



n°1

REVISTA
de la FACULTAD
de AGRONOMIA

EPOCA I

GUATEMALA
septiembre 1982

tikalua



Revista de la Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala
Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Guatemala, C.A.

Junta Directiva 1982

Decano:	Dr. Antonio Sandoval
Secretario:	Ing. Carlos Fernández
Vocal I:	Ing. Oscar Leiva
Vocal II:	Ing. Gustavo Méndez
Vocal III:	Ing. Fernando Vargas
Vocal IV:	Prof. Leonel Enríquez
Vocal V:	Prof. Francisco Muñoz N.

Los artículos publicados expresan la opinión de sus autores



HOMENAJE

La Revista TIKALIA de la Facultad de Agronomía, dedica su primer número como reconocimiento a los altos méritos académicos del distinguido profesional: Ingeniero Agrónomo MARIO MOLINA LLARDEN.

El Ing. Molina Llardén, ha sido el pionero de la Investigación agrícola en nuestro país, profesor de varias generaciones de Ingenieros Agrónomos, autor de innumerables trabajos especializados, tales como AGRONOMIA Y AGRICULTURA, MICROBIOLOGIA DE SUELOS, GLOSARIO ILUSTRADO, y su obra inédita INTRODUCCION A LA PATOLOGIA VEGETAL. Junto a su trayectoria académica, se destaca el hecho de ser uno de los tres primeros Ingenieros Agrónomos de Guatemala, graduado en Tolosa Francia en 1930 y con estudios de Postgrado en Fitopatología en la Universidad de Corneille, Nueva York en 1943-47.

La personalidad académica del Ing. Agr. Molina Llardén sobresalió en la fundación de los Estudios agronómicos a nivel superior que se concretó en la creación de la actual Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos y, de la cual fue uno de sus más destacados Decanos.

Nuestro reconocimiento es una muestra pública que los estudiosos de las ciencias agronómicas hacemos al valioso aporte del Ing. Agr. MARIO MOLINA LLARDEN.



índice

PRESENTACION 1

LA INTEGRACION
DEL CONOCIMIENTO
EN LOS PROCESOS
DE PRODUCCION AGRICOLA
Y EN EL MANEJO
DE LOS RECURSOS NATURALES
RENOVABLES:
UN ENFOQUE
EN EL SISTEMA CURRICULAR
DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA
DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA 5

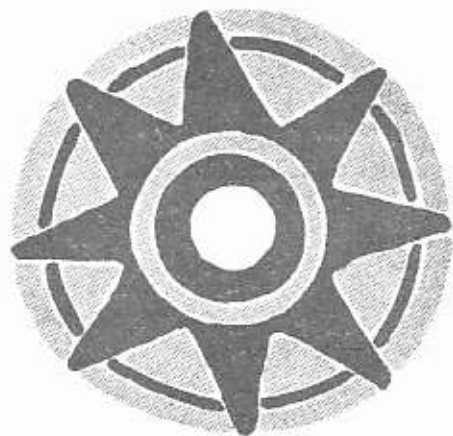
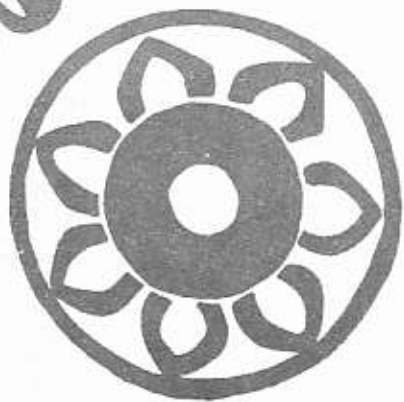
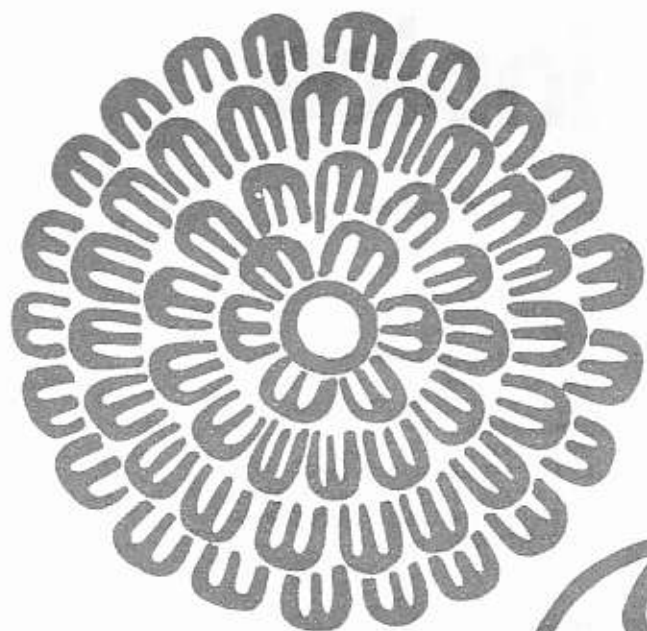
PROPUESTA
PARA EL ESTABLECIMIENTO
Y DESARROLLO INICIAL
DE UN PROYECTO DE REFORESTACION
EN UN AREA DE LA CUENCA
DEL RIO CHIXOY,
REFERIDA A LOS ASPECTOS
DE SUELO Y VEGETACION 23

COMPORTAMIENTO INICIAL
DEL "PINUS OCCARPA SCHIEDE"
ASOCIADO CON CULTIVOS ANUALES 57

PRINCIPIOS
EN LA ORGANIZACION
DE EXPLORACIONES
PARA RECOLECTAR
GERMOPLASMA
DE INTERES SOCIAL 67

USO DE LA MATRIZ
EXPERIMENTAL
PLAN PUEBLA
EN LA DETERMINACION
DE DOECL Y DOECI
EN EXPERIMENTOS AGRICOLAS 75

TRANSDUCCION Y
DISTRIBUCION DE ENERGIA
EN LAS MEMBRANAS
FOTOSINTETICAS 87



presentación

¿POR QUE EL NOMBRE **TIKALIA**?



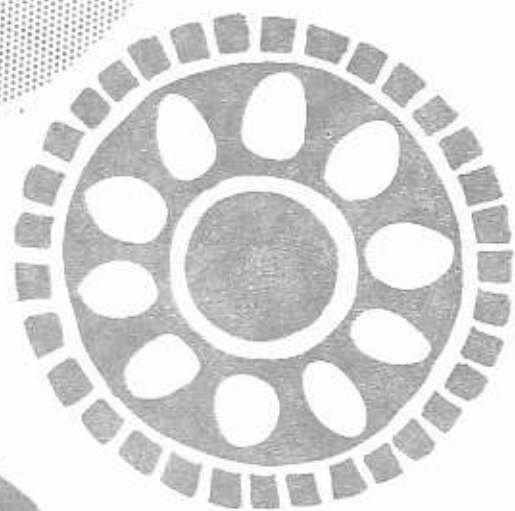
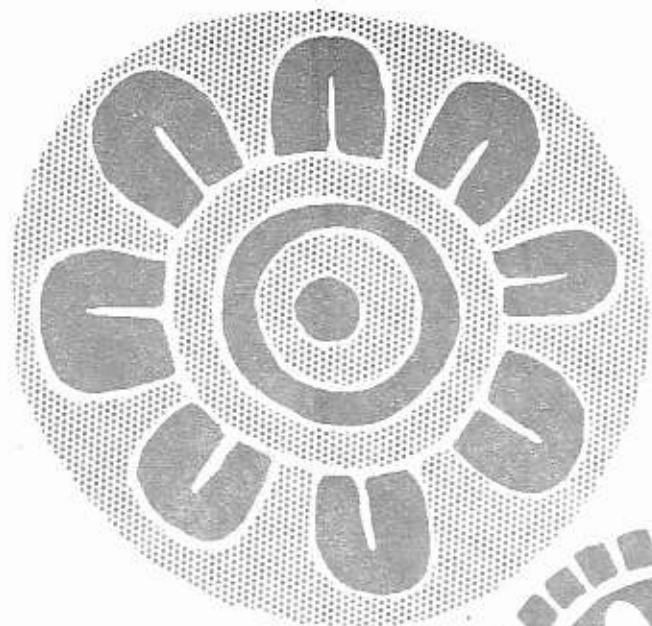
El nombre de esta revista con temática relativa a la ciencia y la tecnología agrícolas se debe a que Tikal fue un exponente clásico de la antigua cultura maya, establecida otrora sobre una base constituida por la producción agrícola.

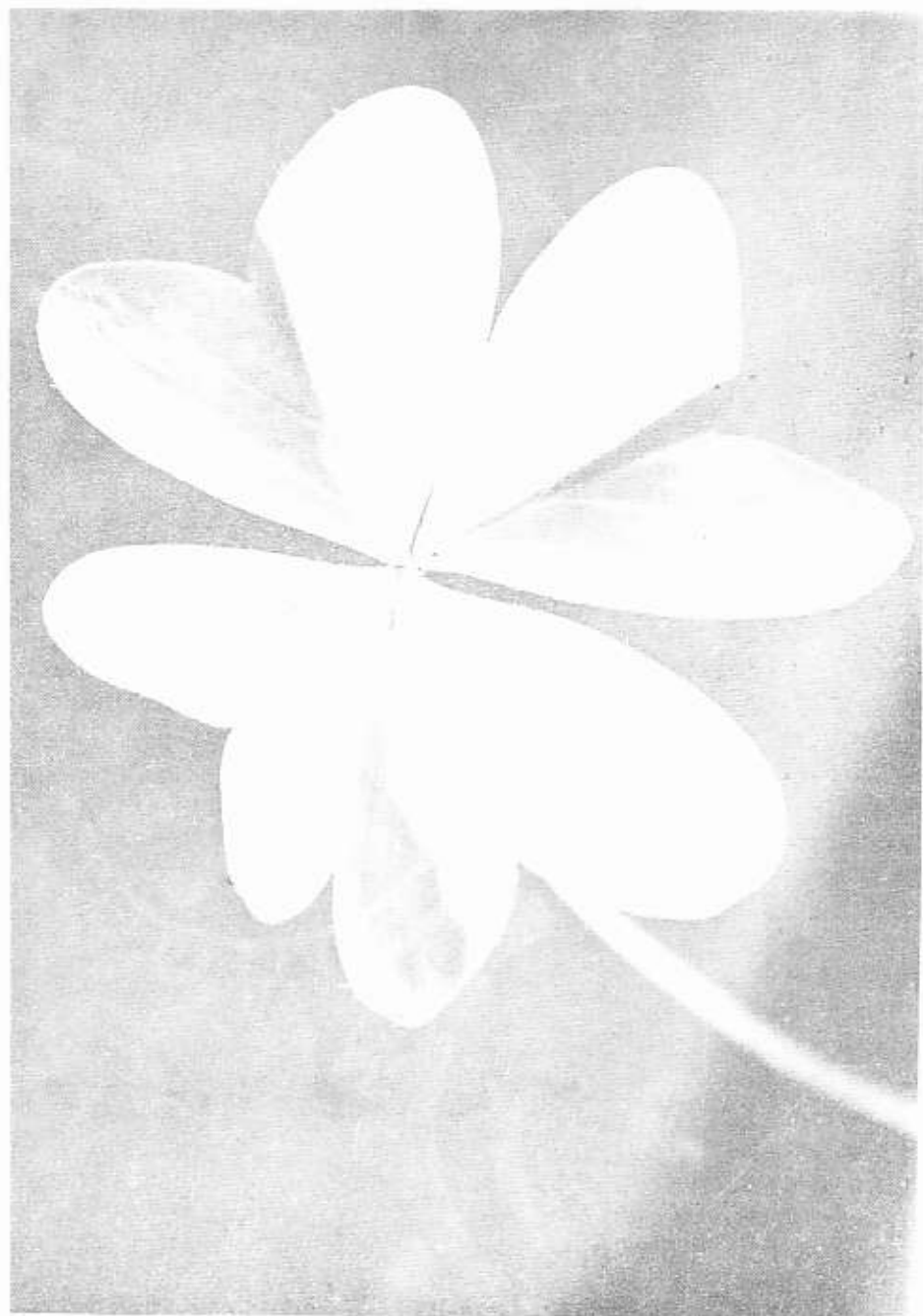
Las evidencias obtenidas por diversos mayistas muestran que en los asentamientos iniciales de aquel pueblo, es decir, las tierras bajas de lo que ahora es El Petén, se desarrollaron sistemas de producción agrícola basados en el maíz (*Zea Mays L.*), frijol (*Phaseolus vulgaris L.*), piloy (*Phaseolus coccineus*), con otras especies cultivadas y forestales.

Se ha estimado que en el período clásico Tikal llegó a tener una población de 50,000 a 70,000 habitantes, dentro de un radio de 6 kms. al derredor de la ciudad, o sea un área aproximada de 120 kms². Una densidad poblacional de tal magnitud requería de sustentarse en sistemas de producción agrícola sumamente intensivos, los cuales incluyeron una infraestructura especializada, constituida por terrazas, riego y drenajes. Como consecuencia de lo anterior, se dice que la agricultura y el manejo de los Recursos Naturales Renovables de aquella zona alcanzaron un alto grado de desarrollo.

Por haber sido Tikal un sitio histórico-geográfico privilegiado durante el florecimiento maya, y por estar actualmente la Facultad de Agronomía orientada al estudio y manejo de los sistemas de producción agrícola y de los Recursos Naturales Renovables —actividades primigeniamente conocidas por los mayas—; por esas razones, se reitera, esta revista dedicada a difundir la ciencia y la tecnología ha sido denominada con el nombre de TIKALIA.







**LA INTEGRACION
DEL CONOCIMIENTO
EN LOS PROCESOS
DE PRODUCCION AGRICOLA
Y EN EL MANEJO
DE LOS RECURSOS NATURALES
RENOVABLES:
UN ENFOQUE
EN EL SISTEMA CURRICULAR
DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA
DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA***

*César Castañeda S.,¹
Antonio A. Sandoval²*

RESUMEN

En el presente trabajo se analizan los fundamentos del concepto de sistemas como instrumento metodológico de integración del conocimiento en las carreras de Producción Agrícola y Recursos Naturales Renovables. Lo anterior se fundamenta en la concepción de que los

1 Ingeniero Agrónomo, M Sc. Coordinador del Area de Ciencias.

2 Ingeniero Agrónomo, PhD. Decano de la Facultad de Agronomía

* Ponencia Presentada en la VII Conferencia Latinoamericana de Educación Agrícola Superior, Ambato, Ecuador, 23/27 Noviembre, 1981.

procesos productivos constituyen sistemas integrales dentro de los cuales se entrelazan e interaccionan componentes ecológicos, socioeconómicos y tecnológicos.

Muchos programas educacionales a nivel superior carecen de métodos de integración del conocimiento que permita a los futuros profesionales interpretar la interconexión de los fenómenos y la importancia de cada componente en los procesos de producción agrícola y de manejo de recursos naturales renovables, lo cual propende a que los conocimientos se apliquen unilateralmente en perjuicio del sistema.

En este trabajo se plantean los aspectos fundamentales del "Área Integrada" del plan de estudios de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Dicho plan, con currículum semi-flexible, ofrece las carreras de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola e Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables y está estructurado en tres áreas de contenido curricular: de Ciencias, Tecnológica e Integrada. En las áreas de Ciencias y Tecnológica el estudiante recibirá una base de conocimientos y destrezas, que al final de la carrera, en el Área Integrada, le permitirán trabajar con sistemas, integrando sus conocimientos en torno a las unidades productivas (agro-ecosistemas o cuencas hidrográficas, dependiendo de su carrera). En el Área Integrada el estudiante comprenderá que la producción agrícola y el manejo de recursos naturales renovables implica trabajar con diversos elementos (socio-económicos, naturales y científico-técnicos) indisolublemente ligados y que constituyen sistemas; ello además lo aplicará mediante el trabajo. Al final se plantea la metodología general para lograr dicho objetivo.

INTRODUCCION

La falta de integración del conocimiento constituye uno de los problemas centrales en el proceso de enseñanza-aprendizaje en educación superior. Ello generalmente se atribuye a ausencia de integración o de correspondencia en los contenidos de las diferentes disciplinas en los programas educacionales.

Los profesionales en ciencias agrícolas o de recursos naturales renovables que egresan con el grado de licenciatura en Universidades de América Latina (Ingenieros Agrónomos, forestales, o en Recursos Naturales); no obstante que pueden tener un curriculum fuerte en su formación, carecen de un método general, versátil, que les permita enfocar de manera global, y no aislada o independiente, los problemas que se presentan en los procesos de producción agrícola o de recursos naturales renovables. Ello muestra no sólo carencia de método para enfocar el problema, sino desconocimiento de las bases científicas generales que explican la estrecha vinculación existente entre los elementos del Universo.

Lo expresado en el párrafo anterior ha conducido a que dichos profesionales pretendan resolver un problema en particular sin tomar en cuenta aspectos globales involucrados en el proceso de producción agrícola o de recursos naturales, proponiendo soluciones que no siempre repercuten positivamente en el desarrollo de los sistemas de producción agrícola y de los recursos naturales renovables.

En el I Seminario de la Asociación Latino Americana de Educación Agrícola Superior, celebrado en Río de Janeiro del 7 al 12 de octubre de 1980, en el informe de la Comisión I (participación de las Facultades de Ciencias Agropecuarias en la elaboración de opciones, políticas y estrategias para el desarrollo rural) se indica que "La mayor parte de los sistemas curriculares no están orientados hacia la solución de los problemas que plantea el desarrollo rural" por lo que se recomienda que: "La función más importante de la educación superior agropecuaria es la formación de recursos humanos; en ese sentido las Facultades deben reestructurar los sistemas curriculares y los modelos de organización académica para que el futuro profesional tenga una visión objetiva y crítica de la sociedad y la naturaleza en que vive, una instrumentación tecnológica adecuada y una conceptualización integral de los procesos de producción agrícola para orientarlo hacia la solución de los problemas que plantea el desarrollo rural".

El objetivo del presente trabajo es formular de una manera general las bases de la integración del conocimiento y del uso del concepto de sistemas como instrumento metodológico de dicha integración en las carreras de Producción Agrícola y de Recursos Naturales Renovables y presentar el actual sistema curricular de la Facultad de Agronomía, de

MARCO CONCEPTUAL

1. La Integración del Conocimiento en el Proceso de Enseñanza-Aprendizaje.

La concepción de la integración del conocimiento en el proceso enseñanza-aprendizaje se basa fundamentalmente en la concatenación y conexión de los fenómenos y de los objetos en la realidad, lo cual conduce a la concepción unitaria del mundo y de la ciencia.

El mundo moderno es escenario de un proceso vertiginoso en el desarrollo de la ciencia y la tecnología. Ello es consecuencia de la más grande revolución del saber humano que se originó a fines del siglo pasado y continúa con énfasis en la esfera de las ciencias biológicas con implicaciones en el proceso productivo y de toda la actividad que éste determina, incluyendo al hombre mismo, su modo de vida, su trabajo y su conciencia.

El desarrollo de la ciencia y la tecnología tiende a evitar la fragmentación del conocimiento y por lo tanto a reafirmar la concepción unitaria del mundo. En torno a esta tendencia, son relevantes las palabras de Karel Kosik, citado por Aragón (1981): "La posibilidad de crear una ciencia unitaria y una concepción unitaria de esta ciencia, se basa en el descubrimiento de la más profunda unidad de la realidad objetiva. El notable desarrollo de la ciencia en el siglo XX depende del hecho de que cuando más se especializa y diferencia la ciencia, cuanto más nuevos cambios descubre y describe, tanto más transparente se vuelve la unidad material interna de los sectores de la realidad más diversos y alejados; a la vez que se plantea de un modo nuevo el problema de las relaciones entre mecanismos y organismo, entre causalidad y teleología, y, con ello el problema de la unidad del mundo".

De acuerdo con esta concepción, todos los hechos y fenómenos existentes en la naturaleza interaccionan entre sí. Siendo el movimiento parte esencial de la materia, toda acción que se ejerza sobre

cualquiera de sus formas o planos en que ésta se manifieste tiende a reflejarse en el objeto sobre el que la acción recae, de acuerdo con sus propiedades y estructura.

En el presente caso, como lo expone García G. (1981): "El conocimiento es una de las formas en que el movimiento de la materia se manifiesta; por lo tanto, es un reflejo de la realidad objetiva a través de la interacción que se establece entre una de las formas más altamente desarrolladas de la materia: la corteza cerebral del hombre y dicha realidad".

Un aspecto relevante dentro de la teoría de la integración del conocimiento es la interdependencia que se da no sólo en los planos del conocimiento, en el mundo natural y en el mundo social sino que en cada proceso particular y en cada fenómeno específico.

Una de las grandes metas de la ciencia es encontrar e interpretar las diversas relaciones de interdependencia dentro de las cuales se da la unidad.

2. La Integración e Interdisciplinariedad en los Procesos de Producción Agrícola y en el Manejo de los Recursos Naturales Renovables.

El subtítulo de esta sección sugiere que en los procesos de producción agrícola y en el manejo de los recursos naturales renovables existe interacción de diferentes disciplinas que se integran para la explicación correcta de ambos procesos. En esta sección se desarrolla dicha afirmación y se aplican aspectos generales de la integración del conocimiento al caso particular de producción agrícola y manejo de recursos naturales renovables utilizando el concepto de sistemas.

2.1 Sistemas y Sistemas Biológicos.

Sistema es un conjunto de componentes, eventos o partes interdependientes entre sí, que forman y funcionan como un todo unificado. Meliujin (1963), a su vez afirma que sistema es "Un conjunto íntegro de elementos en el cual todos éstos se encuentran tan estrechamente vinculados entre sí, que el sistema dado, con relación a las condiciones circundantes y a otros sistemas, se

presenta como algo único". La conexión entre los elementos de todo sistema (comunmente llamados eventos o subsistemas) es mucho más sólida y estable que la relación de cada uno de los elementos con las partes o subsistemas de otro sistema. Todo sistema puede contener sistemas de orden menor (subsistemas) y forman parte, a su vez, como elementos de sistemas de orden mayor. La teoría de sistemas es, entonces, una forma de pensamiento acerca del mundo, un enfoque a la solución de los problemas, y al desarrollo de modelos, considerando a una serie compleja de eventos o componentes como un todo.

Ecosistema o Sistema Ecológico es aquel sistema formado por todos los organismos de un área dada en interacción entre ellos mismos y su ambiente físico. Son elementos o componentes de los ecosistemas las sustancias abióticas (compuestos inorgánicos y orgánicos como agua, bióxido de carbono, nutrientes, régimen climático, etc.); los productores (organismos autótrofos, en su mayoría plantas verdes); consumidores (organismos heterótrofos que ingieren otros organismos o porciones de materia orgánica) y desintegradores (organismos heterótrofos que desintegran a los productos de descomposición).

La principal función del concepto de ecosistema en el pensamiento ecológico es la de subrayar el acoplamiento de los componentes vivos y no vivos de la naturaleza, para formar unidades funcionales. Esto significa que el tipo y cantidad de sustancias abióticas de un área dada guarda una íntima relación con el tipo y cantidad de productores (plantas); éstos con los consumidores (animales) y toda la interacción de lo anterior con los desintegradores. En cuanto a su uso, los ecosistemas se clasifican, de acuerdo con Sutton (1975), así:

- a) Ecosistema natural maduro: aquellos que, más o menos, aparecen en sus estados naturales, por lo que generalmente no son empleados ni habitados por el hombre; por ejemplo: montañas, desiertos, áreas silvestres.
- b) Ecosistemas naturales controlados: son los ecosistemas que manipula o controla el hombre para su uso recreativo o para la producción de recursos naturales, por ejemplo: bosques

controlados, áreas de caza, parques y algunas zonas del mar.

- c) Ecosistemas productivos: son los ecosistemas empleados por el hombre para la producción intensiva y/o extensiva de productos agrícolas (también denominados agro-ecosistemas) o de recursos naturales, tales como: granjas, fincas, haciendas.
- d) Ecosistemas urbanos: son los ecosistemas en los que el hombre vive y trabaja, tales como ciudades, áreas industriales y poblados.

2.2 El Concepto de Sistema como Instrumento de Integración.

El hombre es un consumidor y un manipulador (transformador). La acción tan decisiva del hombre en la transformación del ambiente es determinada por los diferentes componentes que le sirven como factores de producción y de las relaciones de los hombres entre sí. Dichas relaciones que fundamentalmente son de producción, condicionan a su vez al modo de producción de los bienes materiales.

“Los fenómenos, como parte del desarrollo constituyen unidades en las que confluyen diversos factores constituyendo conjunto y tan estrechamente ligados entre sí que se presentan como algo único, diferenciable de los demás fenómenos y procesos circundantes, es decir, constituyen sistemas”. (Comisión de Reestructura, 1979)

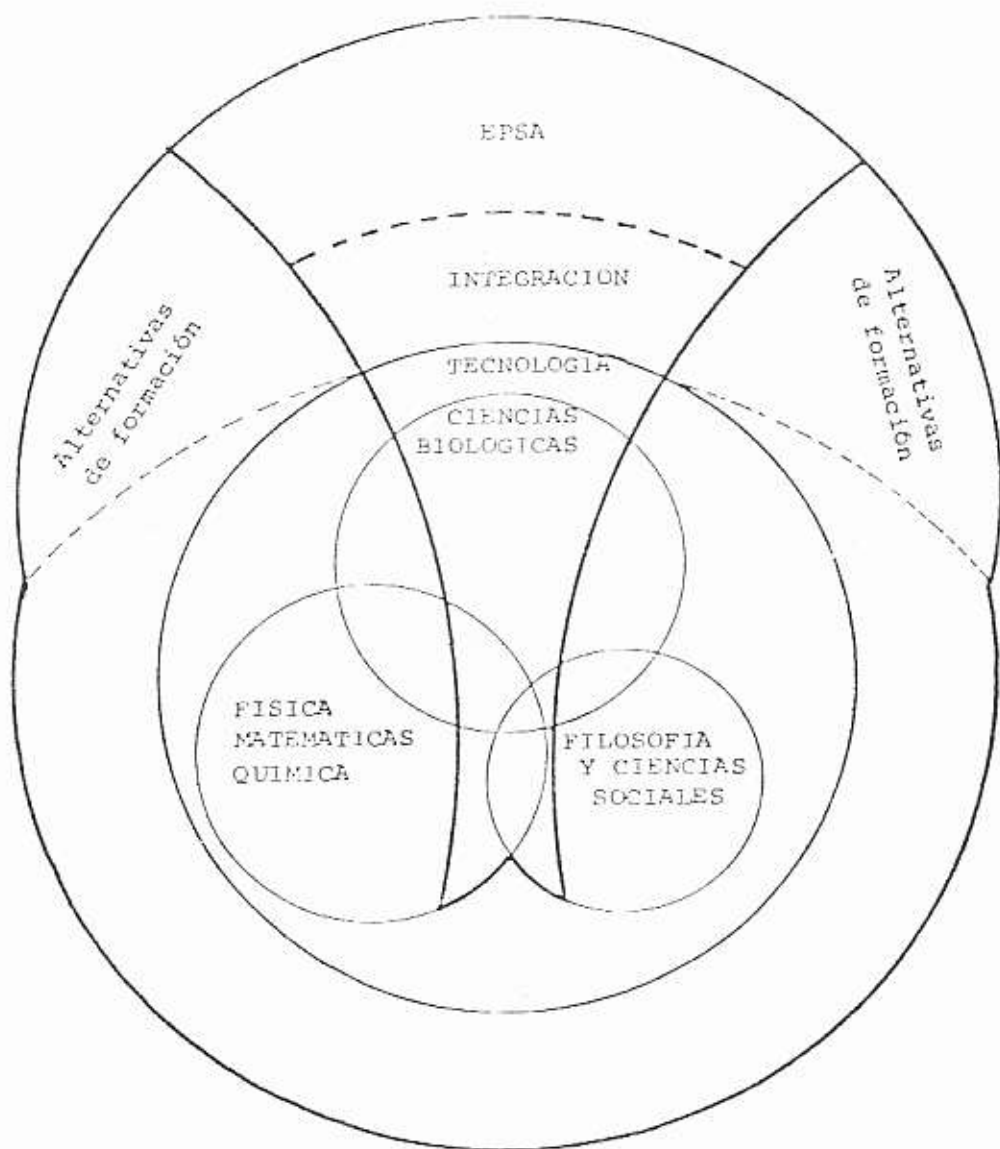
Los procesos de producción agrícola y de manejo de recursos naturales renovables constituyen, como todo fenómeno, un sistema y las transformaciones que se le hagan, tendientes a optimizarlos, deberán hacerse considerándoseles como tal; no deben verse como fenómenos aislados, sino conexos a otros procesos o eventos, en los que el hombre es un factor determinante. Ambos procesos (la producción agrícola y manejo de recursos naturales renovables) son fenómenos sociales; el hombre como ser social es el único animal en la escala zoológica capaz de producir y ello es precisamente lo que le diferencia de las demás especies animales. Ello señala la importancia de las ciencias sociales, biológicas, químicas, físicas y exactas y la aplicación de estos conocimientos

a través de diferentes técnicas y métodos (tecnología); en la formación de profesionales a nivel de educación agrícola superior.

En la formación de recursos humanos a nivel de licenciatura se busca preparar al futuro profesional para desempeñarse en cualquier actividad de la producción o manejo de recursos naturales (plantas cultivadas, animales, bosques, agua, suelo) ya sea en planificación, programación, evaluación y ejecución y la participación en programas de investigación. Por ello es importante el manejo del concepto de sistemas en la integración del conocimiento ya que permite considerar todos los elementos que le dan las características muy particulares a la producción en función de la diferencia de lugares, de condiciones físicas, de organismos y de características socio-económicas.

EL CASO DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

El proceso enseñanza-aprendizaje en la producción agrícola y en los recursos naturales renovables, adoptado por la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala en 1980, la integración del conocimiento consiste en un avance gradual a partir de un conocimiento científico de la naturaleza y la sociedad por medio de la profundización en las ciencias naturales, exactas, filosóficas, y sociales. Gradualmente pasa al estudio de aquellos componentes tecnológicos que son parte del proceso productivo por medio de contenidos relacionados con el uso, manejo, intervención y medición de las plantas de cultivo, de los suelos, bosque, agua y fauna; de aquellos procesos de transformación agroindustrial, de las modificaciones del medio ambiente así como todas aquellas técnicas que permitan caracterizar el medio natural y el medio socio-económico. El proceso de integración culmina con el estudio del proceso productivo bajo la concepción de que el mismo, tanto en la producción agrícola como en el manejo y aprovechamiento de los Recursos Naturales Renovables, constituye un sistema integral dentro del cual se entrelazan e interaccionan sus componentes ecológicos, socio-económicos y tecnológicos. (Ver Gráfica de Sistema Curricular)



Ninguno de estos componentes actúa aisladamente fijo. Son componentes que se realizan en estrecha ligazón, unidos por procesos de transición. Tanto entre los componentes del sistema como en los procesos que los vinculan no existen límites fijos bien precisos. El sistema de producción es un sistema caracterizado por relaciones causales y por un proceso que se desarrolla en el tiempo y el espacio.

1. Puntos de Referencia del Plan de Estudios:

Los dos conjuntos de sistemas que son objeto de estudio más directo en la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, con el propósito de incrementar su aprovechamiento racional, son los sistemas agrícolas y los ecosistemas naturales controlados terrestres.

En el nuevo plan de estudios (Comisión de Reestructura, 1979), se reconoce que en general los sistemas agrícolas están integrados por una combinación de factores físicos, económicos, sociales e históricos, que el hombre, jugando un papel central, utiliza en la producción agrícola. Por producción agrícola se define la producción de especies vegetales para el consumo del hombre y de los animales. Pueden ser caracterizados en relación a los cultivos o especies dominantes o, como en el caso de los sistemas de cultivos múltiples, pueden implicar una secuencia de especies cultivadas en la misma área o dos o más especies cultivadas en asociación simultánea.

2. Carreras que Ofrece la Facultad de Agronomía:

Para cumplir con los nuevos objetivos educacionales de la Facultad de Agronomía se formula un sistema curricular semi abierto que tiende al establecimiento de dos carreras o programas académicos:

- 1o. Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola;
- 2o. Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables.

A continuación se describen los perfiles profesionales de ambas carreras.

2.1 Perfil Profesional del Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola.

- a) Planificar, programar y evaluar la producción agrícola a niveles regional y de unidades de producción.
- b) Ejecutar planes, programas y proyectos de producción agrícola a nivel de sistemas de producción agrícola.
- c) Participar en forma crítica en los programas de investigación de los diferentes componentes de los sistemas de producción agrícola, así como de la interacción de los mismos.
- d) Participar en la discusión, planteamiento y soluciones a los problemas del agro guatemalteco.

2.2 Perfil Profesional del Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables.

- a) Evaluar e interpretar ecosistemática e individualmente los recursos naturales renovables (bosque, suelo, agua, fauna) y su interacción con los factores climáticos y sociales, para diagnosticar su situación y posibilidades de aprovechamiento a nivel de unidad de estudio.
- b) Elaborar planes de manejo de los recursos naturales renovables en forma integral y para usos múltiples a nivel regional, cuenca hidrográfica o unidad de producción.
- c) Ejecutar y administrar programas o proyectos para el manejo de los recursos naturales renovables.
- d) Generar acciones de tipo investigativo en el campo de los recursos naturales renovables.

3. Caracterización General del Sistema Curricular:

El Plan de Estudios se basa en tres áreas: Area de Ciencias, Area Tecnológica y Area Integrada. Muchos autores mencionan la necesidad de integrar el conocimiento, pero no hay ejemplos de una unidad académica estructurada para lograrlo dentro del curriculum; en algunos casos se hace en cursos especiales, integradores, como cursos de cultivos o de métodos de análisis de cuencas. La Facultad de Agronomía ha elaborado las bases generales del Area Integrada, y se estima que a medida que se vaya implementando el Plan de Estudios, se encontrarán los mecanismos más precisos y se afirmarán mayores detalles que permitan su realización.

3.1 Area de Ciencias:

Esta área incluye aquellos contenidos de naturaleza científica, conceptual y aplicable, para que el estudiante obtenga un conocimiento científico de la naturaleza y de la sociedad, comprendiendo los contenidos relacionados con las ciencias naturales, matemáticas, filosofía y ciencias sociales. Con esta base, el estudiante conceptualizará en forma inicial el proceso de producción agrícola, los ecosistemas naturales controlados y su interrelación con el medio económico y social en el cual están inmersos.

Esta área comprende las subáreas de Ciencias Biológicas, Ciencias Químicas, Filosofía y Ciencias Sociales y Matemáticas y Física.

3.2 Area Tecnológica:

La finalidad de esta área es estudiar aquellos componentes tecnológicos que son parte del proceso de producción agrícola y manejo y conservación de los recursos naturales renovables. El estudio del Area Tecnológica se divide en dos aspectos: Estudios de las tecnologías básicas del proceso productivo, teniendo como base el conocimiento amplio de los principios que rigen a tales tecnologías; y análisis e interpretación de las tecnologías para desarrollar la capacidad de crear, adecuar o modificar las existentes de acuerdo a los fines y necesidades humanas.

Esta área comprende las subáreas de Ingeniería Agrícola, Manejo y Uso de Suelo y Agua, Manejo y Mejoramiento de Plantas, Protección de Plantas, Métodos de Cuantificación e Investigación y Administración y Comercialización.

3.3 Area Integrada:

En esta área el estudiante aprenderá a trabajar con sistemas, integrando sus conocimientos en torno a las unidades productivas (agroecosistemas y cuencas hidrográficas). Aunque básicamente esta área comprenderá el mayor porcentaje al final de las carreras, debe observarse que desde el primer ciclo el estudiante tendrá un bajo porcentaje de carga académica del Area Integrada que aumentará gradualmente.

En esta área se persiguen los siguientes objetivos: Que el estudiante comprenda que la producción agrícola y el manejo de recursos naturales renovables implica el trabajar con diversos elementos (socioeconómicos, naturales y científico-técnicos) estrechamente ligados y que constituyen sistemas; que el estudiante aplique la concepción de sistemas en la producción agrícola y en el manejo de recursos naturales renovables; y permitirle al estudiante la profundización de sus conocimientos en determinada rama o área de trabajo de las ciencias agrícolas o de los recursos naturales renovables.

El Area Integrada estará dividida en tres etapas: Conceptualización general de sistemas; Estudio de los distintos sistemas del país; y Ejercicio Profesional Supervisado.

Conceptualización General de Sistemas:

Esta etapa plantea elementos generales relativos a la conceptualización de sistemas, comprendiendo: teoría general de sistemas, su dinámica, sistemas ecológicos y aplicación de análisis de sistemas.

Estudio de los Distintos Sistemas del País:

Para el caso de la carrera de Sistemas Agrícolas se proponen

los dos siguientes grandes grupos: Sistemas de Producción Agrícola I (destinados a productos de consumo interno) y Sistemas de Producción Agrícola II (destinados a productos de exportación). El esquema que servirá de base en el estudio de dichos sistemas es el siguiente:

1. Socioeconomía del sistema
2. Aspectos del productor (especie o especies de cultivos)
3. Aspectos tecnológicos del manejo e intervención
4. Transformación agroindustrial; y
5. Comercialización

Para el caso de la carrera de Recursos naturales Renovables se propone que el estudio de las diferentes cuencas hidrográficas se hagan en base a dos grandes contenidos:

1. Métodos de evaluación de recursos naturales renovables
2. Manejo y recuperación de cuencas

Además de lo anterior es importante señalar que el conocimiento es integrado mediante la práctica. Es así como a medida que el Area Integrada se va desarrollando también se amplía el tiempo que el estudiante realizará prácticas en el campo, culminando este proceso con el Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) que constituye la tercera etapa del Area Integrada.

El Ejercicio Profesional Supervisado:

El Ejercicio Profesional Supervisado constituye la etapa que permite al estudiante la vinculación entre el estudio y el trabajo, donde podrá integrar plenamente el conocimiento adquirido con anterioridad, caracterizándose esta etapa porque el estudiante desarrollará su criterio profesional a través del análisis y resolución de problemas en el campo, de acuerdo a la carrera seleccionada.

El estudiante desarrollará su Ejercicio Profesional Supervisado, con alto grado de responsabilidad personal y bajo la supervisión de docentes de la Facultad. El programa de Ejercicio Profesional Supervisado se realizará después que el estudiante apruebe las

dos etapas anteriores y estará basado en los campos de docencia, investigación y servicios.

CONCLUSIONES

El proceso de producción agrícola y de manejo de recursos naturales renovables, como toda integración de fenómenos, constituye un sistema; ello implica que las transformaciones que se le hagan a un sistema en particular, tendiente a optimizarlo, deberán hacerse considerándosele como tal.

Hasta hoy, la mayoría de veces, el estudiante al culminar sus estudios universitarios cuenta con fundamentos científicos y tecnológicos básicos pero carece del conocimiento y manejo de la integración necesaria para aplicar lo anterior, ello conduce a que aquellos fundamentos sean aplicados unilateralmente en perjuicio del sistema.

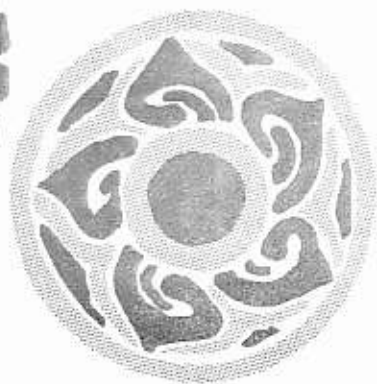
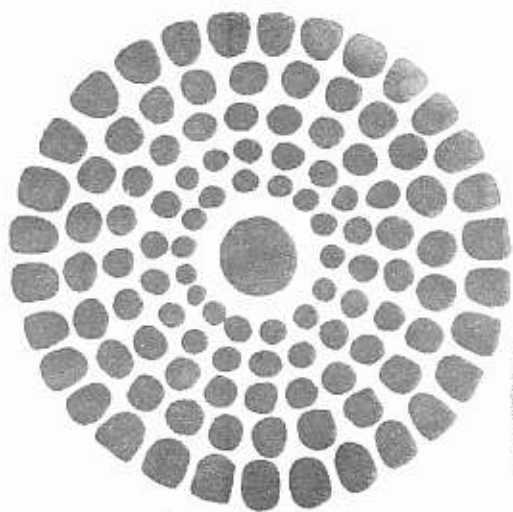
Se estima que las unidades productivas en las que básicamente trabajarán los ingenieros en sistemas de producción agrícola y de recursos naturales renovables, como agrosistemas o cuencas hidrográficas, permitirán al estudiante por medio del trabajo, integrar sus conocimientos. A partir de ello, el estudiante comprenderá y podrá aplicar que la producción agrícola y el manejo de recursos naturales renovables implica el trabajar con diversos elementos (socio-económicos, naturales y científico-técnicos), indisolublemente ligados y que constituyen sistemas.

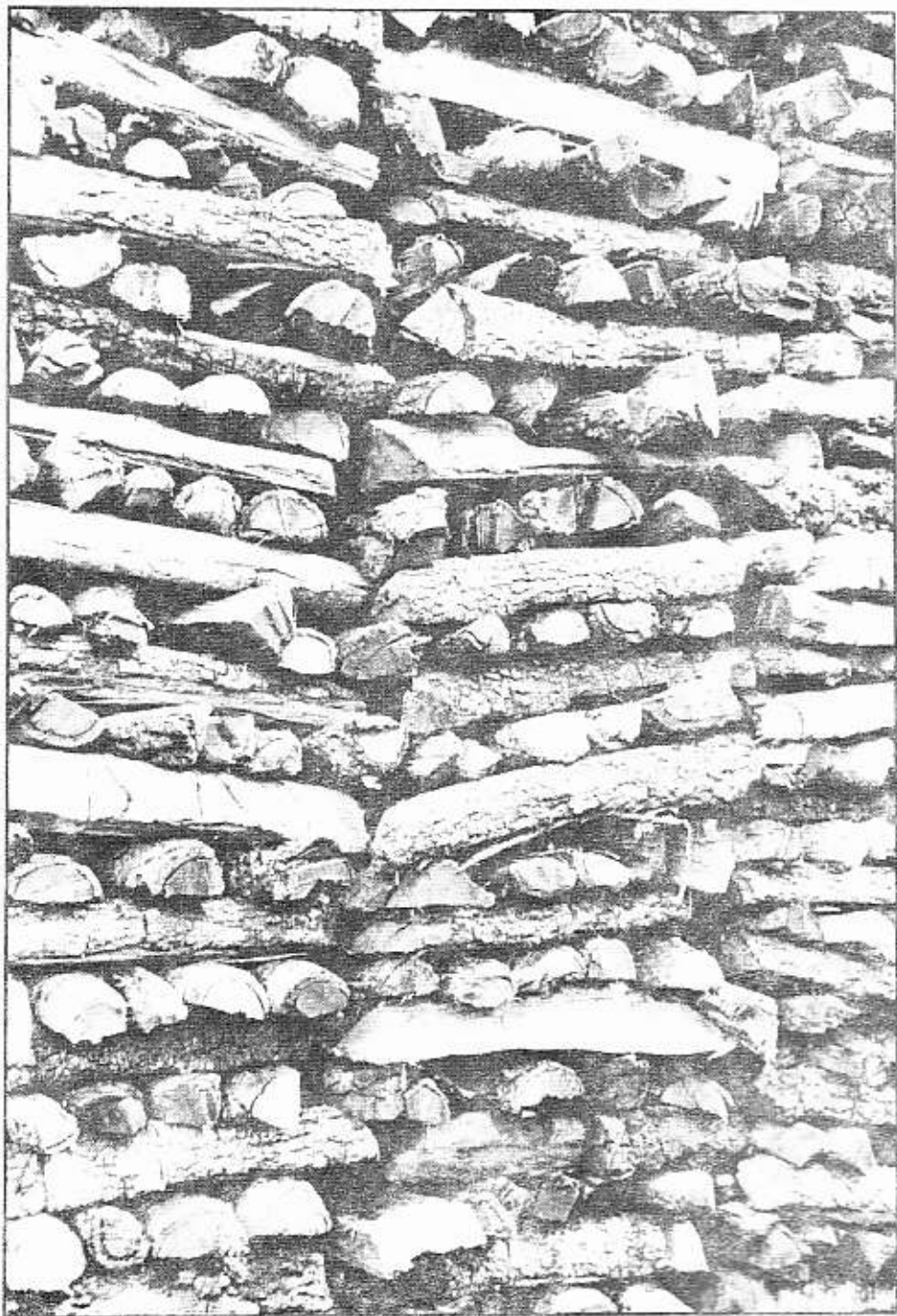
Debido a que el Área Integrada, que es el área de contenido propuesta como parte del sistema curricular de la Facultad de Agronomía para lograr dicha integración, es aún un proyecto y no una experiencia, se estima que es necesario diseñar mecanismos más precisos que permitan ajustarla a los objetivos propuestos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ALEAS-FAO-UNESCO. Informe. I Seminario sobre Contribución de las Facultades de Ciencias Agropecuarias al desarrollo rural de América Latina. Río de Janeiro, Brasil 7-12 octubre 1980. Asociación Latinoamericana de Educación Agrícola

2. ARAGON, E. C. 1981. Los fundamentos de la Integración de los Conocimientos y del Aprendizaje. I Coloquio-Taller sobre Integración de los Conocimientos y del Aprendizaje. IIME, Universidad de San Carlos de Guatemala. p. 28-29.
3. COMISION DE REESTRUCTURA. 1979. Plan de Reestructura. Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. 62 p.
4. EVANS, F. C. 1956. Ecosystem as the basic unit in ecology. *Science*. 123: 1127-1128.
5. GARCIA, G. H. 1981. Integración del Conocimiento y del Aprendizaje. I Coloquio-Taller sobre Integración de los Conocimientos y del Aprendizaje. IIME, Universidad de San Carlos de Guatemala. p. 7-8.
6. HART, R. 1978. El Agro-ecosistema como unidad de investigación. Seminario de Producción en cultivos anuales. CENTA, San Andrés, El Salvador, Enero 30-Febrero 2, 1978. 9 p.
7. HART, R. 1978. Concepto de Sistemas. Seminario de Producción en Cultivos Anuales. CENTA, San Andrés, El Salvador, Enero 30-Febrero 2, 1978. 5 p.
8. HARMON, P. y SUTTON B. 1977. Fundamentos de Ecología. Editorial Limusa, México, D. F. 293 p.
9. MELIUIJIN, S. 1963. Dialéctica del Desarrollo en la Naturaleza Inorgánica. Editorial Grijalbo, S. A. México, D. F. 288 p.
10. MORENO, R. 1977. Sistemas y Enfoque de Sistemas. Seminario en Sistemas de Producción de Cultivos Anuales. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 16-19 Agosto, 1977. 33 p.
11. ODUM, E. 1957. The ecosystem approach in the teaching of ecology illustrated with sample class data. *Ecology* 38: 531-535.
12. ODUM, E. 1971. *Fundamentals of Ecology*. Third Edition. Saunders Company, Philadelphia. 1971. 574 p.
13. SCHULTZ, A. M. 1967. The ecosystem as a conceptual tool in the management of natural resources. In "Natural Resources Quality and Quantity". (S.V. Ciriancy-Wantrup and J. J. Parsons, eds.) University of California. pp. 139-161.
14. SPEDDING, C.R.W. 1975. *The Biology of Agricultural Systems*. Academic Press, London. 261 p.
15. VAN DYNE, G. M. 1969. *The Ecosystem concept in natural resource management*. Academic Press, New York. 383 p.





PROPUESTA PARA EL ESTABLECIMIENTO Y DESARROLLO INICIAL DE UN PROYECTO DE REFORESTACION EN UN AREA DE LA CUENCA DEL RIO CHIXOY, REFERIDA A LOS ASPECTOS DE SUELO Y VEGETACION

José Rodolfo Albizúrez Palma¹

PRESENTACION

El presente artículo es una versión corregida del original denominado "Propuesta de Tecnología para el Establecimiento y Desarrollo de Proyectos de Reforestación en la Cuenca del Río Chixoy", y contiene algunas modificaciones sugeridas por colegas de la Facultad de Agronomía.

INTRODUCCION

El presente informe corresponde a una actividad realizada en forma conjunta entre el Centro Universitario del Norte (CUNOR) de la Universidad de San Carlos de Guatemala, y el Instituto Nacional Forestal (INAFOR) de la ciudad de Cobán, actividad referida a un

1 Ingeniero Agrónomo, Ex-Director del Centro Universitario del Norte —CUNOR— y Profesor de los Cursos de Edafología y Riego, y Supervisor del Programa E.P.S.. La investigación fue realizada en colaboración con estudiantes y personal docente del CUNOR y el apoyo técnico del Instituto Nacional de Forestación —INAFOR—, Instituto de Ciencia y Tecnología —ICTA— y DIRENARE.

estudio efectuado en una pequeña área del proyecto de reforestación "Pueblo Viejo" en la Cuenca del Río Chixoy o Negro, específicamente en el lugar donde estará ubicada la presa del Proyecto Hidroeléctrico Chixoy.

Con el estudio se pretende plantear algunas alternativas de manejo de reforestación del área estudiada, así como sugerir un modelo a seguir en el establecimiento y desarrollo de futuras áreas de reforestación en la cuenca del Río Chixoy en particular, y en general en cualquier lugar donde se requiera esta práctica. En este último caso, se pretende inducir la metodología a seguir al iniciar proyectos de reforestación, especialmente en lo referente a los estudios previos de suelo y vegetación que deben realizarse, información ésta básica para establecer el manejo de los proyectos.

Desde luego, el aporte que este estudio ofrece es mínimo, dada la magnitud del problema de la deforestación en nuestro país, pero pretende ser un aporte serio, y los criterios que se expresan deberán ser evaluados y sujeto a críticas. Esto implica que no pretendemos imponer criterios al respecto de este tema.

Creemos importante mencionar, que parte de la información que en este documento se aporta, proviene de experiencias en otros países, e incluso es posible que las deducciones que de esta información se expongan, ya hayan sido planteadas en otros documentos y a otros niveles. Sin embargo, para las condiciones de investigación en esta región, esa información no se ha manejado o no se conoce. Esta situación la comprobamos con los problemas que se nos presentaron al recabar información básica, incluso a nivel Nacional..

OBJETIVOS

Los objetivos que el Centro Universitario del Norte se planteó al desarrollar esta actividad, son los siguientes:

GENERAL:

Integrar, aplicar y ampliar los conocimientos de los estudiantes del

curso de Edafología de la carrera de Técnico en Producción Agrícola del CUNOR, por medio de la realización de un trabajo práctico y real, en el aspecto de reforestación en el Proyecto Pueblo Viejo, Chixoy.

ESPECIFICOS:

- a) Plantear alternativas de manejo de proyectos de reforestación en el área en estudio.
- b) Plantear un modelo a seguir en el establecimiento y desarrollo de futuras áreas a reforestar.
- c) Prestar un servicio a la Institución INAFOR.

ANTECEDENTES

De acuerdo a lo planteado por Técnicos del INAFOR, del proyecto de reforestación de la Cuenca del Río Chixoy, criterio compartido por el CUNOR, se carece en nuestro país de información básica para el establecimiento y desarrollo de proyectos de reforestación, especialmente en lo referente al planeamiento técnico y científico de la actividad; se tiene además poca experiencia en el aspecto tecnológico de manejo de una plantación, específicamente en lo relativo a la fertilización de especies forestales.

En el fondo, creemos que esta problemática es consecuencia de la falta de investigación propia (local), en este campo, lo que impide la generación de tecnología forestal aplicable a nuestra realidad.

Es importante indicar que esta situación no es fácil de corregir, especialmente si tomamos en cuenta que este tipo de investigación debe desarrollarse a largo plazo, que debe contarse con información básica para desarrollar la investigación y que es costosa.

La situación planteada ha conducido, en ocasiones, a que los proyectos de reforestación no se desarrollen en forma adecuada, o que

simplemente fracasen, lo que en última instancia implica una baja eficiencia en la inversión que se hace, inversión ésta que por lo general es alta.

Finalmente, queremos exponer que una limitación muy específica que debe agregarse a las ya planteadas, es la falta de bibliografía relacionada con aspectos forestales en general, y en particular con aspectos tecnológicos de manejo de plantaciones artificiales, especialmente en el aspecto de fertilización. Para el caso de este documento en particular, esta situación provocará que algunos de los criterios que se expongan sean deducidos o tomados de experiencias foráneas.

IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

Debido a lo planteado, creemos que la realización de estudios como el que presentamos en esta ocasión, y que pretendan inducir el ensayo y desarrollo de tecnología en el aspecto de manejo de plantaciones artificiales forestales, son aportes valiosos para la solución de la problemática planteada; sin embargo, el valor que estos estudios puedan tener, depende básicamente de la evaluación y crítica de los criterios que en ellos se expresen, por medio de su aplicación a la realidad.

En otro sentido, creemos que este estudio tiene importancia, si nos referimos a la problemática especial que plantea el grado de deforestación que se observa en el lugar en estudio, en particular, y en general, en toda la cuenca del Río Chixoy, especialmente en el departamento del Quiché.

Esta situación adquirirá características especiales cuando entre a operar el Proyecto Hidroeléctrico, si pensamos que ese alto grado de deforestación implica a su vez un alto grado de erosión, aspecto éste que incidirá en forma determinante en la duración de la presa de la Hidroeléctrica, a causa del azolve de la misma.

En consecuencia, el establecimiento y desarrollo de proyectos de

reforestación y de conservación de suelos en la cuenca del río Chixoy, adquiere especial importancia bajo dos puntos de vista: la conservación de los recursos suelo y agua, y el aumento en la vida útil de la presa del Proyecto Hidroeléctrico Chixoy.

GENERALIDADES DE LA ZONA EN ESTUDIO

1. Ubicación

El área en estudio está ubicada en el Municipio de Uspantán, Departamento del Quiché, el margen derecho del Río Chixoy o Negro, en el sentido de la corriente: específicamente su ubicación es al noroeste del túnel de la presa del proyecto Hidroeléctrico Chixoy, y al este del lugar conocido como Los Encuentros, información ésta deducida de la hoja cartográfica "Los Pajales", escala 1:50000 del I.G.N.

Su localización geográfica por medio de coordenadas es la siguiente: 15°16' latitud norte y 90°31' longitud oeste, respecto al meridiano de Greenwich; su altura promedio sobre el nivel del mar es de 1,100 metros.

La distancia del área en estudio respecto a las poblaciones Pueblo Viejo y Los Encuentros (deducida de la hoja cartográfica Los Pajales) es de 1,750 metros, y de 1,250 metros respectivamente.

2. Descripción del Area

El área bajo estudio tiene una extensión superficial de 4.55 Has., la topografía es quebrada con pendientes que oscilan entre 34 y 57 por ciento.

En la actualidad no tiene ningún uso específico, y sólo pequeñas áreas son utilizadas para pastoreo de ganado bovino.

3. Ecología

De acuerdo a los datos de la estación metereológica "Chixoy" del INSIVUMEN (ver anexo), y en relación a la precipitación pluvial, se observa que los meses más lluviosos son los de junio y septiembre con 191.7 mm. y de 183.9 mm. respectivamente, y los meses de menor lluvia los de enero y febrero con 19.9 mm. y 16.2 mm. respectivamente. La precipitación total anual es de 1140.9 mm. con un total de días de lluvia de 146.

La temperatura media anual es de 24.2°C., siendo los meses más calurosos los de abril y mayo con 25.9°C. y 26.7°C. respectivamente y los más "fríos", diciembre y enero con 22.1°C y 21.7°C. respectivamente.

La humedad relativa media anual es de 75 o/o, siendo los meses más húmedos los de junio, julio, octubre y noviembre con 80 o/o, y los más secos abril y mayo, con 63 y 69 por ciento respectivamente.

De acuerdo al sistema de clasificación de clima de Thornthwaite (3), el clima es semicálido, con invierno benigno y semiseco, y con vegetación natural característica de pastizal.

En el sistema de clasificación de zonas de vida de Holdrige (2), la región pertenece al bosque húmedo subtropical (templado).

4. Suelos

De acuerdo a la Clasificación de Reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala (7), la zona pertenece a la serie de suelos Chixoy, poco profundos y desarrollados sobre roca caliza fracturada.

REVISION DE LITERATURA

Esta sección se incluye con el fin de indicar alguna información

básica que pudo recabarse y que fundamente la discusión de resultados.

1. Los Suelos y el Bosque

Por lo general, los suelos ubicados en zonas deforestadas, y debido al uso que de ellos se ha hecho al practicar la tala inmoderada de árboles, y someterlos a la agricultura intensiva y al pastoreo, se deterioran a tal grado de presentar características físicas y químicas deficientes. Lo expuesto implica que, para la planificación de la actividad forestal, es importante un estudio del suelo que permita conocer el estado del mismo. Al respecto es importante citar lo dicho por Pesson et al (6) "... la explotación forestal es una actividad que por diversas razones, implica una débil intervención sobre el medio; el cultivo del bosque es poco remunerativo y, en consecuencia las inversiones deben ser limitadas; el suelo está ocupado durante docenas de años por una población vegetal perenne que dificulta las intervenciones. Los forestales tratan de escoger una especie adaptada al suelo antes que adaptar el suelo a la especie elegida. De aquí la gran atención que tienen que dedicar a las propiedades físicas y químicas del suelo".

De acuerdo a lo planteado, y también según lo expuesto por Pesson et al, un suelo para uso forestal debe tener tales condiciones físicas que permita que el mismo:

- a) Contenga una cantidad suficiente de agua en cualquier época del año.
- b) Favorezca al sistema radicular de tal forma que no sufra problemas de encharcamiento prolongado.
- c) Favorezca un enraizamiento profundo que permita que el árbol resista las ráfagas del viento.

Para el caso de lo indicado en el inciso "a", implica la existencia de texturas finas y/o un alto contenido de materia orgánica. Específicamente creemos que lo deseable para el caso de la textura, es que sean suelos francos con un total de humedad utilizable de 12 o/o en peso seco, franco arcillosos con un 14 o/o, arcillo-arenosos con 16 o/o y arcillosos con 18 o/o, información ésta indicada por Grassi (4).

En relación al contenido de materia orgánica, éste deberá ser alto (más del 4 o/o) si nos basamos en el método de análisis de materia orgánica de Walkey y Black (1).

Si las anteriores condiciones no se presentan en el suelo, deberán realizarse prácticas agronómicas y culturales que permitan mejorar la capacidad de retención de humedad del mismo. Al respecto, Pesson *et al* mencionan como prácticas para mejorar o aprovechar en mejor forma el agua útil, el uso del subsolado para aumentar la profundidad del suelo, remoción del suelo para evitar el consumo de agua por parte de la vegetación herbácea, aumento de la infiltración y lucha contra la erosión, utilización de las aguas crecidas en épocas en las que la agricultura no se practica, utilización de cortinas rompevientos en regiones áridas, plantación profunda para facilitar el contacto de las raíces con el agua freática, y elección de especies resistentes a las sequías.

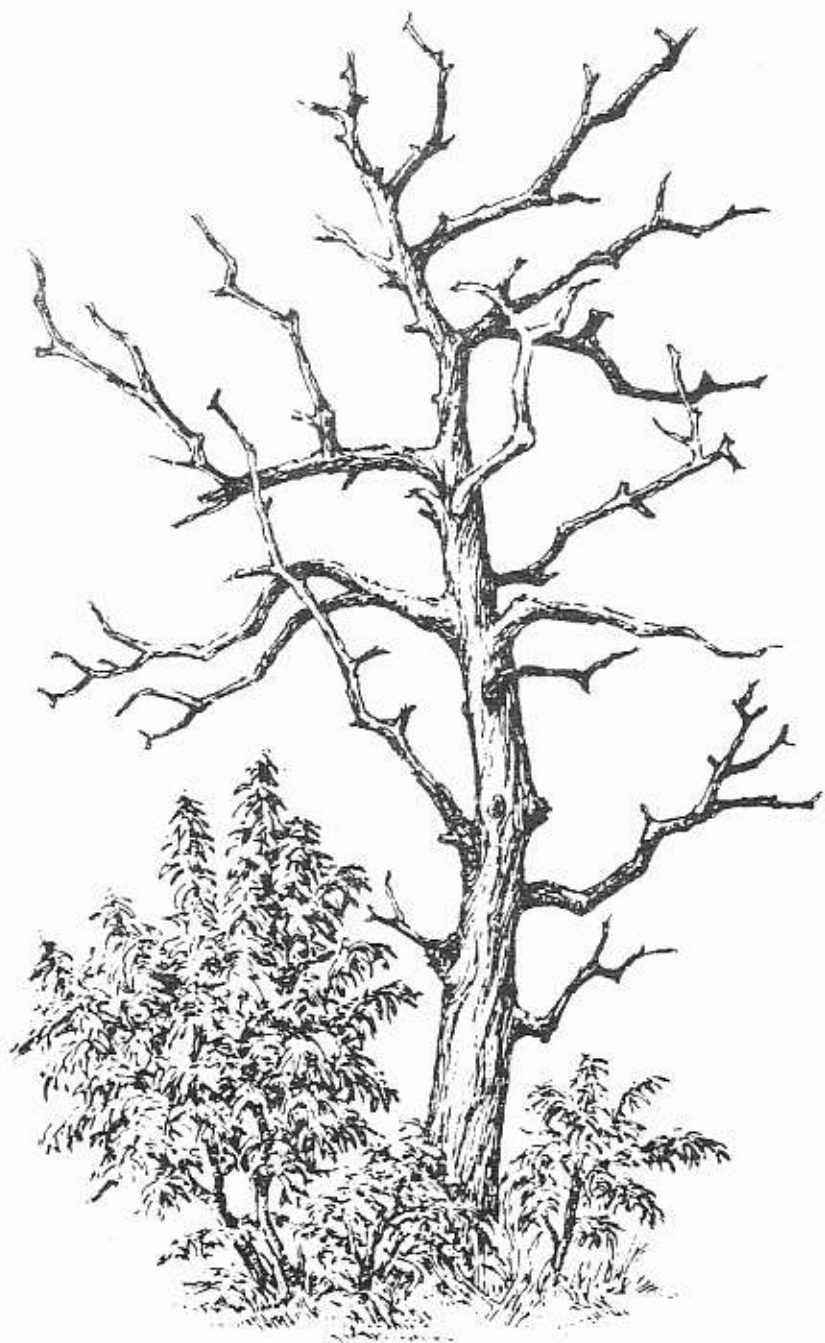
En relación al problema de encharcamiento del sistema radicular y el de la resistencia de las especies forestales al viento, no nos referiremos a ellos, ya que éstos son poco comunes en el área en estudio.

En lo que respecta a las propiedades químicas, los problemas que pueden presentarse para el caso de las especies forestales, son las deficiencias de nutrientes y la presencia de elementos y sales tóxicas.

Refiriéndonos al problema de deficiencias de nutrientes, conviene citar lo dicho por Pesson *et al* (6): "...un suelo forestal tiene una fertilidad media cuando contiene:

- 0.06 por 1000 de P_2O_5 (extraído con $SO_4H_2 + NaOH$) (60 p.p.m. de P_2O_5 y 26.4 p.p.m. de fósforo elemental, N.A.)

- 0.1 (suelo arenoso) a 0.4 (suelo arcilloso) de m.e. de K por cada 100 gr; 0.05 a 0.20 por 1000 de K_2O extraído con acetato de amonio."



Respecto al calcio y magnesio, los citados autores indican que para el caso del primero: "...es deseable un nivel de calcio intercambiable que oscile entre 0.5 y 1 m.e. por cada 100 gramos", y para el caso del magnesio indican como contenido medio: "...alrededor de 0.2 m.e. de magnesio".

Para el caso del nitrógeno, en el presente estudio tomaremos como base el criterio del laboratorio de suelos del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola, en sentido de considerar a este elemento como deficiente en toda la república.

Con respecto a la presencia de elementos y sales tóxicas, los mismos autores mencionan, entre los primeros, al aluminio y al manganeso; además también se refieren a la presencia de calizas en concentraciones altas como dañinas, especialmente en el caso de las coníferas. Con respecto a las sales solubles, estos autores mencionan, de acuerdo a las experiencias de los soviéticos, como problemáticas, dosis de 0.01 a 0.02 por 100 de CO_2 soluble, 0.03 a 0.08 por 100 de C_1 y 0.3 a 0.05 por 100 de SO_4 .

Refiriéndonos específicamente a la fertilización, es importante indicar que la dosis y el tipo de producto a usar para el caso de las especies forestales, plantea un problema especial, debido básicamente a que el consumo de nutrientes por parte de la planta es variable de acuerdo a la etapa de desarrollo, al año y a la época. Al respecto, es importante citar lo indicado por Pesson et al: "En los casos en los que un envejecimiento de la masa (boscosa, N.A.) entraña una variación del tipo de estación, la fertilización puede ser distinta en una masa adulta y en una repoblación. En efecto, al momento de la siembra de las plantas jóvenes, el suelo está bien trabajado, removido, expuesto a las radiaciones solares y la materia orgánica se mineraliza activamente. Por el contrario, en las masas viejas más cerradas, cuyo suelo se mantiene más frío y puede haberse instalado una vegetación con efectos tóxicos sobre la microflora, el humus puede estar más o menos degradado lo que de hecho, cambia las condiciones de estación".

Otro aspecto a considerar en la fertilización de especies forestales, es el referente a los beneficios que la misma puede producir. Para el caso de plantaciones jóvenes, y específicamente en plantaciones artificiales, se observa, según los autores ya citados: "...un incremento

anual en el crecimiento que puede alcanzar un 60 o/o y a veces incluso un 100 o/o; agregan además: "...Al crecer más rápido las plantas los tratamientos tendientes a eliminar la competencia pueden ser menos intensos... En definitiva se obtiene más de prisa una población capaz de sobrevivir por sí misma sin una protección demasiado costosa".

Básicamente, lo que se persigue es formar o reconstruir en el menor tiempo posible un sistema capaz de funcionar como tal, siendo este sistema cerrado, tal como en realidad funcionan estos en su forma natural. Al respecto, los mismos autores ya mencionados indican: "...El bosque vive pues, en un ciclo casi cerrado, restituyendo cada año al suelo los 2/3 o 3/4 de los elementos tomados".

También es importante mencionar, en relación a estos mismos aspectos, que la exportación de madera no significa extracción de minerales, ya que la misma es pobre en ellos. La mayor parte de elementos que la planta consume del suelo se encuentran concentrados en hojas y ramas, y luego son restituidos por medio de restos orgánicos.

Ampliando el tema sobre fertilización de especies forestales, Gros (5), indica las siguientes particularidades de la fertilización forestal:

- a) El enorme volumen de tierra que exploran las raíces y que aumenta con la longevidad de los árboles.
- b) La microrrización muy intensa del sistema radicular, lo cual asegura un mejor uso de los nutrientes del suelo. Al respecto es oportuno presentar la siguiente cita tomada de Gros (5):
"Recordemos que se conocen con el nombre de "Microrrizas" las asociaciones entre algunos hongos y las extremidades de las raíces de los árboles (quedando éstas rodeadas por un verdadero manguito de micelio de los hongos), que llevan a cabo una verdadera simbiosis, la cual permite al árbol una movilización más completa de las reservas del suelo y, por lo tanto, la posibilidad de crecer normalmente en un suelo que está ya muy empobrecido".
- c) El pequeño consumo de Nitrógeno, Fósforo, Potasio de las exportaciones, siempre que se dejen en el suelo los restos orgánicos.

- d) La posibilidad de que los árboles dispongan de los elementos fertilizantes almacenados en la cubierta vegetal, depende de la velocidad con que se realiza el ciclo biológico de la materia orgánica. Al respecto, es importante recordar que la velocidad con que ese ciclo se realice, depende de algunas condiciones que pueden afectarlo, como lo son una excesiva acidez, lixiviación y bajas temperaturas.
- e) La aplicación de abonos en la agricultura nos es una práctica anual. Al inicio de la plantación se requiere de un abonado de "iniciación", según lo denomina Gros, el cual puede durar algunos años, especialmente en lo que se refiere a la aplicación de nitrógeno. Más tarde se realizaría el abonado "de consumación", el cual se practicaría a intervalos más o menos largos de tiempo, y con el fin de aumentar el volumen de madera a producir.
- f) En los primeros años las plantaciones jóvenes ocupan el terreno de escasa manera.
Bajo este punto de vista, un abonado en toda la superficie del terreno favorece el desarrollo de vegetación indeseable, lo que conduce a indicar que la aplicación del producto debe ser localizada, ya sea en hoyos, bandas o en líneas.
Lo planteado por Gros respecto al papel que juegan las micorrizas en la fertilización forestal, consideramos que es importante ampliarlo, con el criterio de Pesson et al. Estos autores indican que: "...las cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio de las plantas con micorrizas son superiores a las que presentan las mismas plantas, creciendo en los mismos suelos, pero sin hongos simbióticos. Los primeros contienen 75 por 100 de K, 86 por 100 de N y 230 por 100 más P que los testigos".
Este fenómeno es explicado por los mismos autores en la siguiente forma:
1. La superficie de absorción del sistema radicular aumenta.
 2. El hongo actúa como intermediario; específicamente el hongo funciona como "almacenador" de nutrientes y los restituye poco a poco.
 3. El papel solubilizador del hongo.
 4. El hongo proporciona defensas contra el "Damping-Off" y otras enfermedades; esto significa que el hongo reduce la posibilidad de instalarse, a hongos patógenos.

En el caso concreto de aplicación de este fenómeno en plantaciones artificiales, el interesado deberá asegurarse de la existencia de micorrizas en sus plantas o provocar que el fenómeno se dé.

Una forma de aporte de estos hongos, es utilizando tocones en descomposición procedentes de otras áreas plantadas con especies similares; también el fenómeno puede provocarse incorporando, en los hoyos para siembra, turba infectada o broza, siempre cuidando que estos materiales provengan de lugares plantados con especies similares.

A nivel de semillero, y según Pesson et al, deberá evitarse el uso de fungicidas y herbicidas ya que estos: "...provocan grandes daños en la microflora del suelo (incluyendo las micorrizas). Estos productos químicos modernos (dimetil bromato, clordano, cloropicrina...), son verdaderos 'atilas' que acaban con todos los hongos".

Respecto a la forma, tipo y dosis de fertilizantes a usar en las repoblaciones, Gros (5) indica que la aplicación de abonos fosfatados y potásicos, y el uso del encalado (si fuera necesario), deberá aplicarse antes de la plantación; el nitrógeno se aplica posteriormente debido a la movilidad de este elemento, sin tomar en cuenta que las raicillas son sensibles al contacto con el nitrógeno mineral.

Refiriéndose específicamente a la forma y dosis de fertilizante a usar, el autor ya citado indica, hablando específicamente de la aplicación en hoyos (que creemos es lo más conveniente para el área que se pretende trabajar), que puede utilizarse de 70 a 100 grs. de fosfato molido ó 40 a 60 grs. de escorias, y de 20 a 30 grs. de sulfato de potasa por hoyo, mezclando el abono íntimamente con la tierra, o colocándolo en el fondo del mismo en forma circular, tapando con un poco de tierra para evitar el contacto abono-raíz.

Indica además dicho autor, que deben observarse las siguientes precauciones: "...situar el abono en el hoyo unas semanas, por lo menos, antes de la plantación, emplear preferentemente sulfato de potasio (no el cloruro), y utilizar abonos poco solubles."

En el caso de suelos con excesivas deficiencias de fósforo y potasio, conviene realizar una aplicación posterior que podría coincidir con la del nitrógeno.

Para el caso de la aplicación del nitrógeno, continúa indicando Gros: "Se realizará preferentemente, en el transcurso del segundo año, después de la plantación, al pie de la planta... puede aplicarse por pie, unos 10 a 12 grs. de nitrato amónico de alta graduación; 8 a 10 grs. de urea ó 15 a 20 grs. de sulfato amónico..."

Si las plantaciones languidecen, puede repetirse la aplicación de nitrógeno al pié durante los dos o tres años siguientes, haciéndolo después al voleo, sobre la superficie, usando una dosis de 50 a 80 unidades de nitrógeno por Ha.

2. La Vegetación

Este aspecto, y según como ya es reconocido por muchos autores, y en general por los técnicos vinculados a la actividad forestal, es básico tomarlo en cuenta, principalmente en lo referente a la escogencia de las especies. En este sentido estas especies podrán ser "criollas" con la ventaja que esto representa en cuanto a adaptación, o foráneas, media vez sean previamente probadas bajo las condiciones reales a las que deberán someterse.

Sea cual fuere la especie a utilizar, es conveniente que éstas sean estudiadas lo más ampliamente posible, desde el punto de vista botánico y fisiológico, así como determinar, hasta donde sea posible, el consumo de nutrientes de las especies en cada etapa de su crecimiento y desarrollo. Esto para el caso de nuestro país es una actividad básica y prioritaria.

Desde luego, que estos aspectos son sumamente amplios y profundos, y requieren de estudios e investigaciones costosas y a largo plazo, pero dada su importancia, deben abordarse.

Sin embargo, y a falta de información propia, debe recurrirse a experiencias y estudios foráneos, los cuales en muchos casos son sumamente valiosos. Tal es el caso de la información que a continuación presentaremos.

La información a la que nos referimos es un artículo titulado "Arma secreta contra la deforestación", aparecido en una revista de la AGA, artículo presentado por Noel Vietmeyer (8).

El señor Vietmeyer, en su artículo, se refiere al uso de leguminosas arbóreas como alternativa para la reforestación. El autor indica algunas características de estas plantas, referidas a la reforestación; así, indica que estas son en general pioneras en una tierra recién roturada, y que son también pioneras en la sucesión vegetal. Agrega además que algunas especies son de rápido crecimiento (una ventaja en la tarea de reforestación, N. de A.) y que de ellas pueden obtenerse algunos productos.

Otras características importantes, mencionadas por el autor para este tipo de plantas, son las siguientes:

"Muchas especies arbóreas tienen un carácter duro e irreprimible que conviene a una amplia gama de suelos, climas, altitudes y medios ambientes. Como otras especies pioneras, son precoces y crecen rápidamente para imponerse y ocupar el espacio de sus competidoras vegetales".

A causa de estas características, estas especies son fáciles de plantar y de cultivar.

Otra característica más de este tipo de vegetación, y la cual es de más amplio conocimiento, es la referente a la capacidad que tienen las leguminosas de fijar nitrógeno atmosférico por medio de las bacterias instaladas en los nódulos de las raíces. Esta característica, en algunas de estas plantas, según el citado autor, provoca la producción de "...un tal excedente de nitrógeno sobre todo en forma de proteína en sus hojas, que pueden constituir excelentes plantas para forraje y el suelo a su alrededor se enriquece en nitrógeno mediante la descomposición de las hojas caídas".

Refiriéndose concretamente a nombres de especies de leguminosas para uso en reforestación, el autor cita cinco de ellas, a las que denomina "Cinco especies mágicas", las cuales mencionamos a continuación.

En primer lugar, se refiere a la especie *Leucaena leucocephala* con,

las siguientes cualidades: rápido crecimiento (bajo condiciones de clima tropical favorable, a los 6 meses después de plantada podría alcanzar el doble de altura de una persona); producción de madera con una corteza delgada y de color claro (en Filipinas 1 hectárea de esta planta produce al año de 30-50 m³ de madera); su fibra es de calidad aceptable para producir papel, y de su madera puede obtenerse pulpa en buena cantidad; puede suministrar follaje (en Hawai y Australia se han reportado ganancias de peso comparables a las del ganado alimentado con los mejores pastos; tiene cualidades combustibles (leña y carbón); finalmente puede ser utilizado como abono, si se recoge el follaje rico en nitrógeno, y si se coloca alrededor de los cultivos; éstos responden con un aumento en la cosecha comparable al obtenido con un abono comercial.

Otras de las especies mágicas que el autor menciona en su artículo, son las siguientes, las cuales describiremos en forma general:

- **Acacia auriculiformis**: originaria de Nueva Guinea; en experiencias en esos lugares, estos árboles crecieron en 2 años, 6 metros de altura, bajo condiciones de suelos poco fértiles y erosionados.
- **Acacia mangium**: en lugares adaptables, ha mostrado crecimiento tan rápido como los 23 metros (diámetro 23 cms.) en 9 años; en lugares con suelos tan degradados y que habían sido abandonados, esta especie ha superado a cualquier otro competidor.
- **Calliandra Callothyusus**: un árbol pequeño transportado desde Guatemala hasta Indonesia, donde en la actualidad han sido sembradas 30,000 Has. produciendo leña; tiene uso ornamental, dado el hermoso color de sus flores; crece muy rápidamente (a los 6-9 meses alcanza una altura de 2.5 a 3.5 metros); es brotón, y al rebrotar, alcanza la altura de 3 metros a los 6 meses; hasta los 15 años más o menos, el árbol puede ser cortado anualmente con un rendimiento de madera de 35 a 65 m³/Ha; la madera es pequeña, pero densa, tiene buena combustión y puede usarse como combustible en los hogares, en caleras y en ladrilleras, y para secadoras de copra o tabaco.
- **Sesbania grandiflora**: árbol originario de Asia; en forma similar a la leucanea, tiene varios usos, entre ellos como comida, forraje,

abono vegetal, pulpa y papel; en experiencias en Australia del Norte, ha alcanzado alturas de 8.3 metros en el primer año; su madera es blanca y blanda, no muy útil para tablonés, pero sí para combustible; las hojas jóvenes, las ramas y las hojas son utilizadas como alimento.

Un aspecto común para las 5 especies mencionadas, aparte de las descritas, es que todas han sido probadas con fines de reforestación, obteniéndose magníficos resultados en un relativamente corto lapso de tiempo. Esta cualidad es importante, especialmente en nuestro país, en donde el problema de la deforestación en algunas áreas es tan grave, que requiere de soluciones rápidas y eficientes, las cuales pueden ser presentadas por estas especies.

MATERIALES Y METODOS

El presente estudio se realizó en 4 fases: de gabinete inicial, de campo, de laboratorio y de gabinete final.

En la fase de gabinete inicial se recabó información general sobre el área, en entrevistas sostenidas con técnicos de INAFOR, y por medio de visitas a la zona de estudio. Básicamente la información recabada fue la relativa a topografía, suelos, clima y vegetación.

En la fase de campo se distribuyeron los puntos de muestreo, en un número de doce, donde se construyeron las calicatas. En realidad, para el área, dado su reducido tamaño, no era necesario construir ese número de calicatas; sin embargo, se hizo así con el fin de llenar el objetivo docente de que todos los estudiantes participaran en el trabajo. Luego de construidas las calicatas, se realizó la toma de datos en el campo y la toma de muestras. Los datos tomados fueron los siguientes: textura, estructura, consistencia, color, contenido de materia orgánica, carbonatos, concreciones, factores inhibitorios, zona de restricción, profundidad, pendiente, relieve y uso de la tierra. Como materiales y equipo se usó pala de muestreo, hoja de campo, planchitas de porcelana, ácido clorhídrico 1:10, cinta métrica, agua destilada, bolsas plásticas y etiquetas.

Finalmente, en la fase de campo, se realizó la medición del área, se hizo un levantamiento topográfico de nivelación y se tomaron pendientes, utilizando un teodolito, clinómetro, altímetro, cinta métrica y estadal.

En la fase de laboratorio se realizó el secado, tamizado y homogenizado de las muestras. La cantidad total de muestras se dividió en tres partes: una para el laboratorio del CUNOR, otra para el laboratorio de DIRENARE y otra para el laboratorio del ICTA.

Los análisis realizados en el CUNOR fueron: textura por medio de método de Bouyoucos, clasificándose las fracciones de acuerdo al sistema del U.S.D.A., materia orgánica por medio del método de porcentaje de carbono orgánico de Walkery y Black, densidad aparente por medio de la relación peso-volumen, método de la probeta.

En el laboratorio de DIRENARE se realizaron los siguientes análisis: color por medio del método de la Tabla Munsell, capacidad de campo y punto de marchitez permanente por medio de membrana de presión, cationes intercambiables por medio de extracción con acetato de amonio (pH 7) y determinados por espectrofotometría, y capacidad total de intercambio de cationes por medio de extracción con cloruro de sodio (pH 2.5) y destilación por semimicro Kjeldhal.

En el laboratorio del ICTA se realizaron los análisis de fósforo y potasio, por medio del método de Carolina del Norte, y pH por medio de potenciómetro.

Finalmente en la fase de gabinete final, se ordenó, tabuló y se interpretó toda la información obtenida, para proceder a elaborar el informe final.

RESULTADOS OBTENIDOS Y DISCUSION

1. Análisis Físicos de Suelo

Los resultados obtenidos de los análisis físicos son los siguientes:

CUADRO No.1
ANÁLISIS FÍSICOS

Estudio de Suelos Pueblo Viejo

Fecha: Noviembre de 1981.

Punto	Prof. (cms.)	Textura*	Estructura*	Consistencia *		Color *		Densidad* (gr/c.c.)	% E.P.*	Retención de Humedad **		% Peso Seco
				Seco	Húmedo	Seco	Húmedo			1/3	15	
1	0-8	Fr. Ar. A.	Bloque	Duro	Firme	Pardo obscuro	Pardo grisáceo obscuro	0.96	47	33.01	23.09	(9.92)
	8-28	Fr. Ar. A.	Bloque	Duro	Firme	Pardo amarillento	Pardo amarillento obscuro	1.211	48	26.81	19.70	(7.11)
2	0-7	Fr. Ar. A.	Granular	Suelto	Friable	Pardo	Pardo obscuro	1.028	45	34.42	23.10	(11.32)
	7-21	Fr. Ar. A.	Prismática	Poco duro	Suelto	Pardo obscuro	Pardo obscuro	1.031	46	28.68	23.71	(4.97)
	21-27	Fr. Ar. A.	Prismática	Suelto	Suelto	Pardo	Pardo obscuro	1.015	47	36.01	30.37	(5.64)
3.	0-16	Fr. A.	Semibloque	Poco duro	Suelto	Pardo grisáceo obscuro	Pardo muy obscuro	1.123	44	36.60	32.97	(3.63)
	16-36	Fr. Ar. A.	Bloque	Duro	Friable	Pardo grisáceo obscuro	Pardo grisáceo obscuro	0.921	47	34.11	29.58	(4.53)
	36-62	Franco	Laminar	Duro	Friable	Pardo	Pardo obscuro	0.965	46	36.01	32.63	(3.38)
4	0-2	Franco	Prismática	Suelto	Suelto	Pardo obscuro	Pardo muy obscuro	1.013	40	26.91	22.86	(4.05)
	2-16	Fr. Ar. A.	Prismática	Suelto	Suelto	Pardo	Pardo obscuro	0.942	46	32.54	28.00	(4.54)
	16-37	Fr. A.	Prismática	Suelto	Suelto	Pardo grisáceo obscuro	Pardo obscuro	0.221	42	35.27	31.59	(3.68)
-5	0-20	Fr. A.	Bloque	Duro	Firme	Pardo grisáceo obscuro	Pardo muy obscuro	1.192	43	32.70	26.82	(3.88)
	20-55	Fr. A.	Bloque	Muy duro	Muy firme	Pardo grisáceo obscuro	Pardo grisáceo obscuro	1.168	43	32.36	29.70	(2.66)
6	0-6	Fr. Ar. A.	Prismática	Suelto	Suelto	Pardo	Pardo obscuro	0.775	45	44.70	33.41	(11.29)
	6-15	Fr. Ar. A.	Prismática	Suelto	Suelto	Pardo amarillento obscuro	Pardo amarillento obscuro	0.984	45	36.45	24.29	(12.16)
	15-18	Fr. Ar. A.	Prismática	Suelto	Suelto	Pardo amarillento	Pardo amarillento obscuro	1.048	48	33.32	22.75	(10.57)
7	0-11	Fr. A.	Laminar	Poco duro	Friable	Pardo grisáceo obscuro	Pardo muy obscuro	0.934	43	27.89	23.90	(3.99)
	11-31	Franco	Laminar	Poco duro	Friable	Pardo	Pardo obscuro	1.024	45	30.50	25.18	(5.32)

Estudio de Suelos Pueblo Viejo ...2

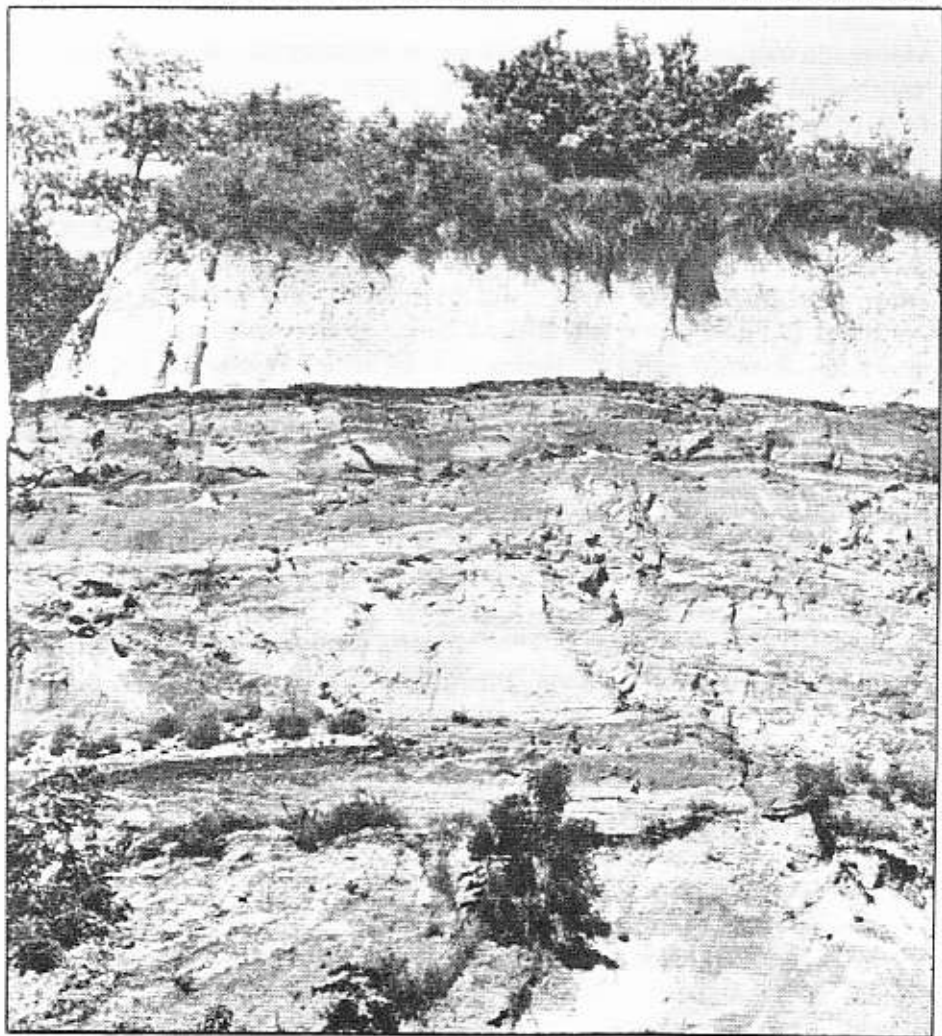
Punto	Prof. (cm.)	Textura*	Estructura*	Consistencia *		C o l o r **		Densidad* (gr/c.c.)	% E.P.*	Retención de Humedad **		% Peso Seco
				Seco	Húmedo	Seco	Húmedo			1/3	15	
8	0-76	Fr. Ar. A.	Bloques angulares	Suelto	Suelto	Pardo grisáceo oscuro	Pardo muy obscuro	0.875	47	44.66	38.33	(6.33)
9	0-5	Fr. Ar. A.	Granular	Poco Duro	Muy Friable	Pardo obscuro	Pardo muy obscuro	1.095	46	27.16	23.30	(4.86)
	5-26	Fr. Ar.	Semibloque	Duro	Friable	Pardo grisáceo oscuro	Pardo grisáceo obscuro	1.950	45	27.54	24.12	(3.42)
	26-35	Franco	Laminar	Duro	Friable	Pardo grisáceo oscuro	Pardo grisáceo muy oscuro	1.092	53	26.91	21.33	(5.58)
10	0-5	Fr. Ar. A.	Bloque	Poco Duro	Suelto	Pardo obscuro	Pardo muy obscuro	1.090	46	29.42	23.26	(6.16)
	5-13	Fr. A.	Bloque	Poco Duro	Suelto	Pardo obscuro	Pardo muy obscuro	1.076	44	27.67	23.36	(4.31)
11	0-30	Fr. A.	Bloque	Poco Duro	Muy Friable	Pardo grisáceo oscuro	Pardo grisáceo obscuro	1.116	45	28.30	24.54	(3.76)
	30-43	Fr. A.	Bloque	Poco Duro	Friable	Gris Olivo	Gris Olivo obscuro	1.241	44	18.20	13.88	(4.32)
12	0-20	Fr. Ar. A.	Bloque	Poco Duro	Muy Friable	Gris Olivo oscuro	Negro	0.914	47	39.70	35.15	(4.55)
	20-30	Fr. Ar. A.	Bloquea	Poco Duro	Muy Friable	Gris Olivo	Gris Olivo obscuro	1.231	43	27.52	22.46	(5.06)

* Datos Laboratorio CINDE

** Datos Laboratorio DIBENARE

Tal como se observa, la mayor parte de las texturas encontradas (tanto superficialmente como internamente), son del tipo franco arcilloso arenoso, seguida en su orden por los suelos francos arenosos y los francos. En general, estas texturas las podemos clasificar como de tipo grueso, tal como de hecho fue confirmado en las pruebas de campo.

Respecto a la estructura, ésta en su mayoría es en bloques (débilmente desarrollados por lo general), existiendo también en pocos casos las de tipo prismático y laminar, y escasamente la granular. Este tipo de estructuras nos inducen a pensar que estos suelos no han sido,



posiblemente nunca, roturados, lo que implica su no utilización para la agricultura.

Respecto a la consistencia en seco, ésta en su mayoría es del tipo poco duro o suelto, aunque existen pequeñas áreas con consistencia duro o muy duro; en húmedo la consistencia es del tipo suelto, friable o muy friable y sólo en pequeñas áreas existen del tipo firme o muy firme.

Analizando las tres características ya indicadas: textura, estructura y consistencia, podemos indicar que las mismas favorecen un adecuado desarrollo radicular, especialmente en la etapa inicial de desarrollo de las especies forestales.

En relación a la profundidad (respecto al lecho rocoso), y de acuerdo al criterio expuesto por Mazariegos para Guatemala (1), los suelos en estudio son poco profundos o muy superficiales. Esta situación podría provocar problemas en el desarrollo radicular en una etapa más avanzada de crecimiento de la planta; sin embargo, tal como lo indica Simmos, Táramo y Pinto (7), y fue confirmado en el campo, el material madre de estos suelos es roca caliza fracturada, e incluso muy fracturada, según fue comprobado. Esto indica que el probable problema del desarrollo radicular, se podría reducir dada la posible poca resistencia que estas rocas opondrían al desarrollo radicular. Incluso, nosotros pensamos que exactamente lo que hace falta en este lugar, para que el suelo se desarrolle, es la vegetación; suponemos que el desarrollo de ese suelo se interrumpió cuando se eliminó la vegetación natural de la zona.

Al realizar un resumen preliminar de lo dicho hasta ahora, podríamos indicar que debe procurarse un desarrollo inicial de la planta, con técnicas que sugeriremos más adelante, para que se forme un sistema radicular vigoroso (a lo cual contribuiría la textura, estructura y consistencia); ya en este estado de desarrollo, creemos que la planta podrá seguir dicho desarrollo, favorecida por la presencia de la caliza fracturada.

Continuando con la discusión de las características físicas, nos referiremos al color. Este, tanto en húmedo como en seco, es predominantemente pardo (claro u obscuro), combinado en ocasiones

con gris (claro u oscuro) y con el amarillento. Sin embargo, existe un área muy pequeña en el extremo este del proyecto, que presenta un color olivo combinado con gris, o solamente negro.

Esta presencia del color pardo, podría indicar en general, que las condiciones físicas no son del todo desfavorables, aunque la presencia del color gris (por lo general combinado) podría indicar la existencia de problemas de drenaje interno, que en todo caso creemos serían mínimos.

La última característica física a la que nos referiremos, es a la retención de humedad de los suelos, deducida de los datos capacidad de campo y punto de marchitez permanente. Los valores que presentan estos datos son bajos, lo cual, tal como era de esperarse, es lógico dada la existencia de texturas gruesas; esto coincide con los valores de porcentaje de espacio poroso, característica ésta de este tipo de texturas.

Analizando más detalladamente los valores de retención de humedad, tenemos que la media para el área es de 5.75 o/o de peso seco, con un valor mínimo de 2.66 o/o y un máximo de 12.16 o/o. Si convertimos el dato de porcentaje medio de suelo seco, a porcentaje en volumen, nos daría un valor de 5.98 o/o; este dato podría interpretarse en el sentido de que estos suelos en general, retienen 5.98 cms. por metro de profundidad. Refiriendo este dato a la profundidad media de los suelos en estudio (34 cms.), tendríamos que estos retienen 2.03 cms. de humedad.

En definitiva la capacidad de retención de humedad del suelo en estudio, es baja.

Si comparamos toda la información hasta ahora discutida, con las condiciones físicas que según Pesson et al un suelo debe tener para uso forestal, tendríamos lo siguiente:

- En lo referente a que exista un aporte suficiente de humedad en cualquier época del año, esta condición no se dá en los suelos en estudio, especialmente en la época seca.

Este es un problema que debe abordarse al iniciar un proyecto de

reforestación en cualquier área que se tenga planificado trabajar en la zona.

Entre las formas de corregir esta situación, podríamos indicar las siguientes:

- Usar cantidades adecuadas de materia orgánica (compost) en cada bolsa que se use en el vivero para la siembra de las semillas (esto de hecho ya se practica en la actualidad en el proyecto).
- En el área donde se realizará la plantación definitiva, abrir agujeros de dimensiones adecuadas (30 x 30 x 30 cms.) y rellenar éstos a la hora del trasplante, con una proporción de 1/2 de suelo original y 1/2 de compost.
- Cuando la plantación se encuentre lograda, y en un estado de desarrollo satisfactorio, construir en cada mata una terraza individual (como especie de platéo, pero más técnico). Esta práctica contribuirá, agregado a lo anterior, a que el suelo retenga más humedad, al evitar el lavado del área cercana a la planta.

En relación al problema del encharcamiento de la zona radicular, creemos que para las condiciones del suelo en estudio, este problema no se presentaría, ya que los mismos tienen una adecuada infiltración, lo que implica buen drenaje interno, y además tampoco existirían problemas de drenaje externo, al ser, el área, de topografía quebrada.

Por último, en relación a la resistencia al viento, creemos que este problema no se presentaría si se logra un adecuado desarrollo radicular al utilizar las prácticas ya indicadas.

En resumen, creemos que lo conveniente en cuanto a las características físicas es proporcionar a la planta un medio artificial que le permita un desarrollo inicial adecuado para que al cabo del tiempo sobreviva por sí misma.

2. Análisis Químicos de Suelo

Los resultados de los análisis químicos realizados se presentan en el siguiente cuadro:

Estudio de Suelos Pueblo Viejo

Fecha: Noviembre de 1981.

Punto	Prof. (cms.)	Contenido Orgánica (+)	Mat. (%)	pH (***)	Cationes Intercambiables** (Meq/100 grs.)				C. T. l. Meq/100 grs. (**)	Suma de Bases**	% Sat. de Bases(**)	Nutrientes (***) (Microgramos/ml)	
					Ca	Mg	Na	K				Fósforo	Potasio
1	0-8	5.53 - A	(+) 7.8	7.8	6.27	17.71	0.40	0.41	27.69	24.79	89.53	3.50	97
	8-28	3.72 - M			1.83	20.08	0.40	0.10	23.31	22.41	96.14		
2	0-7	5.30 - A	6.9	6.9	4.28	15.86	0.36	0.21	25.77	20.71	80.36	2.25	50
	7-21	1.74 - B			2.92	22.23	0.34	0.12	31.58	25.61	81.10		
	21-27	2.09 - M			3.02	29.07	0.34	0.09	38.40	35.52	84.69		
3	0-16	5.80 - A	0.5	0.5	5.92	38.02	0.32	0.36	48.10	44.62	92.77	3.00	75
	16-36	2.98 - M			2.30	38.34	0.40	0.16	43.18	41.20	95.41		
	36-62	2.09 - M			1.93	38.15	0.37	0.12	41.11	40.57	98.69		
4	0-2	5.22 - A	6.9	6.9	4.44	27.97	0.32	0.28	36.43	33.01	90.61	3.50	62
	2-16	2.75 - M			2.01	31.97	0.30	0.11	36.71	34.69	93.68		
	16-37	2.32 - M			2.03	39.10	0.38	0.11	42.10	41.62	98.86		
5	0-20	5.07 - A	7.2	7.2	4.04	35.37	0.33	0.15	29.52	39.89	100.00	3.00	27
	20-55	3.02 - M			2.09	37.59	0.34	0.09	43.31	40.11	92.61		
6	0-6	1.12 - B	7.1	7.1	7.38	22.27	0.76	1.37	37.31	31.78	85.18	10.00	310
	6-15	4.41 - A			3.29	20.05	0.48	0.25	28.67	24.07	86.96		
	15-18	1.36 - B			2.06	26.29	0.47	0.12	30.65	28.94	94.42		
7	0-11	3.48 - M	7.2	7.2	2.99	29.77	0.50	0.11	33.56	33.37	93.43	2.25	28
	11-31	4.84 - A			1.92	28.55	0.66	0.15	34.07	31.28	91.81		
8	0-36	4.08 - A	7.2	7.2	6.66	38.17	0.69	2.51	53.76	48.03	89.34	5.50	443
9	0-5	5.03 - A	7.3	7.3	4.76	27.71	0.60	0.22	35.61	33.48	93.68	3.00	50
	5-26	1.90 - B			4.71	29.62	0.66	0.15	30.85	35.04	100.00		
	26-35	1.47			1.50	32.55	0.85	0.12	32.32	35.02	100.00		
10	0-5	5.34 - A	7.3	7.3	4.01	19.44	1.12	0.33	33.53	24.90	74.26	2.25	98
	5-51	3.36 - M			2.59	28.99	0.83	0.28	34.28	32.69	95.36		
11	0-30	3.14 - M	7.3	7.3	2.26	26.03	0.74	0.11	23.78	29.14	100.00	2.25	29
	30-45	1.01 - B			1.42	18.64	0.72	0.05	19.63	21.23	100.00		
12	0-20	2.94 - M	7.4	7.4	3.48	40.72	0.76	0.10	50.19	45.06	89.78	2.25	19
	20-30	1.36 - B			1.82	33.69	0.70	0.05	33.36	36.26	100.00		

* Datos Laboratorio CUNOR

** Datos Laboratorio DIRENARE

*** Datos Laboratorio ICTA

+ Nomenclatura Materia Orgánica:

A - Alto contenido

M - Mediano contenido

B - Bajo contenido

Analizando estos resultados, observamos que la cantidad de materia orgánica oscila, en general, entre mediano a bajo, aunque existen áreas más o menos significativas con alto contenido.

Esta condición, en general, nos indica que la aplicación de materia orgánica en el área en estudio es necesaria, tal como ya fue indicado.

En relación a los cationes intercambiables, observamos como dato muy evidente, el alto contenido de magnesio (promedio 30.26 meq/100 grs., el 87 o/o de las bases). Con esta información podemos indicar, en forma preliminar, y sin asegurarlo plenamente, que el tipo de roca existente en la zona es magnesita.

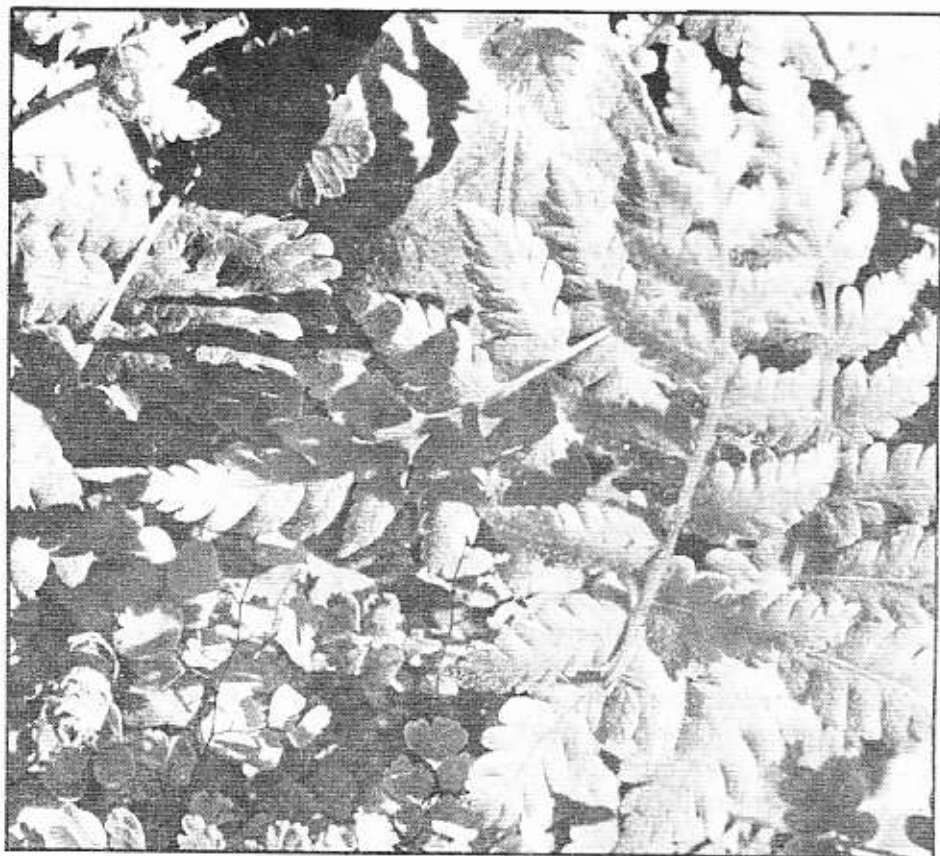
En contenido de bases le siguen en su orden el calcio, el sodio y el potasio. Refiriéndonos a la capacidad total de intercambio de cationes, el promedio, en el área en estudio, es de 34.96 meq/100 grs.

En lo que respecta al dato de porcentaje de saturación de bases, este es, tal como era de esperarse, alto (promedio 92.45 o/o).

Respecto al pH, el valor promedio para el área es de 7.2 (ligeramente alcalino). Esta información chequea con la anterior; o sea, un alto porcentaje de saturación de bases, corresponde a un pH alcalino.

En relación al contenido de fósforo como nutriente, el valor medio para el área en estudio es de 3.56 microgramos/ml. (como fósforo elemental), el cual se encuentra por debajo del valor medio de fertilidad de un suelo forestal indicado por Pesson et al (26.4 p.p.m. o microgramos/ml.); esto nos conduce a indicar que estos suelos son deficientes en fósforo, desde el punto de vista de la fertilización forestal.

Referente al potasio como nutriente, el contenido medio para el área es de 107 p.p.m. (dato del ICTA). Si comparamos este dato con el valor medio dado por Pesson et al (0.1 meq/100 grs., equivalente a 39 p.p.m. de K elemental. N. del A.), diríamos que estos suelos, en general, no son deficientes en potasio. Este dato puede comprobarse con el del laboratorio de DIRENARE, que reporta que en solamente tres casos (11 o/o) de los 28 análisis realizados, el contenido de potasio es menor a 0.1 meq/100 grs.



3. Vegetación

Creemos que la argumentación presentada por Vietmeyer (8) en la revisión de literatura presentada, respecto al uso de leguminosas con fines de reforestación, son válidas, esencialmente en lo referente a sus características de rápido crecimiento, sus usos y su capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico.

En este sentido, podrían utilizarse cualquiera de las cinco "Especies Mágicas" mencionadas por el autor, pero especialmente la *Calliandra Calliothyrus* por ser originaria de Guatemala, lo que representa una ventaja en cuanto a adaptación.

Además, también puede utilizarse la *Leucaena* (yaje), que de hecho es usada en la actualidad en el proyecto de reforestación de

Chixoy. En este sentido, creemos que los trabajos de esta Institución van bien encaminados al utilizar este tipo de especies.

CONCLUSIONES

Las principales conclusiones que de este trabajo pueden obtenerse, son las siguientes:

1. Las condiciones físicas del suelo en estudio, en relación a su uso forestal, son:
 - Textura gruesa
 - Baja capacidad de retención de humedad
 - Buena infiltración
 - Suelos poco profundos
 - Suelos sueltos, lo cual permitiría buena aireación y desarrollo adecuado hasta el lecho rocoso
 - Existencia de un lecho rocoso a poca profundidad, constituido por roca caliza fracturada, característica esta última que puede reducir el posible problema del desarrollo radicular de la planta, media vez ésta esté lograda, y haya obtenido un desarrollo radicular adecuado.
2. Las características químicas del suelo en estudio, indican lo siguiente:
 - El porcentaje de saturación de bases es alto.
 - El pH es alcalino, lo que coincide con el dato de alto porcentaje de saturación de bases.
 - De acuerdo al criterio de Pesson et al, los suelos son deficientes en fósforo y con buen contenido de calcio, magnesio y potasio.
3. En relación a la vegetación, se considera adecuado el uso de leguminosas para uso forestal, tales como las recomendadas por Vietmeyer, especialmente debido a su rápido crecimiento, sus usos y su capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico.

Estos suelos no son aptos para el uso de coníferas debido a las

condiciones de alcalinidad que presentan.

4. Se considera que toda la información proporcionada en los incisos anteriores, deberá integrarse en prácticas que favorezcan un desarrollo adecuado de la planta, por lo menos hasta los 2 ó 3 años.

RECOMENDACIONES

Como principales recomendaciones para la aplicación de lo indicado en este documento, se presentan las siguientes, con la necesaria aclaración de que lo que se recomiende deberá estar sujeto a críticas y a ensayos. Además, estas recomendaciones las damos básicamente para la etapa crítica de desarrollo de las plantas, que consideramos es en los primeros años.

1. Es conveniente la utilización de plantas leguminosas con fines de uso forestal, recomendando inocular las semillas y usar, con el fin de asegurar la infección con bacterias fijadores de nitrógeno.
2. Procurar que la tierra que sea usada para el llenado de bolsas en el vivero y en la mezcla con tierra original en el hoyo de trasplante, provenga de zonas en las que se usen especies similares; esto con el fin de provocar la micorrización de las raíces, lo que contribuirá al mejor uso y reserva de nutrientes.
3. Con el fin de mejorar la capacidad de retención de humedad de los suelos, se recomienda mezclar compost y tierra original de la zona en una proporción de 1:1 en un agujero de 30 x 30 x 30 cms. Esta incorporación de materia orgánica contribuirá a mejorar la capacidad de intercambio de cationes del suelo, lo cual a su vez contribuirá a mejorar la retención de nutrientes.
Esta práctica también contribuirá a que la planta tenga un desarrollo inicial adecuado, y un sistema radicular vigoroso que le permitirá subsistir en mejor forma.
4. Cuando la planta haya logrado un adecuado desarrollo, se recomienda construir en cada mata, terrazas individuales; esta práctica reducirá la erosión en el área y contribuirá a mejorar la retención

de humedad del suelo.

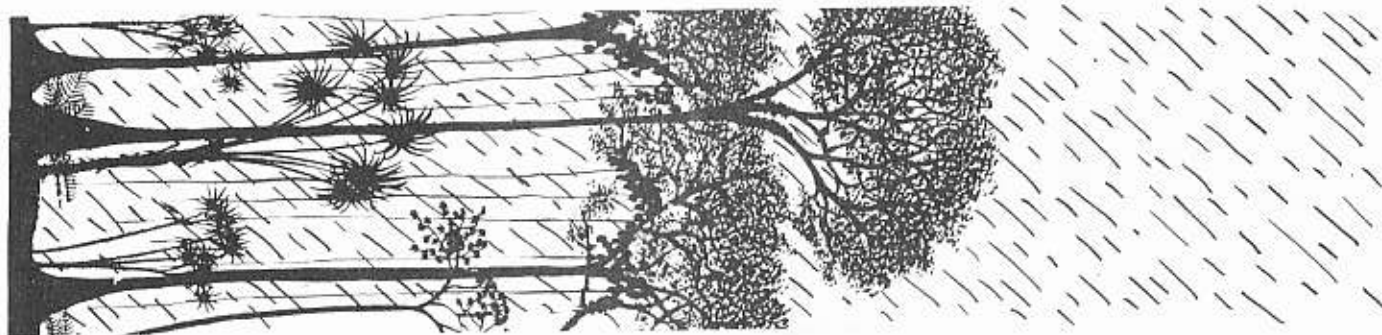
5. Consideramos que los suelos son deficientes en nitrógeno y en fósforo, se recomienda la siguiente fertilización:
 - Primeramente se realizará la fertilización con fósforo (del tipo poco soluble), según lo recomendado por Gros (5):
70 - 100 grs. de fosfato molido (poco soluble) ó 40 - 60 grs. de escorias (fósforo poco soluble) en un hoyo de 30 x 30 x 30 cms., (el mismo que se usará para el trasplante y para la mezcla tierra-compost), mezclando íntimamente el fertilizante con la combinación tierra-compost ya indicada. Esta fertilización deberá hacerse 2 a 3 semanas antes del trasplante.
 - La fertilización con nitrógeno se hará también según lo recomendado por Gros (5), al segundo año después de la plantación, al pie de la planta; la cantidad a usar será de 10-12 grs. de nitrato amónico (de alto grado), 8 a 10 grs. de Urea ó 15 a 20 grs. de sulfato amónico.
6. Si se logra la inoculación de las semillas, y la instalación de la bacteria (si se usan leguminosas), no se considera necesaria la aplicación posterior de nitrógeno.
7. Dado a que los suelos de la zona en estudio son de reacción alcalina, no se recomienda el uso de coníferas, especialmente pino, a menos que se hayan ensayado estas especies bajo estas condiciones.
8. Media vez se logre la estabilización del sistema bosque, deberá planificarse el posible uso que se le dé a los productos del mismo, a fin de no provocar desequilibrios en el sistema; esto es especialmente importante si se piensa extraer forraje (si se utilizan leguminosas) o leña.
9. Creemos que debido a las difíciles condiciones topográficas del lugar, el riego resultaría una práctica difícil de concretar y antieconómica; insistimos en que lo básico es aplicar las prácticas ya indicadas, tendientes a mejorar la capacidad de retención de humedad del suelo; a fin de que la planta sea capaz de resistir la época seca.

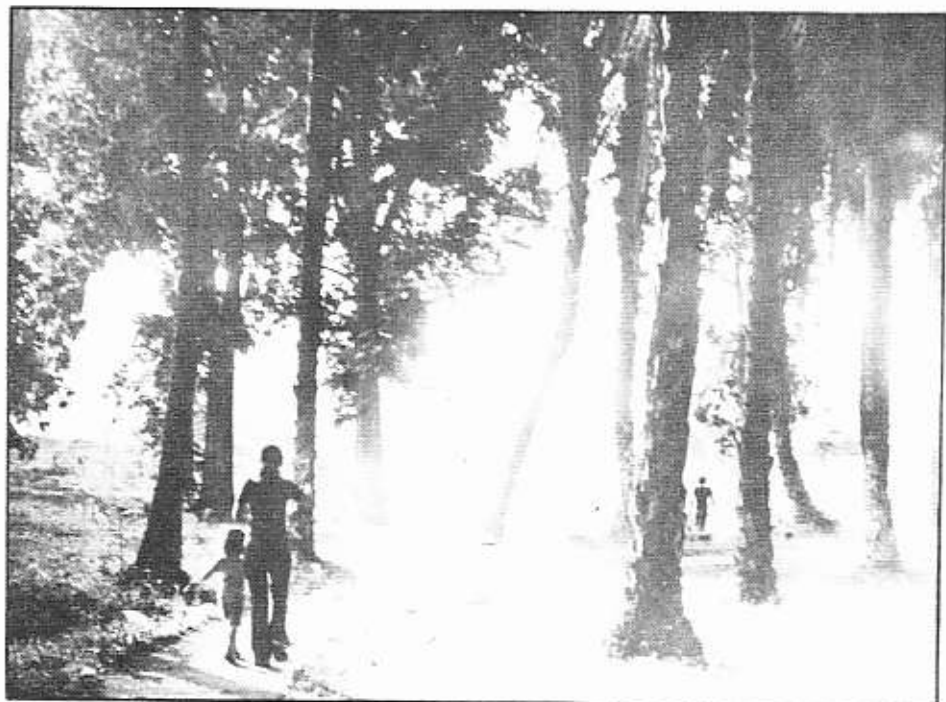
DATOS CLIMATICOS^(*)

Estación: Chixoy
 Latitud: 15°27'
 Longitud: 90°40'
 Elevación: 1100 metros

	Ene.	Feb.	Marzo	Abr.	Mayo	Junio	Julio	Agos.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Precipitación Pluvial (mm.)	19.9	16.2	27.7	45	106.4	191.7	116.9	157.3	183.9	161.5	86.3	27.6	1140.9
Temperatura Media (°C)	21.7	22.5	25.0	25.9	26.7	25.3	24.6	24.6	25.1	23.9	23.1	22.1	24.2
Humedad Relativa (%)	75	72	71	68	69	76	80	79	79	80	80	78	75

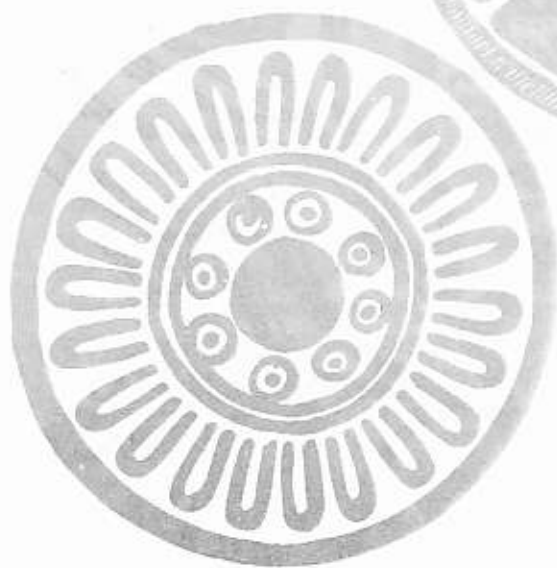
(*) INSIVUMEH, Datos 1970-79.

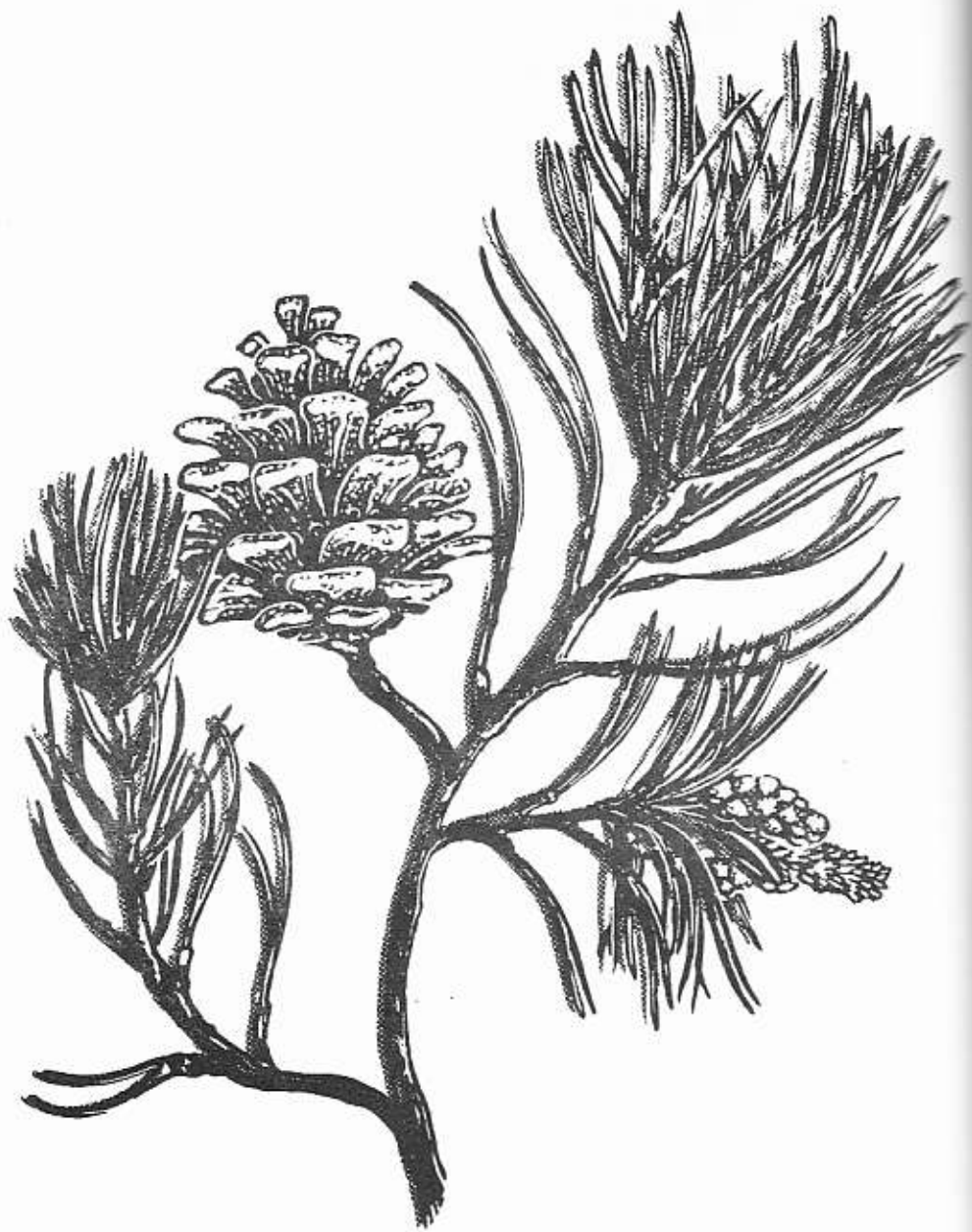




BIBLIOGRAFIA

1. Albizúrez Palma, José Rodolfo. **Estudio Semidetallado de suelos del Valle de Cubulco, Guatemala:** Universidad de San Carlos, Centro Universitario del Norte, 1980. 42 pp. (Mimeografiado).
2. De la Cruz, A. René. **Clasificación de zonas de vida de Guatemala basada en el sistema Holdrige.** Guatemala: INAFOR, 1976. 24 pp.
3. Guatemala, Instituto Geográfico Nacional. **Atlas Nacional de Guatemala.** Guatemala: Instituto Geográfico Nacional, 1972, s.p.
4. Grassi, Carlos J. **Estimación de los usos consuntivos de agua y requerimientos de riego con fines de formulación y diseño de proyectos.** Venezuela: Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras, 1968. 96 pp. (Mimeografiado).
5. Gros, André. **Abonos, Guía práctica de fertilización.** Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1971. 525 pp.
6. Pesson, P., et al. **Ecología Forestal.** Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1978. 393 pp.
7. Simmons, Charles S., José Manuel Táramo y José Humberto Pinto. **Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala.** Guatemala: Servicio Cooperativo Interamericano de Agricultura, 1959. 1000 pp.





COMPORTAMIENTO INICIAL DEL "PINUS OOCARPA SCHIEDE" ASOCIADO CON CULTIVOS ANUALES

Carlos Spiegeler¹

El desarrollo de técnicas de manejo de tierras que impliquen la asociación de especies forestales con cultivos (agrosilvicultura) integrando así, sobre una misma superficie, diferentes modalidades de producción, reviste especial importancia en los trópicos y subtrópicos. Debido a que mediante tales técnicas se hace una combinación de especies de exigencias distintas, se logra un mejor aprovechamiento de la energía solar para la producción de biomasa de valor comercial y, a la vez, gracias a la estratificación horizontal y vertical de las asociaciones de plantas, se logra una mejor conservación del suelo y agua.

Una de las técnicas agroforestales más antiguas es el "Sistema Taungya" que consiste en la combinación de árboles con cultivos anuales durante la etapa de establecimiento de la plantación forestal, generalmente de uno o dos años.

En Guatemala, la superficie cubierta por bosques en tierras altas, se ha venido reduciendo año con año, lo que ha contribuido a la degradación de los suelos y a la alteración del régimen hidrológico. La

¹ Ingeniero Agrónomo. El presente artículo constituye un resumen de su Tesis de Grado, y fue elaborado por el Ing. Agr. Luis A. Castañeda.

restauración de los bosques por medio de plantaciones no ha sido exitosa debido a que las áreas que se han reforestado con métodos convencionales, requieren en sus primeros años, un mantenimiento periódico que no se ha realizado por el costo elevado que esto representa así como por el largo período que se necesita para recuperar la inversión.

Entre las ventajas observadas en la aplicación del "Sistema Taungya" en diferentes regiones del trópico y del subtrópico, puede mencionarse la reducción de los costos de establecimiento de las plantaciones y el incremento del crecimiento inicial de las especies forestales, en relación con otros métodos convencionales de plantación.

Basado en las consideraciones expuestas, se realizó el presente trabajo, cuyos objetivos fueron:

- a) Plantear el "Sistema Taungya" como método de reforestación para las condiciones del altiplano occidental de Guatemala.
- b) Comparar el crecimiento inicial del *Pinus oocarpa* Schiede en plantación sola y asociado con los cultivos anuales: haba (*vicia fava*), coliflor (*Phaseollus vulgaris*), y zanahoria (*Daucus carota*).
- c) Determinar el efecto de los cultivos anuales sobre el comportamiento de la especie forestal.
- d) Medir el rendimiento de los cultivos anuales, asociados con la especie forestal.
- e) Analizar los costos de establecimiento de la especie forestal, en plantación sola, comparada con los tratamientos en que hubo cultivo asociado.
- f) Comparar el efecto del fertilizante foliar Bay folán, (11-8-6) sobre el crecimiento inicial de *P. oocarpa*.

Para alcanzar los objetivos planteados se llevó a cabo un ensayo en el municipio de San Andrés Itzapa, Depto. de Chimaltenango. El diseño experimental utilizado fue el de Bloques al azar con arreglo de parcelas divididas; los tratamientos probados fueron los siguientes:

P. oocarpa asociado con haba, seguido de coliflor; fertilizado con bay folan.

P. oocarpa asociado con haba, seguido de coliflor; sin fertilización foliar

P. oocarpa asociado con frijol, seguido de frijol; fertilizado con bay folan

P. oocarpa asociado con frijol, seguido de frijol; sin fertilización foliar

P. oocarpa asociado con zanahoria, seguido de zanahoria; fertilizado con bay folan

P. oocarpa asociado con zanahoria, seguido de zanahoria; sin fertilización foliar.

P. oocarpa sin cultivo asociado; fertilizado con bay folán

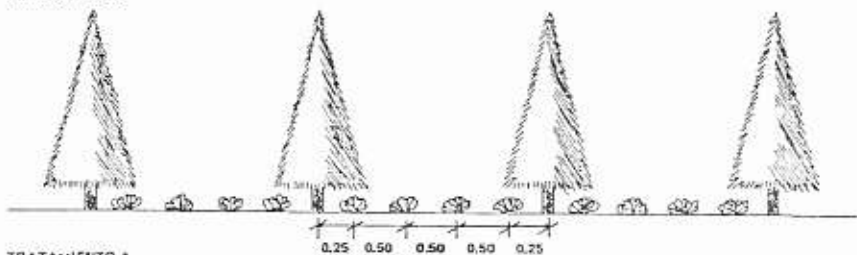
P. oocarpa sin cultivo asociado; sin fertilización foliar.

El arreglo espacial y cronológico de los distintos tratamientos puede verse en las figuras 1 y 2 respectivamente.

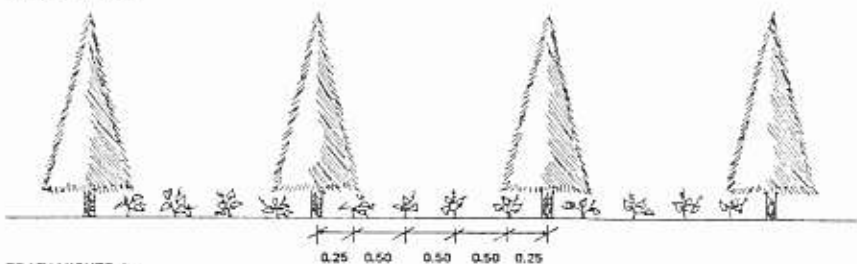
La duración del ensayo fue de 14 meses, durante los cuales se observó el crecimiento de la especie forestal, el cual se determinó en función del incremento en altura, diámetro basal y diámetro de copa. Al final del ensayo se determinó el índice de sobrevivencia.

El mejor crecimiento del **P. oocarpa** durante el período de estudio, se registró en la plantación con cultivo asociado, siendo más notorio el incremento en diámetro basal y diámetro de copa. Los incrementos promedio de altura, diámetro basal y diámetro de copa con cultivos asociados fueron: 68 cm., 1.1 cm. y 45.5 cm. respectivamente; los incrementos que se registraron en la plantación sin cultivo asociado fueron: 51.6 cm. de altura, 0.79 cm. de diámetro basal y 37.4 cm. de diámetro de copa. Las diferencias de crecimiento entre la plantación sin asocio y la plantación asociada con cultivos fue estadísticamente significativa. En las figuras 3 y 4 se observa el ritmo de crecimiento de los tratamientos (parcela grande) representado por las curvas de regresión entre altura y tiempo (Fig. 3) y diámetro basal y tiempo (Fig. 4).

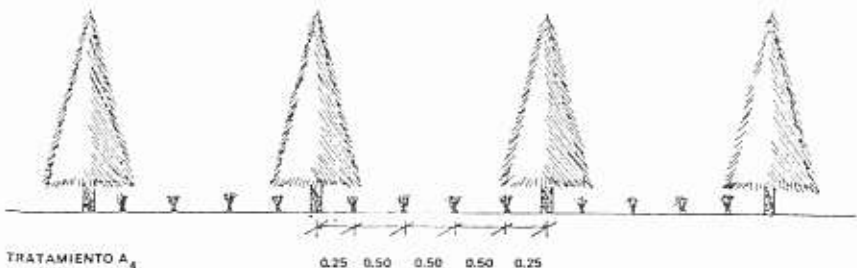
TRATAMIENTO A₁
HABA COLIFLOR



TRATAMIENTO A₂
FRIJOL - FRIJOL



TRATAMIENTO A₃
ZANAHORIA - ZANAHORIA



TRATAMIENTO A₄
SIN CULTIVO



FIGURA 1 ARREGLO ESPACIAL DE LOS DIFERENTES CULTIVOS DEL EXPERIMENTO, VISTA DE PERFIL.

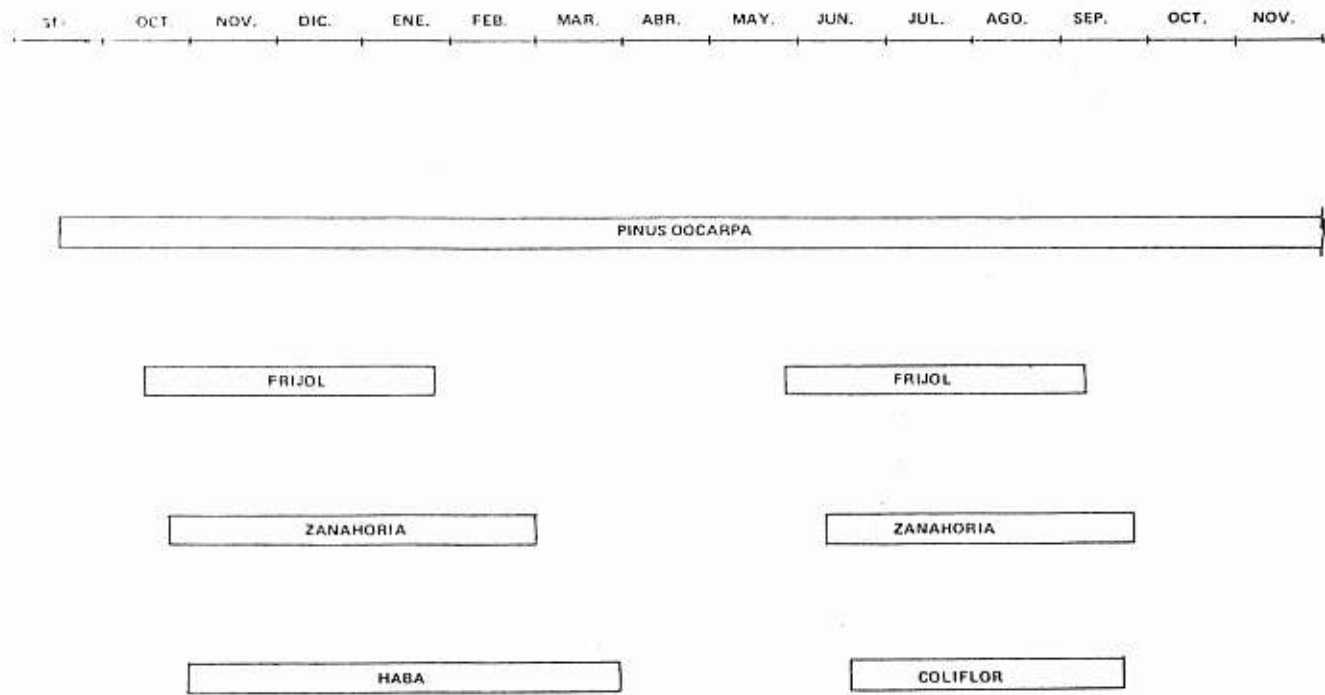


Fig 12 Arreglo cronológico de los cultivos.

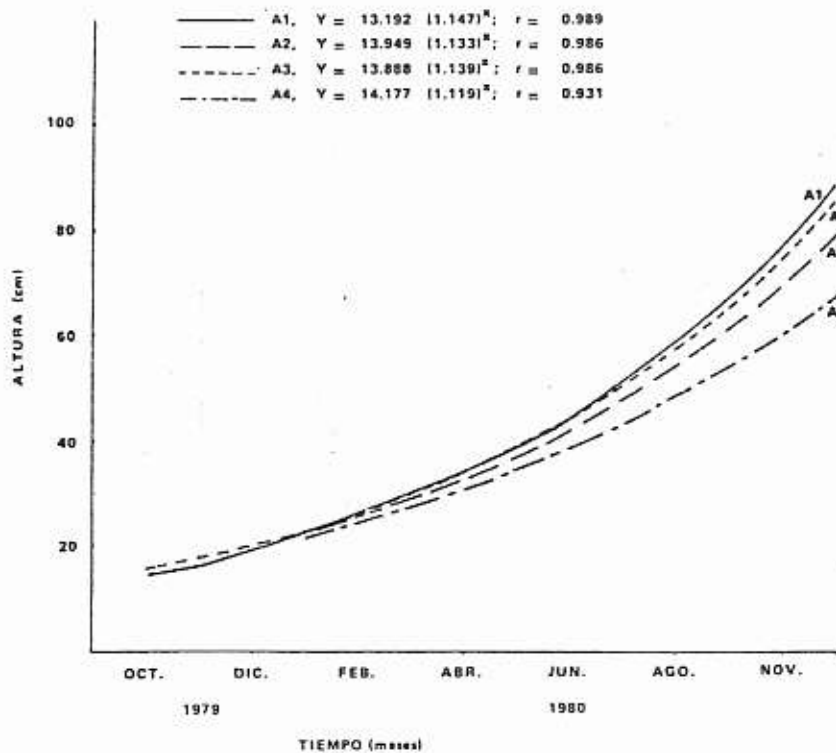
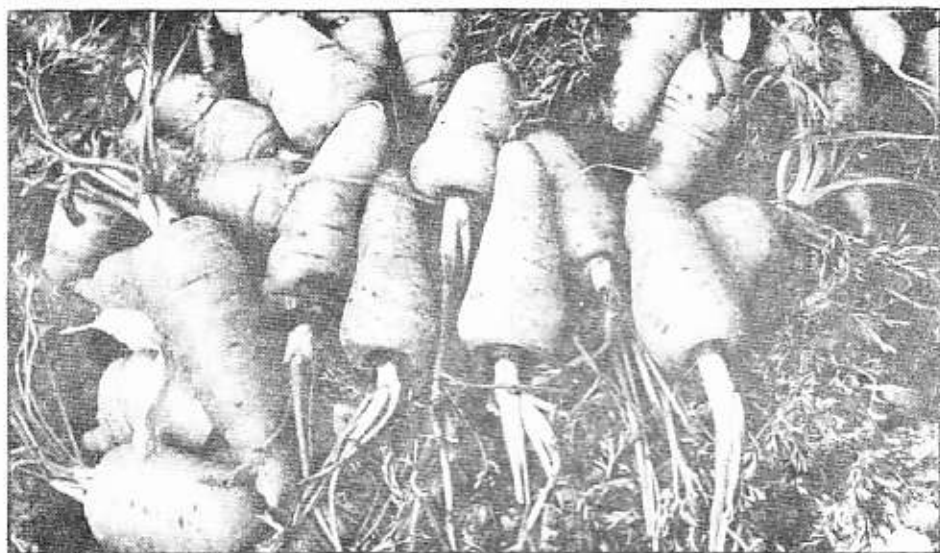


Fig. 3 Pinus oocarpa. Curvas de regresión entre altura y tiempo para los diferentes tratamientos del experimento.



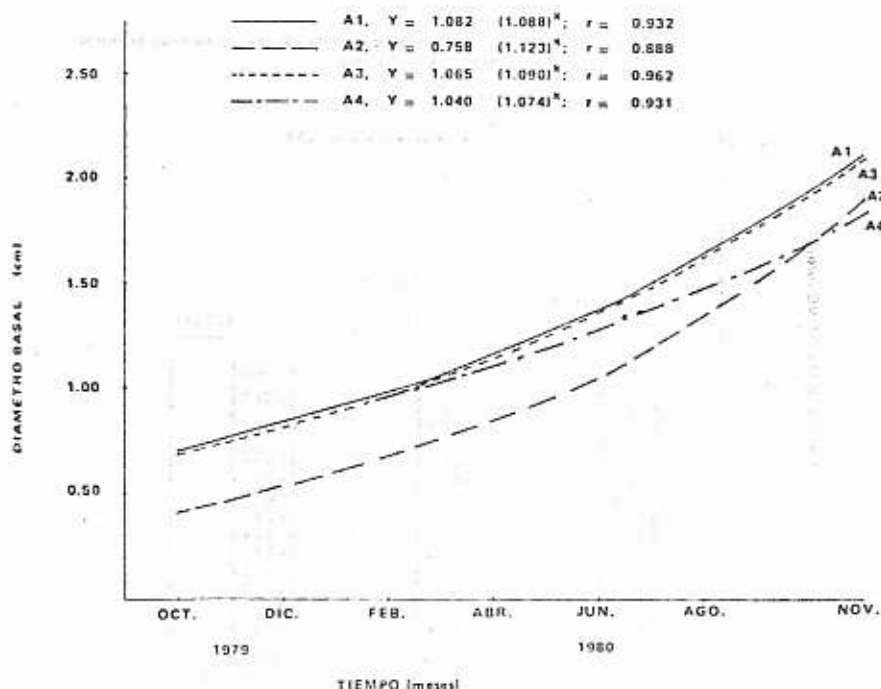


Fig. 6/ *Pinus oocarpa*. Curvas de regresión entre diámetro basal y tiempo, para los diferentes tratamientos del experimento.

En la Fig. 5 se observa comparativamente el crecimiento de *P. oocarpa* solo y asociado con cultivos.

La dosis aplicada de fertilizante foliar, no influyó sobre el crecimiento del *P. oocarpa*. El índice de sobrevivencia de la especie forestal no fue afectado por los cultivos asociados, registrándose un promedio de 94 o/o para toda la plantación.

El costo de establecimiento de la plantación sin cultivo asociado fue de Q 675.82/ha. En lo que respecta a la plantación con cultivo asociado, las mejores ganancias se obtuvieron con la asociación *P. oocarpa*, con zanahoria en los dos ciclos de cultivo, con una ganancia neta de Q, 503.46, le sigue la asociación *P. oocarpa* con haba en el primer ciclo y coliflor en el segundo ciclo de cultivo, con una ganancia neta de Q 341,76/ha. de los cuales están deducidos los costos de establecimiento y mantenimiento de la especie forestal.

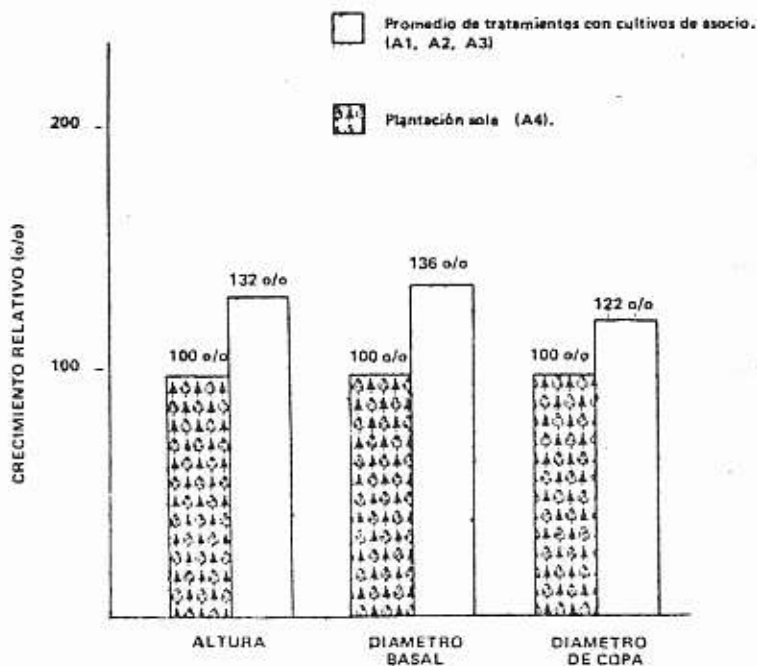
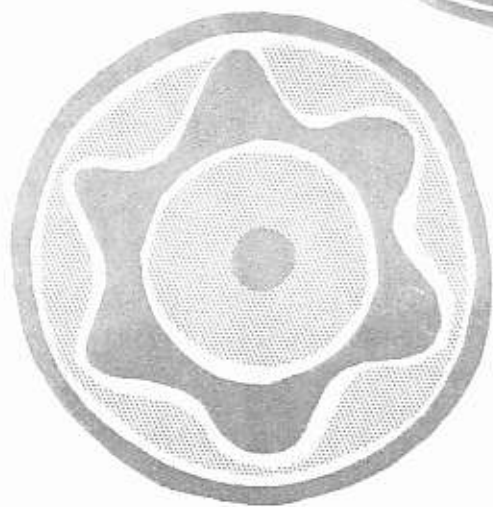
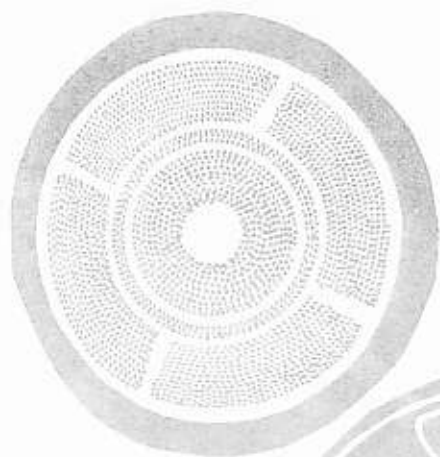


Fig. 44 Crecimiento relativo de *Pinus oocarpa* asociado con cultivos, respecto a plantación sola.

De la interpretación y discusión de los resultados apuntados se concluyó que el crecimiento del *P. oocarpa* se ve favorecido por las asociaciones de los cultivos probados, comportándose mejor en la asociación haba seguido de coliflor. Con las dosis probadas en el presente estudio el fertilizante foliar no influye en el crecimiento del *P. oocarpa*.

En relación a las asociaciones, se concluyó que la productividad de los cultivos asociados con *P. oocarpa* fue baja comparada con las productividades que se han logrado en la región de Chimaltenango, con cultivos no asociados. A pesar de ello, los ingresos producidos por los cultivos alcanzaron a cubrir los costos de la plantación forestal asociada y produjeron ganancias; ésto representa una ventaja sobre el método de plantación convencional. En virtud de ésto, se plantea el "Sistema taungya" con las modalidades probadas en este estudio, como un método alternativo viable de reforestación, para el altiplano occidental de Guatemala.





PRINCIPIOS EN LA ORGANIZACION DE EXPLORACIONES PARA RECOLECTAR GERMOPLASMA DE INTERES SOCIAL

Aníbal B. Martínez¹

INTRODUCCION

Actualmente más y más plantas salvajes y primitivas que tienen uso social están desapareciendo, víctimas del desmonte en favor de unas cuantas semillas milagrosas de alto rendimiento pero que requieren un alto suministro de energía.

Según Donald N. Duvick, director de reproducción de plantas para la Pioneer Hibred International, Inc., el gran problema de la agricultura moderna es que depende de un pequeño puñado de variedades de plantas, por ejemplo: sólo seis variedades de plantas en los EE.UU. son responsables del 38 o/o de la tierra cultivada con trigo, del 43 o/o de la

1 Ingeniero Agrónomo, Profesor de los Cursos de Genética y Fitogenética.

cultivada con maíz y 42 o/o de la cultivada con frijol soya (3).

Esto demuestra también, la escasez de diversidad genética en variedades comerciales, lo cual puede ocasionar serios problemas en el futuro.

Para contrarrestar este problema, en 1974 la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) organizó el Consejo Internacional de Recursos Fitogenéticos (CIRF), con la misión de crear una red internacional de instituciones nacionales y regionales dedicadas a la conservación de recursos genéticos de interés agrícola (1).

Para realizar lo anterior, se tomó en cuenta que la variabilidad genética de las plantas cultivadas y no cultivadas no está distribuida al azar por toda la tierra, sino una distribución no uniforme. El primero en señalarlo fue Vavilov (2,3), reforzado posteriormente por otros estudiosos de la flora mundial; quienes identificaron las siguientes regiones como los principales centros de origen y diversidad de plantas:

- Mesoamérica (Sur de México y Centro América)
- Región Andina (Ecuador, Perú, Brasil, Paraguay)
- Región Mediterránea (Sur de Europa, Norte de África)
- Región Asiática Sur-oriental (China, India, Pakistán)
- Etiopía
- Cercano Oriente.

De todos ellos según Vavilov, el más importante es Mesoamérica (4).

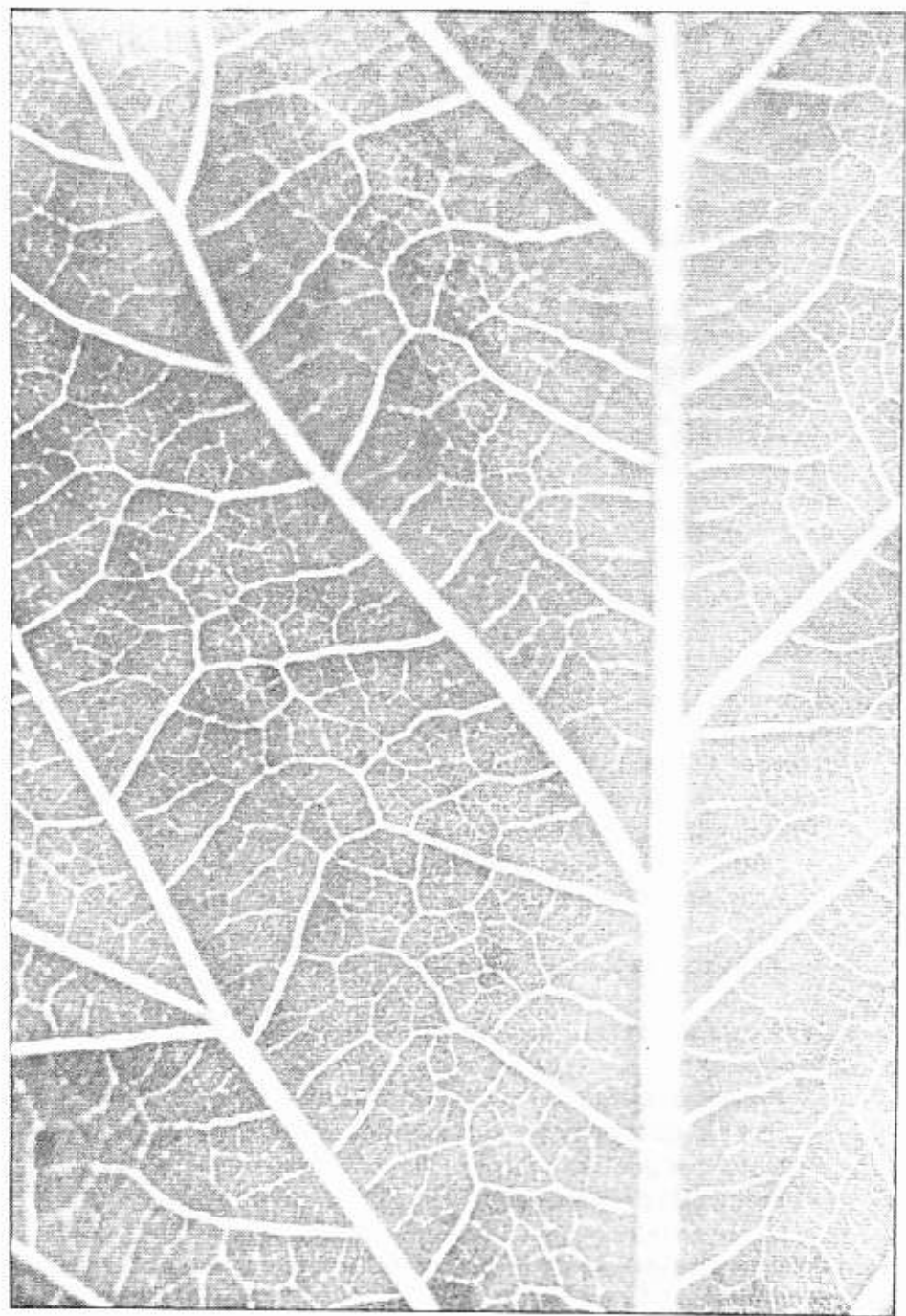
Estando Guatemala ubicada en la parte central de Mesoamérica es de suponer que junto con la región del Sur México poseen una gran riqueza de plantas, esto lo demuestra un inventario preliminar publicado por el CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza), en el cual de 104 especies consideradas como autóctonas de la región de Mesoamérica, el 48 o/o se encuentran en Guatemala.

Por lo anterior, el interés por explorar México y Centro América para recolectar el germoplasma de especies vegetales de actual y futura importancia social debe ser no solo internacional sino nacional entre las instituciones encargadas del desarrollo futuro del país.

Para poder recuperar los recursos vegetales de interés actual y futuro se hace necesario: Colectar, Evaluar y Conservar el germoplasma, para lo cual el criterio científico utilizado para planificar y ejecutar la exploración asegurará colectar y conservar la mayor variabilidad genética.

CRITERIOS BASICOS PARA ORGANIZAR EXPLORACIONES

1. Debe tenerse en cuenta que la mayor variabilidad genética se encuentra en las poblaciones de cultivares primitivas y salvajes (espontáneas) y muy poca en las variables comerciales o muy avanzadas, lo anterior fundamenta la necesidad de visitar directamente las regiones donde se encuentran poblaciones espontáneas de la especie que interesa y además los campos de cultivo de los agricultores de la región, así como también los mercados de mayor movimiento comercial.
Esto asegura la recolecta de una mayor diversidad genética de la especie buscada.
2. Debe consultarse toda la literatura posible que exista sobre la flora nativa. Para Guatemala la fuente bibliográfica más importante respecto a flora, lo constituye la obra: "Flora of Guatemala" por Standley y Steyermark y otros, escrita desde 1946 hasta 1977. Dicha consulta servirá para conocer datos sobre:
 - Número de grupos taxonómicos de la especie de interés.
 - Distribución geográfica de la especie y de los grupos.
 - Usos posibles de la planta.
 - Sinónimos del nombre común de la planta.
3. Debe consultarse un mapa hipsométrico para buscar información respecto a:
 - Area territorial de la región que ocupa la especie.
 - Red vial que comunica toda la región.
 - Distancias posibles a recorrer al momento de explorar.
 - Fisiografía de la región.
4. Debe tenerse en cuenta la información obtenida en 2 y 3, para determinar:



- La(s) regiones a explorar.
 - Tiempo necesario para realizar la exploración.
- 4.1 El criterio para seleccionar las regiones que aseguren recoger la mayor variabilidad, debe de hacerse en base a la mayor diversidad de grupos taxonómicos que reporte la literatura consultada.
- Otro criterio complementario es la distribución altitudinal de la especie, ya que ayuda a seleccionar diferentes puntos específicos que asegura que la exploración sea horizontal y vertical.
- 4.2 El tiempo necesario para realizar la exploración dependerá de la extensión de las regiones seleccionadas, la fisiografía regional, la red vial que comunica toda la región y las distancias entre un punto y otro. Paralelo a lo anterior también dependerá del número de muestras a recoger y la información que se requerirá directamente de la región por cada muestra recolectada.

FORMA Y CONDICIONES PARA REALIZAR EXPLORACIONES

1. Seleccionada la región, el itinerario del recorrido, el tiempo necesario para recorrer la región y recoger todas las muestras necesarias, debe realizarse lo siguiente:
 - 1.1 Obtener información directa de personas que sean originarias o que conozcan la región seleccionada, en cuanto a:
 - Conocimiento que tengan de la existencia de la especie que se busca.
 - Epoca del año en la cual se cultiva o crece espontáneamente (sps. anuales), o las épocas de fructificación (sps. perennes).
 - Nombres de personas que viven en la región y que puedan colaborar en la exploración.
 - Servicios públicos de los poblados que se encuentran dentro de la región.

1.2 Al organizar la exploración debe llevarse lo siguiente:

- Vehículo de doble tracción (equipado)
- Recipiente para reserva de combustible
- Mapa hipsométrico
- Altímetro
- Brújula.
- Cámara de fotografía
- Binoculares
- Reserva de alimentos.

2. Durante se realice la exploración, debe tenerse en cuenta lo siguiente:

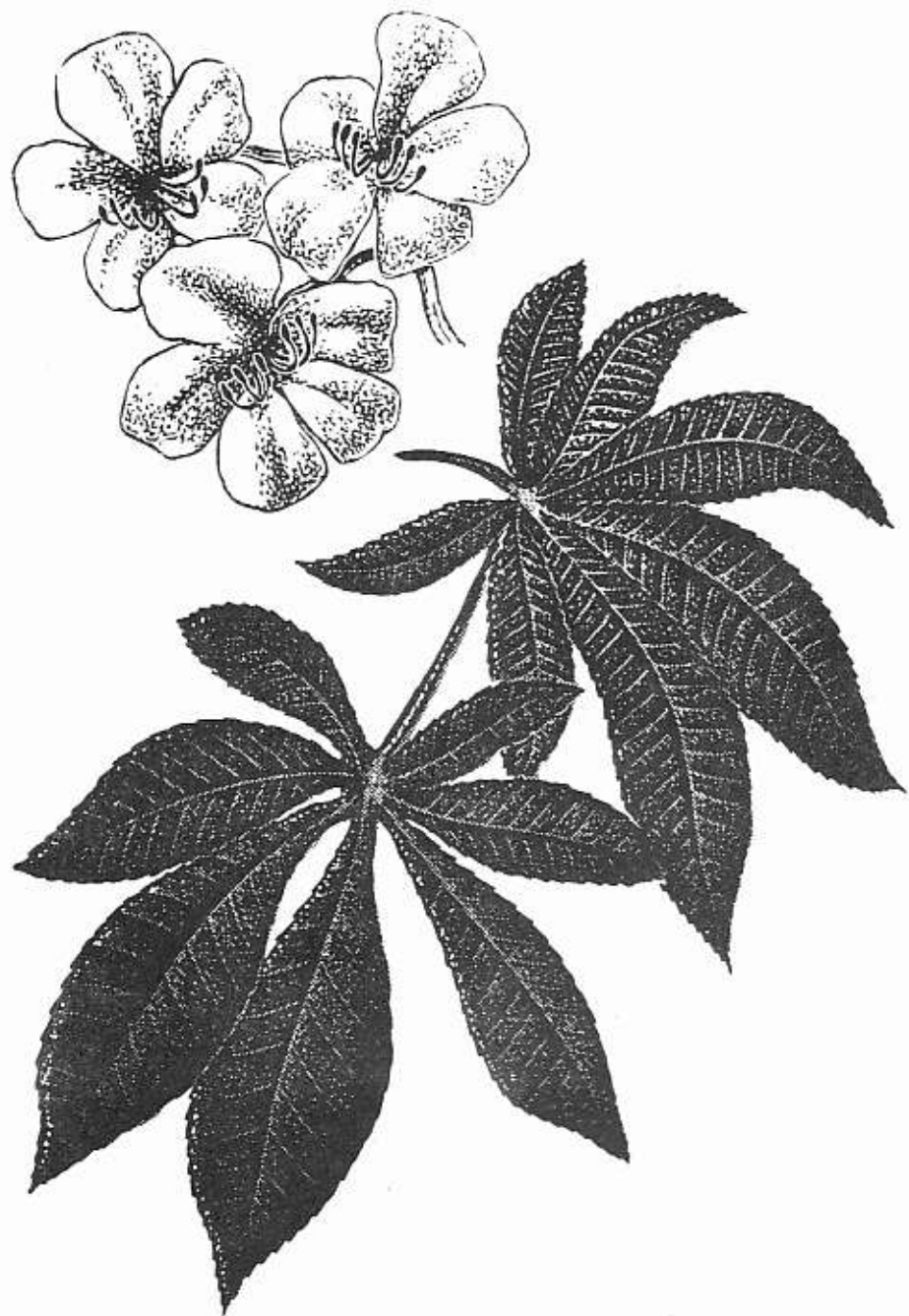
2.1 Hay que verificar la ruta seleccionada a través de preguntar directamente a las personas que se encuentren sobre el camino y tomar en cuenta la mayor parte de los detalles del informe obtenido. Eso ahorrará combustible y tiempo para recoger las muestras.

2.2 La información que se obtenga sobre el germoplasma recolectado, sólo podrá ser real, si la comunicación establecida con el agricultor o con la persona informante es amplia.

2.3 Para que la exploración resulte lo más ventajosa posible, es necesario que en cada punto específico a visitar, se recolecte la mayor cantidad de semilla de frutos completamente maduros.

BIBLIOGRAFIA

1. Esquinas Alcazar, J. T. **Los recursos fitogenéticos, una inversión segura para el futuro.** España, Instituto Nacional de Investigaciones agrarias, 1981, 32 p.
2. GTZ/CATIE. **Los recursos genéticos de las plantas cultivadas de América Central.** Costa Rica. Programa de Recursos Genéticos. 1979, 29 p.
3. **Prensa Libre.** "Almacenan millones de semillas de todas las variedades alimentarias." Guatemala. 19 de Diciembre de 1981. p. 54.
4. León, Jorge. **Colecta, Evaluación y Conservación de los recursos genéticos de plantas cultivadas.** México, Sociedad Botánica de México. 3-9 Diciembre 1972. pp. 603-616.



USO DE LA MATRIZ EXPERIMENTAL PLAN PUEBLA EN LA DETERMINACION DE DOECL Y DOECI EN EXPERIMENTOS AGRICOLAS

Marino Barrientos G.¹

INTRODUCCION

Frecuentemente el investigador agrícola se enfrenta a la necesidad de realizar experimentos factoriales en los cuales se consideran únicamente algunos del total de tratamientos resultantes, (llamados factoriales fraccionados) como una de las formas para evitar la pérdida de precisión al establecer un número muy elevado de tratamientos en una sola repetición. En este momento necesita encontrar la respuesta a la

1 Ingeniero Agrónomo, Profesor Adjunto del Centro de Estadística y Cálculo.

siguiente pregunta: ¿Cuántos y cuáles, del total de tratamientos, serán considerados en el experimento?

La respuesta es fácil de encontrar si hace uso de las denominadas **MATRICES EXPERIMENTALES**, que en otras palabras no son más que el diseño de los tratamientos que se probarán en el experimento. Del total de matrices experimentales existentes, un grupo particularmente útil lo constituyen las matrices **PLAN PUEBLA**, debido a las siguientes características:

- i) Consideran el conocimiento agronómico del investigador acerca de la respuesta de un cultivo a determinados factores limitativos (generalmente va de SW a NE al observarla en un sistema coordenado).
- ii) Se evita la dependencia del cálculo electrónico en la realización de los análisis estadístico-económicos de los resultados, ya que permiten su ejecución en forma gráfica, con esto se obtiene además:
 - Recomendaciones más prácticas y sencillas.
 - Mayor tiempo para la planificación de programas de asistencia técnica o la continuidad del proceso de investigación, porque los resultados son obtenidos más rápidamente en el análisis gráfico.
- iii) Los resultados que se obtienen son analizados, no sólo estadística sino también económicamente, lo cual es de vital importancia ya que toda actividad humana se da fundamentalmente sobre la base económica. Y es más, considera tanto el capital sin restricciones (dosis óptima económica de capital ilimitado = **DOECL**) como el capital restringido (dosis óptima de capital limitado = **DOECL**) que es el caso más frecuente entre el campesinado guatemalteco.

El conjunto de matrices Plan Puebla se divide, de acuerdo al número de niveles (y su codificación) que cada una considera para cada factor, en:

a) **Plan Puebla I:**

que considera 4 niveles para cada factor cuya codificación es -1.0 , -0.33 , $+0.33$ y $+1.0$ en el espacio de exploración completo del mismo.

b) **Plan Puebla II:**

que utiliza 5 niveles para cada factor, codificados en -0.9 , -0.3 , 0 , $+0.3$ y $+0.9$ respectivamente.

c) **Plan Puebla III:**

que también utiliza 5 niveles para cada factor a saber: -0.9 , -0.4 , 0 , $+0.4$ y $+0.9$.

Habría que determinar de antemano cuales serán los límites del espacio de exploración para cada factor involucrado; he aquí un problema difícil de resolver, ya que no existen reglas definidas para el mismo, únicamente deben ser seleccionados de tal manera que el óptimo de cada factor esté situado en dicho espacio. Como una ayuda, se dice que el investigador seleccionará como límite superior la dosis mínima que a su juicio suprima o casi suprima su deficiencia al encontrarse los demás factores en su nivel óptimo y como límite inferior, la mínima dosis que tenga interés práctico (que no necesariamente tiene que ser cero).

El número de tratamientos en el experimento, queda determina-

do por la expresión $2^k + 2k$ para P.P. I y $2^k + 2k + 1$ para P.P. II y P.P. III; donde k es el número de factores en estudio. En P.P. I, con el 2o. y 3er. nivel de cada factor se obtiene el factorial completo 2^k y con el 1o. y 4o. las $2k$ prolongaciones en el sentido SW y NE del espacio de exploración, respectivamente. En el P.P. II y III, con el 2o. y 4o. nivel para cada factor se obtiene el factorial completo 2^k , con el 1o. y 5o. las $2k$ prolongaciones y con el 3er. nivel el tratamiento central del espacio de exploración.

Estos tratamientos deben ser sometidos a evaluación mediante el diseño experimental que resulte más apropiado, en función de las características del mismo material experimental (principalmente el suelo); completamente al azar y bloques al azar generalmente.

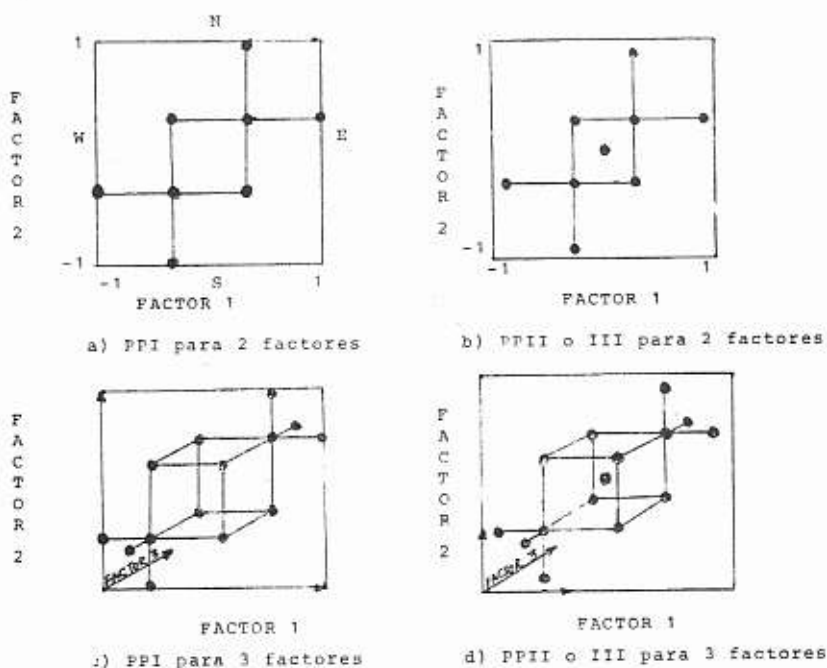


Figura 1
DISTRIBUCION DE LOS TRATAMIENTOS
EN EL ESPACIO DE EXPLORACION

En los casos a y b, el cuadrado central es el factorial completo 2^2 , las prolongaciones los $2(2)$ restantes, y bien al centro, el tratamiento restante. En las figuras c y d, el cubo representa los 2^3 tratamientos del factorial completo, elaborado con el 2o. y 3o. y 2o. y 4o. niveles respectivamente; las prolongaciones los $2(3)$ restantes, con el 1o. y 5o. niveles y en d, el tratamiento central con el 3er. nivel.

Se da a continuación un ejemplo de la determinación de los 8 y 14 tratamientos para una matriz PP I con 2 y 3 tratamientos respectivamente.

Caso 1	Factor	(-1)	(+1)
		Nivel Mínimo	Nivel Máximo
	Nitrógeno	20 Kg/Ha	80 Kg/Ha
	Fósforo	0	60

Matriz	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
N:	-1.0	-0.33	+0.33	+1.0
	----- ----- ----- -----			
	20	40	60	80
P:	-1.0	-0.33	+0.33	+1
	----- ----- ----- -----			
	0	20	40	60

Tratamientos resultantes:

No. orden	Valores codificados	Valores Reales (Kg/Ha)		
		N	P	
1	-0.33 ; -0.33	40	20	} Factorial completo 2^k (con el 2o. y 3er. niveles)
2	-0.33 ; +0.33	40	40	
3	+0.33 ; -0.33	60	20	
4	+0.33 ; +0.33	60	40	
5	-0.33 ; -1.00	40	0	} 2^k prolongaciones (con el 1o. y 4o. niveles)
6	-1.00 ; -0.33	20	20	
7	+1.00 ; +0.33	80	40	
8	+0.33 ; +1.00	60	60	

Caso 2

Tratamientos resultantes bajo la matriz experimental P.P. I para tres factores: N: 20-80 Kg/Ha; P: 0-60 Kg/Ha y K: 0-40 Kg/Ha.

N:	<table style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 0 10px;">Nivel 1</td> <td style="padding: 0 10px;">Nivel 2</td> <td style="padding: 0 10px;">Nivel 3</td> <td style="padding: 0 10px;">Nivel 4</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">-1.0</td> <td style="text-align: center;">-0.33</td> <td style="text-align: center;">+0.33</td> <td style="text-align: center;">+1.0</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;"> </td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">-----</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">20</td> <td style="text-align: center;">40</td> <td style="text-align: center;">60</td> <td style="text-align: center;">80</td> </tr> </table>	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	-1.0	-0.33	+0.33	+1.0					-----				20	40	60	80
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4																		
-1.0	-0.33	+0.33	+1.0																		

20	40	60	80																		
P:	<table style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 0 10px;">-1.0</td> <td style="padding: 0 10px;">-0.33</td> <td style="padding: 0 10px;">+0.33</td> <td style="padding: 0 10px;">+1.0</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;"> </td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">-----</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">20</td> <td style="text-align: center;">40</td> <td style="text-align: center;">60</td> </tr> </table>	-1.0	-0.33	+0.33	+1.0					-----				0	20	40	60				
-1.0	-0.33	+0.33	+1.0																		

0	20	40	60																		
K:	<table style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 0 10px;">-1.0</td> <td style="padding: 0 10px;">-0.33</td> <td style="padding: 0 10px;">+0.33</td> <td style="padding: 0 10px;">+1.0</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;"> </td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">-----</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">13</td> <td style="text-align: center;">27</td> <td style="text-align: center;">40</td> </tr> </table>	-1.0	-0.33	+0.33	+1.0					-----				0	13	27	40				
-1.0	-0.33	+0.33	+1.0																		

0	13	27	40																		

TRATAMIENTOS

No. orden	Valores codificados	Valores reales (Kg/Ha)		
		N	P	K
1	-0.33 ; -0.33 ; -0.33	40	20	13
2	-0.33 ; -0.33 ; +0.33	40	20	27
3	-0.33 ; +0.33 ; -0.33	40	40	13
4	-0.33 ; +0.33 ; +0.33	40	40	27
5	+0.33 ; -0.33 ; -0.33	60	20	13
6	+0.33 ; -0.33 ; +0.33	60	20	27
7	+0.33 ; +0.33 ; -0.33	60	40	13
8	+0.33 ; +0.33 ; +0.33	60	40	27
9	-1.00 ; -0.33 ; -0.33	20	20	13
10	+1.00 ; +0.33 ; +0.33	80	40	27
11	-0.33 ; -1.00 ; -0.33	40	0	13
12	+0.33 ; +1.00 ; +0.33	60	60	27
13	-0.33 ; -0.33 ; -1.00	40	20	0
14	+0.33 ; +0.33 ; +1.00	60	40	40

NOTA: Tómese como patrón los tratamientos codificados y para cualquier factor sustitúyanse en los mismos los valores correspondientes para cada nivel.

Hasta este momento únicamente se ha logrado obtener el diseño de los tratamientos que deberán ser sometidos a prueba en el experimento. Seguidamente debe procederse a la planificación del mismo, es decir a diseñar el experimento, que consistirá en determinar qué diseño se utilizará (generalmente por facilidad de ejecución en bloques al azar), cuantas repeticiones se realizarán, de qué tamaño será la unidad experimental, que variable o variables respuestas serán las que expresan mejor el efecto de los tratamientos, etc. etc. Una vez logrado esto se procede a la ejecución, obteniendo finalmente los resultados esperados, los cuales deben someterse a análisis con el propósito de probar las hipótesis planteadas en el mismo y dar recomendaciones prácticas desde el punto de vista tanto estadístico como económico.

En éste momento donde posiblemente se presente el mayor problema, ocurre algunas veces que no se sabe qué hacer con la información obtenida, sin embargo el objetivo del presente artículo no es agotar el tema sino que dar algunos lineamientos generales para hacer más eficiente el uso de las matrices Plan Puebla, no se detalla el procedimiento de análisis a seguir, no obstante en términos generales es el siguiente*.

1. Hacer el ANDEVA para el diseño experimental empleado considerando todos los tratamientos evaluados. Si no se encuentra significancia se procederá a recomendar la combinación de los niveles mínimos para cada factor. Si se encuentra significancia:
2. Hacer el ANDEVA para el núcleo del espacio de exploración (el factorial completo 2^k) en el cual obtendremos una de las $K + 1$ posibles conclusiones que son:
 - a) No existe respuesta a ningún factor
 - b) Hay respuesta a un factor
 - c) Hay respuesta a dos factores y así sucesivamente hasta llegar al caso de que exista respuesta a los K factores involucrados.

Los factores que resulten no significativos en esta etapa deberán ser sometidos a una prueba para determinar si siguen siendo no

* Para más información remitirse al artículo original del mismo autor, o a la bibliografía citada en éste escrito.

significativos en todo el espacio de exploración, en caso de resultar **negativa** deberá ignorarse la primera conclusión y tomar en cuenta también estos factores en la siguiente fase del análisis.

La prueba consiste en comparar la diferencia de las medias de los tratamientos (d) contra un valor calculado, llamado DMS y declarar **significancia** (prueba negativa) si $d \geq DMS$.

$$DMS = t(\alpha, GLE) \sqrt{CMe \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)}$$

donde:

DMS = diferencia mínima significativa entre las medias comparadas.

$t(\alpha, GLE)$ = Valor tabular de t para un nivel de significancia asumido y los grados de libertad para el error en el ANDEVA completo.

82

CMe = cuadrado medio del error en el ANDEVA completo.

r_1 y r_2 = número de repeticiones que intervienen en el cálculo de cada una de las medias comparadas.

- Las dosis óptimas económicas se calculan para todos aquellos factores que resultaron significativos en el paso anterior; para lo cual se tienen dos vías: la primera ajustando un modelo aproximativo mediante la técnica de regresión múltiple y la segunda mediante un análisis gráfico, que es a la que se le da énfasis en éste escrito y es uno de los fuertes argumentos de la Plan Puebla I, ya que es el de mayor utilidad para el investigador local.

Los pasos a seguir son:

- Dibujar las gráficas de respuesta para cada factor significativo, en un sistema de coordenadas rectangulares, tomando como base los promedios de rendimiento para cada nivel del mismo.
- Se calcula el ingreso neto, (IN) para cada una de las curvas así obtenidas, de acuerdo a la siguiente relación:

$$CF + IN = y - CV$$

en donde: CF = costos fijos (todos los gastos de cultivo menos los factores en evaluación)

IN = Ingreso neto

Y = precio unitario del producto

Y = rendimiento obtenido

C.V. = costos variables y $C.V. = \sum_{i=1}^k f_i F_i$

K = número de factores

f_i = costo real unitario del factor i

F_i = cantidad total utilizada del factor i

Por ser los costos fijos una constante, para facilidad de cálculo se toma $IN = yY - C.V.$

- c) En la curva de mayor IN se estima la DOECI, trasladando sobre ella la pendiente de la relación de precios unitarios de factor/producto, hasta encontrar el punto en que son tangentes que al proyectarlo sobre el eje del factor en cuestión (X) y esa será la DOECI.
- d) Los pasos b y c se repiten en cada una de las gráficas del inciso a.

El tratamiento óptimo a recomendar es el que resulta de la unión de las DOECI encontradas para cada factor significativo y los niveles mínimos para los no significativos.

Para lo que constituye lo más importante, la determinación de la DOECL para los factores significativos se sigue el siguiente orden:

- a) Calcular el incremento de rendimiento, ΔY , dado por la diferencia entre el rendimiento promedio de cada tratamiento y el rendimiento promedio del testigo.

- b) Calcular el incremento de ingreso neto, (ΔIN) según la expresión: $\Delta IN = y\Delta Y - CV$
- c) Obtener la tasa de retorno de capital variable, (TRCV), como resultado de la razón entre ΔIN y CV
- d) Finalmente las DOECL serán aquellas que correspondan al tratamiento que dé mayor TRCV.

RECOMENDACIONES SOBRE SU USO:

La matriz PLAN PUEBLA I es de especial utilidad cuando los resultados se someterán únicamente al análisis gráfico, y cuando se necesite o desee evaluar el nivel o de un factor. (codificado).

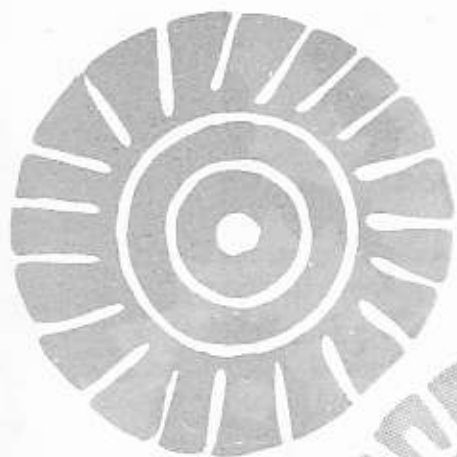
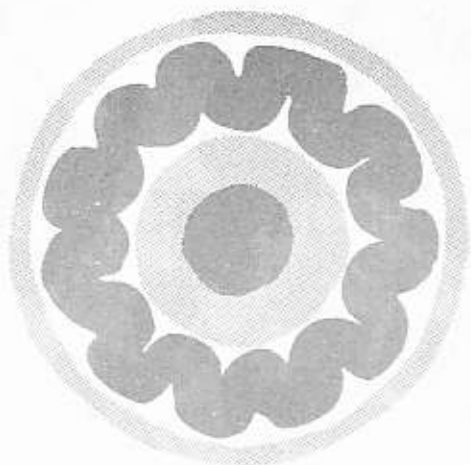
La PLAN PUEBLA II cuando además del análisis gráfico se tenga interés en el matemático y finalmente:

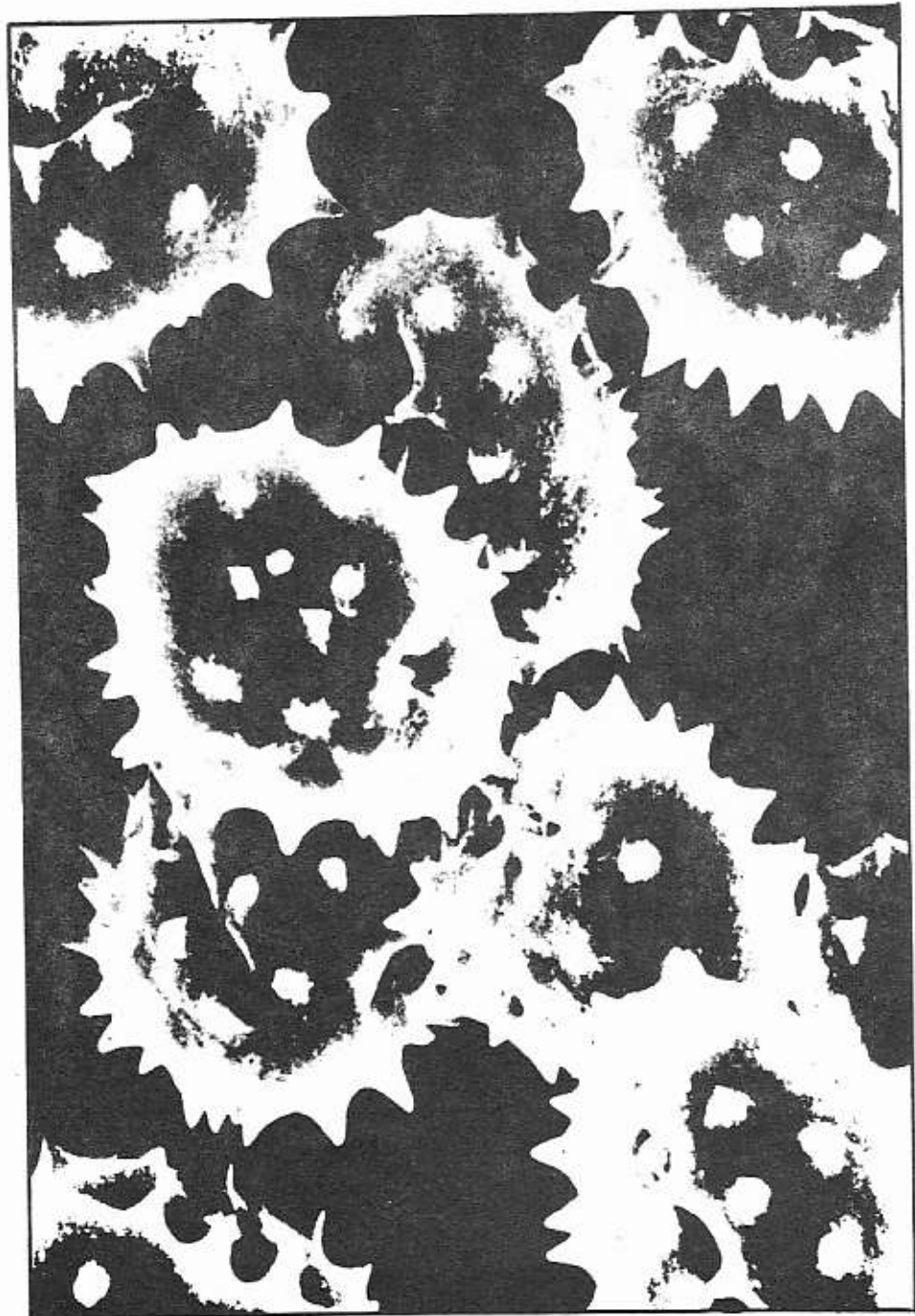
La PLAN PUEBLA III cuando el análisis sea matemático ya que el gráfico resulta difícil.

No deberán usarse éstas matrices cuando se tenga especial interés en estimar con precisión los coeficientes de regresión de algún modelo aproximativo dado y no pueden emplearse cuando se considere algún factor cualitativo.

BIBLIOGRAFIA

1. Estrada L., L.A. Metodología de investigación utilizada para la obtención y análisis de resultados sobre prácticas mejoradas para la producción de cultivos. Guatemala, ICTA, 1978.
2. Franco D., J. E. La matriz experimental Plan Puebla. Seminario del C.E.C. Chapingo, México, Colegio de Post-Graduados, 1977.
3. Hernández S., R.; Turrent F., A. y Méndez, I. El modelo aproximativo y la matriz experimental como factores que influyen sobre el sesgo al aproximar superficies de respuesta a dos factores. 2a. ed. Chapingo, México, Colegio de Post-Graduados, 1978.
4. Ortiz D., H. R. Aplicación práctica del enfoque de agrosistemas para estratificar diferentes condiciones de producción de cultivos con el objeto de diseñar recomendaciones para la aplicación de fertilizantes químicos y estiércoles al maíz de temporal, en Totonicapán, Guatemala. Tesis Mag. Sci. Chapingo, México, Colegio de Post-Graduados, 1977.
5. Turrent F., A. El método gráfico estadístico para la interpretación económica de experimentos conducidos con la matriz Plan Puebla I. Chapingo, México, Colegio de Post-Graduados, 1978.
6. _____, y Laird, R. J. La matriz experimental Plan Puebla para ensayos sobre prácticas de producción de cultivos. 3a. ed. Chapingo, México, Colegio de Post-Graduados, 1978.





TRANSDUCCION Y DISTRIBUCION DE ENERGIA EN LAS MEMBRANAS FOTOSINTETICAS

*Diego González - Halphen
Carlos Gómez - Lojero¹*

INTRODUCCION

La fotosíntesis es un fenómeno biológico fundamental de transformación de energía electromagnética (luz) en energía química.

Todos los organismos fotosintéticos existentes, independientemente de su lugar en la escala evolutiva, comparten un mecanismo común en la transformación de la luz: la energía luminosa es convertida y almacenada en la forma de un gradiente electroquímico de protones a través de la membrana fotosintética. La energía de este gradiente sirve para sintetizar ATP, a partir de ADP y fosfato, cuando los protones que retornan a través del complejo membranal ATP sintetasa cierran el circuito. Esta última transformación energética es común a todos los seres vivos, de hecho, los complejos H^+ - ATP sintetasa que son capaces de atrapar la energía electroquímica de la membrana y utilizarla para la síntesis de ATP, han mantenido estructuras moleculares muy similares a lo largo de todo el período evolutivo.

Podemos distinguir dos tipos de fotosíntesis: fotosíntesis óxido-reductora en la que participa la clorofila y la bacterioclorofila y la foto-

¹ Miembros del Departamento de Bioquímica del Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional de México.

síntesis que no involucra reacciones de óxido-reducción, donde participa fundamentalmente la bacterio-rodopsina.

La característica más importante de la fotosíntesis de óxido-reducción es la producción de ATP y de poder reductor. En este fenómeno, la energía luminosa promueve la generación de un oxidante y de un reductor.

El electrón excitado por la luz es transferido a un aceptor y después a través de una cadena transportadora de óxido-reductores, desde niveles de mayor a menor energía, en analogía a lo que ocurre en el fenómeno respiratorio.

Por otra parte, la fotosíntesis que no involucra reacciones de óxido-reducción, es decir, que se lleva a cabo en ausencia de un transporte de electrones, es característica de un solo género bacteriano, el *Halobacterium*, que sintetiza ATP por un mecanismo quimiosmótico simple donde un solo complejo membranar, la bacteriorrodopsina, transforma la energía luminosa en gradiente electroquímico de protones y éste es transformado en ATP por el complejo ATP – sintetasa.

A pesar de las generalidades antes mencionadas, podemos establecer diferencias importantes en la estructura y función de los sistemas transductores de energía luminosa en energía química, encontrando una interesante correlación entre el proceso evolutivo y la aparición de estructuras más organizadas y complejas encargadas de captar, transformar y utilizar la energía radiante.

EL FENOMENO

FOTOSINTESIS QUE NO INVOLUCRA REACCIONES DE OXIDORREDUCCION

TIPICA DE LA BACTERIA PURPURA
Halobacterium

DONADORES DE ELECTRONES

FOTOSINTESIS OXIGENICA
 $CO_2 + H_2O \xrightarrow{Luz} CH_2O + H_2 + O_2$

LA LLEVAN A CABO PLANTAS SUPERIORES, ALGAS Y CIANOBACTERIAS

AGUA

FOTOSINTETICO

OXIDORREDUCTORA: $CO_2 + 2H_2A \xrightarrow{Luz} (CH_2O) + H_2O + 2A$

FOTOSINTESIS

$CO_2 + H_2S \xrightarrow{Luz} (CH_2O) + H_2O + 2S$

ALGUNAS CIANO-BACTERIAS
Cyanothrix
Spirulina

BACTERIAS VERDE AZUFROSAS
Chlorobium

BACTERIAS PURPURAS AZUFROSAS
Crocococcus

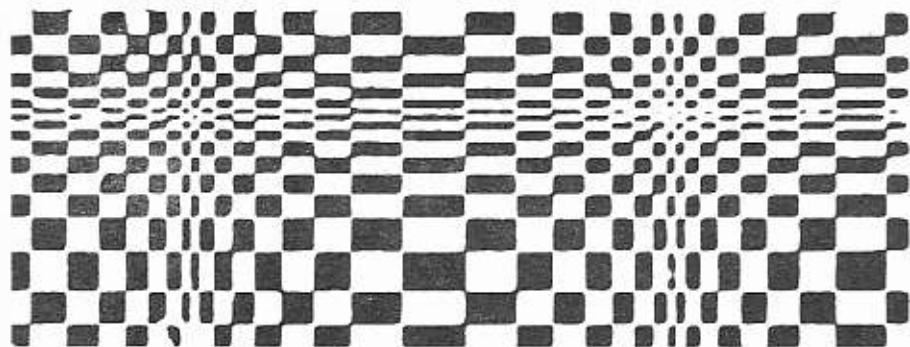
SULFUROS
TIOSULFATO
HIDROGENO

ANOXIGENICA

$2C_3H_8 + CO_2 \xrightarrow{Luz} (CH_2O) + H_2 + H_2$

BACTERIAS PURPURAS NO AZUFROSAS
Rhodospirillum rubrum

COMPUESTOS ORGANICOS SIMPLES: SUCCINATO Y MALATO-HIDROGENO.



FOTOSINTESIS DE HALOBACTERIAS

Podemos considerar el mecanismo fotosintético más sencillo el que presentan las bacterias púrpuras carentes de clorofila que habitan en medios de alta salinidad.

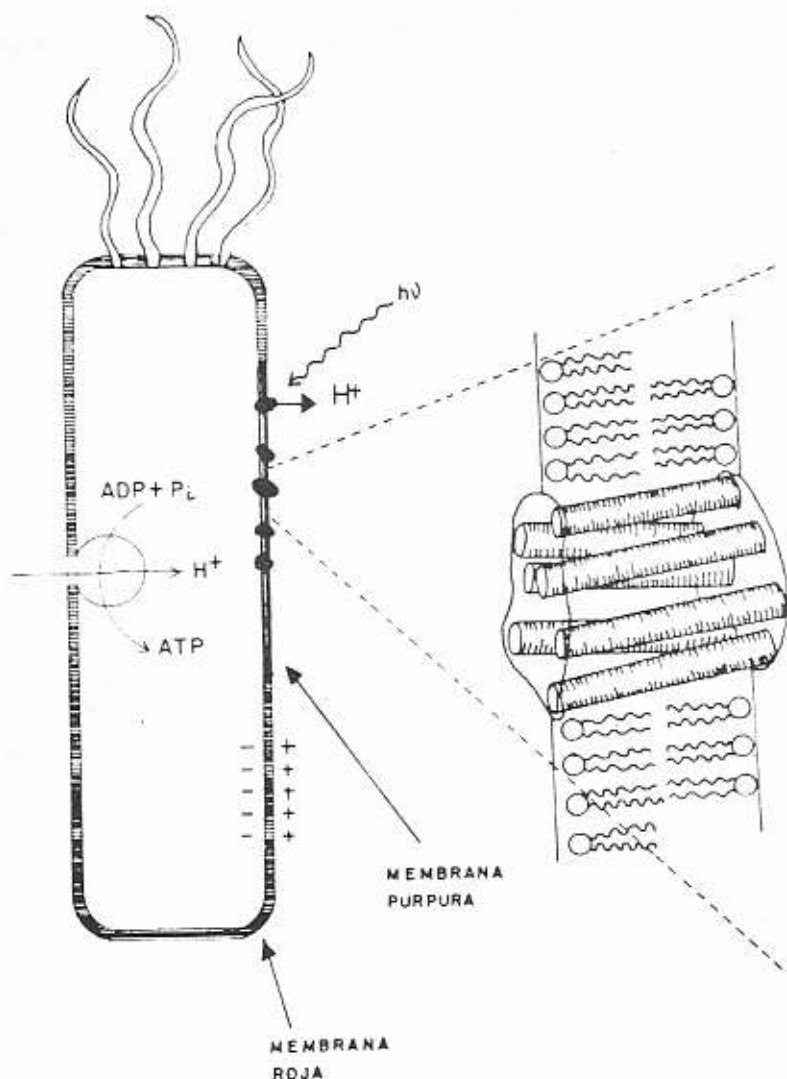
La membrana púrpura, que es continuidad de la membrana plasmática de estas bacterias halofílicas, se desarrolla en condiciones de baja tensión de oxígeno. Contiene un solo complejo proteico formado por un trímero de bacteriorrodopsina al cual debe su color.

La bacteriorrodopsina, el completo cromóforo — proteína, está formado por un polipéptido de 25,000 de peso molecular y el cromóforo 11 *cis*-retinal unido covalentemente, este complejo opera como una bomba de protones al ser excitado por la luz. La dirección de los protones es de adentro hacia afuera de la célula dando lugar a la formación de un gradiente electroquímico de protones. Este gradiente resultante puede ser utilizado para la síntesis de ATP por la ATP-sintetasa localizada en la membrana plasmática, o bien para fenómenos de transporte.

La distribución asimétrica de protones puede conceptualizarse como energía deslocalizada y como una función distributiva primaria, es decir el vínculo entre la trasducción de energía luminosa en gradiente electroquímico y la trasducción de este gradiente en energía química (ATP).

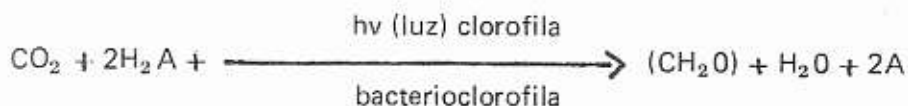
La fortuna que representa el poder separar y aislar la membrana púrpura del resto de la membrana plasmática, acarreado consigo

su único complejo proteico, ha permitido hacer estudios de la estructura del complejo de bacterio-rodopsina en su ambiente natural por técnicas como la difracción de electrones, por lo que constituye la proteína intrínseca de membrana mejor conocida a nivel estructural. Este tipo de técnicas no han podido ser aplicadas todavía a otros complejos membranales.



FOTOSÍNTESIS OXIDO-REDUCTORA

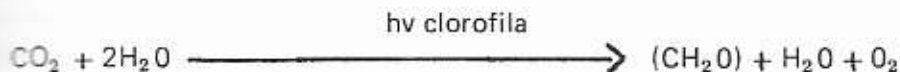
Los trabajos pioneros de Van Niel dieron lugar a un concepto unitario de la fotosíntesis donde este fenómeno puede expresarse en la fórmula:



donde H_2A aparece genéricamente como un sustrato oxidable (donador de electrones). En esta reacción luminosa, mediada por clorofila o bacterioclorofila, la oxidación de H_2A en A se asocia a la reducción de CO_2 a carbohidrato (CH_2O).

Dentro de esta generalización podemos distinguir dos tipos de fotosíntesis: la fotosíntesis oxigénica propia de cianobacterias, algas y plantas superiores y por otra parte la fotosíntesis anoxigénica, propia de bacterias y facultativamente en algunas cianobacterias.

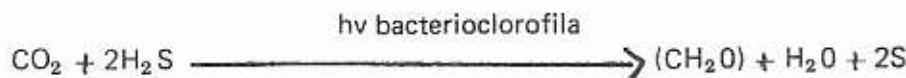
En el primer caso, la ecuación general para el fenómeno fotosintético asociado a la producción de oxígeno puede expresarse como:



Donde el oxígeno proviene de la fotólisis del agua.

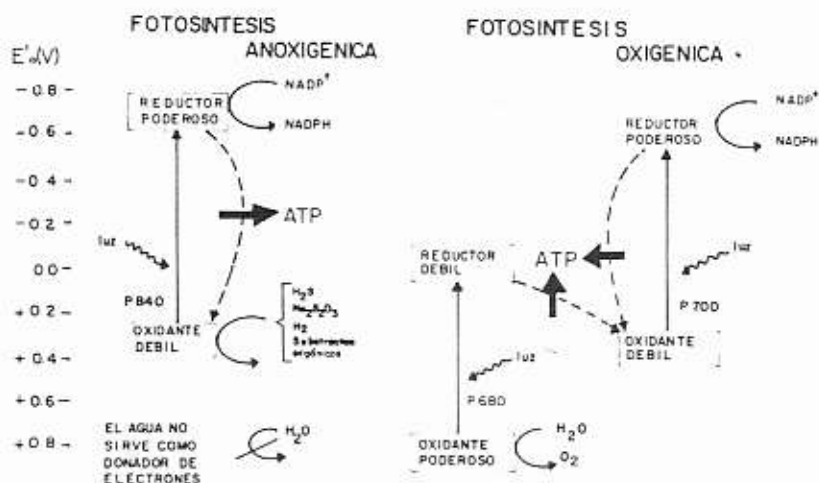
En el segundo caso, el de la fotosíntesis anoxigénica, en el cual las especies reductoras involucran una serie de sustancias que incluyen H_2 , H_2S , tiosulfato y una gran variedad de compuestos orgánicos sim-

ples como alcoholes y ácidos grasos, la ecuación general puede ser substituida en cada caso especial. Así, para el caso en el cual los sulfuros actúan como donadores de electrones, la ecuación quedará como sigue:



La vida de estos organismos queda supeditada a la existencia de los donadores de electrones mencionados, los cuales pudieron ser muy abundantes en una biósfera reductora en épocas remotas, pero que en nuestro medio ambiente actual están restringidos a ciertos habitats especiales.

Desde una perspectiva evolutiva, el eventual agotamiento de estas substancias sin la regeneración de las mismas por algún otro ser vivo, traería como consecuencia la restricción de la sobrevivencia de estos organismos fotosintéticos. Es notable entonces observar bajo este punto de vista, la aparición de la fotosíntesis oxigénica que conlleva una transformación en el tipo de vida sobre el planeta.



La molécula más abundante en la tierra que contiene hidrógeno es el agua, ya que es el compuesto químico de menor energía donde participa el hidrógeno. La posibilidad de obtener poder reductor a partir de este sustrato inagotable permite mantener el ciclo vital sobre la tierra: la formación de compuestos de alta energía y oxígeno a partir de las moléculas simples como el agua y el CO_2 , utilizando la energía radiante y la eventual degradación y transformación de los compuestos de alta energía por los organismos que respiran y consumen oxígeno, con la regeneración del agua y el CO_2 .

Este paso evolutivo no solo representó una ventaja para los organismos fotosintéticos, sino también la perspectiva para los heterótrofos de oxidar combustibles hasta moléculas con mínimo contenido de energía como son el CO_2 y el H_2O una vez que se generó el O_2 atmosférico.

Arrancarle electrones al agua para utilizarla como un donador requiere de la generación de un oxidante poderoso. Esto limita por restricciones termodinámicas (energía contenida en un cuanto de luz) la generación del poder reductor hasta sólo un reductor débil, comparable a los sustratos que utilizan las bacterias fotosintéticas. El relevo de este reductor débil por otro fotosistema, lleva a la formación del reductor poderoso requerido para la fijación de bióxido de carbono. Dicho de otra manera, un evento mediado por dos actos fotoquímicos permite llevar a un electrón con potencial redox de baja energía (positivo) hasta un potencial redox de alta energía (negativo). Esto es precisamente lo que sucede en la fotosíntesis oxigénica, donde el donador de electrones es el agua, sustancia de muy bajo poder reductor. Un solo acto fotoquímico es insuficiente para generar un reductor poderoso, pero la presencia de un segundo acto luminoso concatenado al primero, permite llevar al electrón hasta un estado de mayor energía.

La fijación de CO_2 y/o de compuestos inorgánicos de nitrógeno, requiere de dos productos básicos del fenómeno fotosintético luminoso: energía química en la forma de ATP y poder reductor en la forma de NADPH. (NADH en bacterias fotosintéticas).

ORGANIZACION Y SECUENCIA DE EVENTOS EN EL FENOMENO FOTOSINTETICO

Tratando de encontrar una relación entre estructura y función, podemos distinguir dos componentes principales entre las especies moleculares involucradas en el fenómeno fotosintético.

Por una parte los complejos membranales, que podemos definir como estructuras proteicas intrínsecas de membrana formadas por unidades polipeptídicas con superficies complementarias y que mantienen interacciones más fuertes entre sí que con los lípidos circundantes, por lo que constituyen unidades funcionales cuya orientación en la bicapa lipídica les permite llevar a cabo procesos vectoriales.

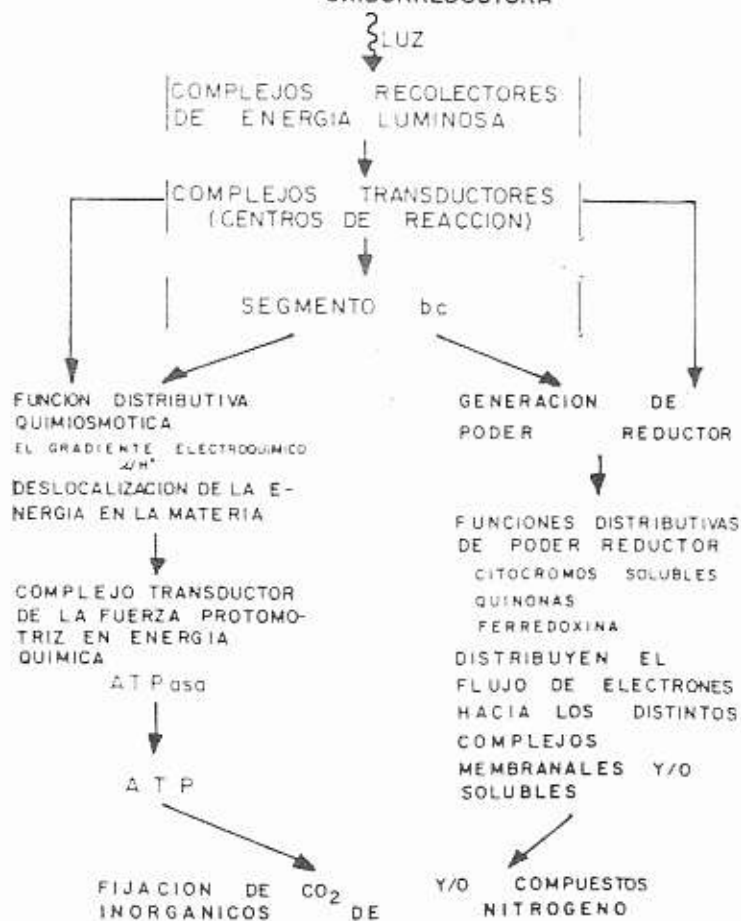
Podemos considerar la existencia de 4 complejos membranales esenciales:

- 1) Complejos antena. Son estructuras cosechadoras de energía luminosa que recolectan y transfieren la luz hasta los centros procesadores.
- 2) Complejos fotoquímicos: los centros de reacción. Estos complejos llevan a cabo la transformación de la luz en energía de oxidorreducción. (Transductores de energía luminosa en poder reductor).
- 3) Segmento b c. Complejo organizado de varios componentes donde los electrones son transportados a través de ellos dando lugar a la translocación de protones y la formación de un gradiente. (Transductor de poder reductor en gradiente electroquímico).
- 4) El complejo ATP-sintetasa donde el gradiente electroquímico es aprovechado y transformado en la síntesis de ATP, la molécula distribuidora de energía más importante en todos los seres vivos.

Por otra parte, existen componentes más sencillos pero no menos importantes, encargados de distribuir la energía entre los mismos complejos y otros sistemas enzimáticos solubles. A estos componentes los denominamos sistemas distribuidores de energía.

- 1) Distribuidores, del poder reductor.

TEMPORALIDAD DE LOS EVENTOS DE LA FOTOSINTESIS OXIDORREDUCTORA



- Quinonas. Substancias liposolubles móviles.
- Ferredoxinas, citocromos tipo c solubles y flavodoxinas: proteínas extrínsecas de membrana.

2) Gradiente electroquímico de protones.

Hemos incluido dentro de las funciones distributivas al gradiente electroquímico como la función encargada de deslocalizar y conservar la energía, para recordar el papel fundamental estructural de la membrana en el fenómeno de la conversión de energía.

1) Complejos transductores de energía intrínsecos de membrana

1.1) Complejos recolectores de energía luminosa

En todos los organismos fotosintéticos, la naturaleza ha diseñado mecanismos y estructuras adecuados para recolectar y transferir útilmente la energía luminosa.

Todos los complejos encargados de cosechar la luz comparten características en común: están constituidos por proteínas asociadas a cromóforos, que son estructuras químicas que absorben la luz con gran eficiencia cuántica y que se encuentran embebidas en un ambiente proteico que les provee una orientación adecuada.

Así, los cromóforos o pigmentos recolectores de luz, están orientados dentro de estas proteínas de tal manera que la luz es captada y transferida eficientemente hasta los centros procesadores de energía luminosa.

Dentro de los cromóforos podemos distinguir aquellos pigmentos esenciales (clorofila a y bacterioclorofila a) sin los cuales no se llevaría a cabo el fenómeno fotosintético y los pigmentos accesorios: carotenos, ficobilinas (ficoeritrina, ficocianina, y aloficocianina), clorofila b, y las bacterioclorofilas b y c.

Los pigmentos accesorios recolectan la luz y la transfieren a los pigmentos esenciales; el papel que juegan es el de permitir aprovechar una región mayor del espectro luminoso que incide sobre la superficie de nuestro planeta.

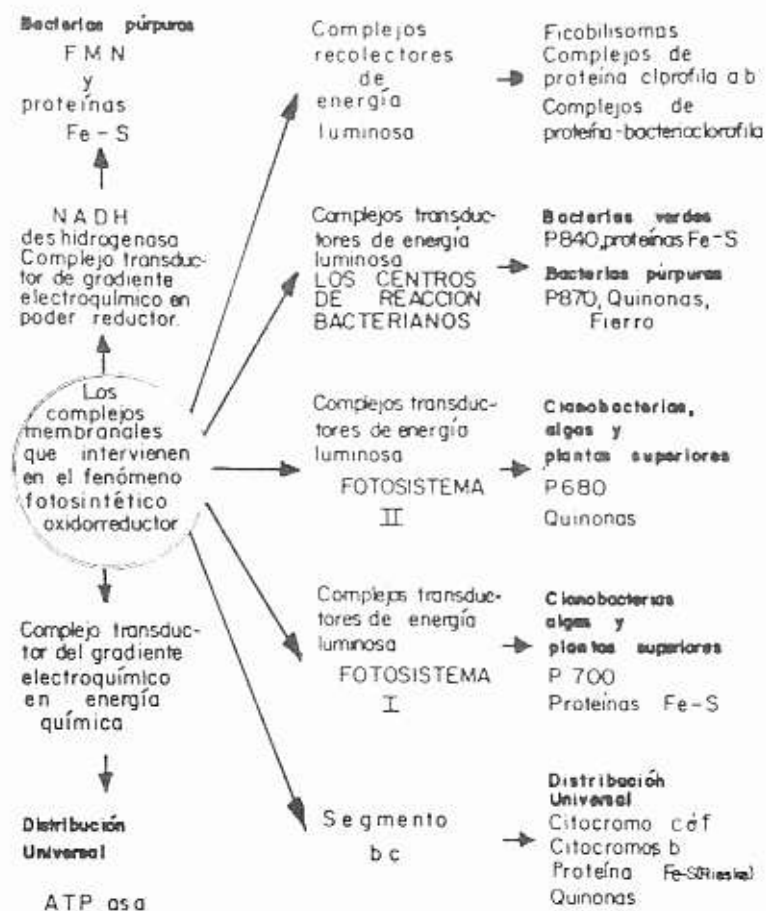
La radiación solar que llega con mayor intensidad sobre la tierra es el llamado espectro visible y el cercano infrarrojo. Esto es debido a que la capa de ozono impide el paso de la luz ultravioleta y por otro lado, una gran parte de la radiación infrarroja es absorbida por el agua y por moléculas presentes en el aire. De esta manera, la radiación accesible para la fotosíntesis se encuentra limitada al rango de 400 a 1200 nanómetros.

No resulta sorprendente entonces, que en la evolución de los organismos fotosintéticos se hayan desarrollado pigmentos diversos con los cuales se absorbe todo este rango del espectro sin competir entre ellos.

Algunos de estos pigmentos cumplen además una función protectora, este es el caso de los carotenos, que evitan la reacción entre

clorofila excitada y oxígeno, lo cual dañaría irreversiblemente al cromóforo esencial.

El sistema cosechador de luz mejor caracterizado es el de la bacteria verde *Chlorobium limicola* debido a que es una proteína hidro-



soluble que ha podido ser cristalizada y estudiada por difracción de rayos X.

Su unidad está formada por 3 polipéptidos, cada uno con siete bacterioclorofilas c. Estos complejos están adosados a la membrana fotosintética constituyendo por lo tanto, proteínas extrínsecas de membrana. Sin embargo, cuantitativamente representan solo una pequeña

fracción del total de complejos cosechadores de luz de esta bacteria.

Las ficobilinas presentes en cianobacterias y algas rojas están constituidas por proteínas que contienen como cromóforo a las bilinas, pigmentos parecidos a la bilis humana, es decir, moléculas tetrapirrólicas lineales. Existen pequeñas diferencias químicas entre los pigmentos, sin embargo parece ser más importante el ambiente que cada proteína le proporciona al cromóforo y que define sus propiedades ópticas.

Las cianobacterias tienen como pigmento más abundante a la ficocianina y presente en menor proporción a la aloficocianina, ambos organizados en un complejo macromolecular de cerca de un millón de peso molecular, adosado a la membrana fotosintética llamado ficobilisoma.

Los ficobilisomas de las algas rojas son agregados proteicos de mayor tamaño (3 millones) constituidos principalmente por ficoeritrina y en menor proporción por ficocianina y aloficocianina.

Así, el color característico verde azul de las cianobacterias se debe a la presencia mayoritaria de ficocianina y clorofila; el de las algas rojas a la presencia mayoritaria de ficoeritrina.

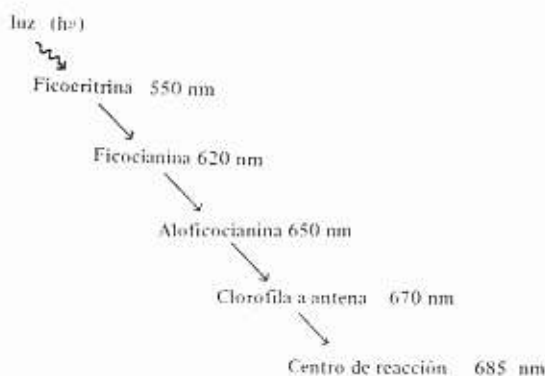
A partir de la aparición de la clorofila b en las algas verdes, el pigmento cosechador habitual del reino vegetal lo constituye la proteína recolectora que contiene clorofila a y b. Esta es ya una proteína intrínseca de membrana que forma complejos asociados a los centros de reacción.

En el fenómeno de la transformación de energía luminosa se requiere entonces, por una parte, una buena superficie de pigmento encargado de absorber eficientemente la luz, y por otra parte, se requieren sistemas enzimáticos que estabilicen los productos fotoquímicos formados.

La naturaleza ha diseñado un mecanismo en el cual una gran cantidad de moléculas de pigmento antena (alrededor de 400) recolectan la luz y la transfieren hasta un solo centro enzimático donde la energía luminosa recibida es transformada en energía de óxido-reducción (generación de poder reductor).

Estos sitios procesadores de luz se conocen como centros de reacción.

Transferencia de energía luminosa en algas rojas



CARACTERÍSTICAS DE ABSORCIÓN DE LOS PIGMENTOS

PIGMENTO	A max (nm)	ZONA DEL ESPECTRO
bacterioclorofila	390	violeta
bacterioclorofila b	800	infrarrojo
clorofila a	400	violeta
	1000	infrarrojo
clorofila a	430	azul
clorofila b	670	rojo
clorofila b	440	azul
	660	rojo
ficoeritrina	550	verde
ficocianina	620	rojo
aloficocianina	650	rojo
carotenos y carotenoides	400 – 550	violeta al verde

1.2) Los centros de reacción

La luz captada y transferida por los complejos antena es capaz de inducir un cambio químico en los centros procesadores de energía conocidos como centros de reacción.

Estos centros también están formados por un pigmento fotosintético asociado a proteína: generalmente consiste en un par de clorofilas a en el caso de cianobacterias, algas y plantas superiores, o en un par de bacterioclorofilas en el caso de las bacterias.

Este pigmento recibe su nombre con base en la longitud de onda en la cual se excita, así tenemos P680, P870, P700 etc, donde la letra P se refiere a pigmento.

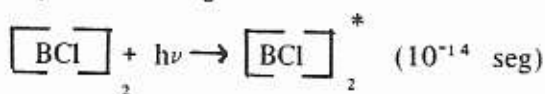
La luz provoca la oxidación de este cromóforo, es decir, provoca el paso de un electrón desde su estado basal hasta un estado excitado de mayor energía y lo transfiere a un aceptor de electrones que forman parte del mismo complejo. Generalmente se trata de quinonas como en el caso del fotosistema II y de los centros de reacción bacterianos o de una serie de proteínas hierro-azufre de bajo potencial como en el caso del fotosistema I y del centro de reacción de bacterias verde azufrosas.

Existen ciertas formas de energía que no pueden ser almacenadas: una de ellas es la energía radiante, por lo que para poder utilizarla hay que transformarla en otros tipos de energía más estables. Desde este punto de vista podemos entender la "intención" de la naturaleza al establecer reacciones parciales que permiten llegar a la mayor eficiencia de transformación y almacenamiento de la energía.

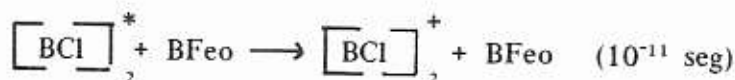
La estrategia seguida parece ser la estabilización secuencial hacia formas de energía de mayor vida media.

Ejemplificaremos esto con lo que conocemos de los eventos fotosintéticos iniciales del centro de reacción bacteriano:

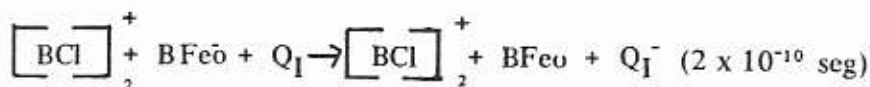
1. Absorción de la luz por el dímero de bacterioclorofila (BCl del centro de reacción. Un electrón de este dímero es excitado, pasando a niveles mayores de energía.



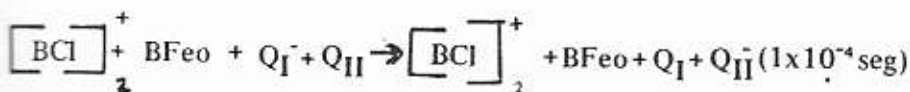
2. El electrón es transferido hasta su aceptor bacteriofeofitina, (BFeo):



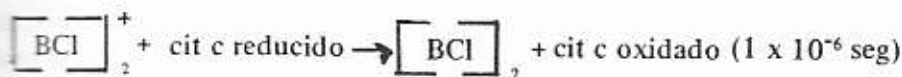
3. La bacteriofeofitina transfiere su electrón a un siguiente aceptor (quinona Q_I) más estable:



4. La quinona transfiere el electrón hasta una segunda quinona Q_{II} , que posteriormente distribuye este poder reductor generado.



5. Por otra parte, el dímero de bacterioclorofila, recupera el electrón donado por el citocromo c soluble. De esta manera el centro de reacción está listo para un nuevo evento fotoquímico:



La secuencia de eventos señalada, da origen a un flujo de electrones a través de diferentes intermediarios fotosintéticos, es decir, se genera poder reductor.

Todos los eventos luminosos y de óxido-reducción se llevan a cabo dentro de estos centros de reacción: complejos proteicos intrínsecos de membrana de varias subunidades.

La versatilidad enorme de las estructuras proteicas permite el reconocimiento enzimático entre sistemas diferentes. Así, el centro de reacción bacteriano interactúa con el citocromo c, proteína extrínseca de membrana distribuidora de energía, de la cual recupera su electrón.

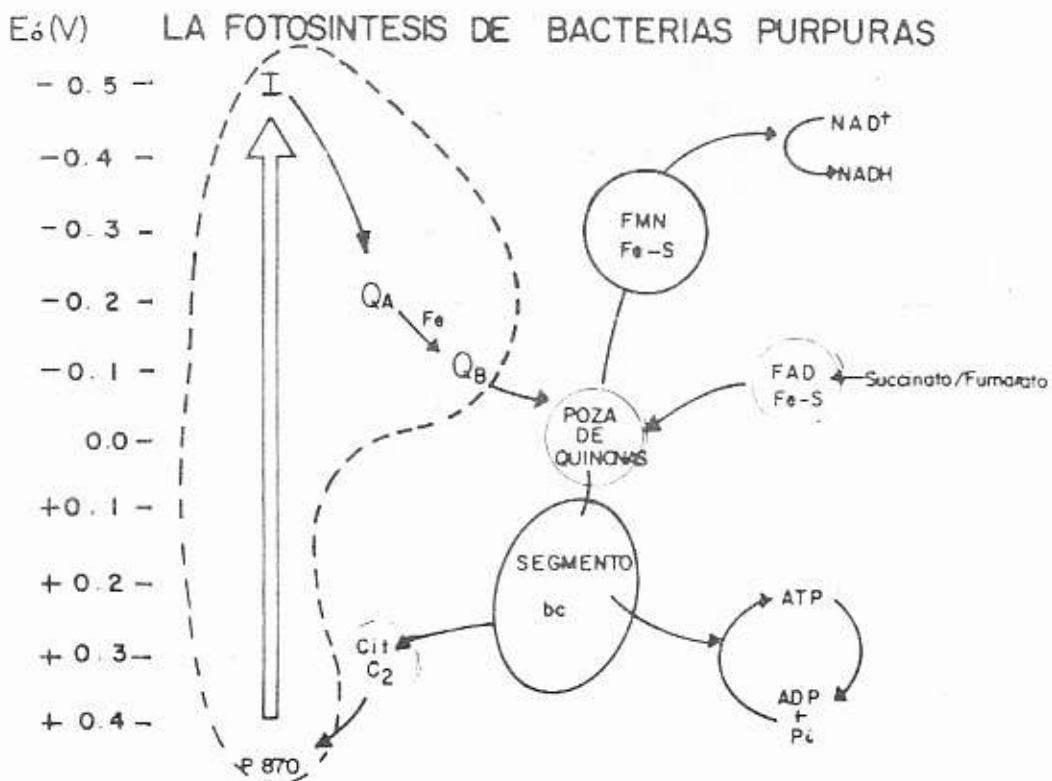
Por otra parte, el complejo interactúa con las quinonas, sustancias liposolubles libres que cumplen otra función distributiva de energía, al recibir los electrones generados en el evento fotoquímico y repartirlos hacia otros complejos membranales (segmento b-c).

1.3) El complejo b-c

Podemos considerar al complejo b-c como el transductor del poder reductor en gradiente electroquímico. A través de este complejo, que esencialmente consiste en una asociación de 2 citocromos b, proteínas con quinonas, citocromo c de membrana y una sulfoferroproteína de alto potencial, los electrones provenientes de los eventos fotoquímicos son transferidos a través de esta serie de oxidorreductores. El paso de los electrones a través de este complejo, el cual mantiene una estructura y una orientación definida dentro de la membrana, da lugar a la transferencia de protones del exterior al interior de esta membrana fotosintética.

Como se sabe en muchos componentes biológicos intervienen los protones como parte esencial de las reacciones de oxidorreducción. Cuando estas reacciones se llevan a cabo en componentes solubles, la transferencia de electrones y de protones no tiene dirección ya que ocurre en todos sentidos en el seno del líquido. Sin embargo, cuando estas reacciones se llevan a cabo en una estructura organizada, como la membrana, el flujo de electrones tiene direccionalidad y da lugar a una entrada neta de protones. Esta diferencia en la concentración de proto-

nes en el interior y en el exterior de la membrana, trae como consecuencia una diferencia medible tanto de pH (por la concentración de hidrogeniones) como de cargas (más iones positivos en el interior). La suma de estos dos componentes da lugar a una diferencia de potencial entre uno y otro lado de la membrana conocido como el gradiente electroquímico, fuerza protomotriz o simplemente $\Delta\mu H^+$.



$$\Delta\mu\text{H}^+ = \Delta\psi - Z\Delta\text{pH}$$

donde:

$$Z = \frac{2.3 RT}{nF} = 60 \text{ mV a temperatura ambiente}$$

$\Delta\mu\text{H}^+$ = Potencial electroquímico de protones

$\Delta\psi$ = Potencial de membrana

ΔpH = pH interno - pH externo

R = Constante de los gases

T = Temperatura

F = Número de Faraday

n = Número de electrones transferidos

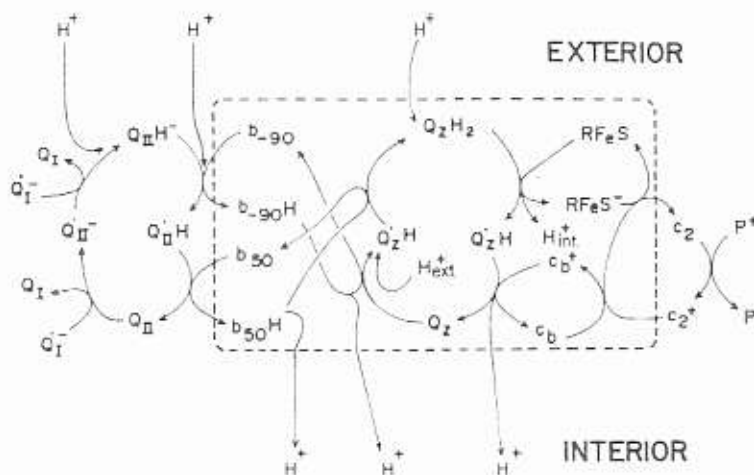
Los últimos hallazgos experimentales obtenidos con este segmento, tanto desde el punto de vista fisicoquímico, es decir, el estudio de las cinéticas de óxido-reducción y de transporte de electrones; como desde el punto de vista bioquímico, el aislamiento y caracterización de los componentes, han estructurado la idea de que este complejo aparece como un componente universal en el transporte vectorial de electrones, que da origen a la formación de energía electroquímica.

De esta manera, el complejo b-c aparece como intermediario en el flujo de electrones de la fosforilación oxidativa mitocondrial, en el flujo cíclico de electrones que se establece en la fotosíntesis bacteriana, como la cadena que une al flujo de poder reductor entre los dos fotosistemas de algas, cianobacterias y plantas superiores así como en la foto-fosforilación cíclica que se establece con la participación única del fotosistema I.

Hemos hablado del complejo b c como una generalidad, tratando de enfatizar su carácter universal, sin embargo, hay que señalar los distintos componentes que integran al segmento en las diferentes es-

pecies. Así tenemos que los nombres correspondientes del complejo son: en plantas superiores la plastoquinol – plastocianina óxido-reductasa; en cianobacterias, la plastoquinol - citocromo C_{553} óxidoreductasa y en bacterias, la ubiquinol - citocromo c_2 óxido - reductasa.

Los resultados obtenidos en el estudio de este último complejo se resumen en el siguiente modelo propuesto por A.R. Crofts.



Este esquema se ha incluido con la finalidad de llamar la atención acerca de los modelos actuales que exhiben el flujo de electrones y el movimiento vectorial de las proteínas a través de la membrana. Este esquema fue tomado del trabajo del Dr. A. R. Crofts. Es el primer modelo donde se propone un transporte de electrones en paralelo. Las quinonas se muestran en sus dos estados de óxido-reducción, con un electrón (semiquinona) y con dos (hidroquinona).

1.4) El complejo H^+ - ATP sintetasa

Los complejos H^+ - ATP sintetasa son capaces de atrapar la energía electroquímica de la membrana y utilizarla en la síntesis de ATP. Podemos distinguir tres componentes estructurales fundamentales: una porción membranal encargada del transporte de protones, un componente extrínseco de membrana donde reside el sitio activo el cual lleva a cabo la síntesis de ATP y un tercer elemento proteico que une al canal de protones y al componente catalítico.

Exceptuando algunas subunidades de este complejo, las H^+ - ATPasas han mantenido estructuras muy similares a lo largo de todo el período evolutivo, y a pesar de su arquitectura compleja de múltiples subunidades, ha persistido una estructura diseñada para el aprovechamiento y transformación del gradiente electroquímico de energía química que evita además las pérdidas inútiles de energía.

Existen dos formas básicas de entender la unión de dos sustancias químicas con la misma carga, de manera que puedan reaccionar entre sí. La primera es suprimiendo la carga de uno de los componentes para abatir la repulsión. La segunda es proporcionar tensión suficiente a la estructura que contiene a estos elementos antagónicos, de manera que las fuerzas de atracción superen a las de repulsión.

La reacción de síntesis de ATP involucra precisamente la participación de dos especies cargadas: tanto el fosfato como el ADP se presentan en forma aniónica a pH neutro,



La reacción implica pues, el acercamiento del ácido fosfórico al ADP y la salida de agua, intercambio químico que requiere de energía para poder llevarse a cabo.

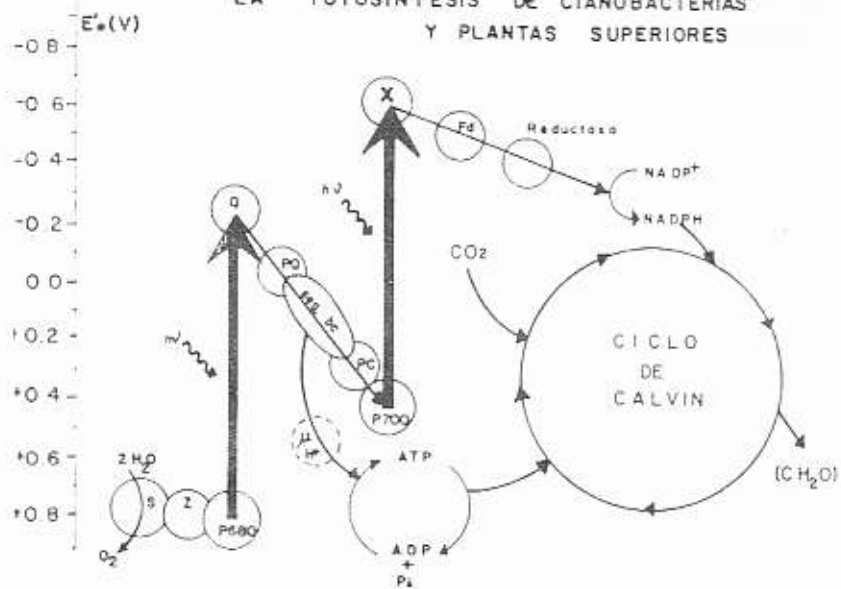
Dos hipótesis fundamentales tratan de explicar el mecanismo básico con el que realiza esta reacción el complejo ATP-sintetasa.

La hipótesis directa propone que los protones llegan directamente al sitio activo de la enzima y hacen desaparecer la carga negativa de uno de los componentes.

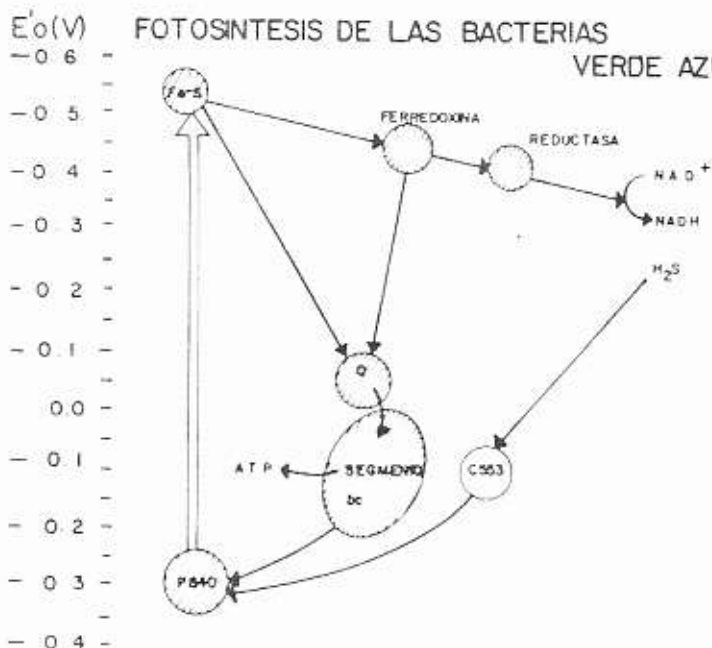
La hipótesis indirecta o conformacional propone que el paso de los protones por la enzima, en un sitio distante al centro activo, produce un cambio conformacional que permite juntar al fosfato y al ADP. Esta hipótesis fue propuesta en analogía a lo que sucede en el complejo actina-miosina.

La elucidación del mecanismo de síntesis de ATP y de los múltiples cambios coordinados que lleva a cabo esta maravillosa enzima, sigue siendo uno de los retos más interesantes de la bioquímica actual.

LA FOTOSINTESIS DE CIANOBACTERIAS
Y PLANTAS SUPERIORES



FOTOSINTESIS DE LAS BACTERIAS
VERDE AZUFROSAS



1.5) La NADH deshidrogenasa (NADH ubiquinona óxido reductasa)

Quizá este sea uno de los complejos que fueran más tempranamente reconocidos en la mitocondria, de hecho también se le conoce como el Complejo I de Hatefi. La caracterización del complejo reveló 5 subunidades polipeptídicas, un flavín-mononucleótido (FMN) y cuatro centros hierro-azufre reconocidos por espectroscopía de resonancia para magnética del electrón. Sin embargo, el análisis del contenido de hierro y sulfuros es entre 16 y 20 por cada FMN, lo que habla de complejos sulfoferricos cúbicos de 4 fierros - 4 azufres o bien, de que aún existen formas óxido-reductoras no reconocidas por las técnicas habituales.

2) Funciones Distributivas

2.1) Sistema de membrana distribuidores de energía

2.1.a) Sustancias liposolubles móviles: las quinonas.

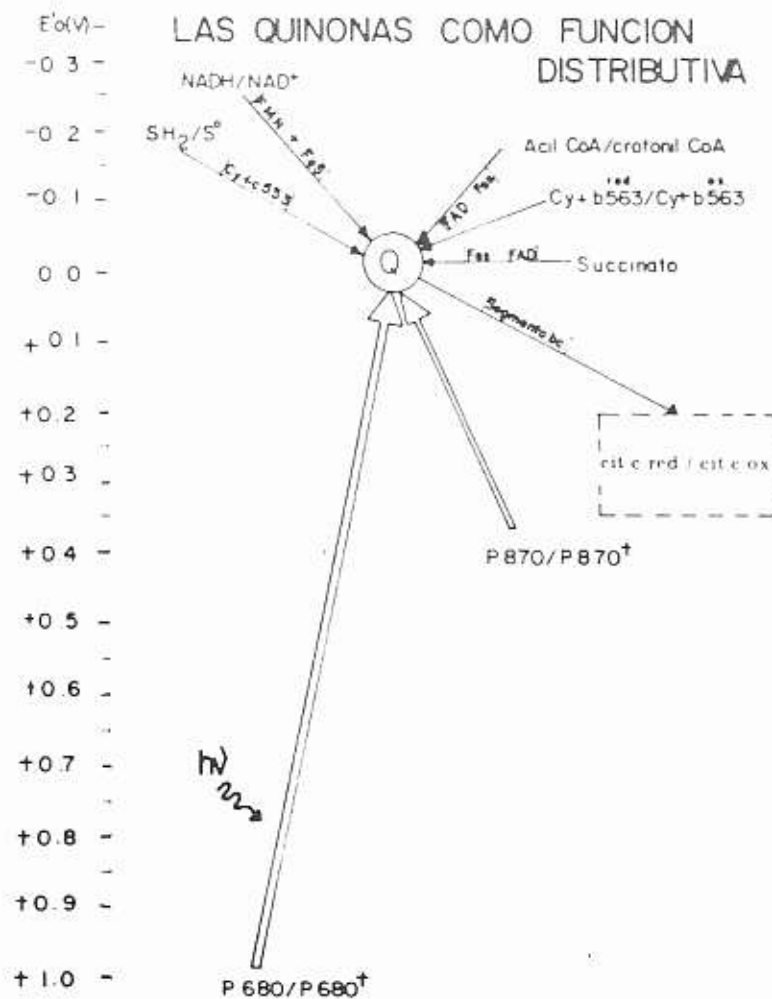
Las quinonas son óxido-reductores liposolubles. En esencia son anillos aromáticos, derivados del benceno como la ubiquinona de bacterias y mitocondrias y la plastoquinona de cianobacterias, algas y cloroplastos. También existen quinonas derivadas del naftaleno, como la menaquinona y la filoquinona, presentes en algunas bacterias como *Chromatium*. No obstante su universalidad biológica, su importancia no ha sido reconocida sino hasta recientemente, al descubrirse su participación en diversos sistemas tales como el segmento b-c y los centros de reacción. En estos complejos, participan como grupos prostéticos y dependiendo del medio ambiente proteico en el cual se encuentran, presentarán diversos potenciales de óxido-reducción.

La característica sobresaliente de estos óxido-reductores con respecto al NAD y a los citocromos es que presentan dos estados de óxido-reducción. Esto abre la posibilidad de realizar transformaciones redox de uno y dos electrones.

Las quinonas son los recolectores comunes de diversas deshidrogenasas membranales en sistemas respiratorios, también son los reductores del segmento b-c. A diferencia del citocromo c, la ferredoxina y el NAD, que llevan a cabo sus funciones distributivas de poder reductor en un medio acuoso, las quinonas cumplen este papel en un medio intramembranal, de tal forma que pueden ser consideradas las coenzimas por antonomasia del interior de la membrana.

Este complejo funciona en el fenómeno respiratorio acarreado poder reductor desde niveles de alta energía hasta niveles de baja energía, transformando la diferencia de ésta en fuerza protomotriz.

En el fenómeno fotosintético de las bacterias púrpuras su importancia reside en efectuar al proceso inverso: aumentar la energía de los electrones provenientes de la ubiquinona utilizando el gradiente electroquímico de protones (gradiente generado por los centros de reacción y el segmento b c) para la síntesis de NADH, poder reductor indispensable en la fijación de CO_2 .



2.1.b) Proteínas extrínsecas de membrana: citocromos tipo c

Los citocromos son proteínas con un grupo prostético común: el hemo. Su distribución entre los seres vivos es universal y se han identificado una gran variedad de ellos.

El medio ambiente proteico en que se encuentra el grupo hemo define sus propiedades óxido-reductoras en cada tipo de citocromo.

Varios de estos citocromos son proteínas intrínsecas de membrana que intervienen como un elemento estructural y funcional de los complejos transductores membranales, por ejemplo segmento b-c y el complejo de la citocromo oxidasa.

Sin embargo, también existen citocromos hidrosolubles que generalmente son del tipo c. La definición más estricta del citocromo tipo c es el de una proteína que tienen unido covalentemente a su grupo prostético, el grupo hemo, a través de uniones tioéster.

Estas proteínas extrínsecas de membrana distribuyen el poder reductor a distintos complejos membranales. Así, el citocromo c_2 soluble bacteriano, mediará la transferencia de electrones entre el complejo b-c y el centro de reacción, recibiendo poder reductor del primero y reponiendo electrones al segundo.

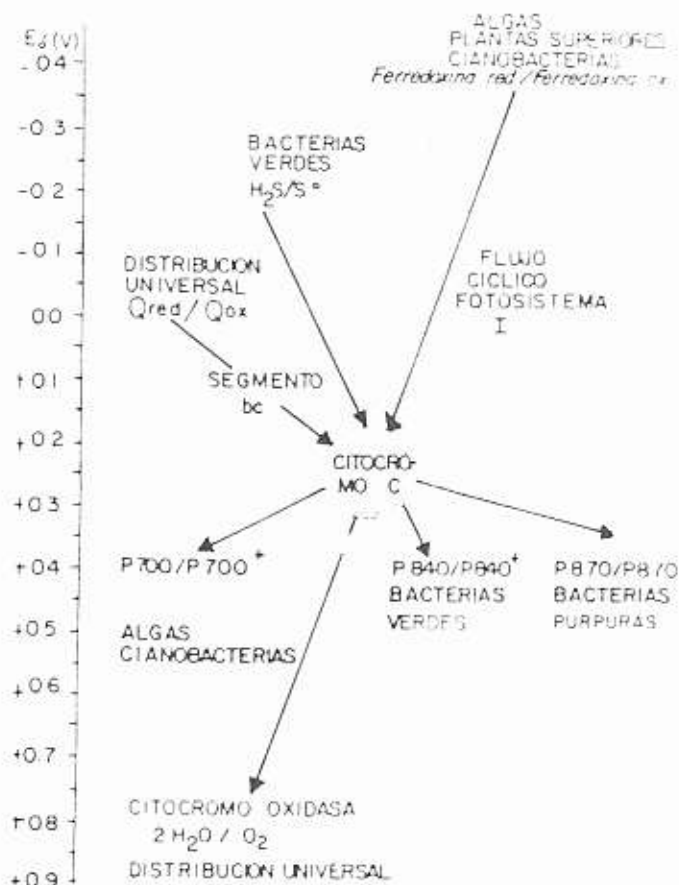
Una función fisiológica activa, requiere tanto de la generación como de la distribución de energía. La generación de energía en el fenómeno fotosintético requiere de procesos vectoriales. El diseño de los complejos membranales proporciona la rigidez y orientación suficiente para llevar a cabo transducciones de energía con direccionalidad. Sin embargo, una estructura grande y relativamente rígida está limitada en su movilidad, por lo que el mejor generador de energía no es necesariamente su mejor distribuidor.

La presencia de estructuras más sencillas, que sean capaces de llevar a cabo reacciones de óxido-reducción sin llevar a cabo una transducción de energía (es decir, que no llevan a cabo una transformación de un tipo de energía en otro, sino que simplemente la transportan), les permite tener una función distributiva. De esta manera, estas estructuras mediarán el transporte de electrones entre los diferentes complejos,

recolectando los electrones en los sitios con mayor poder reductor y descargándolos en aceptores más oxidados. Tal es la concepción que nosotros tenemos de los citocromos tipo c solubles.

En conclusión, el papel del citocromo c es el de intercambiar energía redox entre diferentes complejos membranales, en analogía con el ATP que intercambia energía química en sistemas biológicos.

LOS CITOCROMOS SOLUBLES COMO FUNCION DISTRIBUTIVA



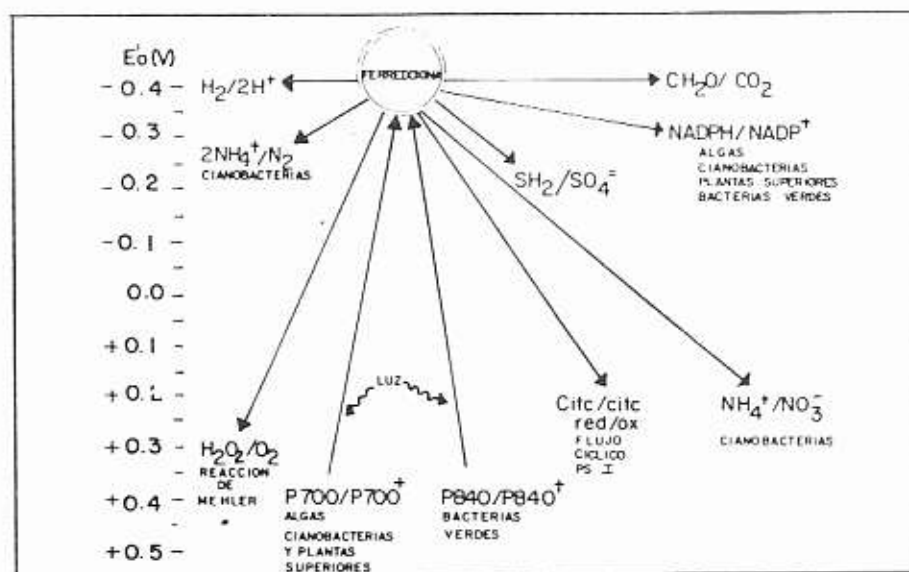
2.1.c) Proteínas extrínsecas de membrana: las ferredoxinas.

Las ferredoxinas y en general las proteínas hierro-azufre se caracterizan por su gran versatilidad como acarreadores de electrones. Se tratan de proteínas de bajo peso molecular que contienen arreglos de átomos de hierro y azufre con distinta estequiometría y disposición geométrica.

Entre las más comunes se encuentran las que mantienen agrupamientos de 2 fierros - 2 azufres y 4 fierros - 4 azufres.

Las ferredoxinas participan como distribuidores de electrones en una gran variedad de reacciones de importancia fisiológica. De esta manera, proporciona poder reductor para la generación de NADPH que posteriormente participará en la fijación de CO_2 hasta azúcares complejos, participa como donador de electrones en la fijación del nitrógeno atmosférico y en la asimilación de sulfatos, nitratos e hidrógeno molecular.

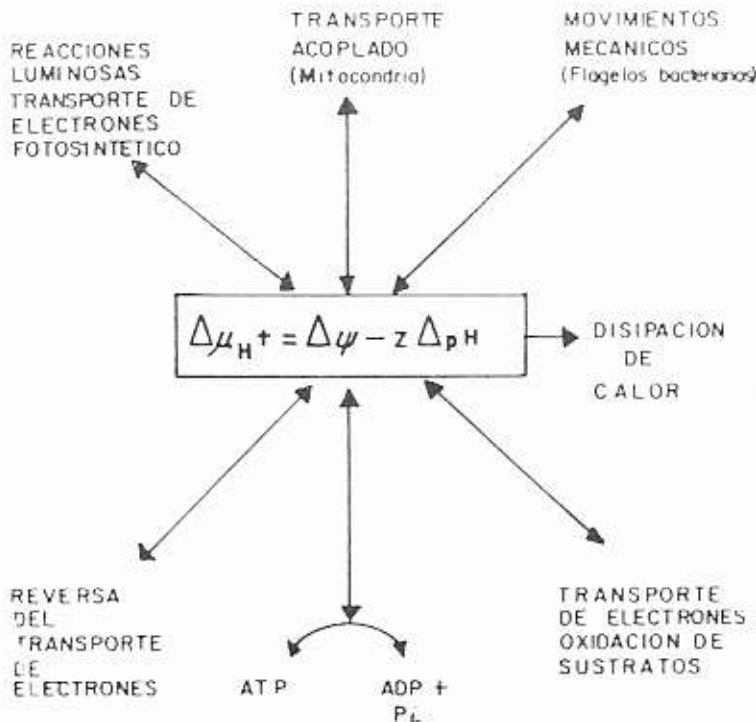
De esta manera, la ferredoxina es la molécula que distribuye a los electrones generados en los eventos fotoquímicos. Su localización en la parte acuosa externa de la membrana fotosintética le permite una variedad de interacciones con diversos sistemas enzimáticos solubles.



2.2) Función distributiva del gradiente electroquímico de protones

El reconocer la universalidad biológica que tiene la teoría quimio-osmótica de Mitchell, permite comprender la fuerza responsable de los distintos tipos de trabajo en los cuales está involucrada la membrana biológica.

EL POTENCIAL ELECTROQUIMICO COMO FUNCION DISTRIBUTIVA



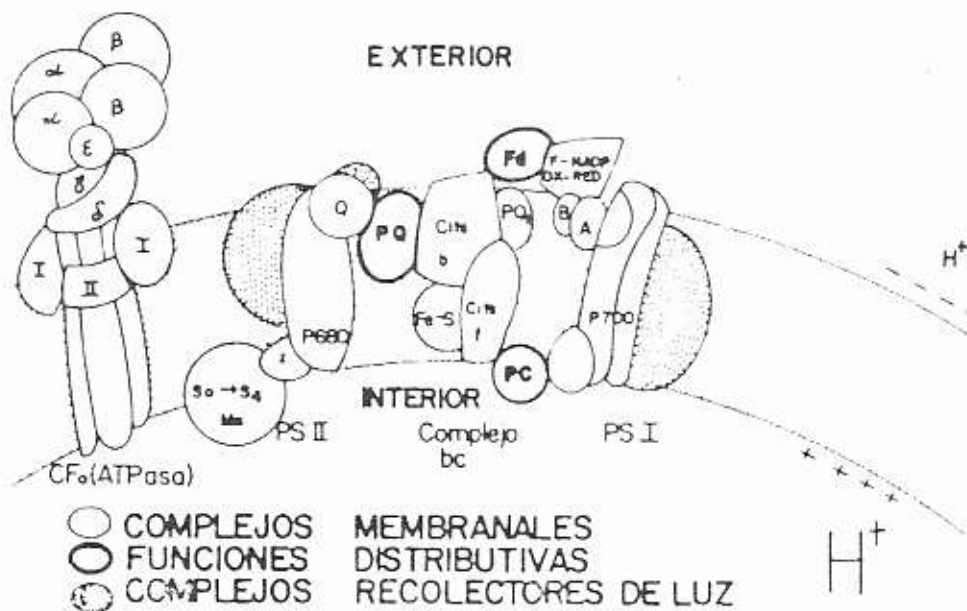
Una teoría como ésta, libera a los sistemas de restricciones estáticas de continuidad, es decir, para transferir la fuerza no es necesario tener a todos los sistemas transductores físicamente unidos y a que el protón y su carga tienen su dominio a lo largo de toda la solución acuosa que rodea a la membrana.

Si uno concibe un inyector de carga o un concentrador de materia, uno sabe que las leyes termodinámicas harán que éstas se dispersen en

los límites del continente físico donde se depositan. De esta misma manera, el bombeo de protones por cualquier mecanismo de transducción energética en la membrana, da origen a la deslocalización de cargas y por ende distribuye la energía en toda la membrana. Podemos concluir de ésto, que la unidad transductora de energía electroquímica es una vesícula cerrada, característica que cumplen las membranas fotosintéticas.

Por ejemplo, el gradiente electroquímico de protones generado por los complejos transductores de energía luminosa de la bacteria, puede ser empleado para la síntesis de ATP a través de la ATP sintetasa, o para mover el flagelo que permite el desplazamiento de dicha bacteria, o inclusive como fuerza impulsora que permite acumular sustratos por la bacteria. Toda esta distribución de energía puede llevarse a cabo entre estos sistemas dispersos en la membrana, sin la interacción directa de unos con otros.

CF, (ATPasa)



CONCLUSIONES

1) La organización de los transductores de energía en los sistemas bioenergéticos comparten en común los complejos membranales orientados en la bicapa lipídica, de la cual hacen uso para deslocalizar la energía y diversificarla en dos de sus formas: poder reductor y ATP. La diferencia entre las funciones de estos complejos es la fuente de energía que utilizan: La luz en los organismos autótrofos y combustibles biológicos (sustratos oxidables) en los organismos heterótrofos.

2) Las funciones generadoras y distribuidoras de energía comunes a todos los sistemas bioenergéticos membranales son: a) las quinonas, b) el segmento b-c, c) el gradiente electroquímico y d) la ATP sintetasa.

Por otra parte, las funciones distintivas de los organismos fotosintéticos son los siguientes: a) los complejos antena, b) los centros de reacción y c) las ferredoxinas.

3) El ATP como la moneda común de energía y el NAD como transportador del poder reductor, son conceptos de la bioquímica clásica en los sistemas metabólicos solubles. En analogía, las quinonas, los citocromos, las ferredoxinas y el potencial electroquímico de protones, empiezan a emerger como los responsables de estas funciones en los fenómenos membranales.

4) Las funciones distributivas tienen una localización definida en la membrana fotosintética: así, los citocromos solubles se localizan en la parte interna acuosa, las quinonas en el espacio intramembranal hidrofóbico y las ferredoxinas en la parte hidrosoluble externa. De esta manera se mantiene la vectorialidad de los procesos energéticos iniciados por los complejos membranales.

LISTA DE ABREVIATURAS

ADP, Adenosín difosfato; ATP, Adenosín trifosfato; b_{50} , Citocromo b de alto potencial (-50 mV), integrante del complejo b-c; b_{90} , Citocromo de b de bajo potencial (-90 mV) componente del

segmento b-c; BCl, Bacterioclorofila; BFeo, Bacteriofeofitina; (CH_2O) , Equivalente de carbohidrato; Cit o Cyt, Citocromo; FAD, Flavín adenín dinucleótido; Fd, Ferredoxina; Fe-S, Proteína hierro-azufre; FMN, Flavín mononucleótido; NADH, Nicotinamida adenín dinucleótido reducido; P680, Centro de reacción del fotosistema II en algas, cianobacterias y plantas superiores; P700, Centro de reacción del fotosistema I en algas, ciano bacterias y plantas superiores; P840, Centro de reacción de bacterias verde-azufrosas; P870, Centro de reacción de bacterias púrpuras; PC, Plastocianina; Pi, Fosfato inorgánico; PS I, Fotosistema I; PS II, Fotosistema II; PQ, Plastoquinona; Q, Quinona; Q_I , Quinona integrante del centro de reacción de bacterias púrpuras; Q_{II} , Quinona integrante del centro de reacción de bacterias púrpuras. Recibe los electrones de Q_I ; Q_z , Proteína con quinona integrante del segmento b-c; RFeS, Proteína hierro-azufre (Rieske), integrante del complejo b-c.

LECTURAS RECOMENDADAS

- 1) Cepaldi, R. A., (ed.), *Membrane Proteins in Energy Transduction*, M. Dekker, New York, 1979.
- 2) Clayton, R.K., *Luz y Materia Viviente*, Editorial Reverté, Barcelona, 1973.
- 3) Clayton, R. K., *Photosynthesis: physical mechanisms and chemical patterns*, Cambridge University Press, New York, 1980.
- 4) Hall, D. O., & K.K. Rao, *Photosynthesis*, Edward Arnold Publishers, London, 1981.
- 5) Hinkle, P. C., & McCarty, E.R., How Cells Make ATP. *Scientific American*, 238, 104, (1978)
- 6) Krogmann, D. W., *The Biochemistry of Green Plants*, Prentice Hall, New Jersey, 1973.
- 7) Losada, M., Los Distintos Tipos de Fotosíntesis y su Regulación. *Investigación y Ciencia*, Núm. 7, 6, (1977).
- 8) Rabinowitch, E.I. & Govindjee, The Role of Chlorophyll in Photosynthesis. *Scientific American*, 213, 74, (1965).
- 9) Stryer, L., *Biochemistry*. W. H. Freeman, San Francisco, 1981.
- 10) Whittingham, C.P., *El Mecanismo de la Fotosíntesis*. H. Blume ediciones, Madrid, 1976.
- 11) Stoerkenius, W. The purple membrane of saltloving bacteria. *Scientific American*, 234, 38, (1976).

Se terminó de imprimir
el 5 de octubre de 1982
en el Departamento de Publicaciones,
Facultad de Ciencias Económicas
Universidad de San Carlos de Guatemala
Su edición: 2,000 ejemplares

tikalia