCO TEÓRICO	9
2.1. Generalidades de la espirulina (<i>A. platensis</i>)	9
2.1.1. Origen y descripción botánica de la espirulina (<i>A. platensis</i>)	9
2.1.2. Composición	10
2.2. Consumo de la espirulina.....	13
2.2.1. Producción nacional.....	13
2.2.2. Usos de la espirulina	14
2.2.3. Industrialización de la espirulina	15
2.3. Requerimientos nutricionales	15
2.4. Normativas y ordenanzas.....	18
2.5. Diseño de líneas de producción.....	20
2.6. Sistemas de producción	20
2.6.1. Sistemas Abiertos	21
2.6.2. Sistemas Raceway.....	22
2.6.3. Sistemas cerrados (Fotobioreactores)	22
2.7. Parámetros para el cultivo de cianobacterias.....	24
2.7.1. Nutrientes.....	25
2.7.1.1. Fuente de Carbono	25
2.7.1.2. Fuente de Nitrógeno	25
2.7.1.3. Fuente de Fósforo.....	26
2.7.2. Luz	26

2.7.3. Temperatura.....	26
2.7.4. Potencial Hidrógeno (pH).....	27
2.7.5. Agitación	27
2.7.6. Medio de cultivo	27
3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	29
3.1. Ubicación del experimento.....	29
3.1.1. Ubicación del laboratorio.....	29
3.1.2. Ubicación en planta.....	30
3.2. Materiales, insumos y metodología.....	30
3.2.1. Materiales de Laboratorio.....	30
3.2.2. Materiales en campo	31
3.2.3. Metodología en laboratorio.....	32
3.2.3.1. Formación de inóculo.....	32
3.2.3.2. Mezcla.....	32
3.2.3.3. Iluminación	32
3.2.3.4. Medición.....	32
3.2.3.5. Incremento del medio.....	33
3.2.3.6. Aireación y agitación	33
3.2.4. Metodología en el campo	34
3.2.4.1. Siembra.....	34
3.2.4.2. Cosecha.....	35
3.2.4.3. Deshidratación	36
3.2.4.4. Recolección y molienda	36
3.3. Alternativa para la comunidad.....	36
4. DISEÑO DE PLANTA.....	37
4.1. Invernaderos.....	37
4.2. Criterios de diseño del invernadero	37
4.2.1. Luminosidad.....	38
4.2.2. Temperatura.....	38
4.2.3. Humedad relativa	38

4.3. Dimensiones del invernadero	39
4.4. Dimensiones de las piscinas	39
4.5. Dimensiones de pasillos internos en el invernadero.....	40
4.6. Paletas de agitación y aireación de las piscinas.....	40
4.7. Dimensiones zona de materia prima	40
4.8. Dimensiones zona de secado	40
4.9. Dimensiones zona de molido	41
4.10. Dimensiones zona de empaclado	41
4.11. Bodega de producto terminado	41
4.12. Oficina.....	41
4.13. Análisis beneficio costo	47
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
5.1. Conclusiones.....	49
5.2. Recomendaciones	50
REFERENCIAS	51
ANEXOS	53

1. INTRODUCCIÓN

La esoirulina pertenece al reino de las Bacterias, del subreino Cyanobactéria, a la clase Oscillatoriothycideae, del orden Chroococcales, familia Espirunaceae, género Spirulina y para el estudio del presente trabajo se tomó las especies Spirulina Máxima y Spirulina platensis, que son una especie de organismos unicelulares que eran anterior mente conocidos como “algas azules” (Turpin G, 1892). Este es un cultivo ancestral cuyo origen y uso en América se data a los aztecas los cuales ya lo consumían muchos años antes de la llegada de los españoles. Estas cianobacterias han sido usadas en distintos preparados culinarios en varios países y con más énfasis en Asia y en menor medida Latinoamérica. Aunque existe gran variedad de especies de espirulina las más comunes son A. máxima y A. platensis las cuales serán usadas para el siguiente estudio y de las cuales se presentan diferentes orígenes desde las zonas centrales de América, Asia y África de forma natural en diferentes lagos y lagunas de estas zonas hasta otras creadas por selección en laboratorios comerciales y especializados para incrementar sus beneficios y rendimiento en la producción.

Ancestralmente este producto fue ya consumido por los Aztecas de la tribu Tenochtitlán el cual era un asentamiento indígena que se encontraba situado en el país de México, los cuales mantenían una dieta a base de maíz (80% de la dieta), tomate, ají, chayote, jícama, cebolla, chía, amaranto, hueva de mosco, fruta, algunas aves y alga espirulina, entre otros alimentos. Esta cultura mexicana solía consumir la espirulina una vez que esta se encontraba seca en las orillas del lago Texcoco y la combinaban con tortillas o guacamole.

La espirulina presenta un alto contenido de proteína que va desde un 55% a 65% y ácidos grasos altamente insaturados, aminoácidos esenciales, minerales, vitaminas, antioxidantes y pigmentos y pigmentos (Espada, 2016), en comparación con otros cultivos tradicionales e inclusive en comparación con algunas variedades de carnes como es el vacuno en el cual se presenta un contenido de proteína de alrededor del 26% y en el pollo tenemos una

concentración de 27% (Espada, 2016). Por lo tanto, la producción e investigación de este alimento ha ganado la atención del mundo por sus usos tanto para el consumo humano, animal y farmacéutico. (Espada, 2016).

Para el crecimiento de la espirulina se debe tomar en cuenta varios factores que serán estudiados desde la perspectiva físico y química que pueden alterar la productividad y desarrollo de las cianobacterias entre los que se encuentran principalmente la: luminosidad, disponibilidad de nutrientes específicos, temperatura y potencial hidrógeno (pH).

Otro punto relevante que debe ser analizado es el costo operativo debido a que este puede ser elevando y sería una restricción en una producción así como la disponibilidad de insumos a nivel nacional y bajo esta condición se plantea realizar una producción de espirulina la cual sea lo más económica y viable especialmente en las fases iniciales de producción y a futuro realizar análisis de los medios de cultivo con el uso de distintos medios alternativos en las fases de desarrollo y mantenimiento en el campo con el fin de reducir costos y que la producción sea rentable y sostenible.

Existen varios estudios en donde se utiliza la orina de humanos como medio de cultivo ya que este aporta nutrientes como nitrógeno, sulfatos y minerales que hacen posible la producción de biomasa. Los resultados obtenidos por (Feng & Zu-Cheng, 2006) fueron exitosos llegando a producción de 0,26 gramos de biomasa por litro de agua, llegando a producción máxima de 2,4 gramos de biomasa por litro de agua. Por lo que es posible utilizar este método para regenerar la materia, nutrientes y asimilar CO₂.

En presente trabajo se tomó en cuenta el sector de Pintag como zona de producción debido a que cumple con la mayoría de necesidades climáticas y las características de agua que se requiere para la producción, además se consideró esta zona por el impacto social que se le puede dar ya que se puede

brindar fuentes de trabajo directo e indirecto y a la vez enseñar un nuevo tipo de cultivo y que se alterne con los ya tradicionales del lugar.

Para el diseño de planta se ha investigado sobre producciones comerciales a nivel mundial en donde se ha determinado que lo ideal para este cultivo son en piscinas dentro de invernaderos para ayudar a mantener y regular las adecuadas condiciones ambientales para conseguir el óptimo desarrollo de la espirulina y en base a esta información determinamos las dimensiones de las piscinas las cuales son de 2,7m de ancho por 10m de largo por 0,3m de profundidad, con una capacidad productiva de 8,1 metros cúbicos de cultivo por piscina lo que no daría una producción estimada de 8,1kg de materia seca por día que en nuestro caso está dentro de la producción esperada para poder seguir con la producción, mantenimiento y desarrollo de la industria.

1.1 Justificación

Hoy en día, se considera a la alimentación de vital importancia en todos los aspectos de la vida y enfatizando en los problemas que este nos puede causar tanto en el desarrollo mental como en el físico.

Es por eso que cada día nos vemos más en la necesidad de buscar, estudiar y producir alimentos más naturales y que reúnan las vitaminas, proteínas y minerales esenciales para conseguir una alimentación adecuada que nos ayude a combatir a una sociedad acostumbrada al consumo de comidas rápidas o procesadas las cuales han afectado drásticamente la alimentación en nuestros días.

El presente trabajo se centra en los beneficios que estas cianobacterias representan para salud, el mínimo requerimiento económico para su producción y reproducción y el elevado rendimiento que se obtiene ha sugerido que este producto en un futuro pueda alimentar a toda la población.

Las cianobacterias son utilizadas en las dietas humanas como una fuente alimenticia de alto valor nutricional (Piña, y otros, 2007). En otros análisis se ha demostrado que también sirve de alimento para animales, biocolorantes y en la producción de biocombustibles por su alta capacidad de fijar CO₂.

La espirulina es conocida hoy como el alimento de futuro debido a que contiene tres veces más proteína que la carne de ganado vacuno y cuenta con todos los aminoácidos esenciales y no esenciales en perfecto equilibrio.

Se considera que la espirulina, es la nueva tendencia dietética y que se trata de una cianobacteria que tiene una elevada concentración de proteínas y es una fuente rica de hierro y vitaminas del grupo B.

Al ser un alimento ancestral y al que se le atribuyen diversos beneficios sus promotores y consumidores afirman que para tratamientos en contra de la obesidad, ya que al ser un suplemento proteico este reduce la sensación de hambre y ayuda a controlar el peso, la diabetes, la anemia, úlceras intestinales gracias a sus altos contenidos proteicos, de vitaminas y minerales que son de fácil asimilación por las personas. También se le ha llegado a considerar como una solución viable para combatir la desnutrición mundial por la facilidad que presenta para su cultivo., (Palomo G, 2017)

La ventaja comparativa con otras cianobacterias y algas es que esta se desarrolla en medios alcalinos lo que disminuye significativamente el riesgo de contaminación con otros microorganismos y puede ser cultivada fácilmente en biorreactores abiertos (Mezzomo, Saggiorato, Siebert, Oliveira, & Lago, 2010). Con estos antecedentes el presente proyecto de titulación pretende desarrollar el diseño de una planta de producción de espirulina como una alternativa económica en la parroquia de Pintag, ubicada en la provincia de Pichincha que cuenta con una población de 8815 hombres, 9115 mujeres según el último censo realizado por el Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos (INEC,

2010), de los cuales un 40% de los habitantes tienen un trabajo fijo y un 20% se dedica a labores que se relacionan con la agricultura (INEC, 2010b).

Por tal motivo el siguiente proyecto va dirigido al sector de Pintag ya que de cierta forma se estaría implementando fuentes de trabajo en la zona que ayude a mejorar la economía de la misma y también se estaría brindando una alternativa nutricional mediante el consumo del producto.

Se debe considerar también que el impacto ambiental esperado es mínimo ya que se cultiva en estanques de poco fondo y estas cianobacterias se pueden duplicar en periodos de tiempo relativamente bajos lo que incrementa su productividad por cantidad de superficie necesaria en comparación a cultivos tradicionales como son la soja, el maíz o ganado vacuno respectivamente.

Además, se debe tomar en cuenta que para estos cultivos no se utilizarán fertilizantes ni pesticidas que puedan realizar contaminación de ríos o sequías colindantes a la producción y se fomentará el uso de materiales y equipos biodegradables que sean amigables con el ecosistema.

1.2. Alcance

El proyecto propone el diseño de ingeniería básica de una planta para la producción de espirulina mediante la implementación de un sistema Raceways (sistema cerrado mediante el uso de piscinas e invernadero con la aplicación de un sistema agitación para controlar las condiciones ambientales en su interior). También los planos de diseño para el procesamiento y almacenamiento de la espirulina este proyecto estará situado en la parroquia de Pintag, provincia de Pichincha.

En este proyecto se incluirá todos los procesos necesarios para la producción de espirulina empezando desde el cultivo, crianza y mantenimiento de las cianobacterias, así como los diagramas de flujo de la producción y

dimensionamiento de las piscinas, infraestructura y equipos requeridos para la línea de producción y distribución.

1.3. Problema

La espirulina es un producto que se está dando a conocer muy bien a nivel mundial debido a sus características y propiedades nutricionales y al mirar al pasado, observamos que culturas ancestrales ya tenían conocimiento sobre la forma de usar estos recursos naturales.

Los hábitos que ya presentaban para su alimentación y la forma de sanar y curar con el uso de plantas o hierbas nos han dejado un legado de enseñanza tradicional que poco a poco y con el pasar del tiempo se ha ido desvaneciendo debido a las nuevas prioridades del hombre como es la producción económica, el consumismo y dejando de lado la buena nutrición y el equilibrio tanto físico como mental perdiendo así la armonía con nuestro ecosistema.

Esto no solo sucede en los países desarrollados donde tienen un buen nivel de vida, también se da y con mayor fuerza en los países subdesarrollados o en vías de desarrollo los cuales presentan condiciones de vida más difíciles y tienen mayor problemas para adquirir productos que son vitales para el desarrollo de una población.

En los países considerados subdesarrollados ha habido problemas de nutrición y por consiguiente de desnutrición lo que ha producido afecciones tanto en el desarrollo individual como colectivo, y por ese motivo es imprescindible la búsqueda de productos alimenticios que no solo aporten estos requerimientos, sino que a la vez otorgue los nutrientes necesarios al organismo y que sean de fácil acceso a la población.

La espirulina ha existido en el planeta desde hace miles de años y ha sido fuente de alimento para los pueblos ancestrales como los AZTECAS, quienes

recolectaban esta cianobacteria en forma de barro de las lagunas de México, y después de dejarlas secar al sol formaban tortillas. Actualmente a este barro lo conocemos como espirulina.

Estas cianobacterias tienen una tonalidad verde azulada y poseen una forma de espiral y es de aquí que adquieren el nombre de espirulina, estas se desarrollan naturalmente en distintos lagos a nivel mundial como:

África en países como: Kenia, Etiopía, Egipto, Sudán, Argelia, Congo Zaire y Zambia.

Asia tropical y subtropical en países como: India, Myanmar, Pakistán, Sri Lanka, China, Tailandia y Rusia.

América se ubica en países como: Perú, Uruguay, México.

Europa se ubica en países como: España, Francia, Hungría y Azerbaiyán, (Gershwin M. y Belay, 2008)

Actualmente en el mundo, la espirulina es producida en tres diferentes tipos de sistemas los cuales contemplan: sistemas abiertos, sistemas cerrados o fotobioreactores y sistemas Raceway, con la similitud de que en todas se usan los mismos principios de producción.

En la actualidad los países con mayor producción de espirulina son: en América, México y Estados Unidos, en Europa lleva la posta España y en Asia esta China como el mayor productor de este cultivo con una alta capacidad de exportación a países europeos los cuales por sus hábitos alimenticios han encontrado en este alimento una fuente rica de nutrientes y proteínas que ayudan a mantener una forma de vida más saludable y balanceado, (Cárdenas, Díaz y Vizcaíno, 2010).

En nuestro estudio se ha notado que la baja producción de espirulina en el Ecuador ha sido dado por factores como el desconocimiento de las características nutricionales que brinda este producto y el desconocimiento de las técnicas de masificación industrial a costos razonables sin el uso de soluciones comerciales de grado analítico y los protocolos establecidos comercialmente han generado que los costos de producción sean elevados, por lo que no es un cultivo muy practicado en el país.

Otro factor crucial es el monopolio comercial por parte de una sola empresa productora en el país hace que se reduzca aún más las intenciones de desarrollar este tipo de cultivos con una visión empresarial a pequeña, mediana y gran escala.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar una línea de producción de espirulina (*A. platensis*) para consumo humano para la empresa Los Molinos en la parroquia de Pintag cantón Quito 2019.

1.4.2. Objetivos específicos

- Diseñar una línea de producción a escala de ingeniería básica de espirulina (*A. platensis*) para el consumo humano.
- Evaluar la viabilidad económica y financiera del proyecto.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Generalidades de la espirulina (*A. platensis*)

2.1.1. Origen y descripción botánica de la espirulina (*A. platensis*)

La espirulina hoy en día es conocida como uno de los alimentos más antiguos sobre el planeta y su aparición en la tierra es mucho mayor que cualquier tipo de plantas o animales que hoy conocemos. Según escritos de cronistas del siglo XVI, la cianobacteria espirulina era ya un alimento que encontraba disponible (Vargas, 2000). Estas cianobacterias eran recogidas de los lagos de México y era una fuente rica en proteínas vitaminas y minerales.

Los Aztecas que era una de las culturas más adelantadas de la América precolombina basaban su dieta en un 80% de maíz (Paniagua, Michel, Dujardin y Sironval, 1993), además de consumir jitomate, chile, chayote, jícama, cebolla, chí, amaranto, hueva de mosco, fruta, algunas aves y alga espirulina entre otros (Casado, 1999). Algunos conquistadores españoles compilaron todas las plantas, animales y alimentos de los territorios conquistados, quienes describieron la recolección de un lodo muy fino de color azul a orillas del lago Texcoco por parte de los aztecas (Ciferri, 1983; Ramírez L., 2006). La secaban al sol y la consumían en pequeñas haciéndolas pequeñas tortillas o también lo utilizaban como un acompañante en el consumo de maíz (Ramírez, y Olvera, 2006), pero no es hasta el siglo XX cuando este alimento se redescubre, y rescata, para ser nuevamente difundido para el consumo humano (Ciferri, 1983).

Tabla 1.

Clasificación taxonómica de la espirulina.

Reino	Bacteria
Subreino	Cyanobacteria
División	Cyanobacteria
Clase	Oscillatoriothycidae
Subclase	Oscillatoriaceae
Orden	Chroococcales
Familia	Espirulinaceae
Género	Spirulina
Especies	Spirulina Máxima

Tomado de: Ramírez, 2006.

A pesar de que este micro alga permaneció en el olvido por muchos años diversos autores sugieren que este alimento contribuyó en el desarrollo de la población azteca (Santley y Rose, 1979).

Un primer registro del consumo de la espirulina como alimento está dado por Bernal Díaz de Castillo, quien señaló en 1521 que la espirulina era cosecha en el lago Tenochtitlán (Díaz de Castillo 1521).

“... pues pescadores y otros que vendían unos panecillos que hacen de una como lana que cogen de aquella gran laguna, que se cuaja y hacen panes de ello que tienen un sabor a manera de queso” (Díaz del Castillo, 1955, p. 279).

La espirulina es considerada como un organismo extremófilo que puede adaptarse y reproducirse en ambientes extremos de alcalinidad y salinidad como los que se encuentran en algunos lagos. Es por estas características que hacen que la espirulina en general crezca como si fuera un monocultivo (Rojas, 1998).

2.1.2. Composición

La espirulina es un alimento rico en proteínas, vitaminas y minerales por lo que se le puede considerar como un superalimento ya que posee todos los macro y micro nutrientes esenciales para los seres humanos y estos se encuentran disponibles para poder ser asimilados de forma rápida y eficiente por el cuerpo. Podríamos decir que su composición sería esencial en la alimentación especialmente de niños y niñas y personas que padezcan de enfermedades de sobrepeso para prevenir cuadros de mala alimentación o desnutrición de los mismos.

A continuación se detalla la información nutricional de la espirulina por cada 100g una vez seca.

Tabla 2.

Composición nutricional de la espirulina

Nutriente	Valor por	
	Unidad	100gr
Agua	g	4,68
Energía	kcal	290
Proteínas	g	57,47
Lípidos totales	g	7,72
Carbohidratos	g	23,9
Fibra dietética	g	3,6
Azúcar total	g	3,1
Minerales		
Calcio	mg	120
Hierro	mg	28,5
Magnesio	mg	195
Fósforo	mg	118
Potasio	mg	1363
Sodio	mg	1048

Zinc	mg	2
Vitaminas		
Vitamina C	mg	10,1
Tiamina	mg	2,38
Riboflavina	mg	3,67
Niacina	mg	12,82
Vitamina B6	mg	0,364
Folato	ug	94
Vitamina A	ug	29
Vitamina E	mg	5
Vitamina K	ug	25,5
Lípidos		
Ácido graso saturado	g	2,65
Ácido graso mono insaturado	g	0,675
Ácido graso polinsaturado	g	2,08

Tomado de: Brigitte Schwarz, 2010.

Si se compara la composición de espirulina con otros productos como carnes, huevos o cereales se podrá notar que esta cianobacteria supera en muchos aspectos a estos otros alimentos.

Tabla 3.

Comparación nutricional de la espirulina con algunos productos cárnicos.

Producto	Agua	Prot.*	Grasas	Cenizas	kJ*
Espirulina	4.68	57,47	5,38		1213
Carne de vacuno (magra)	75.0	22.3	1.8	1.2	485
Canal de vacuno	54.7	16.5	28.0	0.8	1351

Carne de cerdo (magra)	75.1	22.8	1.2	1.0	469
Canal de cerdo	41.1	11.2	47.0	0.6	1975
Carne de ternera (magra)	76.4	21.3	0.8	1.2	410
Carne de pollo	75.0	22.8	0.9	1.2	439
Carne de venado (ciervo)	75.7	21.4	1.3	1.2	431
Grasa de cerdo (tocino dorsal)	7.7	2.9	88.7	0.7	3397
Leche (pasteurizada)	87.6	3.2	3.5		264
Huevos (cocidos)	74.6	12.1	11.2		661
Pan (centeno)	38.5	6.4	1.0		1000
Patatas (cocidas)	78.0	1.9	0.1		301

Tomado de: FAO, 2007.

2.2. Consumo de la espirulina

2.2.1. Producción nacional

Al ser un cultivo no tradicional en Ecuador y considerando que más se lo realiza de forma artesanal o como en nuestro caso investigativo no se encuentran datos estadísticos de la superficie utilizada para este cultivo dentro de los bancos de datos de las plataformas gubernamentales del país por lo que se ha dificultado poder poner un dato exacto de cuanta es la producción nacional.

Por otro lado, la espirulina que se comercializa en el país es importada principalmente de países como México y China la cual viene en distintas presentaciones pero que por el grado de tecnificación de estas industrias y sus procesos provocan que este alimento no llegue con el total de sus nutrientes debido a que parte de los nutrientes se pueden perder durante los procesos de industrialización (Cárdenas, Díaz y Vizcaíno, 2010).

2.2.2. Usos de la espirulina

En el mercado ecuatoriano la espirulina es comercializada principalmente en presentaciones de tabletas o polvo, mismo que es utilizado por la mayoría de gente como un suplemento alimenticio que sirve para rebajar de peso, aunque o por sus beneficios para previene la anemia, como un antiinflamatorio, o por su efecto antiviral, entre otros (Santana V., 2018).

Aunque en algunas universidades del país ya se han estado realizando experimentación a pequeña escala para la elaboración de productos terminados como es el caso de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador los cuales han estado elaborando panqués con espirulina para satisfacer necesidades alimenticias en centros de educación inicial de Pichincha (Santana V., 2018).





La espirulina en su composición presenta altos niveles de proteínas, vitaminas y minerales lo que beneficia a una dieta balanceada y que a pesar de no haber disponibilidad en el mercado de productos elaborados, en Ecuador se considera que esta materia prima podría ayudar a generar nuevos productos

que apoyen con el desarrollo de nuevos micro productores y así favorecer al mercado consumidor.

2.2.3. Industrialización de la espirulina

Tabla 4.

Referencia de tipos de presentaciones de la espirulina

Nombre del producto Presentación	Imagen	Empresa
Espirulina capsulas capsulas vegetales por 400gr		Los Andes 180
Espirulina tabletas por 400gr		Los Andes 180 tabletas
Espirulina sachets por 3gr total 90gr		Los Andes 30 sachets
Espirulina en polvo sin aditivos		Los Andes Polvo 300gr

Tomado de: Empresa Los Andes, 2017.

2.3. Requerimientos nutricionales

Los niños y adolescentes que se encuentran en desarrollo pueden presentar un déficit de macro y micro nutrientes en su alimentación, lo que conlleva el riesgo

de retardar el desarrollo de la actividad metabólica la cual es imprescindible en las etapas iniciales de vida ya que favorece a las funciones vitales del cuerpo como son el desarrollo de huesos y masa muscular, el desarrollo de membranas y estructuras y la respuesta a estímulos entre otros (Monckeberg, 2014).

Tabla 5.

Requerimientos de: agua, carbohidratos, fibra y proteínas en niños de diferentes edades.

Edad	Agua l/d	CHO g/d	Fibra g/d	Proteína g/d
0-6 meses	0,7	60	ND	9,1
7 -12 meses	0,8	95	ND	11
1-3 años	1,3	130	19	13
4-8 años	1,7	130	25	19
9-13 años (H)	2,4	130	31	34
9-13 años (M)	2,1	130	26	34

Tomado de: Peña, Gonzales, Rial, 2010.

Tabla 6.

Requerimientos de vitaminas en niños de diferentes edades.

Edad	Vit			
	Vit A	B12	Vit D	Folato
ug/ d				
0-6 meses	400	4	5	65
7 -12 meses	500	5	5	80
1-3 años	300	0,9	5	150
4-8 años	400	1,2	5	200
9-13 años	600	1,8	5	300

(H)					
9-13 años					
(M)	600	1,8	5	300	

Edad	Tiamina	Riboflavina	Niacina	Vit B6	Acido Pantoténico	Vit C	Vit E
mg/ d							
0-6 meses	0,2	0,3	2	0,1	1,7	40	4
7 -12 meses	0,3	0,4	4	0,3	1,8	50	5
1-3 años	0,5	0,5	6	0,5	2	15	6
4-8 años	0,6	0,6	8	0,6	3	25	7
9-13 años							
(H)	0,9	0,9	12	1	4	45	11
9-13 años							
(M)	0,9	0,9	12	1	4	45	11

Tomado de: Peña, Gonzales, Rial, 2010.

Tabla 7.

Requerimientos de minerales en niños de diferentes edades.

Edad	Ca	P	Mg	F	Se	Fe	Zn	Cr	Cu	I	Mn	Mo	P
mg/ d													
0-6 meses	210	100	30	0,01	15	0,27	2	0,2	200	110	0,003	2	0,4
7 -12 meses	270	275	75	0,5	20	11	3	5,5	200	130	0,6	3	0,7
1-3 años	500	450	80	0,7	20	7	3	11	340	90	1,2	17	3
4-8 años	800	500	130	1	30	10	5	15	440	90	1,5	22	3,8
9-13 años													
(H)	1300	1250	240	2	40	8	8	25	700	120	1,9	34	4,5
9-13 años													
(M)	1300	1250	240	2	40	8	8	21	700	120	1,6	34	4,5

Tomado de: Peña, Gonzales, Rial, 2010.

Según datos obtenidos en la encuesta de 2016 realizada por el departamento de salud y nutrición. Se indica que casi un tercio de la población tiene deficiencia de micronutrientes el cual conlleva a el caso conocido como “Hambre oculta”, estas complicaciones nutricionales si se presenta en las etapas iniciales de vida o el durante el embarazo puede afectar de manera drástica la capacidad de aprendizaje de un niño y también disminuir significativamente su coeficiente intelectual.

2.4. Normativas y ordenanzas

En Ecuador no se ha podido encontrar una norma específica sobre el manejo o requerimientos necesarios para una producción de espirulina ya que al no ser un cultivo tradicional ni muy producido en el país no se han establecido los parámetros mínimos de su manejo y cultivo, mucho menos en el cantón Pintag donde se pretende realizar el proyecto, tampoco existen leyes u ordenanzas que se refieran al manejo de los subproductos de la espirulina, (INEC, 2010b). Por tal motivo se adoptara la normativa vigente en México debido a que es uno de los mayores productores de espirulina en América.

Objetivo y campo de aplicación

Esta norma mexicana específica las características que debe cumplir el producto denominado espirulina, empleada como fuente de proteínas en alimentos para consumo humano.

Definición

Para los efectos de esta norma se establece la siguiente definición: Espirulina es la cianobacteria del género *Spirulina* y especie máxima seca en polvo, que resulta de las operaciones de preconcentración, filtración por vacío, fluidización, pasteurización, homogenización y desecación que no contenga gérmenes patógenos ni sustancias nocivas para salud humana.

Especificaciones

La espirulina, objeto de esta norma, debe cumplir con las especificaciones siguientes:

Sensoriales.

Color: Verde oscuro

Sabor: característico

Olor: Característico

Textura: Polvo fino que pasa 100% por malla M 0.150

Químicas

Humedad 10%

Proteína 60%

Cenizas 9%

Fibra cruda 0,9%

Calcio 1g/kg

Fósforo 7g/kg

Microbiológicas

Coliformes no patógenos – negativo

Salmonella – negativo

Shigella – negativo

E. coli entero patógena – negativo

Bacterias meso filas aerobias – 50000 col/g

Hongos y levaduras – 10 col/g

Contaminantes químicos

El producto objeto debe estar libre de contaminantes químicos que puedan representar un riesgo para la salud. Los límites máximos para estos contaminantes quedan sujetos a los que establezca la Secretaría de Salud.

Materia extraña objetable.

El límite máximo de fragmentos de insectos debe ser de 15 en 50 g de muestra del producto terminado, en promedio de 5 muestras, y debe estar exento de pelos y excretas de roedores u otras materias extrañas.

Tomado de: NMX-F-508-1988. ALIMENTOS. ESPIRULINA. ESPECIFICACIONES. FOOD. SPIRULINA. SPECIFICACIONES. NORMAS MEXICANAS. DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS.

2.5. Diseño de líneas de producción

Las líneas de producción siempre buscan genera un valor agregado a un producto, para lo cual se necesita definir los mecanismos y procesos a realizar de forma que estos sean rentables y sostenibles. Es por esto que los equipos que se elijan deberán cumplir con las especificaciones y característica mínimas que se van a describir.

- Máximo rendimiento: perfeccionar procesos para asegurar el máximo rendimiento de la materia prima.
- Calidad: los productos terminados deben garantizar la máxima higiene posible.
- Bajo costo de funcionamiento: se debe encontrar e implementar procesos con un mínimo consumo energético, optimizando la mano de obra, reduciendo los índices de desperdicios en los procesos y facilitando el mantenimiento del establecimiento y los equipos.
- Líneas continuas y cerradas de producción: para evitar la contaminación de la materia prima por el ingreso de patógenos o polvo.
- Los productos que se comercializa dependerá de la clasificación que se brinde a la materia prima (Madrid A., 1999)

2.6. Sistemas de producción

La producción de las cianobacterias presenta muchas similitudes con la agricultura intensiva, por lo que para obtener biomasa a gran escala se debe utilizar microalgas autótrofas lo que generan sistemas económicamente viables. Hay una gran variedad de sistemas que se usan en el cultivo de las microalgas y dependiendo de su aplicación son sistemas: abiertos o cerrados (Margarites, y otros, 2016).

2.6.1. Sistemas Abiertos

Este sistema es utilizado desde el año 50 y es el más común, aunque pueden desarrollarse en aguas superficiales como estanques, lagunas y lagos ya sean estos naturales o artificiales debemos considerar la fuente de agua, luz y CO₂. La principal ventaja es que no se necesita de grandes inversiones ni mantenimiento para su intercalado pero la problemática es que su control es más complicado por lo que reduce su productividad y eficiencia, además de que son muy susceptibles a contaminación por otras algas o bacterias (Comet, Dussap y Dubetret, 1992).

En la actualidad el 95% de la producción de microalgas se basa en este sistema aunque esto presente solo entre el 20% a 50% de fijación efectiva de CO₂ inyectado a las microalgas (Algafix, 2016). Por tal motivo en estos sistemas se buscan cepas específicas que crezcan en condiciones donde otros organismos no puedan desarrollarse como es: pH altos o bajos, temperaturas y luminosidad (Margarites y otros, 2016).



Figura 1. Sistema abierto

Tomado de: ESPOL, 2019.

2.6.2. Sistemas Raceway

Son sistemas más sofisticados en el sentido de que proveen agitación y mezcla, lo que ayuda a que el suministro de CO₂ en el cultivo sea relativamente más eficiente y se reduzca las pérdidas, también ayuda en el control de pH (Margarites, y otros, 2016). El sistema de impulsión que utiliza es de ruedas de poleas que ayuda a mantener al cultivo en suspensión y constante homogenización (Spolacre, Cassan, Duran e Isambert, 2006).



Figura 2. Cyanotech (Hawai)

Tomado de: ESPOL, 2019.

2.6.3. Sistemas cerrados (Fotobioreactores)

Un fotobioreactor es un sistema cerrado forzado al máximo para la producción de la microalga, este sistema se caracteriza por el control y regulación de la mayoría de parámetros de crecimiento (temperatura, CO₂, pH). Aquí la luz no incide directamente en el desarrollo de las células (Tuanted, y otros, 2014). En estos sistemas de fotobioreactores cerrados el intercambio de gases es limitado por lo que se puede acumular oxígeno.

Estos fotobiorreactores se pueden clasificar según su diseño y operación y se clasifican en:

- Planos tubulares.
- Serpentes.
- Reactores de una fase.
- Reactores de dos fases.
- Horizontales, verticales, inclinados y espirales.

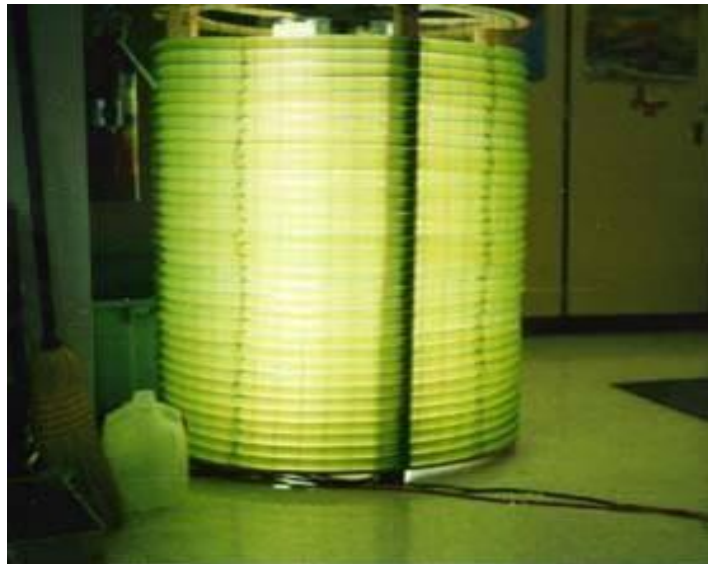


Figura 3. Fotobiorreactor helicoidal.

Tomado de: ESPOL, 2019.



Figura 4. Columnas verticales.

Tomado de: ESPOL, 2019.



Figura 5. Fotobioreactor plano.

Tomado de: ESPOL, 2019.

2.7. Parámetros para el cultivo de cianobacterias

Las condiciones del cultivo deben asemejarse al ambiente natural de las cianobacterias el mismo que debe contener elementos como: nitrógeno, fósforo, hierro y algunos elementos traza.

2.7.1. Nutrientes

Los nutrientes son compuestos químicos formados por moléculas, necesarias para el metabolismo de organismos, los nutrientes básicos indispensables son oxígeno, agua y nutrientes minerales como: nitrógeno, carbono, magnesio, hierro y zinc, que son necesarios para las microalgas y que a través de la fotosíntesis formen nueva materia viva (Materassi, Tredici, y Waldemaro, *Spirulina culture in sea-water*, 1984).

En la actualidad se utilizan hidrolizados como glucosa, urea y melaza, para minimizar los costos de producción de la biomasa de espirulina (Eixner, Fritz, y Daffert, 2016).

2.7.1.1. Fuente de Carbono

El CO₂ es la fuente de carbono que se utiliza para el desarrollo de esta cianobacteria, estos compuestos pueden estar presentes en el medio como una sal derivada, ejemplo el bicarbonato de sodio, pero para que se pueda incorporar a la biomasa en el ciclo de Calvin esta debe estar presente como un sustrato molecular (Arredondo y Voltolina, 2014).

2.7.1.2. Fuente de Nitrógeno

Este elemento es esencial en la formación de los ácidos nucleicos y las proteínas y su deficiencia limita la generación y acumulación de lípidos. Los nitritos, nitratos, urea y amoníaco son los compuestos más usados para agregar nitrógeno (Aiba y Ogawa, 1997).

La espirulina no es capaz de fijar el nitrógeno atmosférico por lo que es necesario suplementar este nutriente en el medio de cultivo. Existe gran variedad de productos orgánicos e inorgánicos que aportan este nutriente en nuestro caso usaremos kristasol (fertilizante foliar comercial) como fuente de nitrógeno. La deficiencia de este compuesto durante el crecimiento puede afectar a la producción de clorofila y ficocianina afectando la composición de ácidos grasos (Guarienti, 2012).

2.7.1.3. Fuente de Fósforo

El fósforo es esencial en el crecimiento de las microalgas ya que participa en la transferencia de energía intracelular, síntesis de ácidos nucleicos y reacciones de división celular. El fósforo orgánico que se utiliza en las producciones se encuentra en la naturaleza como fosfatos inorgánicos los mismos que serán utilizados por las microalgas en las fases de crecimiento (Oliveira, Oliveira, Racho y Oliveira, 2012).

2.7.2. Luz

La longitud de onda e intensidad de la luz influyen directamente en el crecimiento de las cianobacterias (Arredondo y Voltolina, 2014). Los cromoplastos que son los responsables de la fotosíntesis pueden ser destruidos irreversiblemente si es expuesta a altas intensidades de luz ultravioleta durante periodos de tiempo muy prolongados, por lo que se recomienda fotoperiodos de 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad (Oliveira y otros, 2015).

2.7.3. Temperatura

Uno de los efectos más importantes en la producción de microorganismos es la temperatura y se sabe que el rango óptimo está entre los 15°C, pero logra mantenerse en temperaturas mínimas desde 12°C, hasta una máxima de 24°C, ya que a mayor temperatura reduce su crecimiento (Piñero, Bermejo, y Villar del Fresno, 2001).

2.7.4. Potencial Hidrógeno (pH)

Es un factor decisivo en el cultivo de las cianobacterias. La espirulina presenta una dependencia respecto a pH del medio de cultivo dado que la tasa fotosintética aumenta con un pH medio de 8 a 10, por lo que un descenso en este sería fatal. (Prepelitchi, Pujadas, y Wisnivesky, 2015).

Además, el pH influye directamente en la disponibilidad de nitrógeno, dado que por encima de 9 libera nitrógeno en forma de amoníaco, que puede ser absorbido por la pared celular (Oliveira, y otros, 2015).

2.7.5. Agitación

Los cultivos de espirulina necesitan mantener una aireación constante y presencia de luz para favorecer el crecimiento microalgal (Rojas, Ávila y Parada, 2012). Se debe mantener una agitación constante que proporcionen 2,25LO₂/min lo que ayuda a evitar la formación de grupos de células y asegurar que la incidencia de luz sea adecuada. Por el contrario, el exceso de agitación puede producir ruptura de los tricomas lo que reduce el diámetro de y dificulta la cosecha por filtración (Quintero, Arredondo, Flores, Maldonado y Carballo, 2016).

2.7.6. Medio de cultivo

Se han desarrollado diferentes medios de cultivo para cianobacterias desde fórmulas que enriquecen el agua de mar, hasta el uso de medios artificiales con resultados constante. Los principales medios de cultivo utilizados son el medio Zarronk modificado (Aiba, y Ogawa, 1997), el medio Raof (RM6) y el medio DIC (Dainippon, Ink y Chmicals Inc., Japan).

Para nuestro estudio de desarrollo utilizamos un medio inorgánico el cual fue formulado y probado bajo condiciones de laboratorio por la Universidad del Ejército (ESPE) en su campus IASA en Sangolquí y cuya formulación es:

Tabla 8.

Composición de la solución

Composición del medio para un litro de solución	
Sustancia	Concentración
NaHCO ₃	13,61 g/L
NaCO ₃	4 g/L
K ₂ HPO ₄	0,5 g/L
fertilizante foliar Kristalón 12-12-36	1 g/l

Tomado de: ESPE, 2019.

3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1. Ubicación del experimento

3.1.1. Ubicación del laboratorio

Se encuentra ubicado en la Universidad de la Américas en el campus Queri y con la dirección y ayuda de la Ingeniera Evelyn Tamayo como tutora del proyecto.

Tabla 9.

Ubicación y características ambientales del laboratorio.

Provincia	Pichincha
Capital	Quito
Cantón	Quito
Parroquia	Benalcázar
Lugar	Universidad de la Américas Quito, sede campus Queri
Coordenadas	0°10'02"S 78°28'21"W
Altitud	2850 m
Temperatura dentro del laboratorio	17°C
humedad dentro del laboratorio	62%
Tipo de suelo	n/a

Adaptado de: Google earth, 2018.

3.1.2. Ubicación en planta

Esta se encuentra ubicada en la provincia de Pichincha en la parroquia de Pintag en la Quinta los Melinos.

Tabla 10.

Ubicación y características ambientales de la zona de producción.

Provincia	Pichincha
Capital	Quito
Cantón	Quito
Parroquia	Pintag
Lugar	Quinta los Melinos
Coordenadas	0°20'31"S
	78°24'10"W
Altitud	2654 m
Temperatura dentro de las instalaciones	21°C
humedad dentro de las instalaciones	62%
Tipo de suelo	n/a

Adaptado de: Google earth, 2018.

3.2. Materiales, insumos y metodología

3.2.1. Materiales de Laboratorio

- Espirulina certificada ESPE Sangolqui – Ecuador
- Probetas de 100ml
- Agitadores
- Pipeta de 10ml

- Microscopio
- Porta y cubre objetos
- Botellas de vidrio de 1 litro
- Bombas de aire de dos entradas de pecera
- Balanzas
- NaHCO₃ 13,61 g/L
- NaCO₃ 4 g/L
- K₂HPO₄ 0,5 g/L
- Kristalon 1 g/L
- Medidor pH

3.2.2. Materiales en campo

- Membrana permeable de tipo alimenticio
- Inoculo alimenticio primario desarrollado en laboratorio de la UDLA
- Bomba de oxigenación de 24 voltios
- Agitadores de paleta
- Mesa de secado lento para la deshidratación de la espirulina
- Estructura metálica de 3*3*0,30 metros cúbicos para formación de piscina
- Tela para cernir de 30 a 50 micras de diámetro
- Molinos manuales
- Cubetas
- Medidor pH
- Invernadero
- Fundas
- Cajas
- Cartones

3.2.3. Metodología en laboratorio

3.2.3.1. Formación de inóculo

Para la formación de inóculo se realiza una mezcla de NaHCO_3 13,61 g, NaCO_3 4 g, K_2HPO_4 0,5 g y Kristalon 1 g por cada litro de agua (destilada) y con la ayuda de un agitador magnético se elimina la formación de grumos o sedimentos de la mezcla, para luego ponerlo en el auto clavado para garantizar su inocuidad.

3.3.3.2. Mezcla

Para este proceso utilizamos 5ml de espirulina concentrada en 100ml de la solución ya antes elaborada esto se lo realiza en recipientes de vidrio previamente auto clavados, posteriormente se los sella con torundas de algodón con gasa para evitar que caiga en el interior polvo o cualquier cuerpo extraño que pueda contaminar nuestra muestra y a la vez permitir el paso de aire al interior del frasco y que pueda respirar la espirulina.

3.2.3.3. Iluminación

Con ayuda de una caja de vidrio transparente (pecera) y la utilización de luz led blanca procedemos a rodear la caja con el fin de garantizar la presencia de luz artificial permanente durante las primeras etapas de desarrollo ya que esto ayuda a que la espirulina se reproduzca de manera más acelerada y favorecemos a que se cree un ambiente controlado en el flujo de aire.

3.2.3.4. Medición

Se realiza mediciones de pH pasando un día para verificar que el pH de nuestro medio se mantenga en condiciones óptimas, ya que el pH recomendado para el cultivo oscila entre 8 a 10, en nuestro proyecto se maneja

un pH de 9,75 el cual ha garantizado condiciones ideales para el buen desarrollo de la espirulina que la hemos mantenido en el laboratorio de la UDLA.

3.2.3.5. Incremento del medio

Este procedimiento lo realizamos cada 15 días ya que es el tiempo aproximado no se ha tardado nuestra espirulina en formar alrededor de un 175% de biomasa con las condiciones que le hemos brindado. En este proceso se ha hecho un incremento del 150% de la cantidad de inóculo inicial para no modificar su ambiente y evitar estrés en las cianobacterias y que de esta forma reduzca su crecimiento o peor aún muera o se contamine.

3.2.3.6. Aireación y agitación

En las primeras etapas de desarrollo en nuestro caso en niveles por debajo de los 750ml de mezcla no se recomienda utilizar aireación ya que este agita mucho el medio lo que produce estrés en las cianobacterias, además de que puede dañar la estructura externa de la espirulina impidiendo o reduciendo la capacidad de las mismas a realizar fotosíntesis. Este daño puede ser irreversible y puede conducir a la reducción de la producción e incluso a la muerte del cultivo.

Se recomienda empezar la aireación en niveles de mezcla superior a los 750ml y con un flujo de aire muy bajo para que la espirulina pueda respirar y hacer fotosíntesis, también este proceso de aireación evita la formación de grumos (colonias de espirulina adheridas) en la superficie o fondo del recipiente, y lo más importante nos garantiza que el cultivo tenga movimiento lo que garantiza que todo el medio tendrá acceso a la luz artificial e incrementará el proceso de reproducción y por ende el aumento de la biomasa.

3.2.4. Metodología en el campo

Una vez que tenemos una producción primera en el laboratorio con un alto concentrado de biomasa en el medio se procede a:

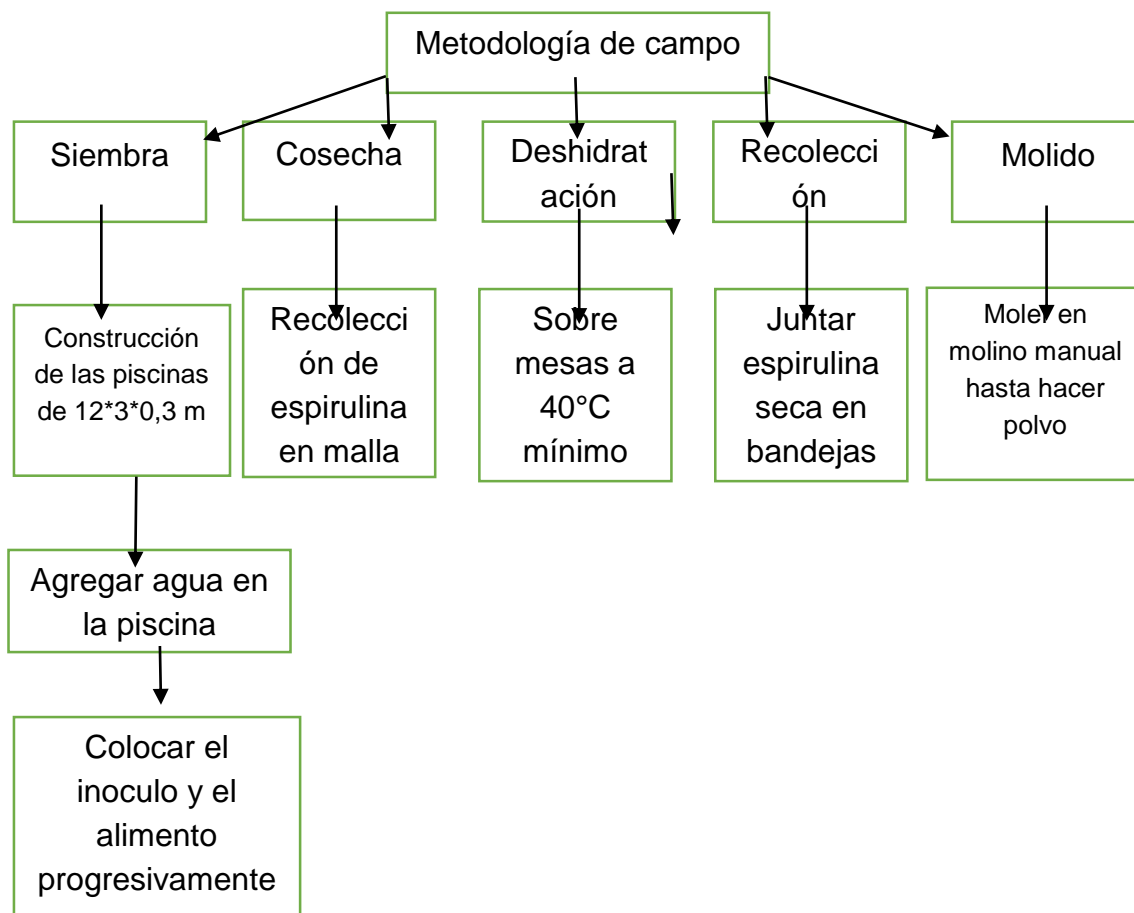


Figura 6. Metodología de campo

3.2.4.1. Siembra

Para comenzar la siembra del micro alga espirulina es necesario primero contar con un inoculo vivo y viable además de las siguientes consideraciones:

- El cultivo de espirulina se realizará en estanques o pilotes donde el tamaño dependerá de la producción que se desee realizar.

- La espirulina necesita 1 litro de agua por cada grano de espirulina seca que se desee producir tomando en cuenta que el requerimiento diario para un humano es de 30gr por día.
- Los estanques o pilotes no deben tener una profundidad mayor a los 30cm para garantizar que todos los micros algas tengan acceso a la luz solar hasta las que se encuentran en el fondo del estanque ya que esta es fundamental para su reproducción y fotosíntesis.
- Para lograr cultivos homogéneos se debe contar con un sistema de agite continuo y homogéneo que cubra las necesidades mínimas de la producción.
- Este cultivo puede ser realizado a cielo abierto o bajo cubierta en invernadero transparente para evitar que se depositen hojas o insectos en la producción.
- El consumo de agua es mínimo ya que solo se pierde esta por evaporación o en los procesos de cultivo del producto.

3.2.4.2. Cosecha

Para poder realizar una cosecha exitosa y sin pérdidas se debe tener las siguientes consideraciones.

- Se debe detener los agitadores durante los procesos de recolección de la producción diaria.
- El uso de telas de 180 hilos es indispensable para poder recolectar la espirulina ya que al tener un diámetro muy pequeño es imposible realizarlo con el uso de cedazos o mallas.
- Se recomienda la recolección de la producción con el uso de un balde o jarra para evitar el desperdicio del producto por riego fuera del estanque.
- La cosecha se realiza in situ para evitar las pérdidas innecesarias de agua ya que este es un suministro vital.

3.2.4.3. Deshidratación

Para el proceso de deshidratación se debe tomar en cuenta lo siguiente.

- Adecuar el área de secado en nuestro caso se trata de un secado natural sin el uso de estufas o calefactores para lo cual se ha implementado un invernadero de cubierta negra con una mesa de secado forrado de una película plástica negra de uso alimenticio para poder alcanzar temperaturas mayores a los 40°C en su interior lo que facilitará la salida del agua interna del micro alga.
- El proceso de secado toma un tiempo aproximado de 24 horas en la cual se llega a la concentración de agua esperada para los procesos continuos.

3.2.4.4. Recolección y molienda

Una vez se haya concluido el proceso de secado la espirulina deshidratada será recolectada en bandejas y será llevada al área de triturado para lo cual se utilizará un molino manual y así poder obtener el polvo que en lo posterior se comercializara en sus diferentes presentaciones.

3.3. Alternativa para la comunidad

Como una alternativa para la comunidad se ha probado la utilización de otros compuestos orgánicos como ingredientes base de la solución alimenticia para la producción de espirulina en donde se reemplazó compuestos como el bicarbonato de sodio de grado analítico (Puro) por el bicarbonato de sodio de grado comercial (Alimenticio), además se reemplazó el fosfato ácido de potasio de grado analítico (Puro) por el nitrato de potasio de grado comercial (fertilizante hidrófilo) debido a las restricciones comerciales que existen de estos productos al ser considerados precursores químicos se requiere de permisos especiales de la Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria (ARCSA).

4. DISEÑO DE PLANTA

4.1. Invernaderos

Por lo general el cultivo de espirulina se lo realiza en estanques que se encuentran al aire libre o mediante el uso de sistemas Raceways (Pulz y Scheibenbogen, 1998), pero debido a la necesidad de crear producciones más higiénicas y eficientes nos ha forzado a que sé que vaya incrementando el uso de sistemas cerrados o cubiertos para crecimiento, conocidos como invernaderos, aunque su implementación está limitada principalmente por sus costos de implementación.

Hoy en día se tiende a incrementar la productividad en las plantaciones de espirulina mediante el uso sistemas abiertos con una productividad de biomasa de 2,9 mg//día hasta el uso de distintos modelos de invernaderos con una productividad de biomasa de 200 mg//día (Klanchui et al., 2012).

En nuestro estudio se utilizará un invernadero para incrementar la producción de espirulina hablando en cantidad de materia seca por litro de agua que usaremos, ya que de esta manera incrementaremos nuestra rentabilidad y se minimizara el riesgo de presencia de ciertos contaminantes del ambiente como son: vegetación, animales, entre otros.

4.2. Criterios de diseño del invernadero

Por las características climáticas que presenta la parroquia de Pintag se descartó el uso de un sistema abierto de cultivo y se optó por un sistema cerrado que facilite controlar las condiciones de temperatura dentro del invernadero de forma artificial.

Los cultivos dentro de invernaderos son muy comunes en Ecuador en especial en la sierra, debido a que ayudan a controlar las condiciones internas del

mismo y brindan protección de las inclemencias climáticas, por otro lado los costos de construcción son bajos dependiendo del tipo de material que se vaya a usar.

El invernadero debe ser diseñado para poder controlar las condiciones internas como la limpieza y regulación de la temperatura, dar facilidad para realizar las operaciones internas de manejo del cultivo y garantizar una óptima y eficiente productividad volumétrica.

4.2.1. Luminosidad

Basándonos en la literatura y resultados de otros proyectos se ha llegado a determinar que el periodo de luz natural (solar) óptimo para la producción de espirulina es de doce horas de luz y doce horas de oscuridad, mismas que estimulan al cultivo a la producción de nuevas células que generan mayor biomasa.

4.2.2. Temperatura

La temperatura interna del invernadero debe mantenerse en un rango de 30 a 35 °C, para lo cual se implementaran termostatos los cuales indiquen la temperatura invernadero y el uso de sistemas de ventilación automáticos que trabajen si hay cambios de temperatura fuera del rango deseado especialmente en la noche ya que en el día se puede regular de forma manual por los operarios con la manipulación de las ventanas del invernadero para reducir costos de producción.

4.2.3. Humedad relativa

Se mantiene entre el 70 al 75 por ciento de humedad relativa en el interior del invernadero con la colocación de humidificadores y control de la temperatura interna del invernadero.

4.3. Dimensiones del invernadero

Para determinar las dimensiones del invernadero se ha hecho cálculo en base a las dimensiones de la propiedad tomando en cuenta el espacio físico requerido para las otras infraestructuras necesarias para la producción y también nos basamos en la producción de espirulina deseada para que el proyecto cumpla la viabilidad económica necesaria.

Las dimensiones del invernadero son de 25 metros de largo por 13 metros de ancho lo que nos da un área de 312 metros cuadrados que es lo mínimo necesario para poder construir las piscinas de crianza y dejar los espacios libres para construcción de caminos para poder movilizarse dentro de la producción y tendrá una altura mínima de 3 metros en la zona más baja hasta los 4 metros en la zona más alta.

4.4. Dimensiones de las piscinas

Para nuestro cultivo de espirulina se han construido piscinas de 2,7 metros de ancho por 10 metros de largo y una profundidad de 40 centímetros y está construido con liner (geomembrana) que se encuentra sobre una fosa cavada en la tierra. Lo que nos garantizara una óptima penetración de luz en el agua, necesaria para que el micro alga pueda realizar su proceso de fotosíntesis y de reproducción.

Por cuestiones de optimización de los sistemas de re circulación, el diseño de la piscina será de forma oval ya que los agitadores serán más eficientes de esta manera permitiendo el recirculamiento de toda el agua en el medio de cultivo y disminuyendo la posibilidad de que se forme sedimentación en la base.

Debemos tomar en cuenta que en el interior de la piscina se colocará un dique de 30 centímetros de ancho y 7,6 metros de largo, el cual servirá para facilitar el movimiento de agua con los agitadores de paleta encendidos.

4.5. Dimensiones de pasillos internos en el invernadero

Este pasillo tendrá una dimensión de 80 centímetros de ancho y recorrerán a lo largo y ancho de las piscinas y el invernadero y su función es facilitar las operaciones de maniobrabilidad y transporte dentro de la zona de producción.

4.6. Paletas de agitación y aireación de las piscinas

Este sistema es necesario dentro de las operaciones de producción ya que ayuda al recirculamiento de agua e impide la sedimentación de espirulina dentro de las piscinas, este sistema tiene un ancho de 1 metro y las paletas una dimensión de 30 centímetros de ancho y son empujadas por motores.

4.7. Dimensiones zona de materia prima

Esta zona está destinada para el almacenamiento de.

- Productos químicos como: bicarbonato de sodio, carbonato de sodio, fosfato ácido de potasio, kristalón.
- Productos de empaque como: fundas, cajas, cartones.
- Insumos: tela de tamizaje, recipientes.

Para nuestra producción esta área tendrá una dimensión de 3 metros por 3 metros

4.8. Dimensiones zona de secado

Esta zona cuenta con un espacio físico de 5 metros por 3 metros en donde se colocarán las mesas de secado mismas que tienen una dimensión de 1 metro de ancho por 3,5 metros de largo, recubiertas de plástico negro para que ayude

a concentración de calor en la habitación y acelere el proceso de deshidratación, además que el cuarto contara con un sistema de aire acondicionado para regular la temperatura interna en caso de que la temperatura ambiental descienda.

4.9. Dimensiones zona de molido

En esta área se realizará el molido de la espirulina producida en el día una vez que esta se haya secado y solidificado en las mesas de secado, para lo cual se tendrá una mesa de 1,2 metros de ancho por 1,8 metros de largo, y sobre la cual se instalaran molinos manuales que serán los utilizados para este proceso.

4.10. Dimensiones zona de empackado

Será utilizado para pesar y empackar la espirulina una vez molida para lo cual se cuenta con una mesa de 1,5 metros de ancho por 3,5 metros de largo y sobre la cual se distribuirá balanzas, selladoras de fundas pro transferencia de calor y cajas para empacketar y su posterior embale. Este proceso se lo realizará de manera manual.

4.11. Bodega de producto terminado

Aquí se almacenará el producto una vez que esté sellado y embalado con la respectiva identificación de lote, fecha de elaboración, fecha de caducidad, guía detallada de las condiciones de almacenaje (humedad y temperatura) para alimentos.

4.12. Oficina

Es el área física utilizada por el personal administrativo para cumplir con las labores administrativas.

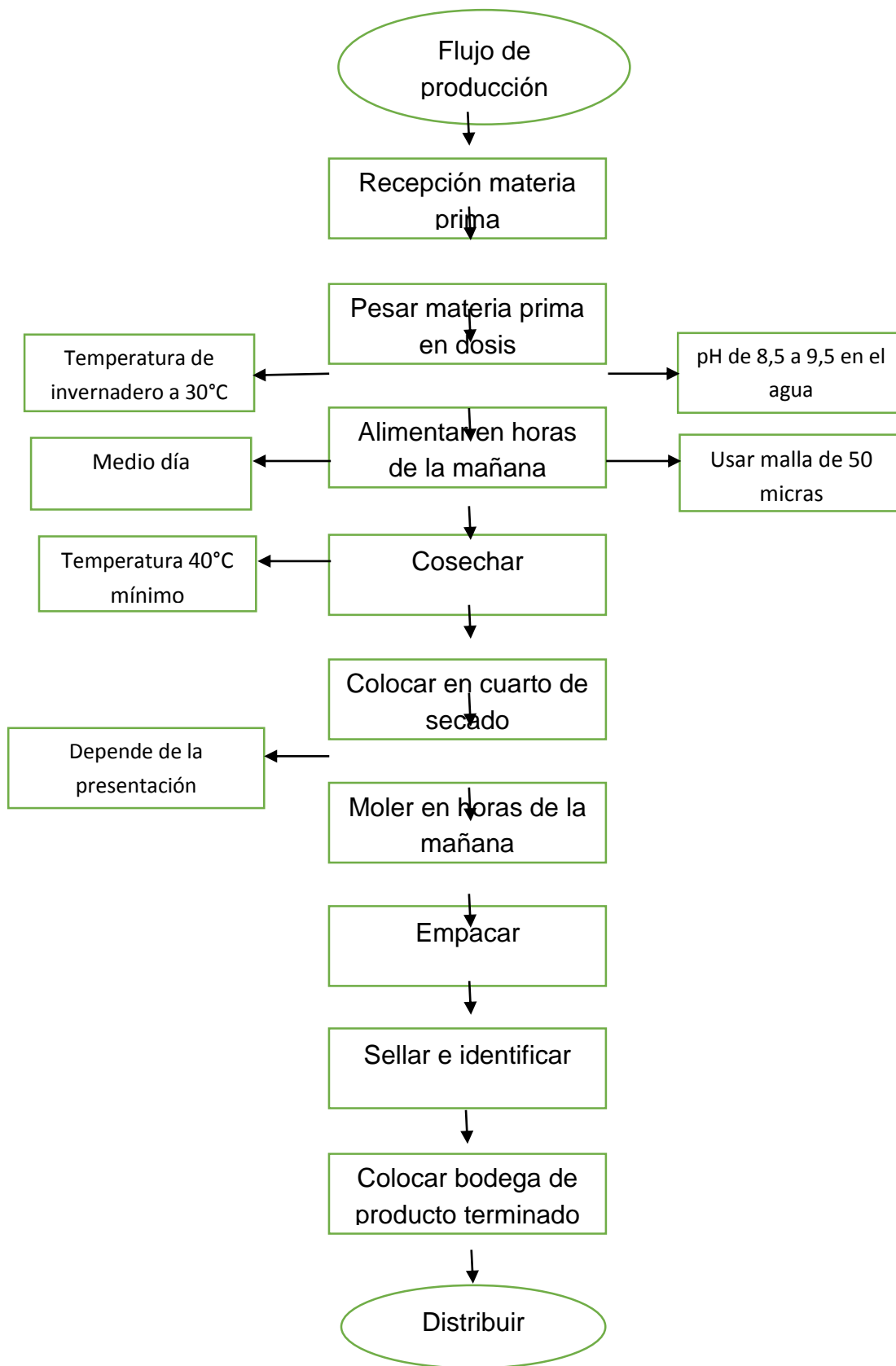


Figura 7. Flujo de producción

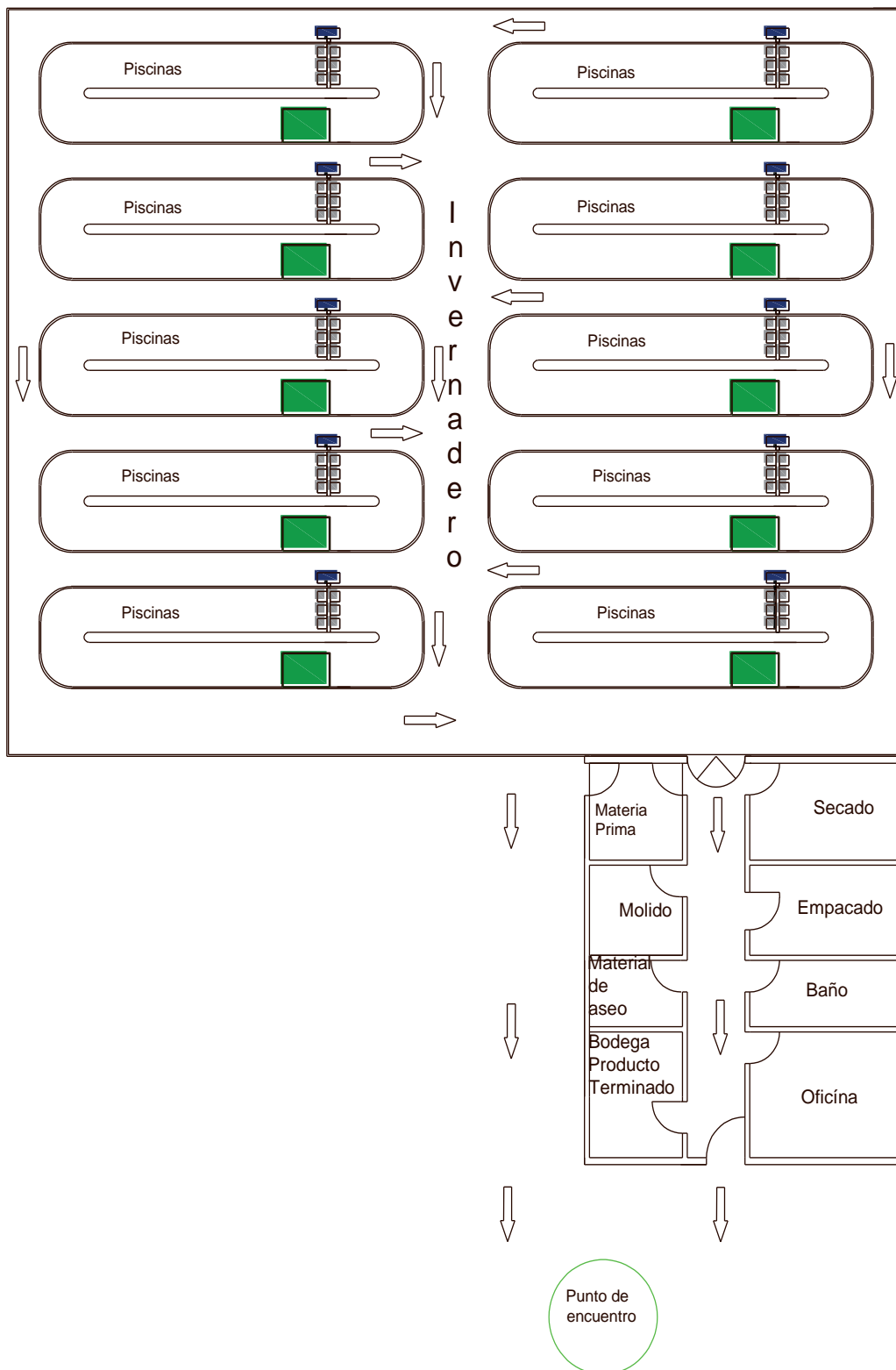


Figura 8. Layout ruta de evacuación

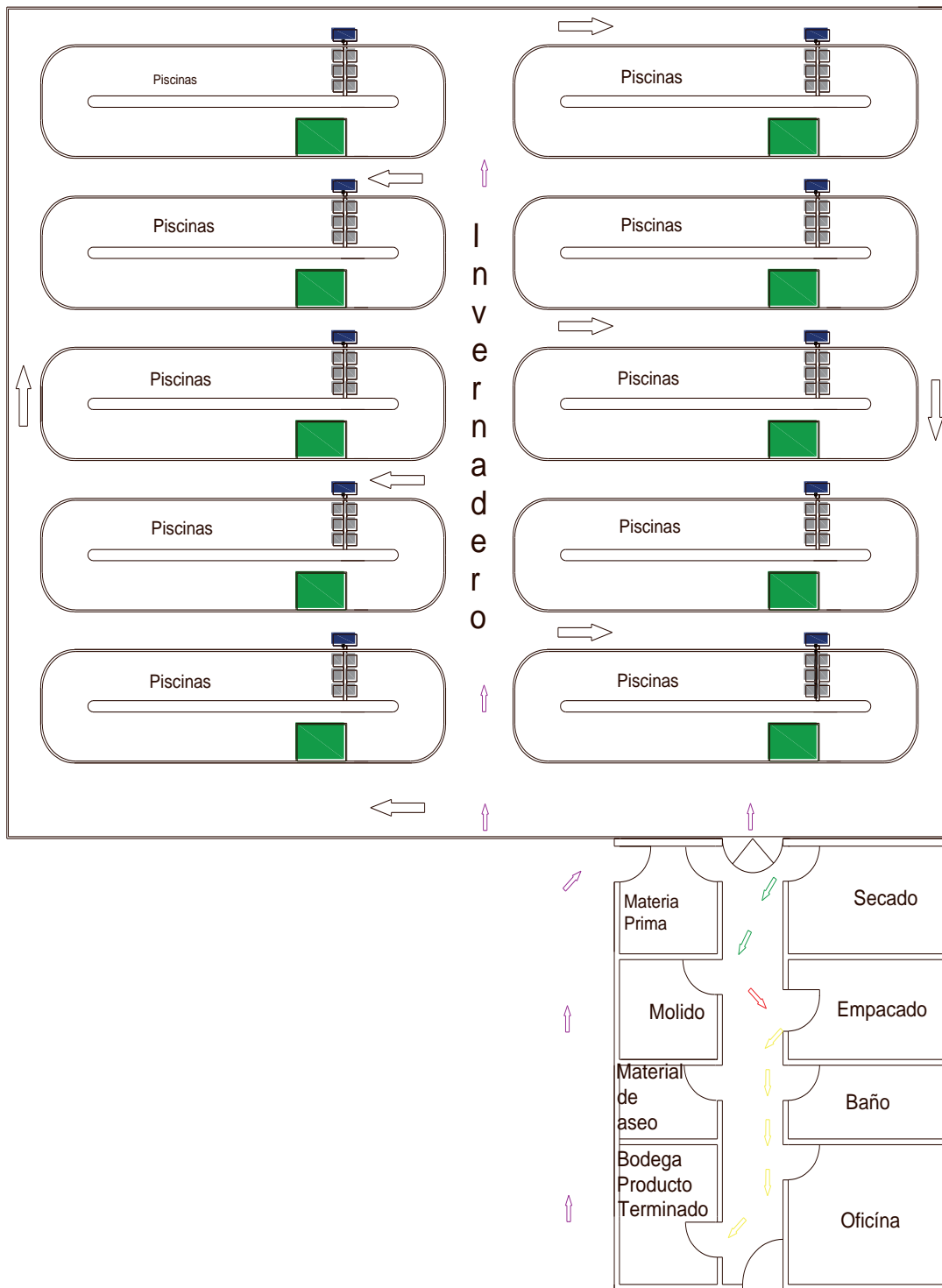


Figura 9. Layout movimiento de personal y materia prima

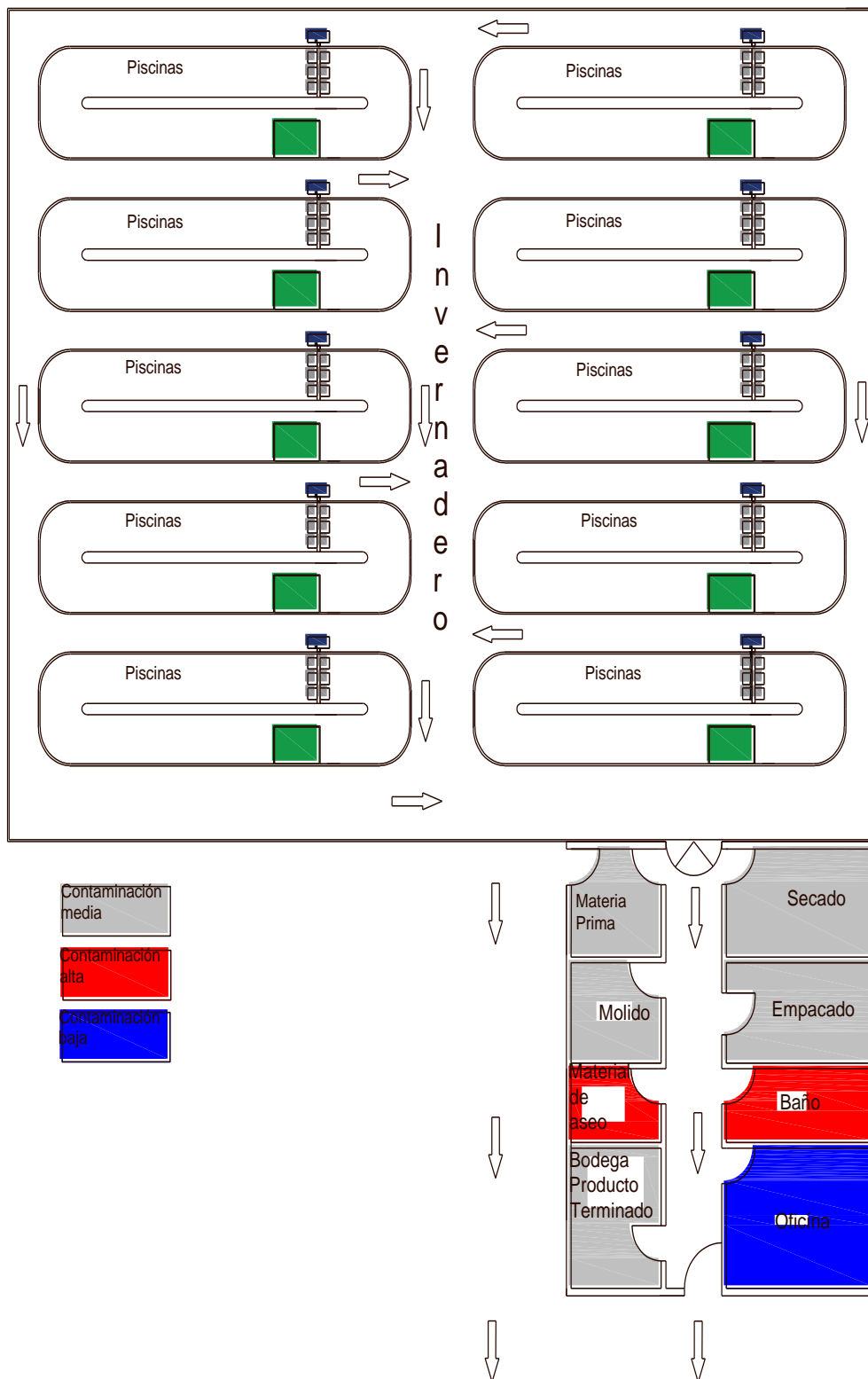


Figura 10. Layout zonas de contaminación

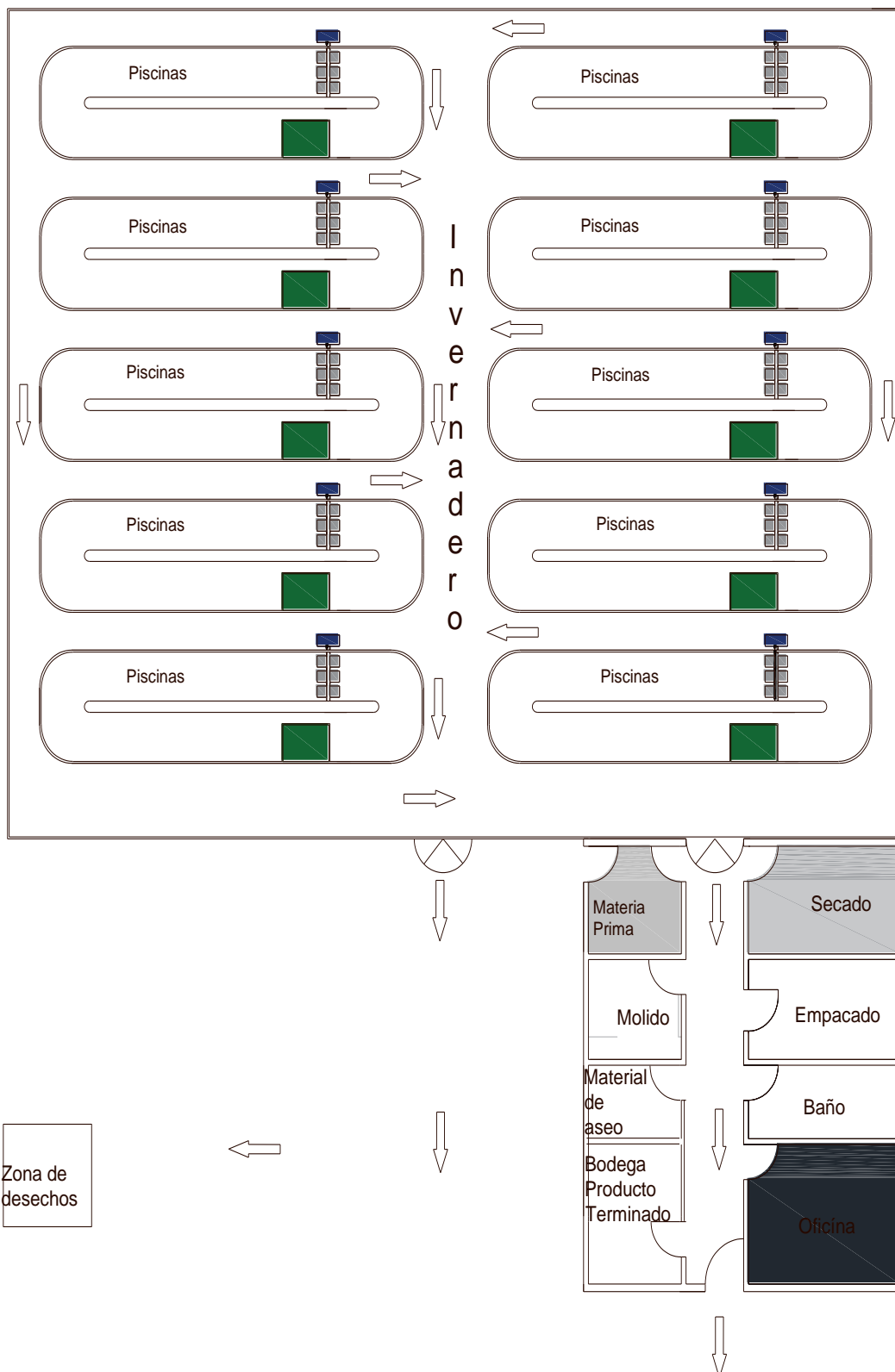


Figura 11. Layout manejo de desechos

4.13. Análisis beneficio costo

En la presente tabla se indica el análisis financiero que se obtuvo en nuestro estudio de inversiones y ventas esperadas para una producción anual.

Tabla 11.

Flujo de efectivo

Flujo de efectivo						
Concepto/año	0	1	2	3	4	5
Ventas	0	129600	129601	129602	129603	129604
Total ingresos	0	129600	129601	129602	129603	129604
Costos fijos	0	92500	92500	92500	92500	92500
Costos variables	0	9100	9100	9100	9100	9100
Compra activos Fijos	0	0	0	0	0	0
Total egresos	0	101600	101600	101600	101600	101600
Saldo final	0	28000	28001	28002	28003	28004
Análisis de rentabilidad						
Año	Ingresos	Egresos	Flujo de efectivo	Tasas de actualización	Ingresos actualizados	Egresos actualizados
0	0	0	0	1	0	0
1	129600	101600	231200	0,89285714	115714,286	90714,2857
2	129601	101600	231201	0,79719388	103317,124	80994,898

					92248,143	72316,87
3	129602	101600	231202	0,71178025	7	32
4	129603	101600	231203	0,63551808	5	68
5	129604	101600	231204	0,56742686	2	85
Sumatoria	648010	508000	1156010		467185,39	366245,2
					3	62

Calculo del VAN	100940,1 31
TIR	##### ###
B/C	1,275608 02

Como se puede observar en la tabla se presenta un beneficio costo mayor que uno lo que nos indica que el proyecto es rentable y que a futuro nuestra empresa puede tener un óptimo índice de crecimiento y desarrollo como se esperaba al comenzar con el estudio de diseño

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se puede verificar que la espirulina que va a ser vendida es 100% natural y que brinda los beneficios a la salud que se esperaban, esto nos ayuda a cumplir con el tema de misión social y el de conseguir mejorar la nutrición de nuestro mercado.

Debido a los procesos de cultivo y transformación de la espirulia la inversión inicial será relativamente baja.

Del análisis de costo beneficio se determinó que el proyecto es factible y que se puede conseguir una retribución del capital de inversión en un plazo relativamente corto lo que ayudara al crecimiento interno de la empresa.

Los indicadores financieros determinan que es un proyecto viable, ya que se observan ingresos netos anuales de 28000 dólares.

Se va a generar una implementación económica positiva en la parroquia de Pintag con la implementación de la planta de producción la cual va a brindar nuevas fuentes de trabajo u oportunidades de desarrollo.

El impacto ambiental que podamos producir será mínimo ya que desde el principio se tomaran las medidas adecuadas para el tratamiento de desechos, mantenimiento de la calidad del aire y evitando el incremento del ruido por el uso de tecnología, por lo que la empresa vela siempre por la salud de los empleados, así como por el de la comunidad de Pintag.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda la implementación de la actividad de la plantación basándonos al estudio que se ha realizado, y observando un alta demanda en el mercado de productos naturales, así como una mínima inversión y una rentabilidad alta. Desarrollar sistemas internos de calidad que nos ayude a la producción interna hasta poder obtener los certificados de ISO 9000 y 14000, mismos que garantizan la calidad en las actividades administrativas y ambientales de la empresa.

Realizar estudios periódicos de los cambios en el mercado objetivo, y los cambios económicos a nivel mundial, con el objetivo de diseñar estrategias que nos ayuden a adaptarnos a las necesidades futuras.

Invertir periódicamente en tecnología, maquinaria y equipos con el fin de mantener la calidad de nuestros productos a través del tiempo.

Recomendamos el análisis y estudio de diferentes tipos de soluciones alimenticias para el cultivo, con el objetivo de reducir costos de producción y garantizar la disponibilidad de la materia prima en todo momento.

REFERENCIAS

- Baca, Urbina, Gabriel, 2001, Preparación de Proyectos, México, 4ta. Edición, Mc Graw Hill.
- Ecosistemas, 2008. Recuperado el 10 de marzo de 2019 de: <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?id=522>
- Gershwin M. E and Belay, 2008, Spirulina in Human Nutrition and Health, Estados Unidos, Editorial CRS PRESS.
- FAO, 2007. Meat processing technology for small- to medium-scale producers.
- Flores y jardín, 2008. Cultivar spirulina en el hogar. Recuperado el 25 de marzo de 2019 de <http://www.floresyjardin.es/cultivar-spirulina-en-el-hogar/>
- Google earth 2018
- J. Falquet, 2008. Recuperado el 5 de abril de 2019 de: <http://www.antenna.ch/en/malnutrition/spirulina-production.html>
- J. Paniagua, E. Dujardin, C. Sironval, (1993) Cahiers Agricultures (Traduc. Angélica López de LEROUX) Recuperado el 12 de abril de: http://www.spiralspring.com/h_Textos/Cronica%20azteca.pdf
- J.Naylor, 1976. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación.
- Kosaric N, Nguyen H and Bergougnou M A, 1974. Growth of Spirulina maxima algae effluents from secondary waste water treatment plants. Biotechnology and Bioengineering 14:881-896.
- Peña, Gonzales, Rial, 2010. Alimentación preescolar y escolar. Recuperado el 22 de marzo de 2019 de: https://www.aeped.es/sites/default/files/documentos/alimentacion_escolar.pdf
- Richmond, A., 2004. Handbook of Microalgal Culture. Blackwell Science Ltd. 178-210, 264, 267.
- Roughan P., 1989. Spirulina: a source of dietary Gamma Linoleic Acid. Journal Science Food and Agriculture 47:85-93
- Sapag, Chair, Nassir, 2000. Preparación y Evaluación de Proyecto, Santiago de Chile, 4ta. Edición, Mc Graw Hill.

- Schwarz, Brigitte, 2008. Spirulina, la microalga milagrosa, Quito – Ecuador, PPL Impresores.
- Shelef G y Soeber C J, 1980. Algal biomass. Biomedical press: Holland 600 pp.
- Shubert B D, Larsen B D y Johnson P D, 1985. Nutritional values of Spirulina and Chorella for human consumption. En: Annual Meeting of the Phycological Society of America (Reseña).
- Torzillo, G., Puschparaj, B., Bocci, F., Balloni, W., Materassi, R., & Florenzano, G., 1986. Production of Spirulina biomass in closed photobioreactors. Biomass, 11, 61-74.
- Vonshak, A., 1996. Spirulina platensis (Arthrospira), Physiology, cell biology and biotechnology. Taylor & Francis. 221-224.
- Weissman, J.C., Goebel, R.P. & Benemann, J.R., 1988. Photobioreactor design: mixing, carbon utilization and oxygen accumulation. Biotechnol. Biogen., 31, 336-44.

ANEXOS



Medidor de pH



Metodo desinfeccion del sustrato



Preparación del medio de cultivo



Muestra de espirulina cedida por la ESPE



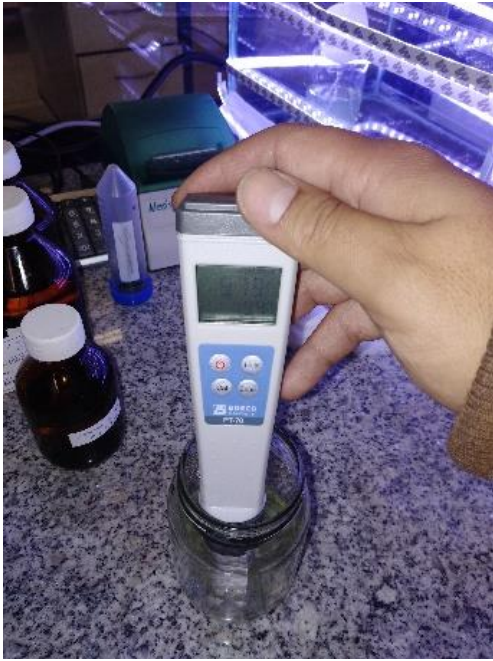
Inoculación del sustrato con la solución



Crecimiento de la espirulina a los 15 días



Medidor de pH del laboratorio UDLA



Medición de pH en nuestro cultivo



iniciado

Cultivo a las 3 semanas de



agitación

Cultivo a las 4 semanas sin

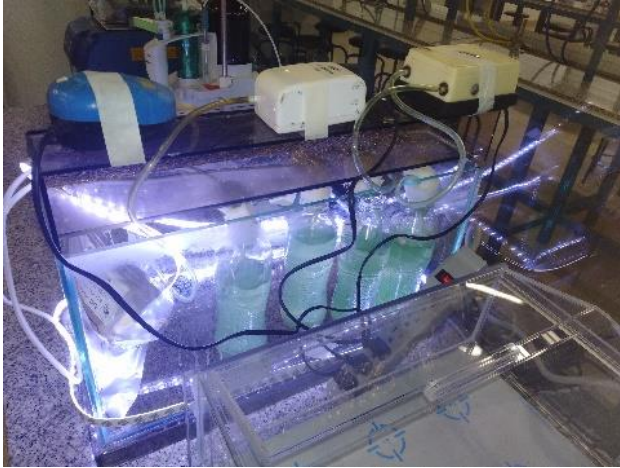


Traspase del cultivo a un ambiente con iluminación artificial

Traspase del cultivo a un



Incremento del medio de cultivo



Traspaso a recipientes de mayor volumen e instalación de bomba de aire para oxigenar el medio y dar movimiento



de 400ml

Vista del cultivo en recipientes



espirulina espiral

Imagen de nuestra muestra de



Imagen de nuestra muestra de espirulina recta



Imagen de nuestro cultivo a las 6 semanas

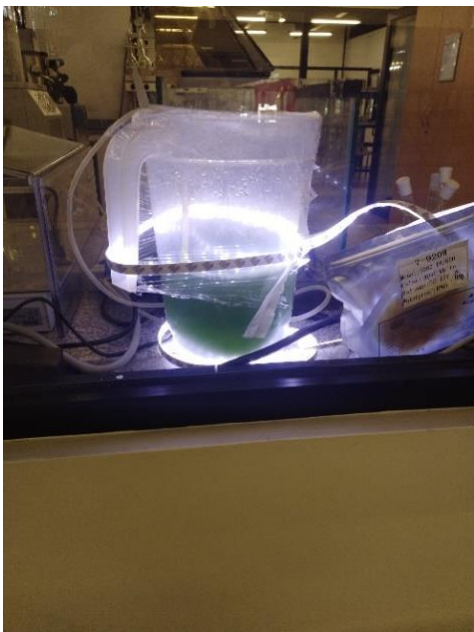


Imagen de nuestro cultivo a las 8 semanas



tres litros de capacidad

Cambio de nuestro cultivo a recipiente de



semanas

Imagen de nuestro cultivo a las 10



12 semanas

Imagen de nuestro cultivo a las



Imagen de nuestro cultivo a las 14 semanas



Imagen de cultivo de espirulina en el IASA

de la ESPE

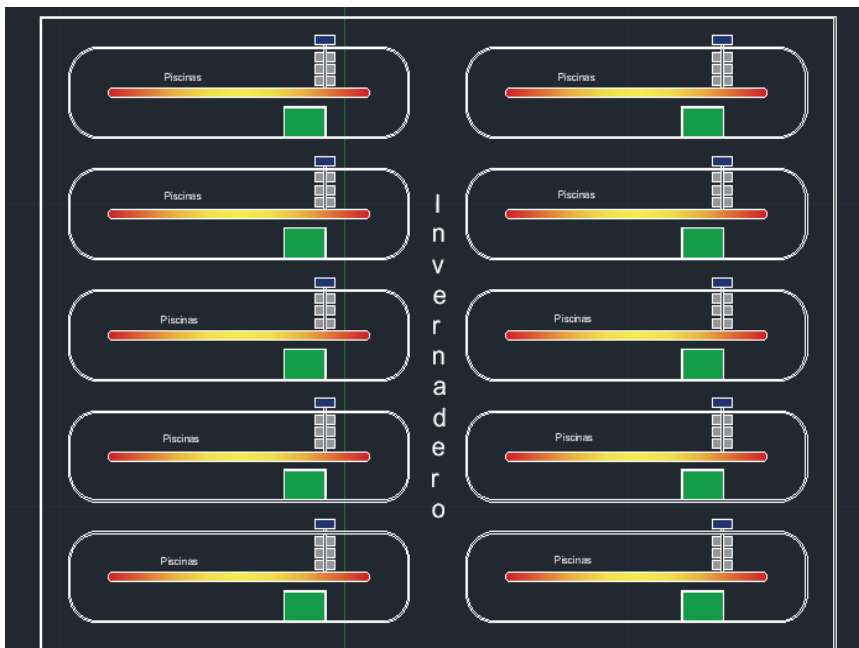


Imagen creada

para mostrar el diseño de las piscinas de producción

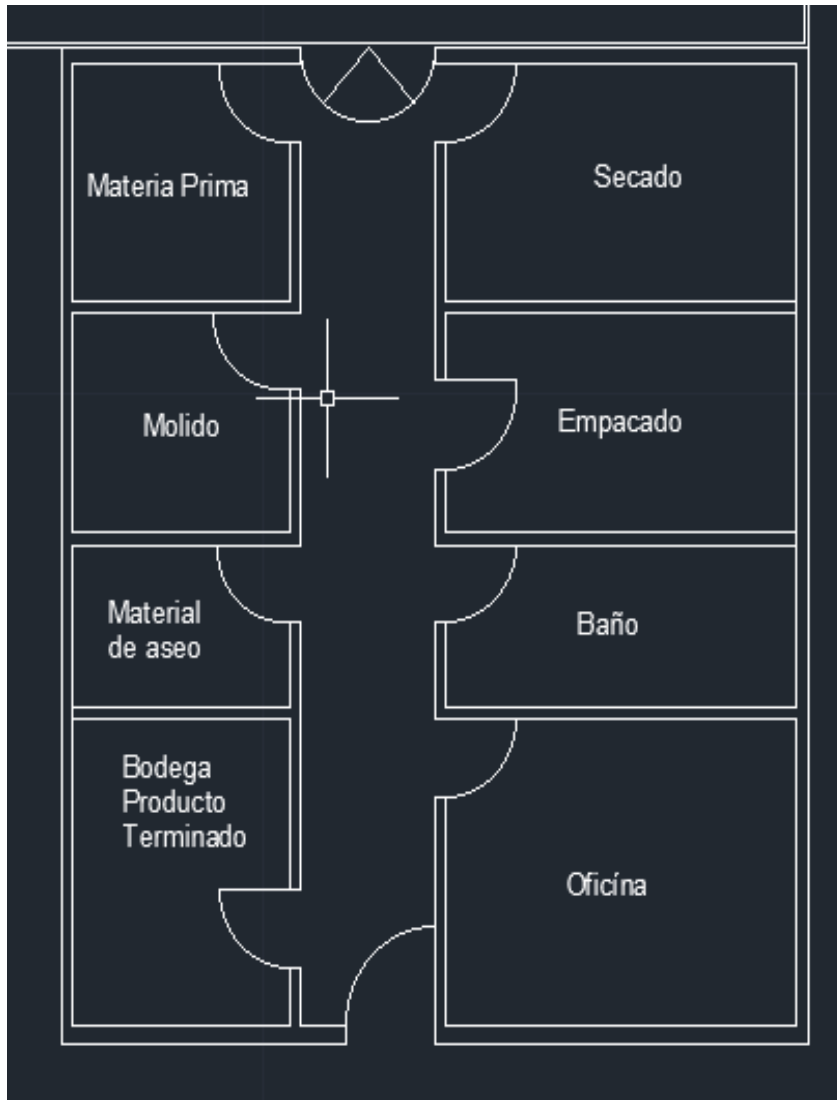


Imagen creada para mostrar el diseño de la zona de procesamiento y oficinas de la empresa

