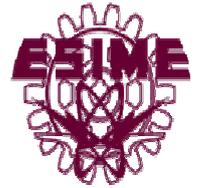




INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA
UNIDAD ZACATENCO



SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E
INVESTIGACIÓN
PROGRAMA DE POSGRADO EN INGENIERÍA DE SISTEMAS

“METODOLOGÍA DE ESPECTROSCOPÍA
FOTOACÚSTICA APLICADA AL ESTUDIO DE LOS
EFECTOS PRODUCIDOS POR TRATAMIENTOS
BIOFÍSICOS SUSTENTABLES A SEMILLAS Y
PLÁNTULAS”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS
EN
INGENIERÍA DE SISTEMAS

P R E S E N T A

Ing. JORGE SÁNCHEZ GALLEGOS

DIRECTORA DE TESIS
DRA. CLAUDIA HERNÁNDEZ AGUILAR

MÉXICO, D. F.
Junio 2007



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO**

SIIP-14

ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de México, D. F. siendo las 13:00 horas del día 2 del mes de julio del 2007 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de la E. S. I. M. E. para examinar la tesis de grado titulada:

**"METODOLOGIA DE ESPECTROSCOPIA FOTOACUSTICA APLICADA AL ESTUDIO
DE LOS EFECTOS PRODUCIDOS POR TRATAMIENTOS BIOFISICOS
SUSTENTABLES A SEMILLAS Y PLANTULAS"**

Presentada por el alumno:

SANCHEZ

Apellido paterno

GALLEGOS

Apellido materno

JORGE

Nombres

Con registro:

A	0	3	0	6	6	4
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante al grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SI APROBACION DE LA TESIS** en virtud de que satisface los requisitos señalados por la disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

Director de tesis

DRA. CLAUDIA LEONARDO AGUILAR

Segundo Vocal

M. EN C. EFRAIN JOSE MARTINEZ ORTIZ

Secretario

M. EN C. DESPOLDO ALBERTO GALINDO SORIA

Presidente

DR. LUIS MANUEL HERNANDEZ SIMON

Tercer Vocal

DR. ALFREDO CRUZ OREA

Suplente

DR. IGNACIO ENRIQUE PEON ESCALANTE

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. JUAN HOBLES GARCIA



SECCION DE SERVICIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACION



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA
Y ELÉCTRICA



CARTA DE CESION DE DERECHOS

En la Cd. De México, Distrito Federal, el día 16 de agosto del 2007 el que suscribe Ing. Jorge Sánchez Gallegos, alumno del Programa de Maestría en Ingeniería de Sistemas con No. de registro A030664, ADSCRITO a la Sección de Posgrado e Investigación de la ESIME unidad Zacatenco, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de tesis bajo la dirección de la Dra. Claudia Hernández Aguilar y cede los derechos del trabajo titulado: Metodología de Espectroscopia Fotoacústica aplicada al estudio de los efectos producidos por tratamientos biofísicos sustentables a semillas y plántulas, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de Investigación.

Los usuarios de la información no deben de reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: jorgejsg2004@yahoo.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.


ING. JORGE SÁNCHEZ GALLEGOS

ÍNDICE

Resumen
Abstract
Glosario de términos y siglas
Índice de cuadros
Índice de figuras

Introducción

- 0.1 Presentación del proyecto de tesis
- 0.2 Marco de actividades para el desarrollo del proyecto de tesis
- 0.3 Presentación del documento de tesis

Capítulo 1. Fundamentos de la Investigación

- 1.1 Justificación
 - 1.1.1 Maíz
 - 1.1.1.1 Producción mundial
 - 1.1.1.2 Producción nacional
 - 1.1.1.3 Importancia económica
 - 1.1.1.4 Importancia social
 - 1.1.2 Trigo
 - 1.1.2.1 Producción mundial
 - 1.1.2.2 Producción nacional
 - 1.1.2.3 Importancia económica
 - 1.1.2.4 Importancia social
 - 1.1.3 Visión Rica de la situación actual del campo en México
- 1.2 Antecedentes
 - 1.2.1 Aplicación de métodos biofísicos
 - 1.2.2 Aplicación de Espectroscopía Fotoacústica
- 1.3 Objetivo general
- 1.4 Objetivos específicos
- 1.5 Hipótesis
- 1.6 Características de la investigación
- 1.7 Matriz de congruencias

Capítulo 2. Marco Teórico y Metodológico

- 2.1 Conocimiento Sistémico
 - 2.1.1 Transdisciplinariedad
 - 2.1.1.2 Actitud transdisciplinaria
 - 2.1.1.3 Disciplinas a desarrollar en los investigadores

- 2.2** Conocimiento de Física
 - 2.2.1 Ondas electromagnéticas
 - 2.2.1.1 Luz, flujo de fotones
 - 2.2.1.2 Características de la luz emitida por fuentes convencionales
 - 2.2.1.3 Características de la luz emitida por una fuente láser
 - 2.2.2 Espectroscopía Fotoacústica
 - 2.2.2.1 Modelo de Rosencwaig y Gersho
- 2.3** Conocimiento de Biología
 - 2.3.1 Fotobiología
 - 2.3.1.1 Fitocromos
- 2.4** Conocimiento Agrícola
 - 2.4.1 Semillas de maíz
 - 2.4.1.1 Composición química
 - 2.4.1.2 Composición química de las partes del grano
 - 2.4.2 Semilla de trigo
 - 2.4.2.1 Composición química del trigo
 - 2.4.3 Vigor de la semilla
 - 2.4.4 Pruebas de germinación
 - 2.4.5 Generalidades de semillas y hojas de plantas
- 2.5** Marco metodológico para las pruebas experimentales y la medición con PAS
 - 2.5.1 Metodología experimental para la obtención de espectros del contenido de carotenoides mediante PAS.
 - 2.5.2 Metodología experimental para la obtención de coeficiente de absorción óptico mediante PAS.
 - 2.5.3 Metodología experimental para la obtención del contenido de clorofila mediante PAS.
 - 2.5.4 Método científico
 - 2.5.5 Metodología para una actitud transdisciplinaria

Capítulo 3. Espectroscopía Fotoacústica aplicada al estudio del contenido de carotenoides de hojas de plántulas de semillas de maíz (*Zea mays* L.) irradiadas con láser.

- 3.1 Introducción
- 3.2 Objetivo
- 3.3 Hipótesis
- 3.4 Materiales y métodos
- 3.5 Resultados y discusión

Capítulo 4. Coeficiente de absorción óptico de semillas de maíz determinado por Espectroscopía Fotoacústica

- 4.1 Introducción
- 4.2 Objetivo
- 4.3 Hipótesis
- 4.4 Materiales y métodos
- 4.5 Resultados y discusión

Capítulo 5. Obtención de los espectros de absorción del contenido de clorofilas a y b en hojas de plántulas regadas con agua tratada magnéticamente.

- 5.1 Introducción
- 5.2 Objetivo
- 5.3 Hipótesis
- 5.4 Materiales y métodos
- 5.5 Resultados y discusión

Capítulo 6. Discusión general , conclusiones y perspectivas

- 6.1 Experimento 1
- 6.2 Experimento 2
- 6.3 Experimento 3
- 6.4 Actitud transdisciplinaria
- 6.5 Conclusiones
- 6.6 Orientación para futuras investigaciones

Referencias bibliográficas

Anexos

- A.1 Diseño experimental y tablas de resultados de la prueba experimental. Capítulo 3.
- A.2 Diseño experimental y tablas de resultados de la prueba. Capítulo 4.
- A.3 Diseño experimental y tablas de resultados de la prueba experimental. Capítulo 5
- A.4 Metodología a seguir para la metodología de Espectroscopía Fotoacústica

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y SIGLAS

Acción correctiva. Proceso de corregir los problemas cuando no se utiliza o no funciona el método previsor. Es la manera más costosa de remediar los problemas.

Actitud. Predisposición física y mental del individuo para llevar a cabo o no, un tipo específico de trabajo. Estado de la mente reflejado en el comportamiento, los sentimientos o las opiniones respecto a las cosas, circunstancias y otros acontecimientos.

Acuerdo. Consenso entre dos o más personas, que podría ser durante un proceso de planeación de un sistema.

Adaptación. La habilidad de un sistema para mantener su estructura y función particulares, cuando se enfrenta a cambios en el medio.

Adiestramiento. Formar por medio de la instrucción, orientación, disciplina y repetición. Enseñar. Proceso por medio del cual se llevan a cabo cambios en el mejoramiento de actitudes, patrones de comportamiento y actuación de trabajo.

Agente. Que obra o tiene la virtud de obrar. Causa activa, lo que tiene poder para producir un efecto: *agentes físicos, naturales*.

Algoritmo. Un procedimiento por pasos, que en un determinado número de ellos produce el óptimo. Comparar con una heurística, que produce un casi óptimo.

Alternativa. Son estrategias diferentes por las cuales pueden lograrse los objetivos.

Análisis, método analítico. El método de investigación reduccionista por el cual se desintegra un sistema complejo en sus componentes y se estudia por separado.

Aprendizaje. Proceso de adquisición de nuevos hábitos y comportamientos mediante la experiencia.

Aptitud. Cualidad inherente de facilidad que el empleado posee y conque puede ejecutar sus labores y atender sus responsabilidades. Potencial físico, mental y emocional del individuo para llevar a cabo un tipo específico de trabajo. Conocimiento de la labor y la capacidad para llevar a cabo los deberes, así como para cumplir con las responsabilidades que aquélla implica.

Armonía. Es la propiedad de los sistemas que mide el nivel de compatibilidad con su medio o contexto.

Atributos. Son las propiedades que tienen los sistemas, subsistemas y sus elementos. Estos pueden ser cuantitativos o cualitativos.

Automatización. Mecanización avanzada. En especial procesos que utilizan un sistema de control en el que las variaciones del producto final se comunican al proceso y éste se ajusta por sí solo a aquéllas.

Autopoiesis. Un nuevo paradigma de investigación, dedicado al estudio de los

aspectos holísticos de los sistemas. Los sistemas autopoieticos se contrastan con sistemas alopoieticos.

Calidad de la vida laboral. Condiciones que reflejan el estado de bienestar de los empleados, el grado en el que el trabajo es satisfactorio y el grado en que las ansiedades y el estrés afectan la situación laboral.

Calidad de vida. El indicador social que completa el indicador económico del PNB per cápita, para evaluar nuestro estándar de vida.

Causas, causalidad. Un enfoque que ve las variables asignables y/o razones de los malos funcionamientos, de sistemas. Este enfoque debe remplazarse por uno que considere los malos funcionamientos como resultado de un proceso por el cual las fuerzas convergentes en un sistema, producen un estado particular.

Centralización y descentralización. Un sistema se dice centralizado cuando tiene un núcleo que comanda a todos los demás, y éstos dependen para su activación del primero, ya que por sí solos no son capaces de generar ningún proceso.

Cibernética. Ciencia de la comunicación y control de la información tanto en seres humanos como en máquinas.

Ciencia. Conocimiento sistemático del mundo físico, conocimiento sistematizado, conocimiento adquirido por medio del estudio sistemático. Clase de la actividad humana orientada hacia la formulación, sistemática de las posibilidades de repetición hipotética y real de determinados fenómenos que, para sus fines, se consideran idénticos.

Clima organizacional. Ambiente de las relaciones sociales internas de una organización.

Cognoscitivo. Capaz de conocerse. En didáctica, lo relativo a la información y conocimiento.

Comité. Comisión, grupo para realizar una tarea específica.

Competidores. Organizaciones que ofrecen o tienen el potencial de ofrecer productos o servicios rivales.

Complejidad. La intrincación de intra e interrelaciones entre componentes de sistemas.

Compromiso. La motivación y el deseo de continuar actuando de acuerdo con nuestras creencias, opiniones y responsabilidades.

Comunicación. El proceso de enviar un mensaje a un receptor, a través de canales seleccionados, y recibir retroalimentación para asegurar el mutuo entendimiento.

Concreto. Considerado en sí mismo, con exclusión de cuanto pueda serle extraño o accesorio.

Conflicto. Una diferencia percibida entre dos o más partes que resulta en oposición mutua.

Conglomerado. Cuando la suma de las partes, componentes y atributos en un conjunto es igual al todo, estamos en presencia de una totalidad desprovista de

sinergia, es decir, de un conglomerado

Consenso. Acuerdo necesario entre agentes que promueven y clientes que reciben cambios de sistemas.

Contexto. Conjunto de circunstancias o condiciones que se enlazan o entretejen para dar como resultado una situación particular.

Control. Actividades del diseño de sistemas, por las cuales se mantiene un sistema dentro de límites de equilibrio viable.

Control de la calidad. El proceso de asegurar la conformidad con los requisitos acordados en un producto o servicio.

Control estadístico de calidad. El uso de técnicas estadísticas para un control activo durante el proceso. Hace uso de datos de tiempo real para tomar decisiones. Otra forma de llamarla: Control Estadístico del Proceso (CEP).

Coordinación. Acto de llevar un conjunto de personas o de cosas distintas a una acción o condición comunes. Ajuste armónico.

Cosmovisión. Sinónimo de weltanschauung. La forma en la cual un autor de decisiones ve la totalidad de un problema el cual está influenciado por cuatro componentes: a) premisas, b) supuestos, c) estilo cognoscitivo y d) sistemas de indagación.

Cultura. Conjunto de creencias, valores y técnicas utilizadas en las sociedades humanas para asociarse en su ambiente; los contemporáneos comparten estos aspectos y los transmiten de una generación a otra.

Datos. Representación de hechos para que el hombre o las máquinas puedan procesarlos con facilidad.

Decisión. Seleccionar racionalmente entre varias alternativas un curso de acción.

Deducciones. Forma de razonamiento que consiste en partir de un principio general conocido para llegar a un principio particular desconocido.

Desorden. Un estado de sistema que se caracteriza por entropía máxima, incertidumbre y desorganización.

Dilemas. Dudas no resueltas del conocimiento, para las cuales no parecen existir soluciones satisfactorias.

Diseño de sistemas. Sinónimo de enfoque de sistemas y la antítesis de mejoramiento de sistemas.

Diseño. Es un proceso creativo que cuestiona los supuestos en los cuales se han estructurado las formas antiguas.

División del trabajo Especialización en tareas organizadas alrededor de un objetivo central.

Efectividad. Habilidad de seleccionar las metas y objetivos adecuados, y alcanzarlos.

Eficacia. Capacidad de lograr metas y objetivos propuestos.

Eficiencia. Habilidad para hacer el mejor uso de los recursos disponibles en el

proceso de alcanzar metas u objetivos.

Elemento. Son los componentes de cada sistema, pueden ser a su vez sistemas por desecho propio, es decir, subsistemas.

Emergencia. Este concepto se refiere a que la descomposición de sistemas en unidades menores avanza hasta el límite en el que surge un nuevo nivel de emergencia correspondiente a otro sistema cualitativamente diferente.

Empírico. Que es un resultado inmediato de la experiencia, que sólo se funda en la observación de los hechos, en la mera práctica.

Enfoque de sistemas. Un enfoque que predica “resolver los problemas del sistema mayor, con soluciones que satisfacen no solo a los objetivos de los subsistemas, sino también la sobre vivencia del sistema global”. Puede verse también como una metodología de cambio, incluida en el paradigma de sistemas, que toma un enfoque holístico a problemas de sistemas complejos.

Entorno. Delineación de las cosas que aparecen fuera pero inmediatas a las fronteras establecidas a un sistema, muy próximo a él y que se relacionan sin formar necesariamente parte de él.

Entradas. Las entradas son los ingresos del sistema que pueden ser recursos materiales, recursos humanos o información. Las entradas pueden ser: en serie o aleatorias.

Entropía. Un término de termodinámica, que mide el estado de desorden o incertidumbre en un sistema.

Entropía negativa. Característica de un sistema por medio de la cual éste importa más energía o insumos de su medio ambiente de la que usa o exporta hacia él y por lo mismo no se "agota"; una característica común de los sistemas sociales.

Epistemología. Los procesos de pensamiento y razonamiento por los cuales se logra, se comprende y se garantiza la verdad.

Epistemológico. Relativo a la epistemología. Sinónimo Gnoseológico.

Equifinalidad. El estado final común, logrado por los sistemas abiertos, que parte de diferentes condiciones iniciales, debido a la interacción con el medio.

Equilibrio. Estado mecánico de un cuerpo solicitado por dos o más fuerzas que se contrarrestan y cuya resultante es nula.

Equipo de trabajo Grupo formal que realiza en común una tarea o una función.

Escenario. Visión de posibles condiciones o situaciones futuras, incluyendo los posibles caminos que la organización podría seguir para dirigirse a esas condiciones o situaciones.

Estabilidad. Un sistema se dice estable cuando puede mantenerse en equilibrio a través del flujo continuo de materiales, energía e información.

Estacionalidad. Referencia al hecho de que en el proceso de serie de tiempo se presenten variaciones cíclicas.

Estrategia. Planes de acción a gran escala para interactuar con el medio ambiente con el fin de alcanzar los objetivos y metas de largo plazo. Serie de acciones encaminadas hacia un fin político o económico.

Ética. Sinónimo de moralidad. Código de conducta y responsabilidad que deben seguir los agentes de cambio cuando diseñan sistemas.

Evaluación. Consiste en fijar las diferentes alternativas propuestas, a fin de determinar el grado en el cual satisfacen las metas y objetivos implantados en la fase de diseño de políticas o pre-planeación, durante el proceso de diseño de los sistemas.

Evolución. El proceso por el cual el universo aumenta su complejidad y contrarresta los procesos entrópicos que tienden a la disipación progresiva y la disminución de organización.

Expectativa. Creencia que implica al "debería" o "no debería".

Expertos. Una denominación proporcionada a los que conocen la importancia relativa de los indicios en su medio y que proceden a seleccionarlos de acuerdo con ella.

Exploración. Medir una labor o la efectividad de un programa, de una política o de otra forma de actuación comparándola con una meta o norma. Estimar o juzgar la adecuación de una persona para un empleo o cargo.

Frontera. Límite, barrera, que confina el espacio o sistema y que indica hasta donde se analizara o simplemente el tamaño o espacio en que se trabajara.

Grupo formal. Grupo formalmente creado por una organización para un propósito específico.

Grupo informal. Grupo formado por los miembros de una organización, aparte de la estructuración formal. Tiene como objetivo básico satisfacer intereses o necesidades sociales de sus miembros.

Habilidad. Aptitud o destreza para realizar una tarea específica. Capacidad del individuo para hacer algo.

Hardware. Partes físicas del equipo de cómputo, incluye a la computadora en sí más el equipo periférico.

Hemostático. Fenómenos de autorregulación conducentes a la constancia en la composición y las propiedades de los sistemas ante la influencia de agentes exteriores.

Heurística. Son procedimientos que se siguen paso a paso y que aseguran mediante un número finito de pasos, que se lograra una solución satisfactoria del problema, no necesariamente óptima.

Hipótesis. Suposición susceptible de ser probada. Una idea o afirmación provisional acerca del modo de resolver un problema o acerca de la naturaleza de la realidad.

Holístico. Relacionado con el holismo como teoría y con las ideas defendidas por el Holismo. Que da énfasis a la relación funcional u orgánica entre las partes y los todos.

Homeostasis. Es la propiedad de un sistema que define su nivel de respuesta

y de adaptación al contexto.

Ideología. Conglomerado de ideas, creencias y modos de pensar características de un grupo, nación, clase, casta, profesión u ocupación.

Idiosincrasia. Temperamento, carácter, modo de ser propio y peculiar de cada uno.

Imperativos. Designa obligaciones que impone la tecnología, o sociedad, o ética, sobre el diseño de sistemas.

Integral. Completo, donde entra la composición del todo y es cuando se requiere considerar todas las partes internas que lo componen y las externas que tienen influencia en el sistema.

Intercambios. La comparación de fines y medios que permiten a los autores de decisiones comparar su mérito relativo y negociar, compensaciones y sustituciones entre objetivos en conflicto.

Jerarquía. Una estructura de puntos o eventos que admiten cierta forma de categorización a niveles.

Juicio. Una forma particular de toma de decisiones que consiste en utilizar indicios del medio para hacer evaluaciones que no violan postulados de coherencia, concuerdan con las creencias de los jueces, con la realidad y representan su consenso.

Líder. Persona capaz de dirigir a otros individuos, con el fin de alcanzar objetivos comunes.

Liderazgo. Proceso de influir sobre las personas de tal modo que se esfuercen en forma voluntaria hacia el logro de las metas del grupo.

Lluvia o tormenta de ideas. Una técnica para elevar la creatividad grupal, animando a los miembros del grupo a generar ideas novedosas como posibilidades para resolver problemas concretos.

Medio ambiente. Ámbito exterior que rodea a un sistema y que se ubica más allá de su entorno, pero que logra tener influencia en el sistema por lo que es necesario considerarlo para cambios, mejoras o diseño.

Medio. Una porción del ecosistema, el sistema que abarca a todos los sistemas. Cuando se tratan sistemas abiertos, es esencial considerar el medio, como perteneciente al sistema bajo diseño.

Mejoramiento. Significa la transformación o cambio que lleva a un sistema más cerca del estándar o de la condición de operación normal. Hacer pasar un sistema de un estado a otro mejor, cuando el sistema es mejor que el que lo antecede.

Metas. Es la definición, cuantitativa o cualitativa, del objeto precisado en tiempo-lugar, personas responsables y orientación tecnológico-financiera.

Método científico. El enfoque permitido de las ciencias físicas y otras relacionadas, por el cual se postulan, validan y generalizan hipótesis en leyes. El método científico y el paradigma de ciencia deben modificarse, para acomodarlos a las necesidades especiales del dominio de las ciencias sociales. Véase Paradigma de sistemas.

Método conceptual. Sistema de estudio de una ciencia que concede interés primordial al esclarecimiento de sus conceptos básicos, empleándolos después como "instrumentos" para un análisis ulterior y para la organización, aplicación e interpretación de sus materias. Al lado de éste se dan otros métodos, como el histórico o el que comienza por el análisis de un problema.

Modelos. "Subrogados" del mundo real, que nos ayudan a comprender cómo funcionan. Se espera que los administradores no "equivoquen el modelo por la realidad" y manejen el modelo, en vez de la situación efectiva, perteneciente al mundo real. Los modelos de decisión se utilizan para convertir entradas en salidas y elegir las alternativas que satisfacen los objetivos del autor de decisiones.

Motivación. Intención potencial; intensión causada que se exterioriza.

Muestreo. Selección de una porción representativa de una población, para efectos del estudio de las características presentes en la población.

Necesidad Nexos internos imprescindibles que surgen de las peculiaridades fundamentales de los fenómenos y objetos. Es lo que debe suceder de manera inevitable y, además precisamente así y no de otra forma.

Observación. Se refiere a la nueva cibernética que incorpora como fundamento el problema de la observación de sistemas de observadores: se pasa de la observación de sistemas a la observación de sistemas de observadores.

Organigrama. Representación gráfica de la estructura formal y orgánica de una empresa, en la que se indican: líneas de autoridad; comunicación; relaciones e interrelaciones tanto de línea como de "staff" o plana asesora dentro de la organización.

Organización. Acción y efecto de organizar, disposición de orden.

Organización social. Conjunto de roles interconectados por canales de comunicación.

Paradigma de ciencia. El proceso metodológico o procedimiento por el cual se aplica el método científico a los dominios de las ciencias exactas.

Paradigma de sistemas. Sinónimo de proceso de diseño de sistemas. Un "proceso fluido cibernético dinámico activo" que describe el enfoque tomado por los diseñadores de sistemas, para formular planes y estrategias, para los dominios de sistemas flexibles.

Paradigma. Un proceso, un procedimiento (no definido necesariamente en forma de pasos secuenciales), que puede utilizarse en forma repetida para abordar un tipo específico de problema. Ejemplos: el paradigma de ciencia, que se deriva del método científico; el paradigma de sistema, o proceso de diseño de sistemas, que abarca el enfoque de sistemas.

Pluralismo. Presencia de diversas ideologías.

Problema. Situación en la cual las variables se salen de los términos planeados. Situación conflictiva.

Proceso. Serie de acciones u operaciones de acuerdo con un plan, que hacen pasar un elemento por un procedimiento de una fase a otra, para obtener un

fin.

Productividad. Eficiencia en el uso de los recursos de una organización, medida por el volumen de producción satisfactoria por empleado o por hora-hombre o por jornada-hombre, etcétera.

Programa. Conjunto ordenado de acciones interrelacionadas, generalmente más complejas que un procedimiento dirigido hacia un objetivo que se persigue solamente una vez.

Prototipo. Original, ejemplar o primer molde en que se fabrica.

Relaciones. Son los enlaces que vinculan entre sí a los objetos o subsistemas que componen a un sistema complejo. Podemos clasificarlas en: Simbióticas, Sinérgica, y Superflua.

Responsabilidad. Obligación de reparar y satisfacer por sí o por otro, a consecuencia de delito de una culpa o de otra causa legal.

Retroalimentación La característica de regulación por la cual se recicla una porción de la salida, generalmente la diferencia entre los resultados real y deseado a la entrada, a fin de mantener al sistema entre los umbrales del equilibrio.

Retroalimentación negativa. Este concepto está asociado a los procesos de autorregulación u homeostáticos. Los sistemas con retroalimentación negativa se caracterizan por mantener determinados objetivos.

Retroalimentación positiva. Indica una cadena cerrada de relaciones causales en donde la variación de uno de sus componentes se propaga en otros componentes del sistema, reforzando la variación inicial y propiciando un comportamiento sistémico caracterizado por un autorreforzamiento de las variaciones (circularidad, morfogénesis).

Salidas. Son los resultados que se obtienen de procesar las entradas.

Sinergia. Acción concertada para realizar una función, incrementando el poder de acción para realizar una función al actuar en forma conjunta.

Sintergia. Potencial de relación energía/espacio que se inserta en la conciencia del ser humano.

Sistemas abiertos. Se trata de sistemas que importan y procesan elementos (energía, materia, información) de sus ambientes. Característica propia de todos los sistemas vivos.

Sistemas cerrados. Un sistema es cerrado cuando ningún elemento de afuera entra y ninguno sale del sistema. Estos alcanzan su estado máximo de equilibrio al igualarse con el medio (entropía, equilibrio). En ocasiones el término sistema cerrado es también aplicado a sistemas que se comportan de una manera fija, rítmica o sin variaciones, como sería el caso de los circuitos cerrados.

Sistemas cibernéticos. Son aquellos que disponen de dispositivos internos de autocomando (autorregulación) que reaccionan ante informaciones de cambios en el ambiente, elaborando respuestas variables que contribuyen al cumplimiento de los fines instalados en el sistema (retroalimentación, homeorrosis).

Sistemas. Es un conjunto organizado de cosas o partes interactuantes e interdependientes, que se relacionan formando un todo unitario y complejo.

Software. Conjunto de programas, documentos, procedimientos y rutinas asociadas con la operación de un sistema de cómputo, que hacen posible que el hardware realice sus actividades.

Subsistema. Es una subdivisión del sistema, ejemplo: sistema de liquidación, contiene subsistema como el de registro de información fiscal (RIF), como subdivisión al subsistema puede tener su propia estructura y funcionamiento.

Taxonomía. Es la ciencia de arreglar formas de vida y clases de organismos en esquemas racionales, de acuerdo a sus características y propiedades.

Teleología. Estudio de los fines o propósitos últimos. Doctrina filosófica que busca explicar y justificar los estados del mundo en términos de causas posteriores que pueden relegarse a futuros no inmediatos en tiempo y espacio.

Teoría. Agrupación sistemática de conceptos de una disciplina.

Teoría general de sistemas. Una disciplina relativamente nueva, que proporciona fundamento y apoyos teóricos al enfoque de sistemas Teoría general de sistemas aplicados

Toma de decisiones. Pensamiento iterativo en la base del proceso de diseño de sistemas por el cual se elaboran y eligen alternativas para su implantación.

Transformación. Hacer cambiar algo de forma significativa.

Variables. Cada elemento que compone o existe dentro de los sistemas y subsistemas.

Variación. Comprende el número de elementos discretos en un sistema (v = cantidad de elementos).

Visión Holística. Es poder de ver el todo, sin perder la visión del detalle, y poder concentrarse en detalles, sin perder la visión de conjunto.

ÍNDICE DE TABLAS

0.1	Marco metodológico para el desarrollo del trabajo de tesis	20
1.1	Principales países productores del maíz en el mundo	29
1.2	Producción nacional del maíz	29
1.3	Principales productores de trigo	31
1.4	Producción en México	31
2.1	Composición del maíz seco y tierno por cada 100 gr	66
2.2	Composición química de las partes principales de los granos de maíz	67
2.3	Porcentaje de los constituyentes del trigo en las principales partes morfológicas	69
2.4	Composición del trigo integral por cada 100gr	69
3.1	Análisis de varianza de la amplitud de la señal fotoacústica correspondientes a la absorción en las longitudes de onda de 472-478 nm.	85
4.1	Dosis de irradiación aplicados a las semillas de trigo como tratamiento pre-siembra (tanto semilla coloreada y no coloreada)	93
4.2	Análisis de varianza del coeficiente de absorción óptico a la longitud de onda de 650 nm para semilla teñida y semilla no teñida.	94
4.3	Análisis de varianza de la germinación para la semilla coloreada y no coloreada	97
5.1	Análisis de varianza de la amplitud de la señal fotoacústica correspondientes a la absorción en las longitudes de onda de 650 y 680 nm	106

ÍNDICE DE FIGURAS

0.1	Metodología para llevar a cabo el proyecto de tesis	23
0.2	Estructura general de las metodologías para llevar a cabo los ensayos experimentales	24
1.1	Visión Rica de la situación actual del campo en México	33
1.2	Matriz de congruencias de la investigación	40
2.1	Onda electromagnética y vector de poyting	49
2.2	Esquema del espectro electromagnético	53
2.3	Celda fotoacústica cerrada convencional	59
2.4	Espectro de absorción de los fitocromos	65
2.5	Metodología experimental para la obtención del contenido de carotenoides mediante la técnica PAS	75
2.6	Metodología experimental para la obtención del β mediante PAS	76
2.7	Metodología experimental para la obtención de los espectros de Absorción del contenido de clorofila de las hojas mediante PAS	77
2.8	Método Científico	78
2.9	Metodología para una actitud disciplinaria	79
3.1	Instrumentación Fotoacústica	84
3.2	Espectros de absorción promedios del nivel de carotenoides en la primera hoja ligulada de plántulas de trigo	86
3.3	Espectros de absorción promedios del nivel de carotenoides en las longitudes de onda en el rango de 472-478 nm	87
4.1	Coefficiente de absorción óptico obtenido para semilla de trigo no coloreado	95
4.2	Coefficiente de absorción óptico obtenido para semilla de trigo coloreado	96
4.3	Coefficiente de absorción óptico promedio obtenido de las semillas de trigo coloreadas y no coloreadas	97
4.4	Porcentaje de germinación para cada tratamiento láser aplicado Antes de la siembra	98
4.5	Porcentaje de germinación para cada tratamiento láser aplicado antes de la siembra.	99
5.1	Espectros de absorción promedios del nivel de clorofila en la primera hoja ligulada de plántulas de maíz	107
5.2	Amplitud de la señal fotoacústica a 680 nm para los tratamientos aplicados	108
6.1	Espectro de absorción de los fotocromos	113
6.2	Respuesta del contenido de carotenoides en las hojas de plántulas provenientes de semilla irradiada.	113

RESUMEN GENERAL

De acuerdo a la necesidad que existe en la agricultura de usar métodos que no dañen el suelo, el agua y el medio ambiente en general, en este trabajo de tesis se han planteado los siguientes objetivos. 1) Determinar los métodos biofísicos a emplear. 2) Establecer la metodología de trabajo para llevar a cabo los ensayos experimentales empleando Espectroscopia Fotoacústica.

3) Estudiar el efecto de diferentes regimenes de irradiación láser en el espectro de absorción de hojas de plántulas de maíz, provenientes de semillas tratada con luz emitida por un diodo láser de 650 nm empleando la metodología de Espectroscopia Fotoacústica. 4) Determinar el cambio del coeficiente de absorción óptico que se da al colorear la semilla de trigo con azul metileno con respecto a la semilla sin colorear haciendo uso del modelo de Rosencwaig y Gersho y empleando como metodología experimental Espectroscopia Fotoacústica. 5) Analizar la influencia que tiene el cambio del coeficiente de absorción óptico en los efectos de irradiación láser en la semilla de trigo, a la longitud de onda de 650 nm 6) Analizar mediante la metodología de Espectroscopia Fotoacústica si hay cambios en el contenido de clorofila de hojas de plántulas que fueron regadas con agua tratada magnéticamente a diferentes tiempos de ser colocada con imán permanente.

Los experimentos se llevaron a cabo en la estación experimental, invernadero y laboratorios del Colegio de postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México y laboratorio de Técnicas Fototérmicas del CINVESTAV, México, D. F. Con base en los objetivos planteados el estudio comprende las siguientes fases.

Fase 1. Considerando que se debe de buscar minimizar los tiempos de irradiación láser para que sea factible su uso en la industria semillero, se propuso en este estudio emplear 15 segundos de irradiación láser y varios regimenes de irradiación a la semilla de maíz (*Zea mays* L.) como tratamiento previo a la siembra, bajo un diseño de bloques completos al azar empleando un diodo láser, con salida de 27.4 mW de potencia y longitud de onda de 650nm aplicando un nivel de intensidad, un tiempo de irradiación de 15

segundos y un espacio entre régimen igual de 15 segundos, aplicando 4 diferentes regímenes de irradiación, empleando semilla sin colorear.

Fase 2. En una segunda fase se propone determinar el coeficiente de absorción óptico de semillas de trigo coloreadas y no coloreadas. Se aplica la metodología de Espectroscopía Fotoacústica y el modelo de Rosencwaig y Gersho, que permite deducir el coeficiente de absorción óptico directamente a partir de la amplitud de la señal fotoacústica obtenida de las semillas. Posteriormente se propone establecer una prueba de germinación bajo un diseño experimental de bloques completos al azar y evaluar la semilla de acuerdo a las recomendaciones de la ISTA, aplicando 8 tratamientos de luz láser a la semilla, correspondientes a 4 tiempos de irradiación y dos niveles de intensidad, mismos que serán aplicados a las semillas en condiciones de la semilla coloreada y sin colorear.

Los 9 tratamientos de las semillas en las dos condiciones se establecen en una cámara de germinación diseño factorial de 4 intensidades y 2 tiempos de irradiación emitidas por un diodo láser de longitud de onda de 650nm.

Fase 3. En esta última fase se propone establecer un diseño de bloques completos al azar y evaluar los efectos en el contenido de clorofila de las hojas de plántulas que fueron regadas con agua tratada magnéticamente con un imán permanente, durante 4 diferentes tiempos. El espectro de absorción óptico de una porción de las hojas de las plántulas se propone obtener mediante la técnica de Espectroscopía Fotoacústica. En esta fase se analizó mediante la metodología de Espectroscopía Fotoacústica si hubo cambios en el contenido de clorofila de hojas de plántulas que fueron regadas con agua tratada magnéticamente a diferentes tiempos de ser colocada con imán permanente.

ABSTRACT

Evaluate the qualitative carotenoids content of seedlings developed from laser irradiated maize seeds. These seeds were irradiated at four different times of irradiation doses. Also a control seeds, without irradiation, were included. By using photoacoustic spectroscopy the optical absorption spectra of their seedling leaves were obtained, in the 400 to 500 nm range, to observe qualitative differences in their carotenoids content. Study the optical absorption coefficient (β) of wheat seeds soaked in methylene blue dye, quoted as treated seeds, and untreated seeds were obtained by photoacoustic spectroscopy. The determination of β is based on the Rosencwaig and Gersho model, that enables one to deduce the optical absorption coefficient directly from measured amplitude of the photoacoustic signal. Determine the effect that can take place in the chlorophyll (a), the irrigation of plantlets of maize with water magnetized to different exposure times: 1, 2, 4 and 8 hours. An experimental design of random block was established with repetitions of 3 three plantlets each one.

INTRODUCCIÓN

0.1 Presentación del proyecto de Tesis

El 10 de noviembre de 2001, fue proclamado por la UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura) como "Día Mundial de la Ciencia para la Paz y el Desarrollo. Haciendo hincapié en la utilización responsable de la ciencia en beneficio de las sociedades, para lograr una mayor conciencia en el público sobre la importancia de la ciencia y colmar la brecha existente entre la ciencia y la sociedad, concebir y aprender la ciencia, pensándola siempre para la paz y la armonía" (UNESCO, 2001).

"La humanidad está frente a dos caminos: O continúa insistiendo en un paradigma científico cada vez más fragmentado y especializado o profundiza la construcción de un nuevo paradigma científico integral, biocéntrico, transdisciplinario, ecológico, sistémico y holístico, riguroso en el método y en la experimentación, capaz de captar y relacionar el conjunto de las implicaciones inherentes a cualquier intervención humana sobre la realidad, especialmente sobre los seres vivos."

"Sin la convicción de una armonía íntima del Universo, no podría haber ciencia"
Albert Einstein

"La transdisciplinariedad emerge pues como un camino metodológico para enfrentar los retos de la humanidad; sobre todo porque ella da idea de ruptura de límites, de fronteras en la constitución de los saberes y se da una mejor visión del conocimiento (UNESCO, 2004).

Para abordar el problema actual en la agricultura por el uso continuo de sustancias químicas para mejorar el desarrollo y crecimiento de las plantas, en este trabajo de tesis se superponen disciplinas para el estudio del objeto de investigación, haciendo uso sistemático de múltiples métodos desde múltiples disciplinas para proponer avances en resultados y así, en un futuro cercano,

coadyuvar a consolidar alternativas de solución a este problema con una visión holística.

La agricultura demanda semillas de alta calidad para obtener mejores rendimientos (Artola *et al.*, 2003). La viabilidad de éstas disminuye por diversas causas. El empleo de sustancias químicas para favorecer la productividad agrícola, en ocasiones provoca daños irreversibles al suelo, el medio ambiente y a nuestra alimentación. Por ello, la aplicación de técnicas no contaminantes y de bajo costo, como el empleo de técnicas físicas (tratamiento de semillas con láser y campos magnéticos) representa una alternativa ecológica, la cual ha permitido en varias especies un incremento notable de la capacidad germinativa y de este modo beneficiar a los productores (Martínez *et al.*, 2001).

El empleo del campo magnético y las radiaciones Láser aplicadas a la semilla en las diferentes etapas fenomenológicas, en semilla, plántulas, plantas y agua de riego, se emplean en diversas partes del mundo a partir de las tres últimas décadas (Hernández *et al.*, 2006). La mayor parte de las investigaciones se han destinado al objetivo de mejorar la calidad de las semillas por medio de la estimulación de sus respuestas fisiológicas, o la recuperación de la capacidad germinativa de aquellas semillas que por una razón u otra no germinan, (Socorro *et al.*, 2002). Investigadores buscan y demuestran que fuentes bioenergéticas pueden ser utilizadas en la agricultura y así en alguna medida detener los procesos destructivos del suelo, el ambiente y la producción futura de la alimentación.

Investigaciones publicadas por diversos autores muestran evidencias de los efectos favorables. Sin embargo, es necesario llevar a cabo más experimentos dentro de esta área en los diversos tipos de semillas, en sus diferentes condiciones y en los distintos métodos biofísicos aplicados.

0.2 Marco de Actividades para el desarrollo de la Tesis

En la tabla 0.1 se presentan las metas fijadas para realizar el proyecto de tesis, se definen dentro de un marco de actividades, planteándose las preguntas ¿qué obtener? (meta), ¿qué hacer? (actividad), ¿cómo hacer? (Técnica) y ¿con qué hacer? (Herramienta) (Galindo, 2007).

Tabla 0.1 Marco Metodológico para el desarrollo del trabajo de tesis

Actividad ¿Qué hacer?	Técnica ¿Cómo Hacer?	Herramienta ¿Con qué hacer?	Meta ¿Qué obtener en particular?
<p>0. Investigar analizar, y seleccionar la metodología a seguir.</p> <p>0.1 Iniciar la aplicación de la metodología</p>	<p>Búsqueda de información</p> <p>Investigación de las pruebas de semillas</p> <p>Investigación documental de métodos ecológicos existentes</p> <p>Investigación de las instrumentaciones de medición</p>	<p>- Actitud transdisciplinaria</p> <p>Consulta en Internet</p> <p>Consulta en artículos, memorias de Congresos, etc.</p> <p>Métodos biofísicos para tratar la semilla o agua</p>	<p>Metodología para llevar a cabo el proyecto de tesis</p>
<p>1. Establecer la fundamentación de la investigación</p>	<p>- Investigación del estado de arte del tema</p>	<p>Procesador de textos</p> <p>Bibliotecas</p> <p>Artículos de Memorias, congresos, Conferencias, etc.</p> <p>Noticias de periódicos</p> <p>Datos Sagarpa</p> <p>Datos Inegi</p>	<p>Matriz de congruencias de la investigación</p> <p>Justificación del tema de tesis</p>
<p>2. Establecer el marco conceptual y el marco metodológico</p> <p>Obtención de la literatura,</p> <p>Consulta de literatura</p> <p>Extracción de la información de interés</p>	<p>Investigación del conocimiento sistémico necesario para poder trabajar como equipo transdisciplinario.</p> <p>- Entrevistas</p> <p>Investigación del</p> <p>- Conocimiento de Física</p> <p>- Conocimiento agrícola</p> <p>- Conocimiento Biología</p> <p>- Con metodología experimental</p>	<p>Procesador de textos</p> <p>Software que auxilie en la toma de decisiones</p> <p>Normas internacionales para pruebas de semillas</p>	<p>Definición del conocimiento necesario en las distintas disciplinas para desarrollar el proyecto de tesis.</p> <p>Definición de metodologías a emplear para los ensayos experimentales.</p> <p>Métodos biofísicos a emplear.</p>

Actividad ¿Qué hacer?	Técnica ¿Cómo Hacer?	Herramienta ¿Con qué hacer?	Meta ¿Qué obtener en Particular?
<p>3. Estudiar el efecto de diferentes regimenes de irradiación láser en el espectro de absorción de hojas de plántulas de maíz, provenientes de semillas tratada con luz emitida por un diodo láser de 650 nm.</p> <p>Establecimiento de experimentos</p>	<p>Técnica de Espectroscopia fotoacústica</p> <p>Técnica de irradiación láser de baja intensidad</p>	<p>Instrumentación de espectroscopia fotoacústica</p> <p>Instrumentación óptica-electrónica para la irradiación láser: diodo láser Materiales: Semillas de maíz.</p>	<p>Contenido de carotenoides de hojas de plántulas de semillas de maíz (<i>Zea mays</i> L.) irradiadas con láser obtenidas a través de la técnica de espectroscopia fotoacústica</p>
<p>4. Determinar el coeficiente de absorción óptico de semillas determinado por Espectroscopia Fotoacústica.</p> <p>Establecimiento de experimentos.</p>	<p>Técnica de Espectroscopia Fotoacústica</p> <p>Modelo de Rosencwaig y Gersho</p>	<p>Instrumentación de espectroscopia fotoacústica para la medición</p> <p>Ecuación del modelo de Rosencwaig y Gersho</p> <p>Semillas, prueba de germinación</p>	<p>Coeficiente de absorción óptico que se da al colorear la semilla de trigo con azul metileno y su repercusión en los efectos de irradiación láser, a la longitud de onda de 650 nm</p>
<p>5. Estudiar el efecto de diferentes tratamientos de agua magnetizada en las hojas de plántulas provenientes de semillas de maíz que desde que se sembraron fueron regadas con agua magnética</p> <p>Establecimiento de ensayos experimentales</p>	<p>Técnica de Espectroscopia</p> <p>Tratamiento del agua con imanes permanentes</p>	<p>Instrumentación de espectroscopia fotoacústica para la medición</p> <p>Materiales, semillas, macetas, tierra, agua magnetizada</p>	<p>Efectos en la clorofila a y b en las hojas de las plántulas provenientes de semillas de maíz empleando espectroscopia fotoacústica.</p>

Actividad ¿Qué hacer?	Técnica ¿Cómo Hacer?	Herramienta ¿Con qué hacer?	Meta ¿Qué obtener en Particular?
6. Análisis estadístico de los resultados	Análisis Estadístico para diseños experimentales de bloques completos al azar	Software: SAS.- Sistema de estadística Avanzada, versión 1998	Diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos biofísicos aplicados
7. Elaboración de la discusión y conclusiones de los resultados obtenidos	Revisión de literatura diversa en donde se analicen las conclusiones y las discusiones al respecto de los resultados obtenidos Analizar el trabajo desarrollado	Artículos varios relacionados con los temas en cuestión: análisis de efectos producidos con luz láser y agua magnética empleando Espectroscopía fotoacústica Procesador de textos	Texto de discusión y conclusiones
8. Redacción de tesis	Empleo de técnicas de redacción y ortografía,	Procesador de textos Word Computadora Reglamento del IPN	DOCUMENTO DE TESIS DE GRADO TERMINADO

0.2.1. Metodología para llevar a cabo el proyecto de Tesis

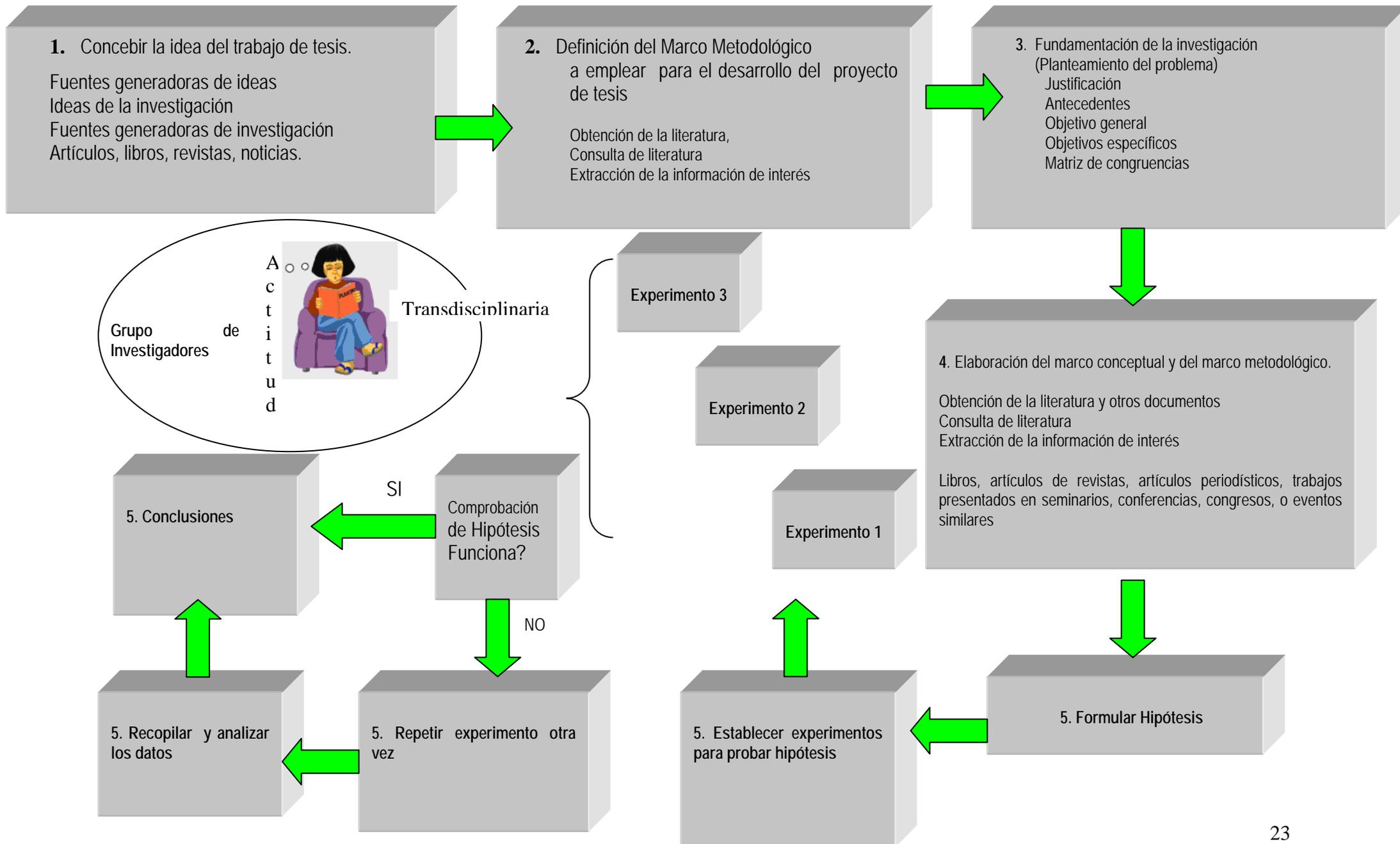


Figura 0.1 Metodología para llevar a cabo el proyecto de tesis

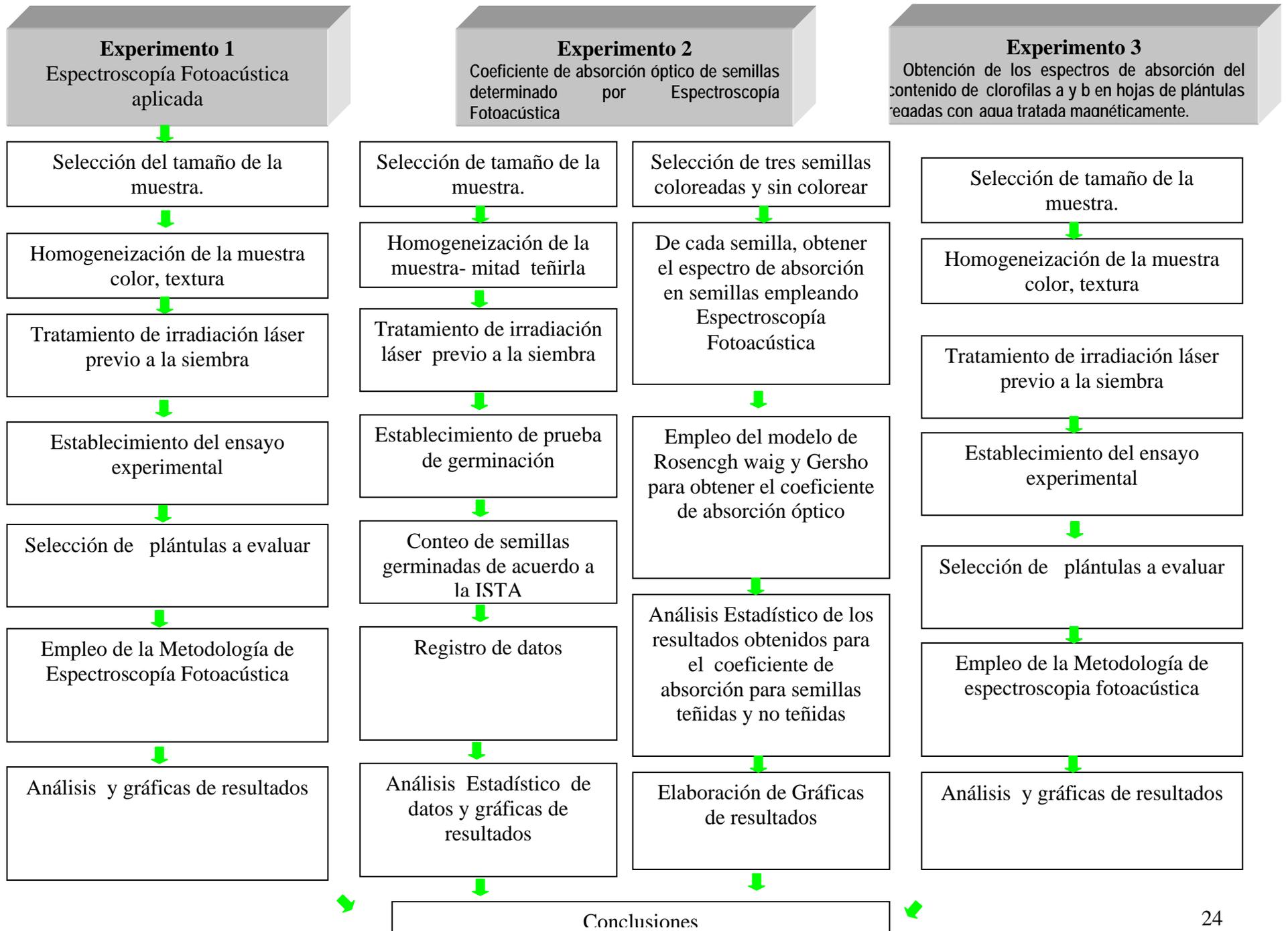


Figura 0.2 Estructura general de las metodologías para llevar a cabo los ensayos experimentales

0.3 Presentación del documento de Tesis

Este trabajo está estructurado de la siguiente forma:

En el primer capítulo, se establece el marco conceptual y el marco metodológico de la investigación. En este capítulo se define el fundamento teórico del fenómeno fotoacústico, Además se establece la metodología de trabajo para llevar a cabo los ensayos experimentales empleando Espectroscopía Fotoacústica, así como la determinación de los métodos biofísicos que serán aplicados.

En el segundo capítulo, se define el marco conceptual y metodológico necesarios para llevar a cabo los experimentos.

En el tercer capítulo, se realiza el estudio del efecto de diferentes regímenes de irradiación láser en el espectro de absorción de hojas de plántulas de maíz, provenientes de semillas tratadas con luz emitida por un diodo láser de 650 nm empleando la metodología de Espectroscopía Fotoacústica.

En el capítulo cuatro, se determina el cambio del coeficiente de absorción óptico que se da al colorear la semilla de trigo con azul metileno con respecto a la semilla sin colorear, haciendo uso del modelo de Rosencwaig y Gersho y empleando como metodología experimental Espectroscopía Fotoacústica y se analiza la influencia que tiene el cambio del coeficiente de absorción óptico en los efectos de irradiación láser en la semilla de trigo, a la longitud de onda de 650 nm . En el capítulo cuatro, se presentan los resultados obtenidos mediante la metodología de Espectroscopía Fotoacústica, si hay cambios en el contenido de clorofila de hojas de plántulas que fueron regadas con agua tratada magnéticamente a diferentes tiempos de ser colocada con imán permanente.

Los experimentos se llevarán a cabo en la estación experimental, Invernadero y Laboratorios del Colegio de postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México y Laboratorio de Técnicas Fototérmicas del CINVESTAV, Mexico, D.F.

En el capítulo cinco, se obtienen los espectros de absorción del contenido de clorofilas a y b en hojas de plántulas regadas con agua tratada magnéticamente.

En el capítulo seis, se plantea una discusión de los resultados experimentales obtenidos, en cuanto a la espectroscopia aplicada al estudio de semillas y plántulas, la luz láser y el contenido de clorofila y carotenoides de las hojas de plántulas y el agua de riego tratada magnéticamente y el contenido de clorofila en las hojas

En el capítulo siete, se plantean las conclusiones generales y orientación para trabajos futuros.

Por último se incluyen las referencias bibliográficas y los anexos que constan de los resultados experimentales encontrados en los diversos ensayos llevados a cabo en este trabajo de tesis.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

1. Fundamentos de la Investigación.

1.1 Justificación

En México, el número total de unidades de producción agropecuaria es de 3 823 063, distribuidas en una superficie total de 91 413 396 hectáreas (en 46% de las cuales se cultivan cereales) y con un número total de empleados de 12 362 723 (INEGI, 2004). En este sector, se ha incrementado el uso de energía, fertilizantes, plaguicidas, riego, mecanización y biotecnología. Como consecuencia, se ha incrementado la erosión por la intensidad de los cultivos y rápida rotación, ha ocurrido depósito y lixiviación de productos nocivos en el suelo, contaminación del agua con exceso de fertilizantes y plaguicidas, contaminación de los alimentos a través de las cadenas alimenticias o directamente, destrucción del hábitat de animales y plantas silvestres y deterioro de la calidad de la vida de la población. Para incrementar la producción es esencial contar con semilla de calidad, con todos los atributos, biológicos, sanitarios y genéticos (Basra,1995) y lograrlo a través de la disminución de uso de agroquímicos.

Por lo tanto, es necesario investigar y experimentar métodos que ayuden a mejorar alguna condición de la semilla y plántulas, así como que al ser empleados no dañen el ambiente (Vasilevski, 2003).

En los últimos años se le da mayor importancia ya que en el siglo pasado la incorporación de sustancias químicas provocó un deterioro ambiental a nivel mundial y ahora los métodos que se incorporen en el sector agrícola no deben dañar el ambiente y en consecuencia la salud de las personas (Vasilevski, 2004). Por las razones anteriores algunos científicos creen que este siglo será de aplicación de métodos biofísicos en la agricultura en donde hay todo un camino por desarrollar e investigar (Hernández *et al.*, 2006).

Con base en esta necesidad se propone en esta investigación obtener resultados aplicando la metodología de Espectroscopía Fotoacústica para caracterizar la semilla y para obtener espectros de absorción de niveles de clorofila y carotenoides en las hojas de plántulas tratadas con métodos biofísicos. Se plantea en el presente trabajo de investigación emplear como método biofísico, la luz láser y el tratamiento de agua de riego con imanes, ya

que no hay reportes en la literatura sobre estos resultados específicos que se plantea obtener .

1.1.1 Maíz

1.1.1.1 Producción Mundial

Producción mundial de maíz (2005/06): 692.338.000 toneladas. Con respecto a la producción de la temporada anterior, hubo una disminución del 2,25%.

Tabla 1.1 Principales países productores de maíz en el mundo.

País	Producción	
	miles de tn	%
EEUU	282,260	40,77
China	139,370	20,13
UE	48,318	6,98
Brasil	41,000	5,92
México	19,200	2,77
India	15,090	2,18
Argentina	14,500	2,09
Rumania	10,300	1,49
Canadá	9,470	1,37
África del Sur	7,000	1,01
Otros	105,830	15,29
Total Mundial	692,338	100

Fuente: USDA. Grain World Market & Trade. Agosto 2006.

1.1.1.2 Producción Nacional

Tabla 1.2 Producción Nacional de maíz.

	miles de tn	%
México	19,200	2,77

Fuente: USDA. Grain World Market & Trade. Agosto 2006.

1.1.1.3 Importancia económica

El rápido aumento de los precios de exportación del maíz en los últimos meses del 2006 e inicios del 2007 ha tenido hasta ahora un impacto fuerte sobre el consumo. En algunos países importadores, los compradores que utilizan el

grano para producir alimentos aún tienen reservas que adquirieron cuando los precios eran más bajos, a falta de opciones más económicas.

Se calcula que el consumo mundial de maíz en el periodo 2006-2007 será de 726 millones de toneladas, 7 millones más de lo previsto en el más reciente pronóstico trimestral y 23 millones más que en 2005-2006. Este ajuste de las proyecciones, al igual que el aumento del consumo de maíz en años recientes, es atribuible al uso industrial, particularmente a la producción de etanol, pero también a la de fécula de maíz. El uso del maíz en la industria aumentó de 105 millones de toneladas en 2004-2005 a 117 millones en 2005-2006 y se prevé que llegue a 138 millones en 2006-2007.

Una parte cada vez mayor de la producción de maíz a nivel mundial se destina a la elaboración de etanol.

1.1.1.4 Importancia Social

El cultivo de la tierra en el país tiene una gran importancia y es sabido que éste se ha ido deteriorando por lo que se ha dado la migración del campo a las ciudades, creando una gran problemática en éstas. Asimismo la migración de una gran cantidad de población que sale de nuestro país a los Estados Unidos en busca de una fuente de ingresos, ha provocado que el país pierda fuerza laboral y se debilite su economía, porque estos recursos humanos en su mayor parte ya no regresan. El campo es cada vez menos trabajado y no produce lo que necesita el país.

A esta situación se suman las semillas transgénicas que son compradas a precios elevados y sólo sirven para el cultivo, creando una dependencia de ellas y sacando del mercado a las semillas nativas. Además, estudios realizados indican que las semillas transgénicas pueden tener ciertas repercusiones en la salud humana.

1.1.2 Trigo

1.1.2.1 Producción Mundial

Tabla 1.3 Principales productores de trigo

	2004 estim.	2005 pronóst.	Variación de 2004/05 a 2005/06 (%)
Asia	253.5	264.4	4.3
Lejano Oriente	186.3	192.4	3.2
Cercano Oriente en Asia	44.9	47.5	5.6
CEI en Asia	21.2	23.6	11.0
África	21.7	19.3	-11.0
África del Norte	17.2	14.6	-15.1
África oriental	2.6	2.5	-1.7
África austral	1.9	2.1	11.6
América central (incluido el Caribe)	2.4	3.0	24.5
América del Sur	25.2	20.0	-20.5
América del Norte	84.6	82.7	-2.3
Europa	218.8	204.9	-6.3
UE	137.3	123.1	-10.4
CEI en Europa	64.7	67.1	3.7
Oceanía	20.7	24.4	18.0
Total Mundial	626.9	618.8	-1.3
Países en desarrollo	278.9	280.3	0.5
Países desarrollados	347.9	338.4	-2.7

Fuente: FAO

1.1.2.2 Producción Nacional

Tabla 1.4 Producción en México.

	miles de tn	%
México	978	- 2.6

Fuente: FAO

1.1.2.4 Importancia Económica

La disminución en la producción internacional de trigo repercute en un alza de los precios en México y en Estados Unidos.

Entre 2005 y octubre de 2006, los precios del trigo subieron casi 26% en el mercado internacional, según se desprende de información estadística del Sistema de Información Agroalimentaria de la Secretaría de Agricultura (SIAP).

La escasez internacional del producto se ve encabezada por una reducción sustancial en los campos australianos.

De acuerdo al Consejo de Granos de Estados Unidos, la disminución en la producción de trigo en Australia pasó este año de 25 a 10 millones de toneladas. Otro mercado que ofrece un alza en los precios del trigo es Estados Unidos. En el estado de Montana los precios incrementaron 28.4% entre octubre de 2005 y el mismo mes de 2006, reportó el Departamento de Agricultura de Estados Unidos.

Incluso el precio registrado en octubre fue el más alto en todo el año para dicho estado, donde de septiembre a octubre el valor del trigo incrementó 8.15%.

El precio del trigo en Montana ha registrado el nivel más alto desde agosto de 1996.

En México las exportaciones de trigo duro, correspondientes a la fracción 100110, pasaron de 300 mil toneladas en 2005, a cerca de 500 mil en octubre de 2006. El precio de este grano durante dicho periodo aumentó de 1.43 a seis dólares por kilo, mientras que los ingresos incrementaron en 212 millones 819 mil 850 dólares, informa el SIAP.

Aunque el precio de la fracción 100190 se incrementó, las ventas cayeron de 264 mil 500 dólares al terminar 2005, a 482.95 dólares entre enero y octubre del citado año; asimismo, la cantidad adquirida en los mercados internacionales pasó de mil 700 toneladas al terminar 2005, a sólo cuatro toneladas entre enero y octubre de 2006.

1.2.2.5 Importancia Social

A pesar de las perspectivas favorables en la producción de alimentos para 2007, la FAO pronosticó que los problemas de inseguridad alimentaría

persistirán en 34 países debido a las pérdidas de cosechas y a conflictos civiles y bélicos, como los que se registran en África Oriental

1.1.3 Visión Rica de la situación actual del Campo en México.

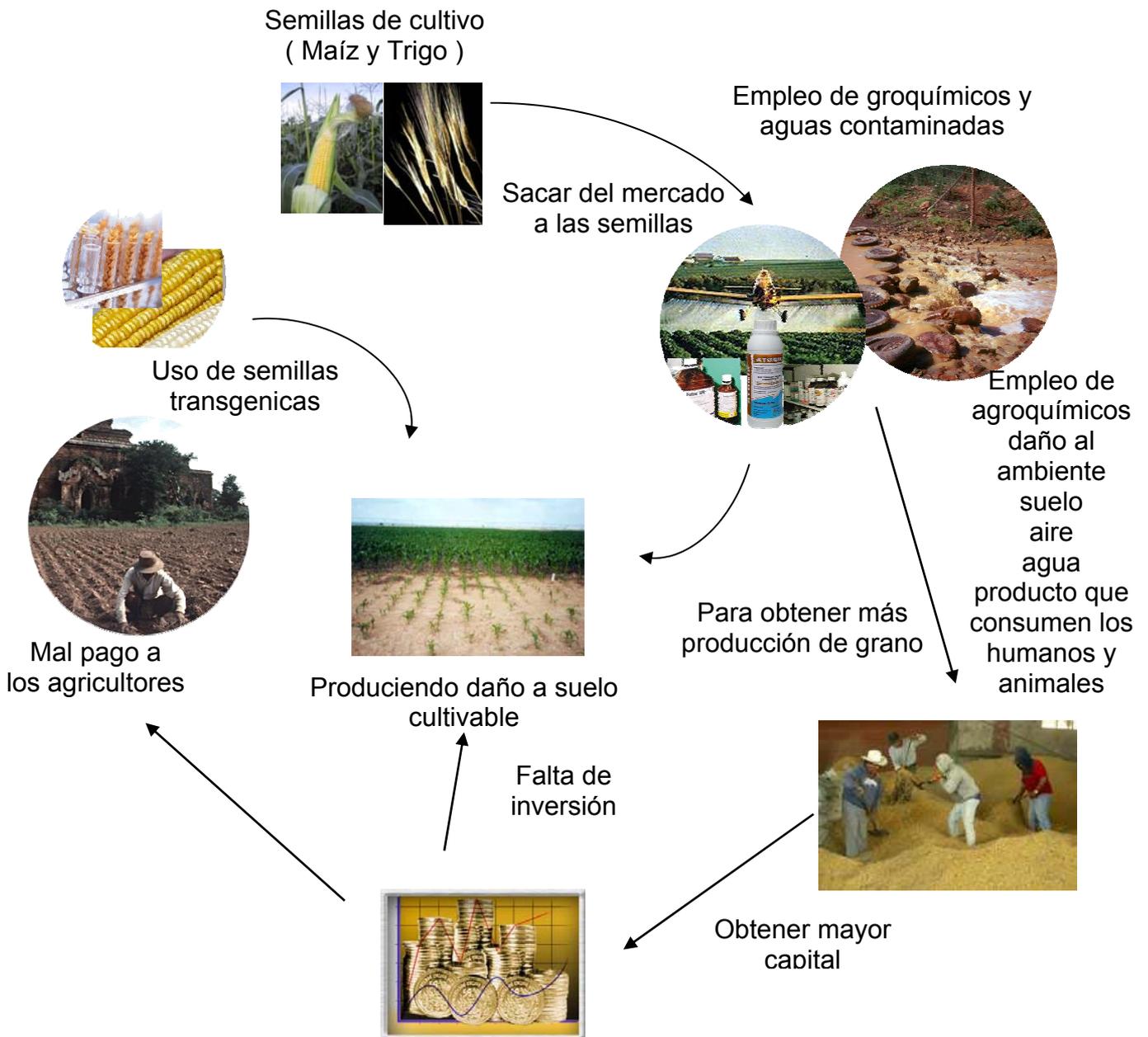


Figura 1.1 Visión Rica de la situación actual del campo en México.

1.2. Antecedentes

1.2.1 Aplicación de métodos biofísicos

La aplicación de diferentes métodos biofísicos físicos para acelerar la germinación y el crecimiento de las plantas ha tomado auge en los últimos tiempos por su acción positiva. Las radiaciones no ionizantes como el láser y el campo magnético, se han convertido en los más utilizados para estos fines.

La acción de estos agentes físicos puede provocar variaciones a nivel celular que afectan los mecanismos de transporte y los procesos metabólicos que ocurren en las plantas (Vasilevski, 2003). Los efectos que pueden encontrarse dependen, para el caso del campo electromagnético, de la inducción magnética, frecuencia, intensidades, y forma de onda; y para el caso del láser, de la intensidad, del tiempo de exposición, posición de la irradiación, número de regímenes de irradiación y de la longitud de onda.

Se detallan algunos momentos importantes en el uso del láser y del campo magnético en Biología, Medicina y en la Agricultura:

- **1962 - Injushin**, en la Universidad de Alma Ata, antigua URSS, realiza los primeros trabajos en la interacción del láser con seres vivos; y allí Gamaleya estudia los efectos del láser en Biología.
- **1964 - Goldman** estudia los efectos del láser sobre la piel. Empiezan a usarse en Medicina los láseres de Nd-YAG y de Argón.+
- **1970 - Mester**, en Hungría, describe la bioestimulación láser sobre los tejidos; **Steller y Cols** describen el mecanismo de destrucción de tejidos blandos por láser de CO₂ y su cicatrización. Primeros trabajos en cirugía endoscópica.
- **1972 - Jako y Strong** efectúan cirugía láser vía endoscópica por la laringe.
- **1973 - Kaplan y Sharon**, en Israel, extirpan un hemangioma cavernoso de un labio con excelentes resultados estéticos.
- **1976 - Guerry** utiliza láser de CO₂ en el tratamiento de leucoplasias y lesiones superficiales en la cavidad bucal.

- **1999, Botta y Col** concluyeron que un campo electromagnético de frecuencia de 60 HZ produjo una mayor formación de propágulos; en la especie *Dioscorea alata*. L. var. Cartagena y var. Blanco Pelú. Este resultado demostró el efecto positivo del campo electromagnético en el coeficiente de multiplicación, factor determinante en la micropropagación de este género por vía organogénica.
- **1999 - Ouf y Andel**, en Egipto utilizó la influencia de la irradiación láser empleando el láser de He-Ne para radiar semilla de soya, encontrando estimulación en la germinación.
- **2000 Zhi Qi et al**, en China emplearon combinación de láseres de He-Ne y CO₂ para pre-tratar la semilla de *Vicia faba*. El resultado reportado es aumento de la resistencia al estrés de luz UV.
- **2000, Conferencia Internacional de Ecofisiología**, reportan bioestimulación en crecimiento de plántulas de semillas de haba.
- **2002, Podlesney**, en Polonia reporta que la irradiación de las semillas influyó en una mayor velocidad de germinación y además modificó el curso de los estados de desarrollo, influyendo en la madurez de las plantas.
- **2005, Novoa y Col** obtuvieron un efecto favorable al germinar semillas de maíz que tuvieron un tratamiento previo de imbibición con agua tratada magnéticamente. Se apreció una aceleración en el proceso germinativo y se logró disminuir el período de germinación en dos días según lo establecido para esta especie.
- **2006, Hernández et al.** Reportan la influencia de los efectos de irradiación láser empleando un láser semiconductor en una prueba de vigor, visualizándose un comportamiento variable dependiendo de los parámetros de irradiación manejados.

La mayoría de los autores coinciden que la luz láser de He-Ne y el empleo de campos electromagnéticos a determinados parámetros de irradiación brindan resultados positivos, haciendo que el crecimiento y desarrollo del sistema radical sea más rápido, así como una mejor adaptación a los cambios ambientales, más alta resistencia a las enfermedades e incremento en la productividad, por lo que hace falta generar mas resultados para consolidar los

métodos. En este caso se propone analizar los efectos del empleo de métodos biofísicos sustentables en semillas y plántulas de semillas de maíz y trigo con la técnica de Espectroscopía Fotoacústica.

1.2.2 Aplicación de la Espectroscopía Fotoacústica

La espectroscopía, estudia los efectos de la interacción radiación-materia y es una herramienta que se aplica a varias áreas de la ciencia. De esta manera se puede obtener información acerca de las propiedades, tanto microscópicas como macroscópicas, de diversos tipos de materiales y objetos biológicos.

Toda la información se obtiene por medio de la respuesta del material, debido a la excitación por la radiación electromagnética. En la mayoría de los casos, se requiere que la radiación no altere el material.

Existen espectroscopias para rangos de rayos X con longitudes de ondas menores a un Angstrom, en el visible, y hasta llegar al lejano infrarrojo. Todas estas espectroscopías son llamadas ópticas y tienen un gran uso hoy en día para la investigación, en la industria, y en otras áreas como la medicina.

La espectroscopía óptica involucra el estudio de la luz cuando interacciona con la materia. Se distingue por el hecho de que los datos se obtienen al detectarse la luz después de que el haz incidente ha interactuado con el material bajo la investigación.

Sin embargo, cuando la luz es absorbida por un material, se producen efectos como la conversión de luz a calor, producción de gases (fotosíntesis), etc. Este tipo de fenómenos no se pueden estudiar con espectroscopía óptica, para estos casos se han desarrollado nuevas técnicas, en las que se estudian los efectos que producen la absorción de la luz por la materia.

Una de las técnicas que se desarrolló con este fin es la llamada espectroscopía fotoacústica. Ésta se basa en el principio de que cuando la luz modulada incide sobre el material, la interacción entre esa radiación y el material produce difusión modulada de calor, la cual se detecta por medio de ondas acústicas a

través de un micrófono. De este modo, se puede analizar directamente la absorción óptica de ese material, en ese rango del espectro electromagnético.

La Espectroscopia Fotoacústica (PAS) ha despertado un enorme interés debido a su aplicación en diversos campos de la Espectroscopía. Esta técnica espectroscópica es complementaria de las técnicas usuales, Absorción, Emisión, Fluorescencia, etc.; las cuales utilizan los procesos de relajación radiativos, mientras que la espectroscopía PAS utiliza los procesos de relajación no radiativos, los que originan conversión de parte de la energía absorbida en energía térmica, la cual da lugar a variaciones de presión que pueden ser detectadas como señales acústicas mediante un transductor.

Las aplicaciones de esta técnica se han llevado a cabo desde que surgió, para obtener espectros de absorción de diversos materiales y objetos biológicos.

1.3 Objetivo General

Aplicar la metodología de Espectroscopia Fotoacústica para análisis de semillas y plántulas de maíz y trigo tratadas con métodos biofísicos.

1.3.1 Objetivos Específicos

- 1). Determinar los métodos biofísicos a emplear en este trabajo.
- 2). Establecer la metodología de trabajo transdisciplinaria para llevar a cabo la investigación y las metodologías para llevar a cabo los ensayos experimentales empleando Espectroscopía Fotoacústica.
- 3). Estudiar el efecto de diferentes regímenes de irradiación láser en el espectro de absorción de hojas de plántulas de maíz, provenientes de semillas tratada con luz emitida por un diodo láser de 650 nm empleando la metodología de Espectroscopía Fotoacústica.
- 4). Determinar el cambio del coeficiente de absorción óptico que se da al colorear la semilla de trigo con azul metileno con respecto a la semilla sin colorear haciendo uso del modelo de Rosengai y Gersho y empleando como metodología experimental Espectroscopia Fotoacústica.
- 5). Analizar la influencia que tiene el cambio del coeficiente de absorción óptico en los efectos de irradiación láser en la semilla de trigo, a la longitud de onda de 650 nm
- 6). Analizar mediante la metodología de Espectroscopía Fotoacústica si hay cambios en el contenido de clorofila de hojas de plántulas que fueron regadas con agua tratada magnéticamente a diferentes tiempos de ser colocada con imán permanente.

1.4 Hipótesis

- 1.4.1** La luz emitida por un diodo láser de 650 nm puede interactuar con la semilla de maíz y modificarse el contenido de carotenoides a ciertos regímenes de irradiación, reflejándose a nivel macro como un cambio de su contenido en las hojas de las plántulas provenientes de semilla irradiada, detectándose los cambios mediante la técnica de Espectroscopia Fotoacústica.
- 1.4.2** Los efectos de la irradiación láser en la semilla de trigo dependen del coeficiente de absorción óptico, a mayor β se incrementan los efectos de irradiación producidos por un diodo láser de 650 nm y $P = 27.4$ mW.
- 1.4.3** El riego de plántulas con agua tratada magnéticamente produce cambios en la clorofila de las plántulas

1.5 Características de la Investigación

El tipo de investigación empleada en este trabajo de tesis es investigación básica y exploratoria.

1.6 Matriz de Congruencias

Problema de Investigación		
Demostrar que algunos métodos biofísicos pueden modificar las características de las plántulas y ser detectados mediante la técnica de Espectroscopía Fotoacústica		
Justificación		
<p>En México y el mundo existe la problemática del uso de agroquímicos para mejorar el desarrollo y crecimiento de las plantas, los cuales han producido un deterioro ambiental, del suelo, la tierra, el agua y los alimentos que consumimos.</p> <p>En nuestro país las semillas básicas son el maíz y el trigo, ambos cereales cubren la mayor parte de los sembradíos del país y aun así no se satisfacen las necesidades que el país demanda.</p> <p>Es necesario desarrollar métodos biofísicos sustentables y para que se consolide su uso, hace falta generar mayor cantidad de experimentos que nos indiquen qué efectos producen diversas fuentes de irradiación en las semillas y en las plántulas, en algunos parámetros característicos.</p>		
Objetivo General		
Aplicar la metodología de Espectroscopía Fotoacústica para análisis de semillas y plántulas con fines de analizar los efectos de los métodos biofísicos aplicados y coadyuvar en la generación de información que señale los efectos producidos por el uso de métodos biofísicos.		
Objetivos específico 1	Objetivos específico 2	Objetivos específico 3
<p>1. Determinar los métodos biofísicos a emplear en este trabajo de tesis</p> <p style="text-align: center;">Pregunta</p> <p>¿Qué métodos biofísicos se emplean actualmente para mejora de crecimiento y desarrollo de plantas?</p>	<p>2. Establecer la metodología de trabajo transdisciplinaria para llevar a cabo la investigación y las metodologías para llevar a cabo los ensayos experimentales empleando PAS</p> <p style="text-align: center;">Pregunta</p> <p>¿Por qué es necesario el uso de una metodología transdisciplinaria?</p>	<p>3. Estudiar el efecto de diferentes regímenes de irradiación láser en el espectro de absorción de hojas de plántulas de maíz provenientes de semillas tratadas con luz emitida por un diodo láser de 650 nm empleando la metodología PAS</p> <p style="text-align: center;">Pregunta</p> <p>¿Qué efecto produce la luz láser en las hojas?</p>
Objetivos específico 4	Objetivos específico 5	Objetivos específico 6
<p>4. Determinar el cambio del coeficiente de absorción óptico que se da al colorear la semilla de trigo con azul metileno con respecto a la semilla sin colorear haciendo uso del modelo de Rosengai y Gersho y empleando como metodología experimental PAS</p> <p style="text-align: center;">Pregunta</p> <p>¿Cómo afecta el colorante β en la semilla de trigo?</p>	<p>5. Analizar la influencia que tiene el cambio del coeficiente de absorción óptico en los efectos de irradiación láser en la semilla de trigo, a la longitud de onda de 650 nm, midiendo el coeficiente mediante Espectroscopía Fotoacústica.</p> <p style="text-align: center;">Pregunta</p> <p>¿Qué influencia tiene el cambio de β en los efectos de irradiación láser?</p>	<p>6. Analizar mediante la metodología de PAS si hay cambios en el contenido de clorofila de hojas de plántulas que fueron regadas con agua tratada magnéticamente a diferentes tiempos de ser colocada con imán permanente.</p> <p style="text-align: center;">Pregunta</p> <p>¿Qué efecto produce el agua magnética en las hojas de las plántulas?</p>
Hipótesis		
<p>La luz emitida por un diodo láser de 650 produce cambio de contenido de clorofila en las hojas de las plántulas provenientes de semilla irradiada y es detectado el cambio mediante Espectroscopía Fotoacústica.</p> <p>Los efectos de la irradiación láser en la semilla de trigo dependen del coeficiente de absorción óptico.</p> <p>El riego de plántulas con agua tratada magnéticamente produce cambios en la clorofila de las plántulas, detectándose a través de Espectroscopía Fotoacústica.</p>		
Características de la Investigación		
El tipo de investigación empleada en este trabajo de tesis es investigación básica y exploratoria		

FIGURA 1.2 Matriz de Congruencias de la Investigación

CAPÍTULO 2

MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO

CAPÍTULO 2. MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO

Como se menciona al inicio de este trabajo de tesis, el objeto de investigación está determinado por la superposición de disciplinas. El uso sistemático de múltiples métodos desde múltiples disciplinas permite avanzar en los resultados para consolidar distintas alternativas como métodos biofísicos sustentables. Diferentes disciplinas y sistemas son parte de este trabajo de tesis.

1. Ciencia de Sistemas
2. Física
3. Biología
4. Agricultura

2.1 Conocimiento Sistémico Disciplina 1

El pensamiento sistémico es la actitud del ser humano que se basa en la percepción del mundo real en términos de totalidades para su análisis, comprensión y accionar, a diferencia del planteamiento del método científico, que sólo percibe partes de éste y de manera inconexa.

El pensamiento sistémico aparece formalmente hace unos 45 años, a partir de los cuestionamientos que desde el campo de la Biología hizo Ludwing Von Bertalanffy, quien cuestionó la aplicación del método científico en los problemas de la Biología, debido a que éste se basaba en una visión mecanicista y causal, que lo hacía débil como esquema para la explicación de los grandes problemas que se dan en los sistemas vivos.

Este cuestionamiento lo llevó a plantear un reformulamiento global en el paradigma intelectual para entender mejor el mundo que nos rodea, surgiendo formalmente el paradigma de sistemas.

El pensamiento sistémico es integrador, tanto en el análisis de las situaciones como en las conclusiones que nacen a partir de allí, proponiendo soluciones en

las cuales se tienen que considerar diversos elementos y relaciones que conforman la estructura de lo que se define como "sistema", así como también de todo aquello que conforma el entorno del sistema definido. La base filosófica que sustenta esta posición es el Holismo (del griego holos = entero).

La revolución científica sistémica de la segunda mitad del Siglo XX impulsó la unidad pluri, multi, inter y transdisciplinaria de la ciencia. Después de más de tres siglos de una orientación científica analítica, se buscó su articulación, para representar, interpretar, comprender y transformar con mayor alcance y profundidad una realidad única, integral. La fragmentación del conocimiento, que en una etapa se orientó a la profundización del conocimiento por disciplinas, se alejó cada vez más de una realidad en la que todos los sistemas están interconectados.

La ciencia básica y aplicada del enfoque integral de sistemas, de la ciencia de la síntesis, abrió un espacio de comunicación entre los campos de la ciencia duros o cuantitativos, suaves o interpretativos y críticos, bajo una visión ética del cambio. El cambio, la transformación de la realidad hacia mayores niveles de complejidad y conciencia (complejificación-conscientización), que trascienden sus estados anteriores con la adquisición de propiedades emergentes, ocurre de forma más acelerada en el turbulento contexto actual. (Ignacio Peón y F. Aceves, 2006)

Así, el enfoque sistémico contemporáneo plantea una visión pluri, multi, inter, y transdisciplinaria. Se reconoce que la complejidad del mundo real y sus problemas ambientales no pueden afrontarse a través de la organización disciplinaria del conocimiento. La complejidad de la realidad necesita de la disciplina, la interdisciplina y la transdisciplina. La interdisciplina es un paso esencial para analizar las interrelaciones y las interconexiones entre los distintos aspectos de la realidad, sin abandonar la disciplina. La transdisciplina, en cambio, cruza las diferentes especialidades y va más allá de cada una. Requiere por lo tanto de un más alto grado de integración. Sólo puede ejercitarse a partir de un amplio fundamento conceptual que considera en sí integralidad a los procesos biofísicos y sociales que constituyen nuestra

realidad. La transdisciplina, por lo tanto, está destinada a romper con las tradiciones académicas, que hoy separan a las ciencias naturales de las ciencias sociales, e ir más allá: mantener los procesos básicos que hacen posible la vida en el planeta (Toledo, 2006)

"No puedes solucionar el problema con el mismo nivel de pensamiento que creó el problema"

Albert Einstein

2.1.1 Transdisciplinariedad

El prefijo "trans" denota algo que va "a través", "más allá" o "entre", implicando una entidad o una idea que es más amplia en perspectiva e incluso "trascendente". Al mismo tiempo, "trans" señala lo "transgresivo", implicando disrupción e incluso disolución de límites. El origen del concepto de transdisciplinariedad se atribuye convencionalmente a la primera Conferencia Internacional sobre Transdisciplinariedad en 1970. La visión transdisciplinaria elimina la homogeneización, y reemplaza la reducción con un nuevo principio de realidad que emerge de la coexistencia de una pluralidad compleja y una unidad abierta. En lugar de una simple transferencia del modelo desde una rama del conocimiento a otra, la transdisciplinariedad toma en cuenta el flujo de información circulando entre varias ramas del conocimiento. La transdisciplinariedad no es una nueva disciplina, una herramienta teórica, o una súper-disciplina. Es la ciencia y el arte de descubrir puentes entre diferentes objetos y áreas de conocimiento, es la plataforma de un esfuerzo de amplia base para construir esta nueva aproximación científica y cultural.

La transdisciplinariedad, no es una abstracción idealista: existe en un sujeto que la construye como una reflexión y la actualiza en la práctica y hoy tiene una fuerza particular en el campo de la sustentabilidad. La necesidad de este tipo de transdisciplinariedad es ubicuo. Se insiste en ella en campos referidos a la interacción humana con sistemas naturales (por ejemplo: agricultura, forestación, industrias, megalópolis, etc.); en campos de alto desarrollo técnico (por ejemplo: nuclear y biotecnología genética); y en el contexto del desarrollo. Ha probado su efectividad en campos donde los desarrollos sociales, técnicos

y económicos interactúan con elementos de valores y culturas - energía, salud, nutrición, desarrollo sustentable, desarrollo urbano y paisajístico, y gestión de residuos (Häberli *et al.*, 10-11 en Klein *et al.*, 2001).

Mittelstrass, ve a la transdisciplinariedad como la "verdadera interdisciplinariedad" porque no deja intactas disciplinas, especialidades o fronteras históricas (Balsiger). Se orienta a la especialización disciplinaria y a las formas interdisciplinarias de cooperación, pero las sobrepasa con la construcción de nuevos paradigmas conceptuales y la inclusión de los intereses sociales. La transdisciplinariedad, es una de las tres operaciones lógicas que Edgar Morin identifica en la arquitectura del pensamiento complejo: distinción, que alinea con la disciplinariedad; conjunción, que alinea con la interdisciplinariedad; e implicación, que comporta una metanivel sistémico de la relación disciplinariedad/interdisciplinariedad que favorece un pensamiento en red. Esto también implica una actitud transdisciplinaria que Nicolescu asocia con movimientos a través de las divisiones entre sujeto y objeto, entre internalidad y externalidad, en un espíritu crítico y riguroso, con consecuencias éticas, políticas y antropológicas tanto en la filosofía como en la praxis.

Construir una "arquitectura transdisciplinaria de la integración del conocimiento", según remarcan Scholz y Marks, requiere trabajar con epistemología, metodología y organización. La epistemología implica una teoría holística de los fundamentos de un proyecto, la validación y límites de los datos y aseveraciones, así como aproximaciones a la resolución de un problema particular. La metodología implica un cuerpo metodológico y conceptual, así como la manera en que ellos serán utilizados. La organización implica planes de gestión en el proceso de transdisciplinariedad (Scholz y Marks en Klein *et al.*, 2001; Ritz y Thierstein, Workbook I, 450-53).

Algunos autores asocian la transdisciplinariedad con la unificación de las ciencias. Otros ponen el foco en la unidad de una visión del mundo, buscando una conceptualización común de la cultura y de los roles de la ciencia y la

educación. Kockelmans hace un llamado a una filosofía integradora de la ciencia que promueva una "actitud" orientada hacia contribuciones comprensivas de todas las disciplinas en una reflexión crítica, filosófica y supra-científica.

2.1.1.1 Actitud Transdisciplinaria

La *actitud* transdisciplinaria, paradigma situado en un metanivel sistémico sobre la relación disciplinariedad/interdisciplinariedad, permite una mirada que puede - desde el trabajo estrictamente disciplinario, desde el trabajo interdisciplinario y, también, desde el conocimiento extradisciplinario- comprender las riquezas del diálogo multinivel y horizontal.

- Cerrando las fronteras del conocimiento disciplinario, las abre a la posibilidad del proyecto interdisciplinario.
- Por lo mismo, insiste en la importancia de profundizar en los distintos campos disciplinarios.
- No anula, censurando, los saberes extradisciplinarios.

Lo que se privilegia en la transdisciplinariedad es la aptitud de *pensar en red*, señalando precisamente una estrategia: la necesidad de reformar las categorías del pensamiento para abordar el conocimiento de la realidad desde una mirada compleja. En tanto, la interdisciplinariedad está privilegiada por un *actuar en red*, señalando el campo del proyecto y la acción, el campo táctico.

La *actitud transdisciplinaria*, según Basarab Nicolescu, presupone "pensamiento y experiencia interior, y ciencia y conciencia, y efectividad y afectividad. (...) La transdisciplinariedad puede ser concebida como la ciencia y el arte del descubrimiento de las *pasarelas* [a la vez entre los diferentes campos del conocimiento y entre los diferentes seres que componen una colectividad, porque el espacio exterior y el espacio interior son dos facetas de un solo y mismo mundo]." (Nicolescu, 1998:76-77).

En la práctica para el investigador, según el artículo 14 de la Carta de Transdisciplinariedad¹⁷, *rigor*, *apertura* y *tolerancia* son las características

fundamentales de la actitud y visión transdisciplinaria. El *rigor* en la argumentación que toma en cuenta toda la información disponible es la mejor barrera contra toda posible deriva. La *apertura* implica la aceptación de lo desconocido, lo inesperado y lo imprevisible. La *tolerancia* es el reconocimiento del derecho a las ideas y verdades opuestas a las nuestras."

2.1.1.2 Disciplinas a desarrollar en los investigadores.

(Para construir una organización con capacidad de aprendizaje y pensamiento transdisciplinario)

1. Dominio Personal: apertura de espíritu a la realidad y vivir con una actitud creativa y no reactiva.

La gente con alto dominio personal alcanza las metas que se propone. El dominio personal trasciende la competencia y las habilidades, significa abarcar la vida desde una perspectiva creativa y generativa, en vez de meramente reactiva. Aprendizaje = expandir constantemente la tensión creativa. Expandir la aptitud para producir los resultados que deseamos. Se trata de un aprendizaje generativo.

2. *Modelos Mentales*: Son siempre precisos valores y principios

Supuestos hondamente arraigados, generalizaciones, imágenes que influyen en nuestro modo de percibir el mundo. La disciplina de trabajar sobre modelos mentales implica volver el espejo hacia dentro y exhumar las oscuras imágenes internas, y dejar nuestro interior tan claro que pueda percibirse en la profundidad de nuestras miradas. Trabajar con modelos mentales implica llegar al nivel en el cual la persona que está incorporando nuevos modelos a su vida pueda mantener conversaciones de apertura, equilibrando la indagación.

Donde la gente manifiesta sus pensamientos, para exponerlos a la influencia de otros, porque ha llegado al momento en el cual mediante

un comportamiento maduro, podemos tomar los comentarios de los demás para ampliar nuestro modelo, representación del mundo.

3. Construcción de una visión compartida.

Es importante la co-creación y la visión compartida por todos y cada uno

4. Aprendizaje en equipo: Ley del equipo : el diálogo

Generar el contexto y desarrollo de aptitudes de trabajo en equipo, logrando el desarrollo de una figura más amplia, superadora de la perspectiva individual.

Trabajo en equipo:

Cuando el equipo logra alinearse surge una dirección común y las energías se armonizan, hay menos desperdicio de energía, surge la sinergia.



5. *La quinta disciplina - pensamiento sistémico*: en las organizaciones, está presente el paradigma de personas interrelacionadas, como eslabones de una misma cadena, superando las barreras entre las diferentes especialidades, formando equipos interdisciplinarios. El pensamiento sistémico se transforma en la disciplina que integra a las demás, fusionándolas en un cuerpo coherente de gente madura, que construye y defiende valores profundos comprometándose con metas trascendentales, siendo abiertas, ejercitando el libre albedrío y buscando una perspectiva sistémica. (Peter Senge, 1990).

"El verdadero aprendizaje llega al corazón de lo que significa ser humano".
Peter M. Senge,

2.2. Conocimiento de Física

2.2.1 Ondas electromagnéticas

En las ondas electromagnéticas (OEM), el perfil de onda transmitido está asociado al campo electromagnético alterno que se propaga. Son las magnitudes características de éste las que variarán en el espacio y en el tiempo, es decir, la magnitud $\Psi(x,t)$ representa las dos magnitudes vectoriales

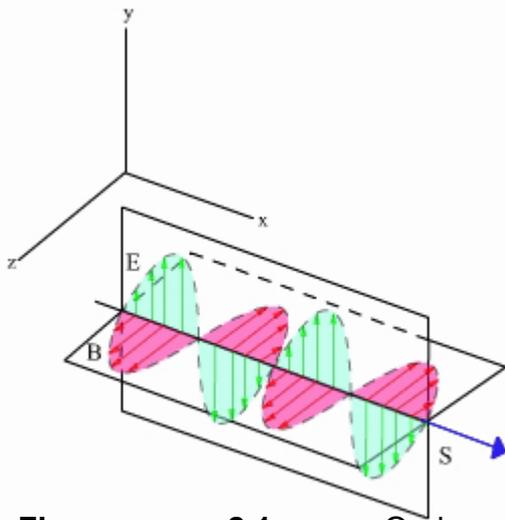


Figura 2.1 Onda electromagnética y vector de Poynting

características del campo electromagnético: $E(r,t)$ y vector inducción magnética $B(r,t)$, considerando una onda que se propaga en el espacio tridimensional.

La onda es portadora de energía, energía que se propaga con ella a través del campo electromagnético asociado en la dirección de propagación. La energía, en el caso de la onda, se propaga de manera **continua**. Es en esta en la que se define el Vector de Poynting \mathbf{S} (Figura 2.1).

Para el caso de una onda electromagnética plana y que se propaga según la dirección x, el vector intensidad de campo eléctrico $\mathbf{E}(x,t)$ y el vector intensidad de campo magnético $\mathbf{B}(x,t)$. El Vector de Poynting se define en la dirección y el sentido de propagación de la onda:

$$\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$$

$$S = EH = \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} E^2 = CE^2$$

Se podría llamar **Intensidad** a cualquier magnitud fotométrica proporcional al cuadrado de la amplitud del vector intensidad de campo eléctrico o inducción magnética.

$$I = cE_0^2 = cB_0^2$$

La magnitud intensidad está en función de los módulos al cuadrado de las amplitudes de los vectores eléctrico y/o magnético, revelando esta dependencia la naturaleza distribuida de la energía en todo el campo electromagnético, sustrato de la propagación de la luz según el modelo ondulatorio.

2.2.1.1 Luz: flujo de fotones

Al ser un flujo de partículas llamadas fotones: es un proceso físico **discontinuo** donde la energía se produce, propaga y absorbe en porciones o quantum de valor $h\nu$, como proceso energético **finito**.

$$E = h\nu$$

El concepto de fotón está asociado a la cuantificación del campo electromagnético. Por ello determina ese enfoque cuantificado ó cuántico. El quantum del campo electromagnético es el fotón y es E la energía asociada a un fotón. El fotón es una porción de energía **concentrada** que dependerá solamente de la frecuencia de la onda (magnitud por demás ondulatoria).

Sea n el número de fotones por unidad de tiempo y unidad de área que transporta la OEM, la intensidad de una onda luminosa según el enfoque corpuscular sería:

$$I = n h \nu$$

La intensidad luminosa, según la Teoría Cuántica de la Luz posee una interpretación diferente, pero es la misma magnitud definida y conocida anteriormente.

Aun desde el punto de vista clásico, es demostrable que la energía electromagnética E y el momentum lineal p están relacionados a través de:

$$p = \frac{E}{c}$$

Se infiere entonces, al relacionar estas anteriores expresiones y vincular la longitud de onda λ :

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

Y en la forma vectorial:

$$\vec{p} = \hbar \vec{k}$$

siendo $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ conocida como Constante de Dirac.

Atendiendo a la propagación y a las características del medio en el cual se propaga la luz se puede escribir que:

Velocidad de Propagación: rapidez con la que se propaga la energía de la luz. En el vacío es aproximadamente $3 \cdot 10^8$ m/s, una constante universal, en otros medios la velocidad dependerá de las propiedades eléctricas y magnéticas del mismo, aunque siempre menor que la velocidad de la luz.

Índice de Refracción: magnitud adimensional característica de los medios materiales; relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad que adquiere la luz en ellos, y en el caso del vacío el índice de refracción será igual a la unidad:

$$n = \frac{c}{V}$$

Atendiendo al carácter ondulatorio de la luz, y según la Teoría Ondulatoria Electromagnética:

Vector Intensidad de Campo Eléctrico: una de las magnitudes vectoriales que oscilan durante el proceso ondulatorio, E [V/m].

Vector Inducción Magnética: otra de las magnitudes vectoriales que oscilan durante el proceso ondulatorio, B [T].

Período: tiempo empleado por la onda en una oscilación, T [s].

2.2.1.2 Características de la luz proveniente de fuentes convencionales

Las fuentes luminosas convencionales no emiten radiaciones puras en cuanto a colores. Sus espectros luminosos son continuos o discretos. La fuente más natural de existencia es el Sol. La luz del Sol es un buen ejemplo de radiación de espectro continuo.

También la lámpara incandescente o de Edison produce, debido a la combustión, radiación de espectro continuo. La lámpara luminiscente o lámpara de “luz fría” emite radiación de espectro continuo. Entre ambos tipos de lámparas existen diferencias importantes.

La radiación emitida por la lámpara incandescente, formada por un filamento de tungsteno al rojo vivo, está más “cargada” o desplazada hacia las frecuencias bajas correspondientes a los colores naranja, rojo e incluso una buena parte de infrarrojo. La presencia de éste le confiere la posibilidad de emitir energía calorífica.

La lámpara luminiscente o de “luz fría” sin embargo, está más “cargada” hacia la zona de las altas frecuencias siendo muy pocas o, mejor dicho, de poca importancia las componentes espectrales más “cálidas” siendo más importantes las componentes de mayor frecuencia, azules y violetas.

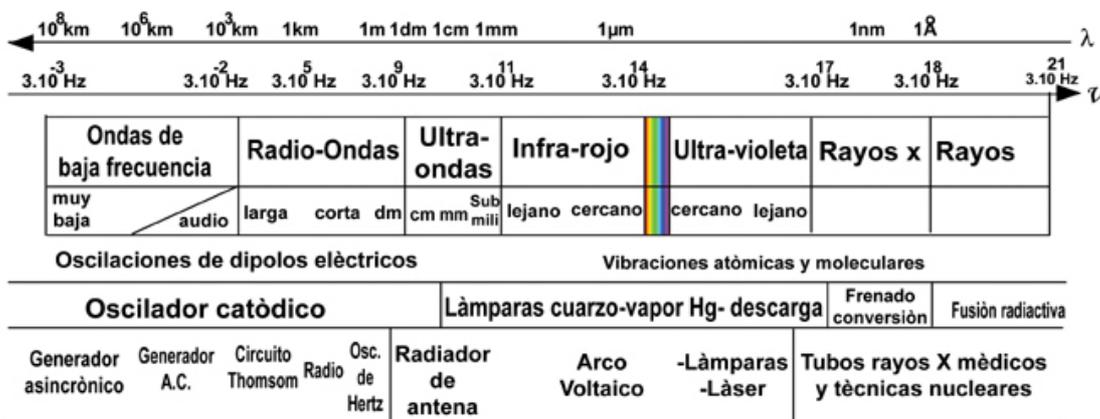
Otras lámparas como los diodos semiconductores, denominadas LED (*light emitting diode*) emiten radiación de espectros discretos, como los provenientes

de lámparas de descarga, con una sola longitud de onda, pero poseen para cada pico de intensidad un ancho de banda muy estrecho, aunque no tanto como el correspondiente al láser. Al no ser pura, por tanto, tampoco tendrá alto grado de coherencia ni de polarización.

Pero existen otras diferencias más allá de la composición espectral: los fenómenos de interferencia y de polarización, fundamentalmente.

La interferencia entre ondas electromagnéticas en el rango de la radiodifusión es un fenómeno indeseable, y la interferencia de la luz podría ser utilizada para realizar mediciones de longitud, entre otras, con una altísima precisión, no superada por ninguna otra técnica.

En la Figura 2.2 se presenta el esquema del espectro electromagnético atendiendo, en orden decreciente, a la longitud de onda, la frecuencia, la clasificación, el modelo de generación, el proceso físico base y ejemplos de equipos conocidos en la vida cotidiana.



ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Figura 2.2 Esquema del espectro electromagnético

En el caso de las fuentes de radiación luminosa, de manera convencional, las características son:

- Se irradia en todas direcciones
- No es monocromática
- No es coherente

- No se encuentra polarizada

2.2.1.3 Características de la luz proveniente de fuentes láser

Se destaca una nueva fuente de luz: el LASER (acrónimo de la frase en inglés: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) que revolucionaría la Óptica y sus aplicaciones, y que se desarrolló tecnológicamente en la década del 60 del siglo XX, no obstante desde inicios del mismo ya estaba teóricamente argumentado por Einstein.

Ya a mediados del siglo XX, con el necesario desarrollo tecnológico se logra construir, por Maiman, el primer equipo láser en 1960, el cual fue un láser de Rubí por lo que le confieren un Certificado de Invención al año siguiente.

Se considera que el Láser es una de los grandes éxitos tecnológicos del siglo XX, otorgándosele en 1964 el Premio Nóbel a Basov, Projorov y Townes.

La luz proveniente de un láser:

- posee una gran direccionalidad
- tiene una alta monocromaticidad
- es más pura espectralmente
- posee una mayor coherencia
- permite concentrar una alta cantidad de energía en un área pequeña

Existen actualmente una amplia variedad de equipos láser y una amplia variedad de aplicaciones.

Existen diferentes maneras de clasificarlos. Una de ellas es atendiendo a su medio activo, o sea, a la sustancia emisora de la luz.

El primer láser que fue construido en 1960, fue el de Rubí, un láser de estado sólido que emitía en el rango visible del espectro electromagnético, en este caso en el rojo. El láser de Neodimio-YAG que emite en el infrarrojo posee una longitud de onda de 1064 nm pero puede emitir, bajo ciertas condiciones de excitación, luz visible de 532 nm. Los láseres de Alexandrita emiten en el

infrarrojo cercano, entre 750 nm y 780 nm y el de Holmio lo hace ya en longitudes de onda mayores, de 2100 nm.

Los láseres líquidos como los de Rodamina, de interés en ciertas investigaciones, emiten el rango visible desde 570 nm hasta el rojo de 650 nm.

Se destacan los láseres de tipo gaseoso como el de CO₂ cuya longitud de onda es de 10,6 nm, o sea, en el rango infrarrojo del espectro electromagnético.

Otros láseres gaseosos como el de Argón emiten en el rango visible, en este caso azul de 488 nm, y el Excímer en el ultravioleta con longitudes de onda que van desde 193 nm hasta 351 nm. El de Krypton que emite en el rojo y el más conocido de todos es el que utiliza como medio activo (sustancia emisora) una mezcla gaseosa de Helio y Neón, utilizado más ampliamente en la agricultura.

Láser de He-Ne. Es un láser atómico. Puede generar en variadas longitudes de onda siendo las más empleadas 632.8 nm, 1,15 mm y 3,39 mm. Las transiciones inducidas ocurren entre los niveles del Neón. El Helio se añade para hacer más efectivo el proceso de bombeo. El tubo del láser es de vidrio de alta calidad, cuarzo o cerámica. En láseres pequeños se emplea un cátodo y un ánodo pero ya en aquellos más grandes se utilizan dos ánodos y un cátodo o dos cátodos y un ánodo. Los cátodos pueden ser fríos o calientes. Emiten de forma óptima bajo determinadas condiciones: diámetro del tubo ~1,5 mm, relación entre presiones He-Ne 1:10 y 1:5 y poseen muy alta coherencia.

En 1962 se desarrolló un diodo semiconductor que emitía luz coherente, pero la tecnología no fue desarrollada completamente hasta la década del 70. Se iniciaban la investigación y el desarrollo de la tecnología láser semiconductor utilizándose el Arseniuro de Galio. Inicialmente se obtuvieron dispositivos que emitían en el infrarrojo en longitudes de onda de 940 nm, 904 nm, 830 nm hasta obtener uniones semiconductoras emisoras en el visible. Actualmente el mercado ofrece láseres de diodo semiconductor (*LD: laser diode*) que emiten desde el rojo hasta el azul con potencias muy variadas. Aún cuando sean diferentes los resultados de sus descargas luminosas, las características más generales de este tipo de láser son:

Láser de semiconductor: En los semiconductores, los niveles energéticos se agrupan en bandas. Los electrones que participan en la conducción se agrupan en la banda del mismo nombre. En estos láseres la inversión de población se logra cuando, producto del bombeo, los electrones han abandonado la banda de valencia, donde quedaron sus lugares vacíos (huecos) y han pasado a la banda de conducción. El sistema de bombeo es por inyección de corriente. Es en realidad una unión p-n con características especiales pues los espejos de resonador son las dos caras paralelas del propio diodo que son perpendiculares a la unión y se hallan pulidas. Se caracterizan por su alta eficiencia, poca monocromaticidad, poca coherencia y gran divergencia. Existen muchos láseres semiconductores. Casi todos trabajan en régimen de impulsos a temperatura ambiente; en algunos denominados de doble heterojuntura como los de GaAs y GaAsAl se ha alcanzado el régimen de trabajo continuo a temperatura ambiente.

Un haz láser puede vaporizar tejido biológico a altas intensidades, y puede desencadenar positivos efectos biológicos, sin incrementar la temperatura prácticamente, a bajas intensidades. En este caso decide la intensidad de la onda incidente.

Es de destacar las diferencias entre los rayos X ó los rayos γ con la luz visible cuando se trata de su interacción con los seres vivos. Esta última es inofensiva, aún con altas intensidades, y los primeros son ionizantes aún con bajas intensidades.

2.2.2 Espectroscopía Fotoacústica

En 1881, G. Bell descubrió el efecto fotoacústico, describiéndolo así: *Una muestra sólida era colocada en un recinto cerrado pequeño, el cual estaba acoplado directamente a un audífono "cornetilla". Por una ventana se iluminaba la muestra con una fuente de luz modulada, detectándose una señal audible, que resultaba más intensa, cuanto más negra era la muestra sólida usada.*

Esta descripción hecha por Bell corresponde al esquema actual de una celda fotoacústica actual, en donde las principales modificaciones modernas son la incorporación de un micrófono muy sensible y la amplificación electrónica.

El efecto fotoacústico observado inicialmente en sólidos tuvo que ser interpretado correctamente antes de ser aplicado a la espectroscopía.

Recién en 1971, con los trabajos de A. Rosencwaig, resurge el efecto fotoacústico. Lo que Rosencwaig mostró de primera intención es que el efecto no depende del estado de la superficie del sólido sino de su volumen, otra conclusión es que la señal no depende mucho del mayor o menor grado de reactividad del gas encerrado en la célula. Más aún, se demostró que las variaciones de presión no están relacionadas con eventuales dilataciones o concentraciones del sólido por efecto del calor encerrado en la cavidad.

Según Rosencwaig, la energía electromagnética absorbida por el sólido cuando la frecuencia de la luz corresponde a una de sus frecuencias de absorción, sirve en un primer momento para trasladar a los átomos del sólido a un estado excitado, para luego pasar inmediatamente al estado fundamental, de este modo una parte de la energía así absorbida es devuelta de una forma no radiactiva (es decir sin dar lugar a una emisión de luz) y se transforma en calor; produciéndose así una transferencia de calor del sólido hacia el gas, transferencia que es modulada a la frecuencia de iluminación a la que es sometida la célula. Las variaciones de temperatura debido a esta transferencia periódica de calor van a afectar solamente una capa muy pequeña del gas cerca de la superficie del sólido y esta parte del gas, es la que al agitarse como una membrana de tambor en el recinto acústico, es el origen del sonido emitido.

El gas sirve sólo como agente de transferencia, lo que implica que sus frecuencias propias de absorción son básicamente distintas de aquellas del sólido estudiado. Rosencwaig mostró la correlación que había entre la intensidad y la fase de la señal acústica emitida y los parámetros característicos de la absorción del sólido estudiado.

Al analizar la respuesta fotoacústica haciendo variar la frecuencia de la luz incidente, se va a obtener un espectro comparable en todo a los espectros de absorción obtenidos por espectroscopía convencional.

Es así que Rosencwaig, en base a la tecnología actual, pone a punto el primer espectrómetro Fotoacústico (Laboratorios de la Bell), reconociéndose sus potenciales aplicaciones, que rebasan notablemente en la actualidad las limitaciones de la espectroscopía óptica convencional, permitiendo incluso estudiar ciertos materiales que no podían ser estudiados por las técnicas espectroscópicas habituales, llámense transmitancia o reflectancia.

2.2.2.1 Modelo de Rosencwaig y Gersho

La primera interpretación teórica del efecto fotoacústico en sólidos fue dada por Rosencwaig y Gersho [RG] en 1976 [Rosencwaig y Gersho, 1976]. El modelo RG que toma en cuenta la generación de la señal fotoacústica en sólidos, debida a la difusión térmica, se basa en el esquema presentado en la figura 2.3, donde la luz modulada incide en la muestra de espesor l_s que está en contacto con la cámara de gas (generalmente aire) de espesor l_g y en el lado opuesto el contacto es con un soporte de espesor l_b ; la cámara fotoacústica, generalmente sellada por una ventana de cuarzo, tiene acoplado un micrófono que detecta las variaciones de presión en el gas. En el modelo RG se considera que una luz monocromática modulada incide sobre la muestra en la cámara fotoacústica.

En el modelo de RG se considera que sólo hay relajación o sea que toda la luz absorbida es convertida en calor. El modelo teórico de Rosencwaig y Gersho considera como principal mecanismo de la señal fotoacústica a la difusión del calor, generado en la muestra, hacia el gas en el interior de la celda. Ellos realizaron un análisis unidimensional del flujo de calor en la celda y demostraron que solamente una capa relativamente delgada de aire en su interior, de unas décimas de centímetro de espesor, adyacente a la superficie del sólido, responde térmicamente al flujo de calor periódico proveniente del sólido. Esta capa de aire sufre un calentamiento y un enfriamiento alternado y

funciona como un pistón vibratorio, el cual genera la señal fotoacústica detectada.

Consideremos una celda cilíndrica como se muestra en la figura 1. La celda tiene un diámetro D y longitud L . Si L es pequeña comparada con la longitud de onda de la señal acústica, entonces el micrófono detecta la presión promedio producida en la celda.

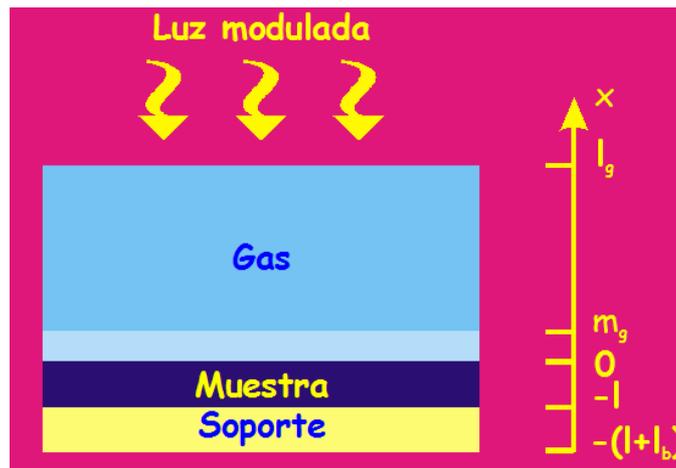


Figura 2.3 Celda fotoacústica cerrada convencional.

Sea l es espesor de la muestra. La superficie frontal de la muestra está expuesta al gas de la celda y la superficie trasera se encuentran en contacto con una base, la cual suponemos de conductividad térmica baja y espesor l_b . Así, la longitud de la columna de gas será $l_g = L - l - l_b$. Suponemos también que el soporte y el gas no absorben luz.

Si un haz de luz monocromática, modulada sinusoidalmente, con longitud de onda λ incidente sobre la muestra con intensidad

$$I = \frac{1}{2} I_0 (1 + \cos(\omega t)) \tag{3.1}$$

Donde I_0 es el flujo de la luz monocromática incidente. Si β denota el coeficiente de absorción óptica de la muestra sólida para la longitud de onda λ ,

entonces la densidad de calor producida en cualquier punto x debido a la luz absorbida en este punto del sólido es:

$$\frac{1}{2} \beta I_0 e^{\beta x} (1 + \cos(\omega t)) \quad x \in (-l, 0) \quad \text{luz } x = 0 \quad (3.2)$$

La ecuación de difusión térmica en sólidos tomando en cuenta la fuente de calor distribuida puede escribirse como:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = \alpha_s^{-1} \frac{\partial \phi}{\partial t} - A e^{\beta x} (1 + e^{j\omega t}) \quad x \in (-l, 0) \quad (3.3)$$

Donde:

$$A = \frac{\beta \eta I_0}{2 \kappa_s}$$

Aquí ϕ es la temperatura y η es la eficiencia a la cual la luz absorbida, de longitud de onda λ , es convertida a calor por procesos de desexcitación no-radiativa.

De aquí en adelante suponemos que $\eta = 1$, suposición razonable para la mayoría de los sólidos a temperatura ambiente.

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = \alpha_b^{-1} \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad x \in -(l + l_b, l) \quad (3.4)$$

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = \alpha_b^{-1} \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad x \in -(0, l_g) \quad (3.5)$$

Resolviendo estas ecuaciones y utilizando las condiciones de continuidad de la temperatura y del flujo en la superficie de la muestra, encontramos la solución explícita para θ , la cual es la amplitud de la temperatura en la frontera sólido-gas $x = 0$ dada por

$$\theta = \frac{\beta I_0 \gamma P_0}{2K_s(\beta^2 - \sigma_s^2)} \left[\frac{(r-1)(b+1)\exp(\sigma_s l) - (r-1)(b-1)\exp(-\sigma_s l) + 2(b-r)\exp(-\beta l)}{(g+1)(b+1)\exp(\sigma_s l) - (g-1)(b-1)\exp(-\sigma_s l)} \right] \quad (3.6)$$

Donde:

$$b = \frac{k_b a_b}{k_s a_s} \quad (3.7)$$

$$g = \frac{k_g a_g}{k_s a_s} \quad (3.8)$$

$$r = (1-j) \frac{\beta}{2a_s} \quad (3.9)$$

El proceso de difusión periódica produce una variación de temperaturas periódicas dada por:

$$\phi_{ac}(x,t) = \theta \exp(-\sigma_g x + j\omega t) \quad (3.10)$$

Analizando la ecuación anterior se observa que a una distancia de $\frac{2\pi}{a_g} = \frac{2\pi}{\mu_g}$

donde μ_g es la longitud de difusión térmica, la variación de temperatura periódica en el gas se amortigua totalmente. Así que se define una capa superficial en la interfaz muestra-gas cuyo grosor es $2\pi\mu_g$ la cual es capaz de responder térmicamente a la temperatura periódica en la superficie de la muestra.

Obtención de la señal acústica

El proceso de difusión origina una variación periódica en la temperatura del gas, la cual está dada por la componente sinusoidal (AC) de la solución.....

$$\phi_{ac}(x,t) = \theta \exp(-\sigma_g x + j\omega t) \quad (3.11)$$

En esta ecuación se nota que a una distancia $2\pi\mu_g$ en la que μ_g es la longitud de difusión térmica, la variación periódica en la temperatura en el gas se amortigua totalmente (a un 0.19% de su valor inicial). Por lo tanto podemos considerar que una capa de gas, de espesor $2\pi\mu_g$, adyacente a la superficie de la muestra, responde térmicamente a las variaciones periódicas de la temperatura en la superficie de la muestra. En esta capa de gas, el promedio espacial de la temperatura es:

$$\tilde{\phi}(t) = \left(\frac{1}{2\sqrt{2\pi}} \right) \theta \exp(j\omega t - \frac{\pi}{4}) \quad (3.12)$$

Y donde el desplazamiento del pistón se puede estimar utilizando la ley de gases ideales:

$$\delta x(t) = 2\pi\mu_g \frac{\tilde{\phi}(t)}{T_0} = \frac{\theta\mu_g}{\sqrt{2}T_0} \exp(j(\omega t - \frac{\pi}{4})) \quad (3.13)$$

Donde $T_0 = \phi_0 + \phi_E$

ϕ_0 es la temperatura ambiente en las paredes de la celda y ϕ_E es el incremento de la temperatura debido a la componente estacionaria del calor absorbido.

El incremento en la presión en la celda puede determinarse si suponemos que el resto del gas responde adiabáticamente a la acción del pistón

$$\delta P(t) = \frac{\gamma P_0}{V_0} \delta V = \frac{\gamma P_0}{T_g} \delta x(t) \quad (3.14)$$

Donde P_0 y V_0 representan la presión ambiental y el volumen de la cámara, respectivamente, γ es el coeficiente de calores específicos y $-\delta V$ es el incremento en el volumen. Se tiene:

$$\delta P(t) = Q \exp(j(\omega t - \pi/4)) \quad (3.15)$$

Donde

$$Q = \frac{\gamma P_0 \theta}{\sqrt{2} l_g a_g T_0} \quad (3.16)$$

la formula explicita de Q es

$$Q = \frac{\beta l_0 \gamma P_0}{2\sqrt{2} K_s l_g a_g T_0 (\beta^2 - \sigma_s^2)} \left(\frac{(r-1)(b+1)\exp(\sigma_s l) - (r+1)(b-1)\exp(-\sigma_s l) + 2(b-r)\exp(-\beta l)}{(g+1)(b+1)\exp(\sigma_s l) - (g-1)(b-1)\exp(-\sigma_s l)} \right) \quad (3.17)$$

Donde:

$$b = \frac{k_b a_b}{k_s a_s} \quad (3.18)$$

$$g = \frac{k_g a_g}{k_s a_s} \quad (3.19)$$

$$r = (1-j) \frac{\beta}{2a_s} \quad (3.20)$$

2.3. Conocimiento de Biología

2.3.1 Fotobiología

Fotobiología es el estudio de las interacciones de la radiación electromagnética no-ionizante con biomoléculas. La Fotobiología estudia las radiaciones cuya longitud de onda se encuentra entre 200 – 800 nm, y con alteraciones en biomoléculas que afectan la viabilidad o funciones de la materia viva.

La energía de fotones en la región ultravioleta (200-400 nm) y la visible (400-700 nm) es suficiente para causar excitación electrónica de moléculas cromóforas específicas, conduciendo a reacciones químicas, por lo que la

radiación ultravioleta y visible ofrecen la posibilidad de causar reacciones fotoquímicas (Parrish y Deutsch, 1984).

La interacción de la luz con sistemas biológicos causa un amplio espectro de efectos los cuales pueden ser divididos en tres grupos (Karu, 1991):

Primero. La luz láser es absorbida, reflejada o re-irradiada por la sustancia sin que ocurran cambios adentro de ésta.

Segundo. La radiación visible y ultravioleta puede excitar estados electrónicos en moléculas, y efectos fotobiológicos ocurren debido a la excitación de cromóforos en células. Estos procesos ocurren desde fuentes de luz no-coherentes, pero el uso de la luz láser puede dar beneficios diversos desde un punto de vista práctico. Este grupo de efectos abarca la fotobiología molecular y la fotomedicina. El mecanismo de acción no depende de la coherencia y polarización de la luz (Karu, 1987^a) únicamente, la bioestimulación láser es un fenómeno de naturaleza fotobiológica (Karu, 1989 y Karu, 1988). Dos aspectos tienen que ser distinguidos: la coherencia de la luz por sí misma y la coherencia de la interacción de luz con la materia (Karu, 2003; Karu 1989b).

Tercero. El tercer grupo de efectos envuelve la radiación de alta intensidad, que forma la base para la cirugía láser.

Estos procesos que ocurren bajo el efecto de la luz encuentran diversas aplicaciones prácticas. Para lo cual la luz láser presenta propiedades únicas como lo son: monocromaticidad, coherencia y polarización (Fenyo, 1984).

2.3.1.1 Fitocromos

La reacción fotobiológica envuelve la absorción de una longitud de onda específica de la luz por la función de los fotorreceptores, moléculas fotoceptoras. Para distinguir moléculas fotorreceptoras tal como rodopsina, fitocromos, bacteriorodopsina y clorofila. Después de la absorción de la luz de la longitud empleada por la irradiación, asumen estas moléculas un estado de excitación electrónica desde los cuales los procesos moleculares primarios

pueden conducir a efectos biológicos medibles en ciertas circunstancias (Karu, 1999).

De acuerdo al objeto biológico manejado en esta investigación, corresponde a moléculas fotorreceptoras denominadas *fitocromos*.

Estas moléculas son cromoproteínas, las cuales consisten de dos partes: un polipéptido y un cromóforo, que absorbe la luz de longitudes de onda específicas. Para las plantas, la luz es posiblemente el parámetro ambiental más importante ya que pueden monitorear la presencia, ausencia, calidad espectral, intensidad, direccionalidad y duración diurna de las señales de luz incidentes para modular su desarrollo y crecimiento. Este proceso es llamado fotomorfogénesis y es facilitado a través de fotorreceptores, familias pequeñas de criptocromos y fototropinas, los cuales monitorean la región azul/UV del espectro, y los fitocromos son los que monitorean la región roja e infrarroja (Quail, 2002).

La conclusión de que bajo condiciones fisiológicas normales, la absorción de la luz de baja intensidad por sistemas biológicos es de una pureza no-coherente (Karu, 1989), ha sido verificada por diversos experimentos hechos en plantas desde hace más de 50 años (Hendricks, 1980), empleando diferentes tipos de fuentes de irradiación en las distintas etapas fenológicas (Zukauskas *et al.*, 2002). Los pioneros en este tipo de investigaciones S. Henricks, H. Borthwick y colegas, propusieron la hipótesis central de la acción de los fitocromos: Estos fotorreceptores existen en dos formas fotoconvertibles P_r y P_{fr} . P_r es biológicamente inactiva y hasta la absorción de fotones rojos es convertida a P_{fr} , la forma activa. P_{fr} es convertida de regreso a P_r por fotones infrarrojos (Smith, 2000).

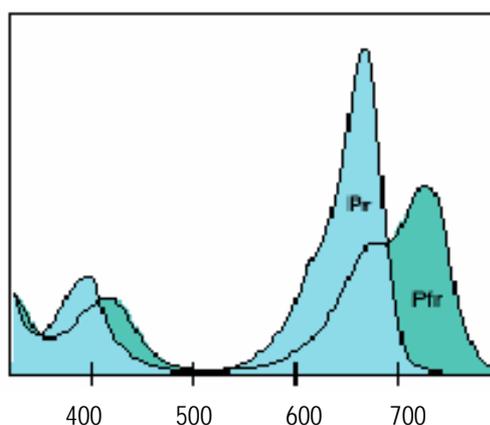


Figura 2.4 Espectro de absorción de los fitocromos. (Smith,2000)

El espectro de absorción de los fitocromos tienen sus máximos de absorción en 665nm y 730nm. Puede observarse en la Figura 2.4.

Los fitocromos son una familia de sensores fotorreceptores que regulan el crecimiento y desarrollo de la planta en respuesta a las señales de luz (Shimizu-Sato, 2002 y Fankhauser, 2001).

Los fitocromos son capaces de regular casi todas las fases de desarrollo de las plantas: germinación, establecimiento de plántulas, arquitectura de la madurez de las plantas y floración (Smith, 2000).

2.4 Conocimiento de la Ciencia Agrícola

2.4.1 Semilla de maíz

Tabla 2.1 Composición del maíz seco y tierno por cada 100 gr.

	Seco	Fresco
Agua	10, 3 gr.	75, 9 gr.
Energía	365 Kcal	86 Kcal
Grasa	4, 7 gr.	1,18 gr.
Proteína	9, 4 gr.	3, 22 gr.
Hidratos de carbono	74, 2 gr.	19, 02 gr.
Fibra	1 gr.	2,7 gr.
Potasio	287 mg	270 mg
Fósforo	210 mg	89 mg
hierro	2,7 mg	0, 52 mg
Sodio	35 mg	15 mg
Manganeso	0,48 mg	0, 16 mg
Magnesio	127 mg	37 mg
Calcio	7 mg	2 mg
Cinc	2, 21 mg	0,45 mg
Selenio	15,5 mcg	0, 6 mcg
Vitamina C	0	6,8 mg
Vitamina A	469 UI	281 UI
Vitamina B1 (Tiamina)	0, 38 mg.	0, 20 mg
Vitamina B2 (Riboflavina)	0, 20 mg	0, 06 mg
Vitamina E	0, 78 mg	0, 090 mg
Niacina	3, 62 mg	1, 7 mg

2.4.1.1 Composición química y valor nutritivo del maíz

Existe un número considerable de datos sobre la composición química del maíz y múltiples estudios han sido llevados a cabo para tratar de comprender y evaluar las repercusiones de la estructura genética del número relativamente elevado de variedades de maíz existentes en su composición química, así como la influencia de los factores ambientales y las prácticas agronómicas en los elementos constitutivos químicos y en el valor nutritivo del grano y sus partes anatómicas. La composición química tras la elaboración para el consumo es un aspecto importante del valor nutritivo, y en ella influyen la estructura física del grano, factores genéticos y ambientales, la elaboración y otros eslabones de la cadena alimentaria. En este capítulo se describirán las características químicas del maíz, tanto del tipo común como del que posee proteínas de elevada calidad, con el fin de comprender el valor nutritivo de los diversos productos del cereal que se consumen en todo el mundo.

2.4.1.2 Composición química de las partes del grano

Como se muestra en la tabla 2.2, las partes principales del grano de maíz difieren considerablemente en su composición química. La cubierta seminal o pericarpio se caracteriza por un elevado contenido de fibra cruda, aproximadamente el 87 por ciento, la que a su vez está formada fundamentalmente por hemicelulosa (67 por ciento), celulosa (23 por ciento) y lignina (0,1 por ciento). El endospermo, en cambio, contiene un nivel elevado de almidón (87 por ciento), aproximadamente 8 por ciento de proteínas y un contenido de grasas crudas relativamente bajo.

Tabla 2.2 Composición química de las partes principales de los granos de maíz (%).

Componente químico	Pericarpio	Endospermo	Germen
Proteínas	3,7	8,0	18,4
Extracto etéreo	1,0	0,8	33,2
Fibra cruda	86,7	2,7	8,8
Cenizas	0,8	0,3	10,5
Almidón	7,3	87,6	8,3
Azúcar	0,34	0,62	10,8

Fuente: FAO

Por último, el germen se caracteriza por un elevado contenido de grasas crudas, el 33 por ciento por término medio, y contiene también un nivel relativamente elevado de proteínas (próximo al 20 por ciento) y minerales. Se dispone de algunos datos sobre la composición química de la capa de aleurona, elemento con un contenido relativamente elevado de proteínas (aproximadamente el 19 por ciento) y de fibra cruda.

El contenido de hidratos de carbono y proteínas de los granos de maíz depende en medida considerable del endospermo; el de grasas crudas y, en menor medida, proteínas y minerales, del germen. La fibra cruda del grano se encuentra fundamentalmente en la cubierta seminal. La distribución ponderal de las partes del grano, su composición química concreta y su valor nutritivo tienen gran importancia cuando se procesa el maíz para consumo; a este respecto, hay dos cuestiones de importancia desde la perspectiva nutricional: el contenido de ácidos grasos y el de proteínas.

2.4.2 Trigo

2.4.2.1 Composición química del trigo

El grano maduro del trigo está formado por: hidratos de carbono, (fibra cruda, almidón, maltosa, sucrosa, glucosa, melibiosa, pentosanos, galactosa, rafinosa), compuestos nitrogenados (principalmente proteínas: Albúmina, globulina, prolamina, residuo y gluteínas), lípidos (ac. Grasos: mirístico, palmítico, esteárico, palmitooleico, oléico, linoléico, linoléico), sustancias minerales (K, P, S, Cl) y agua junto con pequeñas cantidades de vitaminas (inositol, colina y del complejo B), enzimas (B-amilasa, celulasa, glucosidasas) y otras sustancias como pigmentos.

Estos nutrientes se encuentran distribuidos en las diversas áreas del grano de trigo. Algunos se concentran en regiones determinadas. El almidón está presente únicamente en el endospermo, la fibra cruda está reducida, casi exclusivamente al salvado y la proteína se encuentra por todo el grano. Aproximadamente la mitad de los lípidos totales se encuentran en el endospermo, la quinta parte en el germen y el resto en el salvado, pero la

aleurona es más rica que el pericarpio y testa. Más de la mitad de las sustancias minerales totales están presentes en el pericarpio, testa y aleurona.

En la siguiente tabla podemos observar el porcentaje de estos nutrimentos y el lugar donde se encuentran.

Tabla 2.3 porcentaje de los constituyentes del trigo en las principales partes morfológicas

	H de C	Proteína	Fibra	F. cruda	Lípidos	Mineral
Pericarpio y aleurona	0	20	70	93	30	67
Endospermo	100	72	27	4	50	23
Embrión y escutelo	0	8	3	3	20	10

Tabla 2.4 Composición del trigo integral por cada 100 gr.

Agua	12,76 g
Energía	329 Kcal.
Grasa	1,92 g
Proteína	15,40 g
Hidratos de carbono	68,03 g
Fibra	12,2 g
Potasio	340 mg
Fósforo	332 mg
hierro	3,60 mg
Sodio	2 mg
Magnesio	124 mg
Calcio	25 mg
Cobre	0,41 mg
Cinc	2,78 mg
Manganeso	4,05 mg
Vitamina C	0 mg
Vitamina A	0 UI
Vitamina B1 (Tiamina)	0,504 mg
Vitamina B2 (Riboflavina)	0,110 mg
Vitamina B3 (Niacina)	5,710 mg
Vitamina B6 (Piridoxina)	0,336 mg
Vitamina E	1440 mg
Ácido fólico	43 mcg

2.4.3 Vigor de la semilla

Existen organizaciones nacionales e internacionales que regulan el comercio de semillas. Se establecen normas y se estandarizan procedimientos que permiten evaluar la calidad de la semilla con propósitos agrícolas. La globalización del comercio de semilla ha llevado a que asociaciones como la International Seed Testing Association (ISTA) y Association of Official Seed Analysts (AOSA) establezcan técnicas y procedimientos estándares cuyos resultados sean ampliamente repetibles entre laboratorios (Artola, 2003).

Para estimar el vigor de la semilla se han desarrollado y evaluado diversas pruebas, como medida de crecimiento. Los parámetros reconocidos a nivel internacional son el conocido peso seco de la plántula y la velocidad de emergencia. Maguire sugirió la siguiente fórmula para obtener el cálculo de la velocidad de emergencia (Maguire, 1959) (ecuación 21).

$$X = \frac{\text{Número de plántulas normales}}{\text{Días al primer conteo}} + \dots + \frac{\text{Número de plántulas normales}}{\text{Días al conteo final}} \quad (21)$$

En esta prueba se emplea una estructura metálica o de madera, con dimensiones definidas usando como sustrato arena o tierra. Iniciada la emergencia de las plántulas se realizan conteos diarios hasta la culminación de ésta; con los datos obtenidos se calcula la velocidad de emergencia de acuerdo a la expresión anterior.

2.4.4 Prueba de germinación.

A menudo, semillas completas que parecen válidas no germinarán porque no fueron fertilizadas o son demasiado viejas. Por lo tanto, la manera más confiable para evaluar la calidad de una colección de semillas es hacer germinar prácticamente una muestra de semillas de la colección.

Para determinar el porcentaje germinativo, se hacen pruebas con muestras de semilla tomadas al azar someténdolas a condiciones germinativas favorables.

Una prueba de germinación puede hacerse en envases, por ejemplo, macetas o latas usadas en los viveros, en cajas de Petri cubierto, en rollos de papel, etc. Para los ensayos de germinación son aceptables una cantidad de medios, si bien el que se emplee debe asegurar adecuada aireación y suficiente, pero no excesiva, humedad a cada semilla. Es importante además que el medio sea estéril para prevenir daños por hongos.

Las Normas Internacionales para los Ensayos de Semillas (ISTA 1985) recomiendan para los ensayos de germinación una temperatura de 25°C durante 16 horas (de día) y de 20°C durante 8 horas (de noche). Estas normas también especifican la exposición de las semillas a la luz durante las pruebas, las características de temperatura dependen del tipo de semilla que esté sometida a la prueba. Para las semillas de maíz y de trigo corresponde una temperatura de 25°C.

Las muestras de semillas deben ser bastante grandes para asegurar que por lo menos algunas de ellas germinen. Para las especies arbóreas del género Prosopis se sugieren entre 200 y 500 semillas por prueba.

Hasta el final del período de germinación activa, deberán anotarse a intervalos regulares la cantidad de semillas que tienen una germinación normal. Una vez que la semilla ha germinado y ha sido recontada debe ser eliminada para evitar el peligro de contarla de nuevo.

Los resultados de un ensayo de germinación pueden expresarse en diferentes maneras, incluyéndose el porcentaje de germinación, la energía germinativa y la capacidad germinativa.

El porcentaje de germinación, o el porcentaje real de todas las semillas de la muestra que han germinado durante las pruebas, es útil para comparar la calidad de las colecciones de semillas en los programas de ensayo y en la investigación.

Una expresión de mayor valor es la energía germinativa. La energía germinativa se refiere al porcentaje de semilla en la muestra que ha germinado durante una prueba hasta el momento en que la cantidad de semilla que

germina por día ha llegado a su máximo. La cantidad de días requeridos para alcanzar este máximo es el período energético. Por lo general, las plántulas que se originan de las semillas que germinan dentro del período energético constituyen el stock de plantación de mejor calidad.

La capacidad de germinación es la cantidad total de semillas en la muestra que ha germinado en un ensayo, más la cantidad de semillas que queda por germinar, pero que son aún sanas al final de la prueba, expresadas en porcentajes. Desde el punto de vista práctico, esta estadística se parece al valor del porcentaje de semilla plena o completa obtenida en un ensayo de viabilidad.

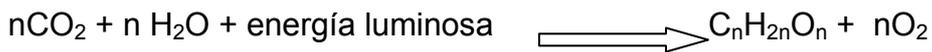
Los resultados de un ensayo de germinación se usan a menudo para calcular la cantidad de semilla que debe sembrarse para obtener una cierta cantidad de plántulas. Sin embargo, debe recordarse que la cantidad real de plántulas sobrevivientes puede ser muy inferior a la que indican los ensayos de germinación, por las pérdidas debidas a condiciones desfavorables climáticas, por los roedores y pájaros, insectos y enfermedades.

2.4.5 Generalidades de semillas y hojas de plantas.

Cada hoja es un órgano de nutrición especializado, cuyo papel fundamental es la fotosíntesis, proceso que requiere un suministro continuo de agua, energía radiante y bióxido de carbono.

El Sol proporciona la radiación utilizada por las plantas en la fotosíntesis. Este proceso es vital para el hombre y los animales que dependen del consumo de oxígeno para su subsistencia. La característica fundamental de la fotosíntesis no es la liberación de oxígeno, sino la producción y el almacenamiento de la energía química generada por las plantas.

La fotosíntesis consiste en la conversión de energía luminosa que es absorbida por los vegetales, en energía química y la otra parte la usa para liberar oxígeno. Este proceso se puede describir como la reacción química siguiente:



n = No de moles

El primer término de la reacción del lado derecho, representa los productos sintetizados con parte de la energía química almacenada por la hoja, y el segundo corresponde al oxígeno liberado por la misma. La planta utiliza la energía luminosa para remover los electrones del agua y así es como libera oxígeno; estos electrones son responsables de la reducción del bióxido de carbono CO_2 , en carbohidratos (material orgánico). En general las hojas sirven, de acuerdo con esto, para el intercambio de gases, bióxido de carbono, oxígeno y vapor de agua.

La mayor parte de las hojas viven poco tiempo, algunas semanas en ciertas plantas desérticas, mientras que otras pueden vivir algunos meses, esto es para casi todos los árboles, y de tres a cuatro años en los árboles de hojas permanentes fasciculares, como el pino (Claude, 1977).

En una fracción de hoja observada al microscopio, se pueden distinguir varios tipos de células. Las externas tanto superiores como inferiores forman una epidermis incolora de protección, que secreta una cutina cerosa. Las células epidérmicas (finas, duras, de pared firme y translúcida), están bien adaptadas para proteger a las células subyacentes y disminuir las pérdidas de agua, pero sin impedir el paso de luz sobre toda la superficie epidérmica. Hay poros pequeños repartidos, llamados estomas. Cada uno rodeado por células de protección. Estas células pueden modificar el tamaño de la abertura y regular así la salida de agua y el intercambio de gases. A diferencia de otras células epidérmicas las células de protección contienen cloroplastos. Hay de 50 a 500 estomas por mm^2 en una hoja; éstos son mucho más numerosos en la superficie inferior de las hojas de casi todas las especies.

En general los estomas abren en presencia de la luz y cierran en la oscuridad; la apertura y el cierre de los estomas son regulados por cambios de la presión de turgencia en el interior de las células de protección. El aumento de la presión de turgencia comba las paredes externas y curva las internas

separando unas de otras y creando la abertura del estoma entre ellas. Cuando disminuye la presión de turgencia en las células de protección, las paredes internas, elásticas, recuperan su forma original y el estoma se cierra.

2.5 Marco metodológico para las pruebas experimentales y la medición con PAS.

Cuando se habla de pruebas experimentales con objetos biológicos, en este caso particular de semillas agrícolas, debemos de recurrir a las normas internacionales que nos indican los lineamientos que hay que cumplir para llevar a cabo diferentes pruebas a las semillas. En este caso corresponde sujetarnos a normas y reglas de la Asociación internacional de Pruebas de Semillas (ISTA).

La metodología experimental para cada uno de los ensayos está representada mediante una Vision Rica en las Figuras 2.5, 2.6, y 2.7. en donde se pueden observar en forma detallada los pasos a seguir. En la Figura 2.8 está representado el método científico base de la investigación y en la Figura 2.9 la actitud transdisciplinaria que debe asumir el investigador.

2.5.1 Metodología experimental para la obtención de espectros del contenido de carotenoides mediante PAS

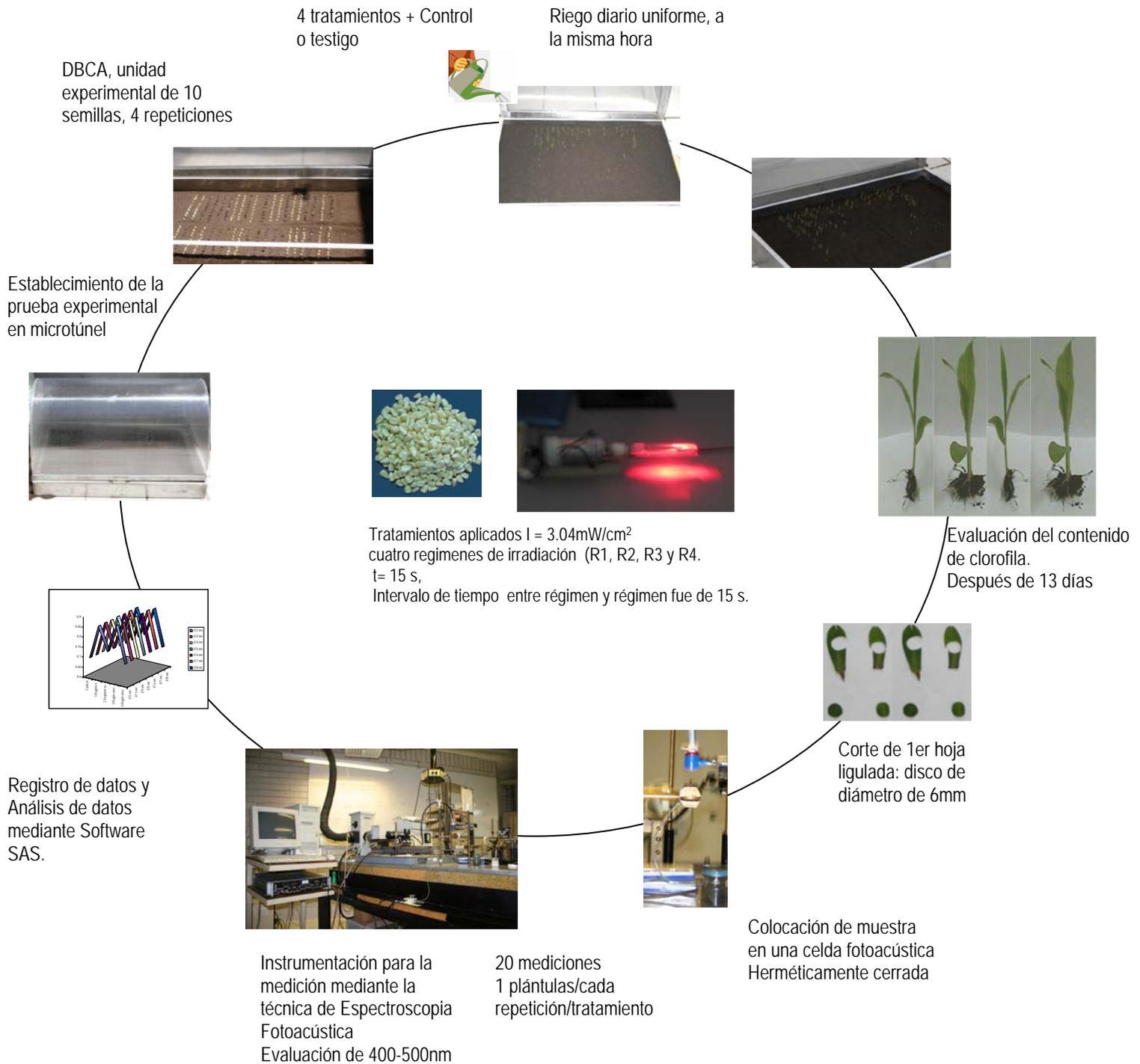


FIGURA 2.5 Metodología experimental para la obtención del contenido de carotenoides mediante la técnica de PAS.

2.5.2 Metodología experimental para la obtención del coeficiente de absorción óptico mediante PAS.

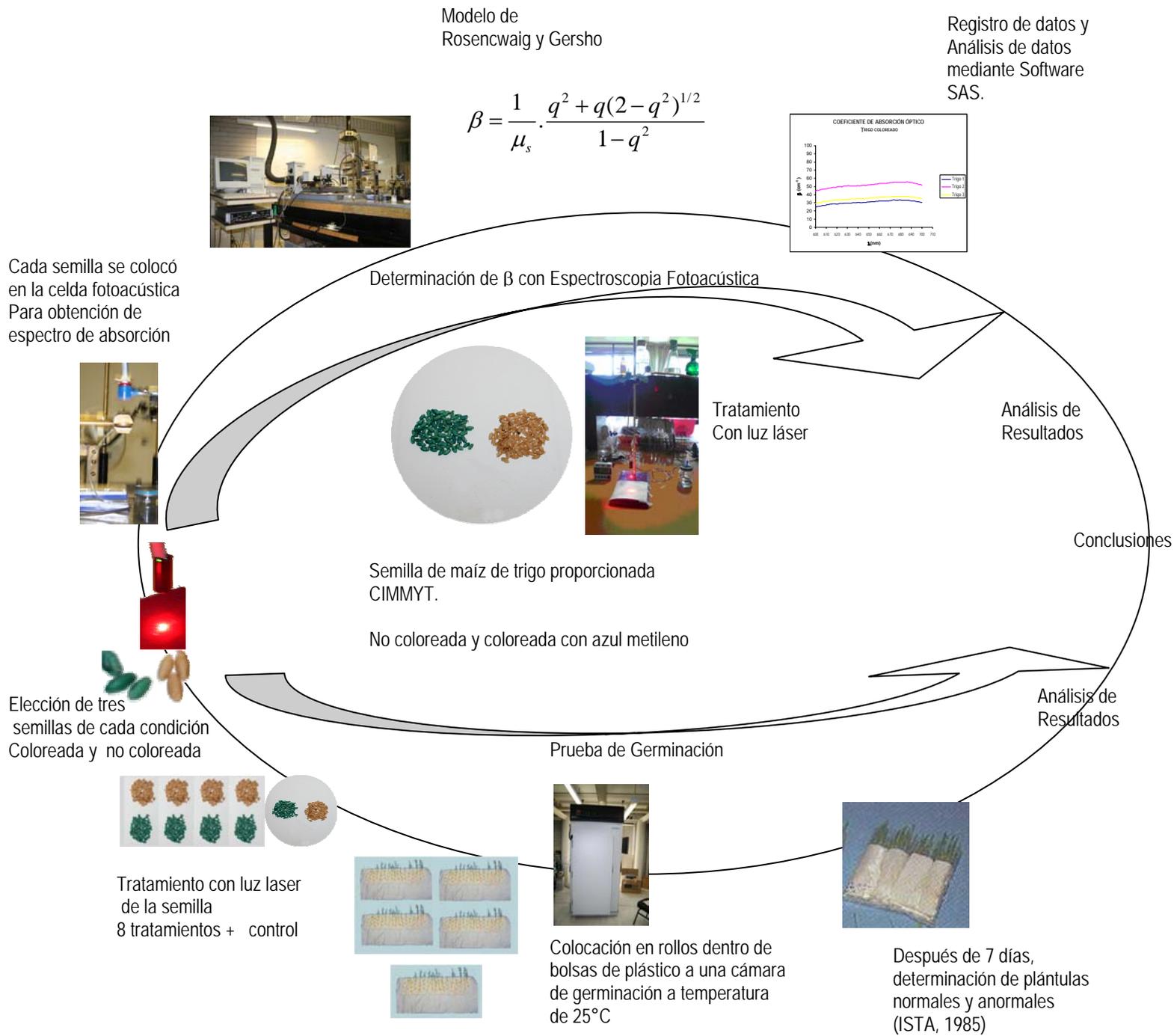


FIGURA 2.6 Metodología experimental para la obtención del β mediante PAS

2.5.3 Metodología experimental para la obtención del contenido de clorofila mediante PAS.

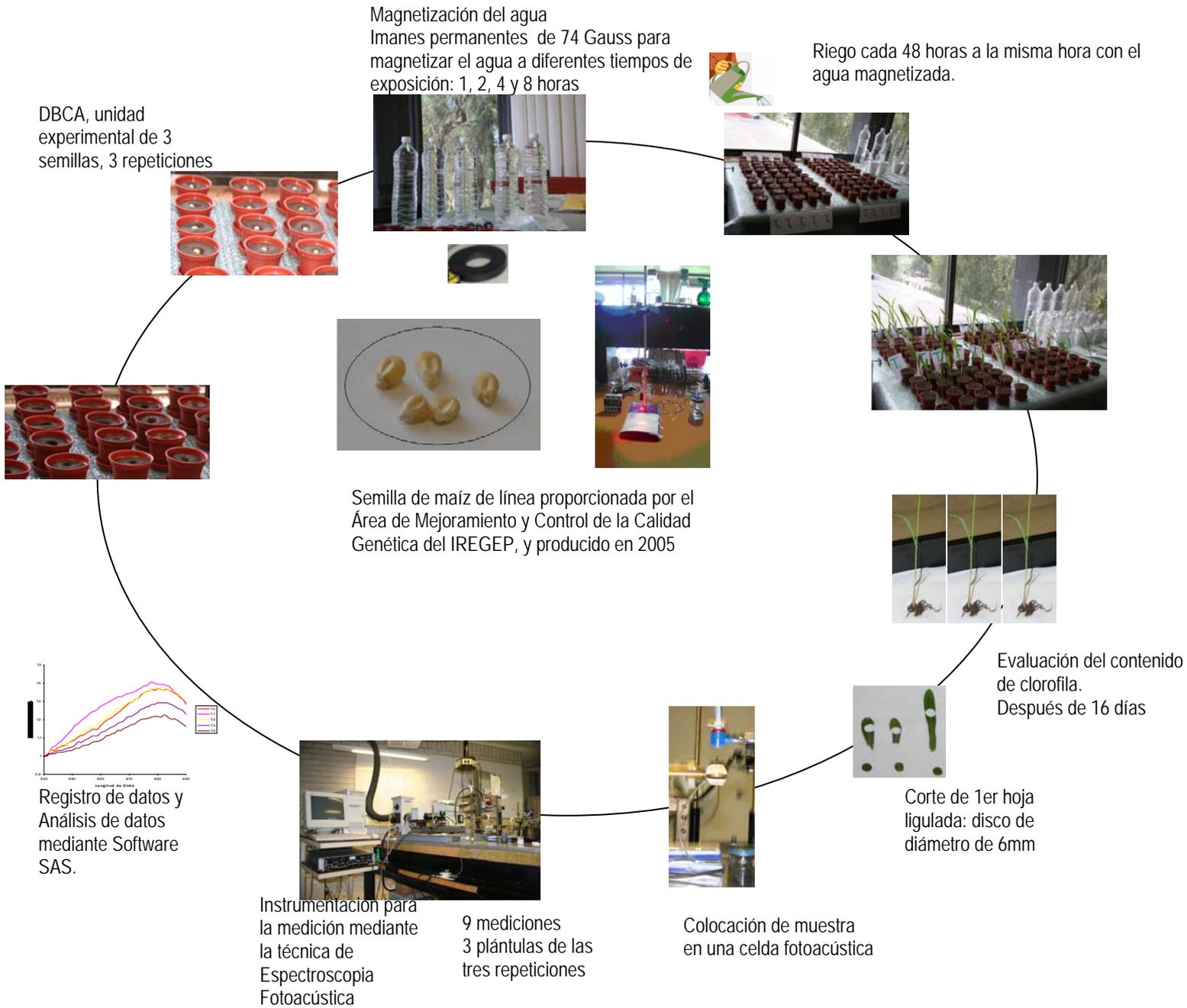


FIGURA 2.7 Metodología experimental para la obtención de los espectros de absorción del contenido de clorofila de las hojas mediante PAS.

2.5.4 Método Científico

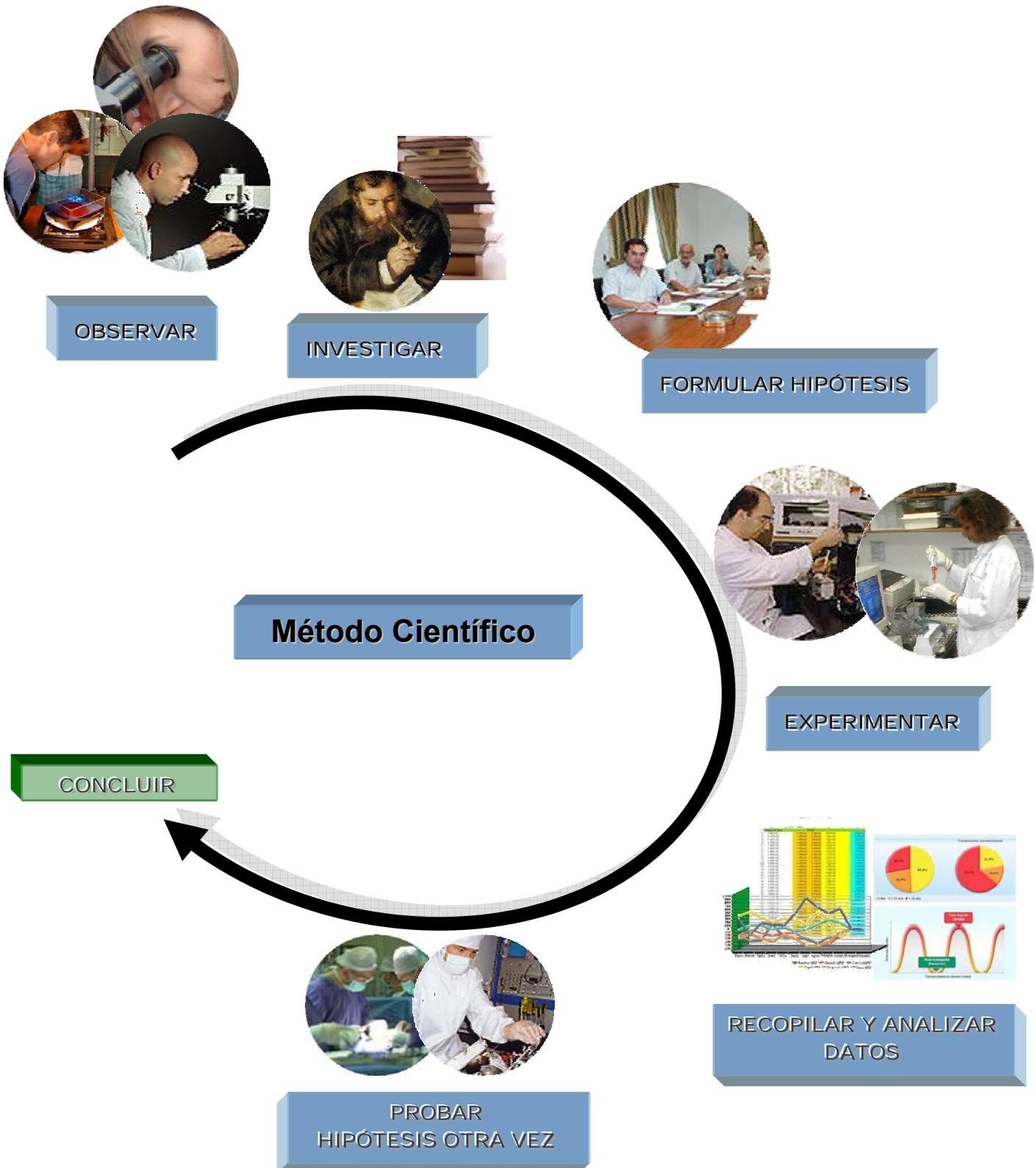
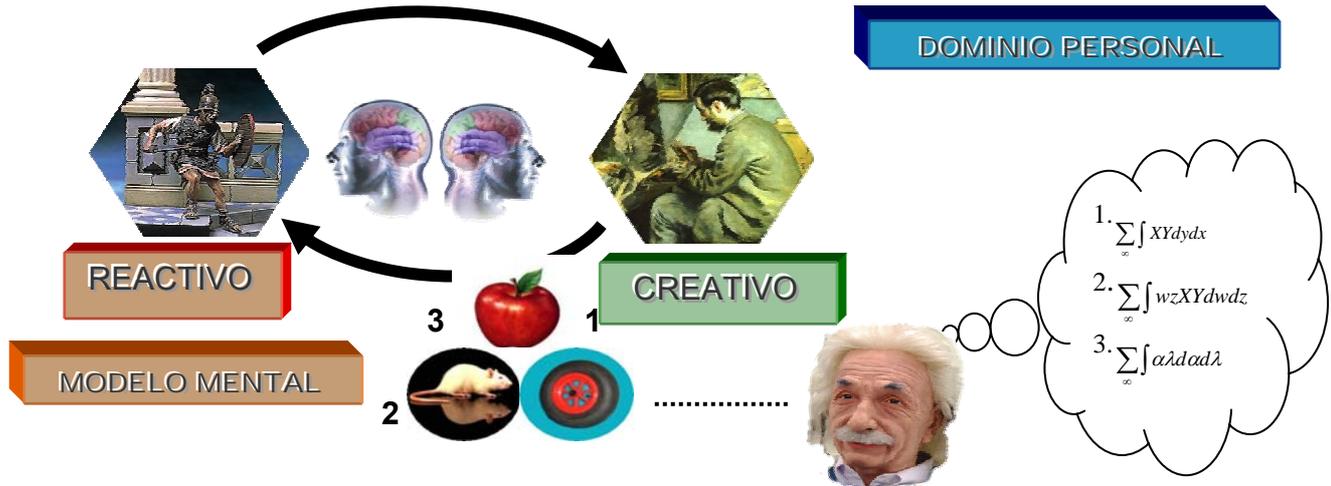


FIGURA 2.8 Método Científico

2.5.5 Metodología para una actitud transdisciplinaria



Actitud Transdisciplinaria

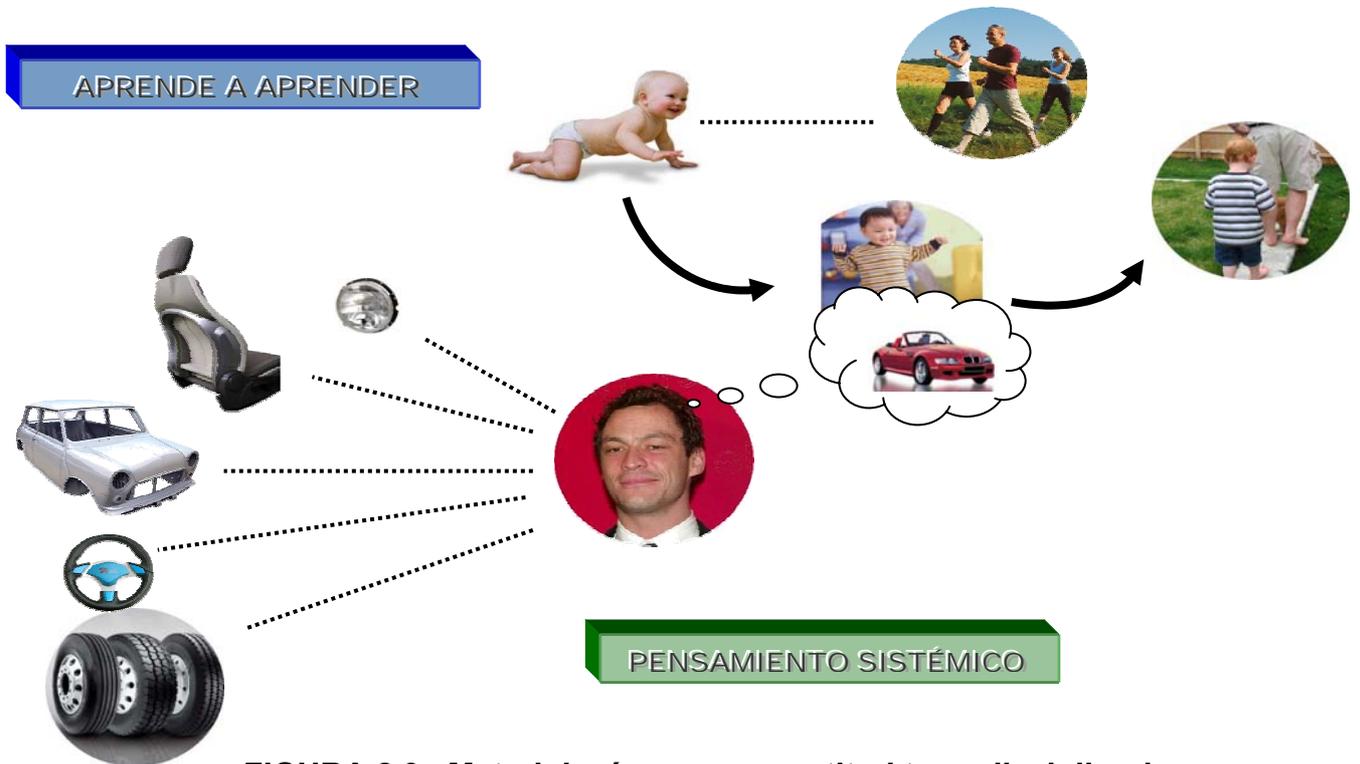
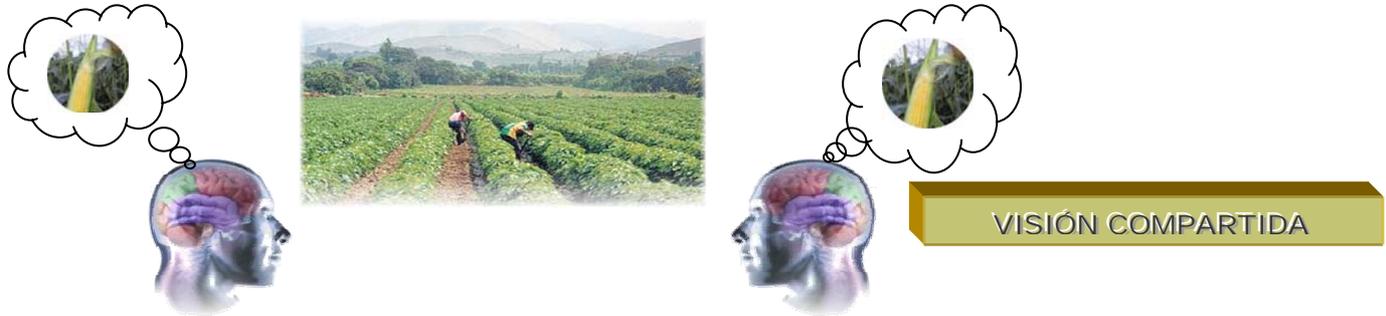


FIGURA 2.9 Metodología para una actitud transdisciplinaria

CAPÍTULO 3

ESPECTROSCOPÍA FOTOACÚSTICA APLICADA AL ESTUDIO DEL
CONTENIDO DE CAROTENOIDES DE HOJAS DE PLÁNTULAS DE
SEMILLAS DE MAÍZ IRRADIADAS CON LÁSER

3. ESPECTROSCOPIA FOTOACÚSTICA APLICADA AL ESTUDIO DEL CONTENIDO DE CAROTENOIDES DE HOJAS DE PLÁNTULAS DE SEMILLAS DE MAÍZ IRRADIADAS CON LÁSER.

3.1 INTRODUCCIÓN

La luz producida por los láseres encuentra numerosas aplicaciones en la agricultura como un bioestimulador de diferentes procesos fisiológicos y biológicos (Vasilevski, 2003).

Los fitocromos son fotoreceptores que convierten formas inactivas a activas y viceversa en respuesta a diferentes longitudes de onda de señales de luz. Esta conversión es usada para sincronizar el desarrollo de las plantas a las exigencias de la luz ambiental. Las señales de luz proveen información de muchos estados de desarrollo de las plantas: germinación de semillas, establecimiento de plántulas, etc, y son todos potencialmente controlados por los fitocromos (Harry Smith, 2000). Se han empleado diversos tipos de láseres: laser de Nitrógeno (Govil *et al.*, 1985); combinación de láser de Nitrógeno y Argon (Govil *et al.*, 1991); láser de Hé-Ne (Danila C. *et al.*, 2003; Podlesny, 2002; Drozd and Szajsner, 1999; Vasilevski and Bosev, 1999; Ouf and Abdel-Hady, 1999; Vasilevski and Bosev, 1997; Shaban *et al.*, 1988); combinación del láser de He-Ne y CO₂ (Zhi Qi *et al.*, 2000) y láser semiconductor (Hernández *et al.*, 2004, Hernández *et al.*, 2001).

Se han reportado algunas diferencias en el contenido de clorofila a y clorofila b cuando las semillas fueron irradiadas antes de la siembra con un láser de He-Ne (Ouf and Abdel-Hady, 1999; Shaban *et al.*, 1988).

3.2 OBJETIVO

Estudiar el efecto de diferentes regímenes de irradiación láser en el espectro de absorción de hojas de plántulas de maíz, provenientes de semillas tratada con luz emitida por un diodo láser de 650 nm.

3.3 HIPÓTESIS

La luz emitida por un diodo láser de 650 nm puede interactuar con el gen responsable del contenido de carotenoides a ciertos regímenes de irradiación y reflejarse a nivel macro como un cambio de contenido de clorofila en las hojas de las plántulas provenientes de semilla irradiada.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1 Material biológico.

Se utilizó semilla de maíz de línea proporcionada por el Área de Mejoramiento y Control de la Calidad Genética del IREGEP, y producido en 2002. El tamaño de la semilla fue uniformizado en peso, aspecto, color y forma, siendo el peso promedio de 1000 semillas 200 g.

3.4.2 Tratamientos de luz láser

Fue empleado un diodo láser con una salida de 27.4 mW y 650 nm de longitud de onda. Los tratamientos aplicados resultaron de una intensidad $I = 3.04\text{mW/cm}^2$ y cuatro regímenes de irradiación (R1: un régimen de irradiación, R2: dos regímenes de irradiación, R3: tres regímenes de irradiación y R4: 4 regímenes de irradiación. El régimen de irradiación aplicado fue de un tiempo $t = 15$ s, el intervalo de tiempo de separación entre régimen y régimen fue de 15 s.

Para el tratamiento de irradiación las semillas se colocaron en forma aleatoria. El medidor empleado para determinar la potencia del láser fue el modelo 45-545 de la compañía "Metrologic Instruments, Inc."

3.4.3 Establecimiento de la prueba

Las semillas correspondientes a los 5 tratamientos fueron sembradas el 13 de junio del 2006 en un microtúnel, bajo un diseño de bloques completos al azar, donde la unidad experimental fue de 10 semillas, empleando como sustrato un suelo del tipo franco arcilloso. Cada semilla fue ubicada a 1 cm de profundidad, colocando hacia abajo el pedicelo y dejando expuesta la corona para luego cubrir con una capa de sustrato. Los 4 tratamientos más el testigo fueron sembrados en un almácigo (Xm x m x cm) establecido a la intemperie, protegido con un micro-túnel. Se regó diariamente. Después de 13 días fue evaluado el contenido de clorofila de la primera hoja ligulada de las plántulas. Sólo plántulas normales fueron evaluadas (ISTA, 1993), eligiendo una plántula de cada una de las cuatro repeticiones por cada tratamiento. De la primera hoja de cada plántula fue cortado un disco de 6mm de diámetro, los cuales se colocaron dentro de la celda fotoacústica para obtener sus espectros ópticos de absorción. Estos procedimientos fueron repetidos cuatro veces para cada tratamiento, para completar las 4 repeticiones.

3.4.4 Diseño experimental y análisis estadístico

Los datos registrados fueron sometidos a un análisis de varianza usando los procedimientos del SAS GLM (SAS, versión 1998). La prueba de diferencias mínimas significativas (DMS) al nivel de 5% de probabilidad fue aplicado para la comparación de los tratamientos (Steel and Torrie, 1980).

3.4.5 Instrumentación óptica empleada para la medición del contenido de pigmento en las hojas.

La evaluación del espectro de absorción óptico se realizó en el rango de 400 – 500 nm, mediante la técnica de espectroscopía fotoacústica. La instrumentación óptica consistió de una lámpara de Xenón, la cual se interrumpe periódicamente mediante un modulador mecánico de frecuencia fija. El haz de luz modulado se hace pasar a través de un monocromador, y la luz emergente se dirige mediante un fibra óptica hacia la ventana de una celda fotoacústica cerrada herméticamente, de tal forma que incide sobre la

muestra que se está analizando. La señal generada en la celda fotoacústica, se detecta mediante un amplificador lock in que está conectado a una terminal de datos que mediante un programa va registrando los resultados de las mediciones obtenidas. La configuración experimental usada en este estudio se muestra en la Figura 3.1.

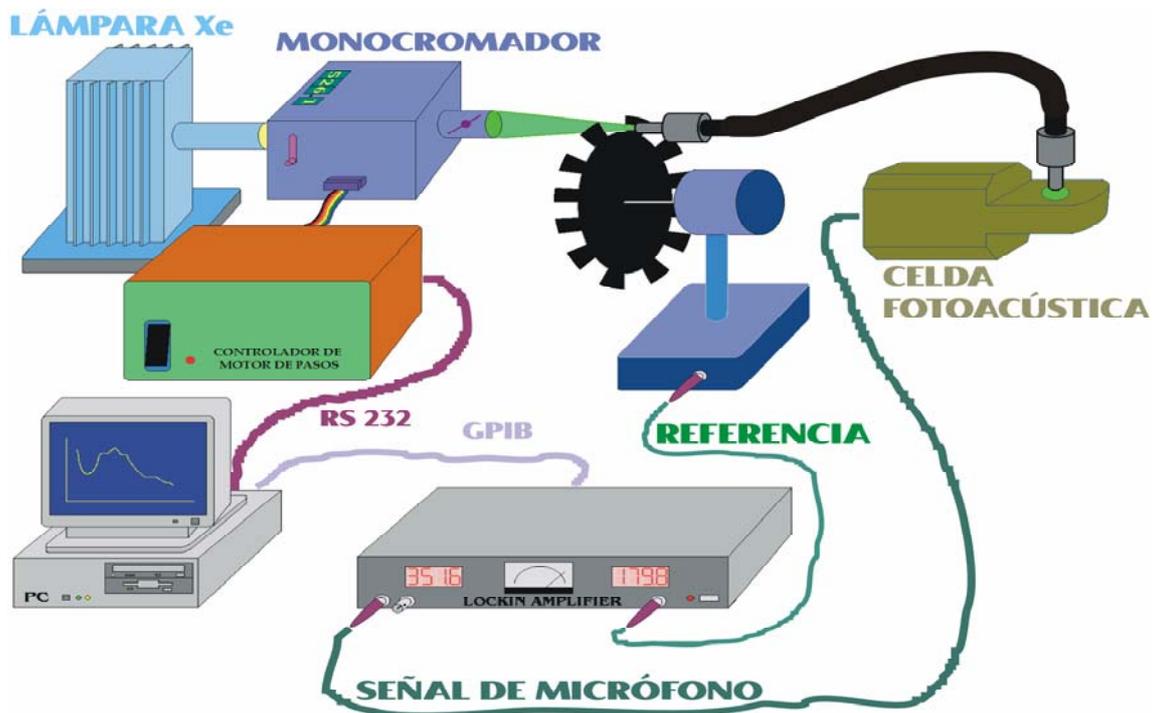


Figura 3.1 Instrumentación fotoacústica

Montaje experimental para la espectroscopía fotoacústica (EFA). a) Lámpara de Xenón, b) modulador mecánico, c) monocromador, d) fibra óptica, e) celda fotoacústica, f) lock-in y g) computadora

Las evaluaciones se realizaron eligiendo en forma aleatoria cuatro plántulas de cada tratamiento, de las cuales se seleccionó la primera hoja ligulada para realizar la espectroscopia. Este objeto biológico se fue colocando en la celda fotoacústica y se obtuvieron los espectros ópticos.

3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las amplitudes de las señales fotoacústicas que corresponden al contenido de carotenoides de 400 nm a 500 nm fueron introducidas en el programa SAS, considerando los 4 tratamientos más el control (semillas sin radiación) en sus cuatro repeticiones.

El ANOVA para los dos parámetros revelaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en los tratamientos en la longitud de onda de 472-478 nm.

Tabla 3.1 Análisis de varianza de la amplitud de la señal fotoacústica correspondientes a la absorción en las longitudes de onda de 472-478nm.

<u>Variables de respuesta</u>	<u>Media</u>	<u>Prueba F</u>	<u>C.V. %</u>
Longitud de onda (nm)			
472	0.780190	2.20	14.33060
473	0.780724	2.14	14.46538
474	0.779414	2.10	14.54592
475	0.779796	2.16	14.42525
476	0.779637	2.10	14.51402
477	0.780469	2.10	14.57747
478	0.777037	2.15	14.53074

* = Significancias al nivel del 10% de probabilidad de error.

De la Tabla 3.1 se desprende que los tratamientos aplicados presentaron una respuesta diferente por el efecto de irradiación láser; esto es que existieron diferencias significativas ($p \leq 0.10$) entre tratamientos para las variables estudiadas.

En la Figura 3.2, se muestran los efectos de la irradiación láser en los espectros promedios de absorción óptica de las hojas de plántulas, obtenidos de las tres repeticiones.

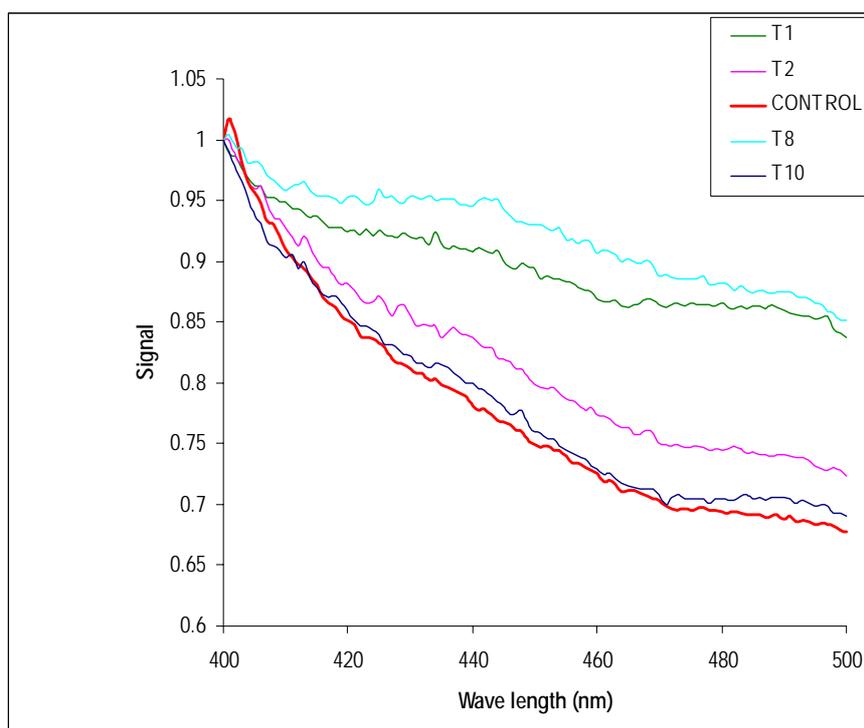


Figura 3.2 Espectros de absorción promedios del nivel de carotenoides en la primera hoja ligulada de plántulas de trigo.

Entonces, en la Figura 3.2, se puede observar que existen diferencias entre las curvas resultantes del espectro de absorción óptica de cada tratamiento y el control; asimismo existen diferencias significativas entre la longitud de onda de 472 nm a 478 nm.

Visualizando el comportamiento específico de este rango, observemos la gráfica siguiente (Figura 3.3):

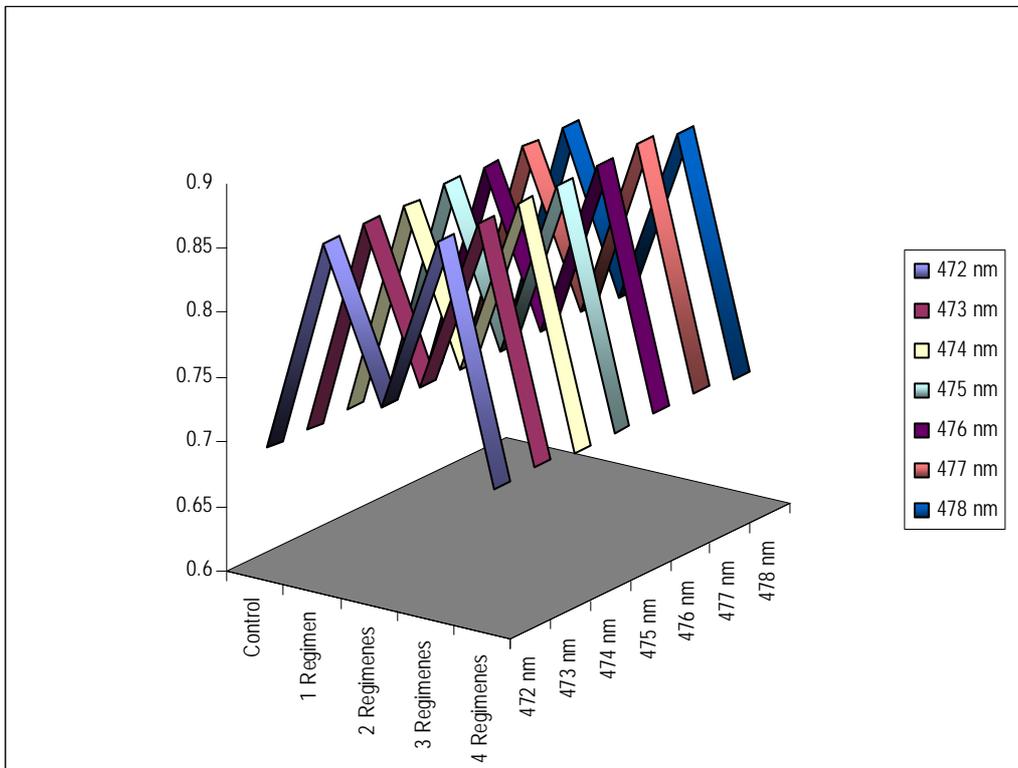


Figura 3.3 Espectros de absorción promedios del nivel de carotenoides en las longitudes de onda en el rango de 472 – 478 nm.

Se puede observar que la señal PA que representa el contenido de carotenoides, bajo las condiciones en que fue llevado a cabo el experimento a la intensidad manejada: a cuatro regímenes de irradiación, se ve afectada con un aumento con respecto a las muestras de control a $\lambda = 472$ nm de 26.99%, a $\lambda = 473$ nm de 27.46%, a $\lambda = 474$ nm de 27.33%, a $\lambda = 475$ nm de 27.36%, a $\lambda = 476$ nm de 27.16%, a $\lambda = 477$ nm de 27.25% y a $\lambda = 478$ nm de 26.74%. Observándose un patrón de comportamiento para las longitudes de onda de 472 nm – 478 nm de la siguiente forma: a un régimen de irradiación la respuesta se ve aumentada, a dos regímenes de irradiación la respuesta disminuye, a tres regímenes de irradiación se aumenta, a 4 regímenes se disminuye, siendo la de mayor aumento a tres regímenes de irradiación y la de menor aumento a 4 regímenes de irradiación.

Las gráficas sugieren que la radiación láser interactúa con los fotorreceptores responsables del contenido de carotenoides de las hojas de las plántulas en su etapa fenomenológica de semilla, activándolos y desactivándolos.

Ouf *et al.* (1999) señalan que el contenido de carotenoides desarrollado en las plantas de soya provenientes de semilla irradiada fue más alto que las de control, incrementándose éste al colorear la semilla.

En otros trabajos Shaban *et al.* (1988) reportan modificaciones en algunos procesos fisiológicos mediante la irradiación láser antes de la siembra en semillas de pepino como en el nivel de clorofila a y b; en ambos los contenidos de pigmentos disminuyeron y la intensidad de la fotosíntesis aumentó. Indican que con un láser de He-Ne la clorofila a fue menos afectada que la clorofila b.

En otros estudios realizados en donde se estableció otra variedad de semilla y se aplicaron los niveles de intensidad similares a éstos, no se encontraron diferencias significativas.

CAPÍTULO 4

COEFICIENTE DE ABSORCIÓN ÓPTICO DE SEMILLAS
DETERMINADO POR ESPECTROSCOPIA FOTOACÚSTICA

4. COEFICIENTE DE ABSORCIÓN ÓPTICO DE SEMILLAS DETERMINADO POR ESPECTROSCOPIA FOTOACÚSTICA

4.1 INTRODUCCIÓN.

– Yamasaki *et. al*, 1984, describen una forma de aplicar la metodología de la técnica de espectroscopia fotoacústica (PAS) para determinar constantes ópticas. Entre los parámetros ópticos que es posible determinar se encuentra el coeficiente de absorción óptico (β). El β , se ha obtenido mediante esta técnica entre 1 y 10^5 cm^{-1} en longitudes de onda desde 200 hasta 1200nm para muestras de $1\mu\text{m}$ de grueso. Además, se ha empleado este método para calcular el coeficiente de absorción óptico para muestras de semiconductores térmicamente gruesos (J. Fesquet, *et. al*, 1984). La determinación de β es basada en el modelo de Rosencwaig y Gersho, que permite deducir el coeficiente de absorción óptico directamente a partir de la amplitud de la señal fotoacústica obtenida de las semillas.

$$\beta = \frac{1}{\mu_s} \cdot \frac{q^2 + q(2 - q^2)^{1/2}}{1 - q^2} \dots\dots\dots (4.1)$$

β = Coeficiente de absorción óptico

μ_s = Longitud de Difusión térmica

f = Frecuencia

q = Señal de amplitud fotoacústica

Se han empleado diferentes muestras, y diferentes rangos de longitud de onda demostrándose la validez de este método al compararse con métodos convencionales.

En el presente trabajo se hace uso del método de PAS para determinar el coeficiente de absorción óptico para dos condiciones de semilla de trigo, una semilla coloreada y otra sin colorear y su repercusión en el incremento de los

efectos de irradiación láser al ser tratada con irradiación láser antes de someterse a una prueba de germinación.

4.2 OBJETIVO

Determinar el cambio del coeficiente de absorción óptico que se da al colorear la semilla de trigo con azul metileno y su repercusión en los efectos de irradiación láser, a la longitud de onda de 650 nm

4.3 HIPÓTESIS

Los efectos de la irradiación láser en la semilla de trigo dependen del coeficiente de absorción óptico, a mayor β se incrementan los efectos de irradiación producidos por un diodo láser de 650 nm y $P = 27.4$ mW.

4.4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.4.1 Material Biológico

Fueron empleadas semillas de trigo (*wheat*), proporcionadas por el Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y el trigo (CIMMYT). El tamaño de la semilla fue uniformizado en forma, color, aspecto, tamaño y peso, siendo el peso promedio de 20 semillas de 4.92 g.

4.4.2 Establecimiento del experimento (β)

Una muestra de 500 semillas se dividió a la mitad para teñirlas, remojándose en un colorante por 15 minutos. El colorante utilizado fue el azul metileno en una concentración de $1:10^4$. La otra mitad fue sin colorante. De ambas condiciones de semilla: teñida y no teñida se eligieron tres semillas en forma aleatoria para definir si la semilla es térmicamente gruesa comparándola con la longitud de difusión térmica (μ), considerando como difusividad del almidón (α) $4.44 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ (referencia), para posteriormente obtener el espectro de

– absorción óptica de cada semilla. A la longitud de onda de 650 nm a partir del valor de la señal fotoacústica obtenida fue determinado el coeficiente de absorción óptica para las tres semillas de cada condición teñida y no teñida. La determinación de β se basó en el modelo de Rosencwaig y Gersho, deduciendo el coeficiente de absorción óptica directamente a partir de la amplitud de la señal fotoacústica obtenida de las semillas, ya que fueron las semillas térmicamente gruesas.

Cada espectro de absorción óptica fue normalizado a la señal fotoacústica inicial. Los datos fueron sometidos al análisis de varianza usando los procedimientos del SAS. La prueba de diferencias significativas mínimas al 5% de nivel de probabilidad fue aplicada para comparar los resultados de β de ambas condiciones de semilla.

4.4.3 Montaje experimental

El espectro de absorción óptica se obtuvo en el rango de 600 – 700 nm, mediante la técnica de espectroscopía fotoacústica. La instrumentación óptica consistió en una lámpara de Xenón de 1000 W (Oriel), la cual se interrumpe periódicamente mediante un modulador mecánico de frecuencia fija de 17 Hz. El haz de luz modulado se hace pasar a través de un monocromador, y la luz emergente se dirige mediante fibra óptica hacia la ventana de una celda fotoacústica cerrada herméticamente con grasa de silicón, de tal forma que incide sobre la muestra que se esté analizando. La señal generada en la celda fotoacústica se detecta mediante un amplificador lock in que está conectado a una terminal de datos que mediante un programa va registrando los resultados de las mediciones obtenidas. La configuración experimental usada en este estudio se muestra en la Figura del capítulo anterior.

4.4.4 Prueba de germinación

En toallas de papel enrolladas. (ISTA, 1985).

Se colocaron 4 repeticiones de 25 semillas cada una, separadas por espacios uniformes; en las toallas de papel húmedas las semillas se pusieron con el extremo de la radícula apuntando hacia la parte inferior de la toalla y el lado del embrión hacia arriba; una vez colocadas se taparon con papel húmedo y se enrollaron, para luego colocarlas en bolsas de plástico abiertas en la parte superior. Se introdujeron las bolsas de plástico en una cámara de germinación a 25 °C, poniéndolas en posición vertical; para al séptimo día de haber sido sembradas se determinaron las cantidades de plántulas normales y anormales, y semillas no germinadas en cada repetición. El conteo de las semillas germinadas se realizó al séptimo día tal y como lo dicta la ISTA.

4.4.5 Diseño experimental y análisis estadístico.

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con 4 repeticiones. En todos los casos la unidad experimental fue de 25 semillas. Los análisis de varianza se realizaron con los procedimientos del SAS (SAS, versión de 1998) y las diferencias entre medias de tratamientos fueron estimadas mediante la prueba de Diferencias Mínimas Significativas (DMS) al nivel 5% de probabilidad de error (Steel y Torrie, 1980).

4.4.6 Tratamientos con luz láser

En esta prueba experimental fue utilizado un diodo láser con una potencia de 27.4 mW y $\lambda = 650\text{nm}$. Como medidor de potencia se utilizó el modelo 45-545 de la compañía "Metrologic Instruments, Inc."

Tabla 4.1 Dosis de irradiación aplicadas a las semillas de trigo como tratamiento pre-siembra (Tanto semilla coloreada y no coloreada).

	Tiempo de irradiación			
	4	6	8	10
Intensity (mw/cm ²)	240*	360	480	600
I ₁ =3.04	729.6	1,094.4	1,459.2	1,824
I ₂ = 6.08	1,459.2	2,188.8	2918.4	3,648

Control : t =0

*Dosis = mJ/cm²

4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de los coeficientes de absorción óptico de cada una de las semillas fotoacústicas que corresponden a las semillas coloreadas y no coloreadas obtenido a partir del espectro de absorción óptico en la longitud de onda de 650 nm fueron introducidas en el programa SAS, considerando las 2 condiciones de semilla en sus tres repeticiones.

El ANOVA para este parámetro reveló diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el valor de β de las semillas consideradas.

Tabla 4.2 Análisis de varianza del coeficiente de absorción óptico a la longitud de onda de 650 nm, para semilla teñida y semilla no teñida.

Variable de respuesta	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Coefficiente de variación	Prueba F	P > F
β	5	1,925.4343	30.46005	12.53	0.0279

* = Significancias al nivel del 5% de probabilidad de error.

En la tabla 4.2 se observa que el coeficiente de absorción obtenido a través de la técnica fotoacústica presentó una respuesta diferente; esto es, que existieron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre ambas semillas estudiadas.

En las Figura 4.1 y 4.2, se muestran los espectros del coeficiente de absorción óptica de las semillas de trigo, obtenidos de las tres semillas para cada condición de ésta:

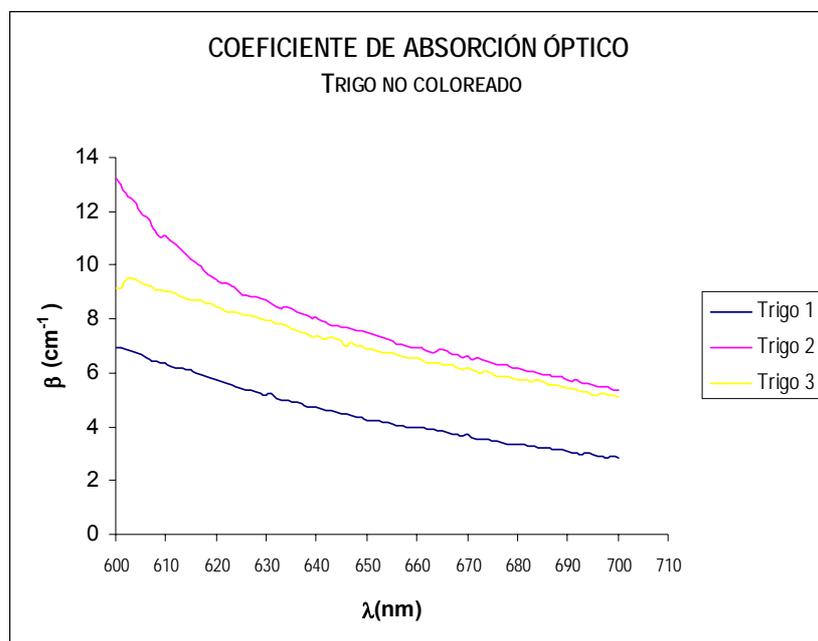


FIGURA 4.1 Coeficiente de absorción óptico obtenido para semilla de trigo no coloreada

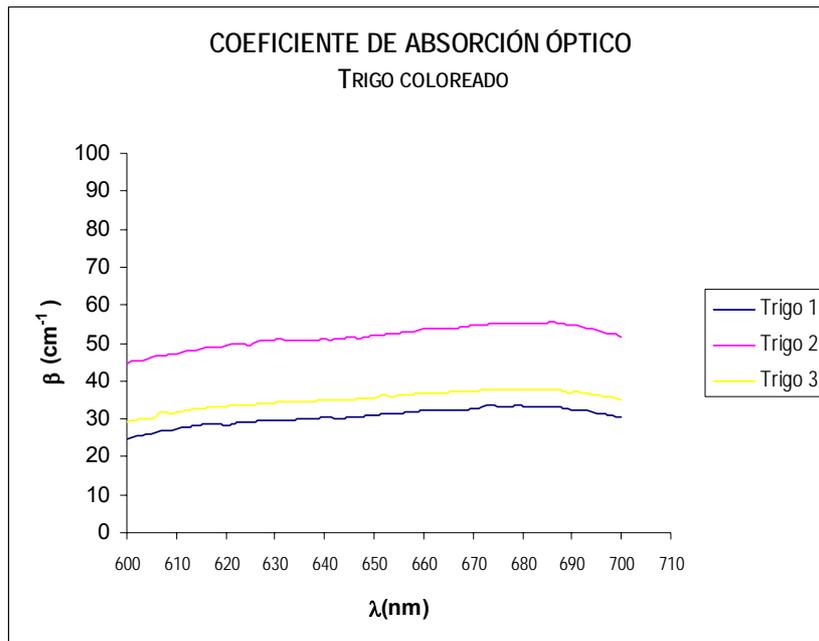


FIGURA 4.2 Coeficiente de absorción óptico obtenido para semilla de trigo coloreada

Entonces, en las Figuras 4.1 y 4.2, se puede observar que existen diferencias entre las curvas resultantes del espectro del coeficiente de absorción óptico de cada condición de semilla: Coloreada y no coloreada; asimismo existen diferencias en los puntos del nivel de longitud de onda de 650nm .

Visualizando el comportamiento específico del coeficiente de absorción óptico a 650 nm y representando los valores promedios se tiene la siguiente gráfica:

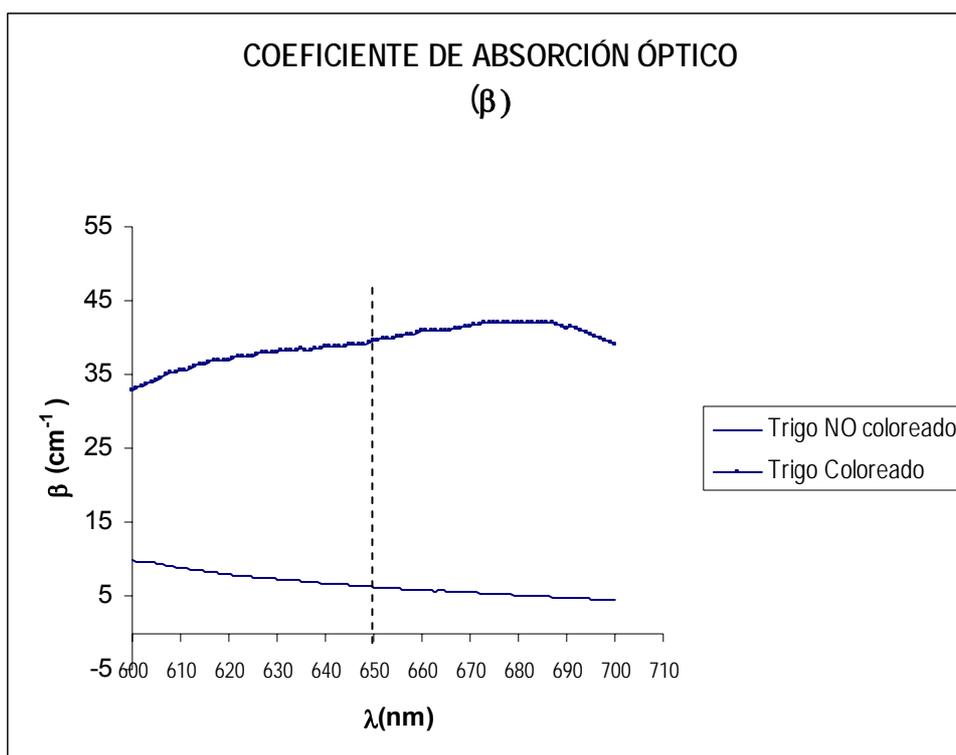


FIGURA 4.3 Coeficiente de absorción óptico promedio obtenido de las semillas de trigo coloreadas y no coloreadas (DMS = 24.495; $p \leq 0.05$).

En donde se observa que el espectro que representa el coeficiente de absorción óptico es mayor para la semilla coloreada con respecto de la no coloreada.

Se presentan en la Tabla 4.3 los resultados del análisis de varianza para la variable de porcentaje de germinación evaluada.

Tabla 4.3 Análisis de varianza de la germinación para la semilla coloreada y no coloreada.

Variable de respuesta	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Coefficiente de variación	Prueba F	P > F
G PN (SNC)	8	5,804	17.2688	2.57	0.0168
G PN (SC)	8	5,562.2	10.5301	5.08	0.0001

* = Significancias al nivel del 5% de probabilidad de error.

** = Diferencias significativas al nivel del 1% de probabilidad de error.

De los resultados presentados en la tabla 4.3 se desprende que existieron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos de irradiación láser para las semillas teñidas y no teñidas

Los efectos de la irradiación láser en la variable analizada para las dos condiciones de semilla fue incrementada en el momento de colorearla. Este comportamiento se observa en las gráficas de las Figuras 4.4 y 4.5.

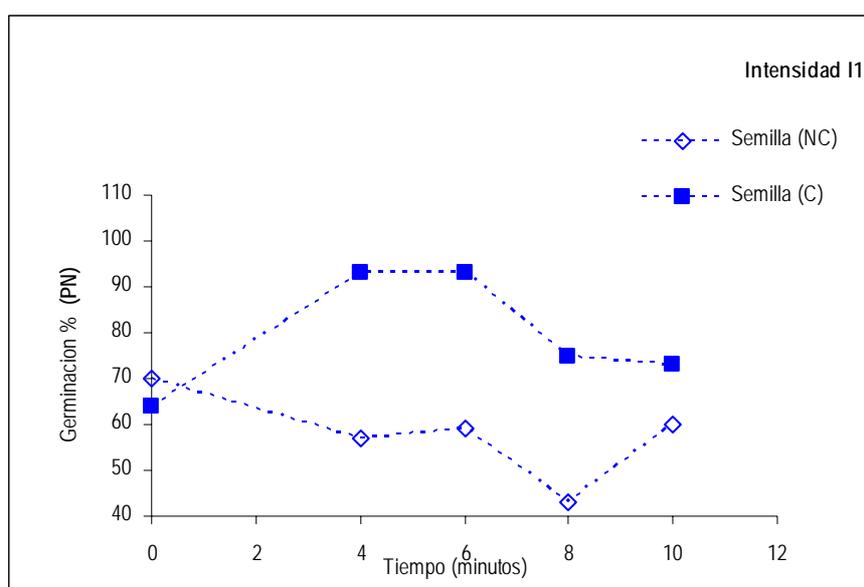


FIGURA 4.4 Porcentaje de germinación para cada tratamiento láser aplicado antes de la siembra, semilla coloreada y no coloreada a la intensidad $I_1 = 3.1 \text{ mW/cm}^2$ (NC, DMS = 15.7373; C , DMS = 12.175, $p \leq 0.05$)

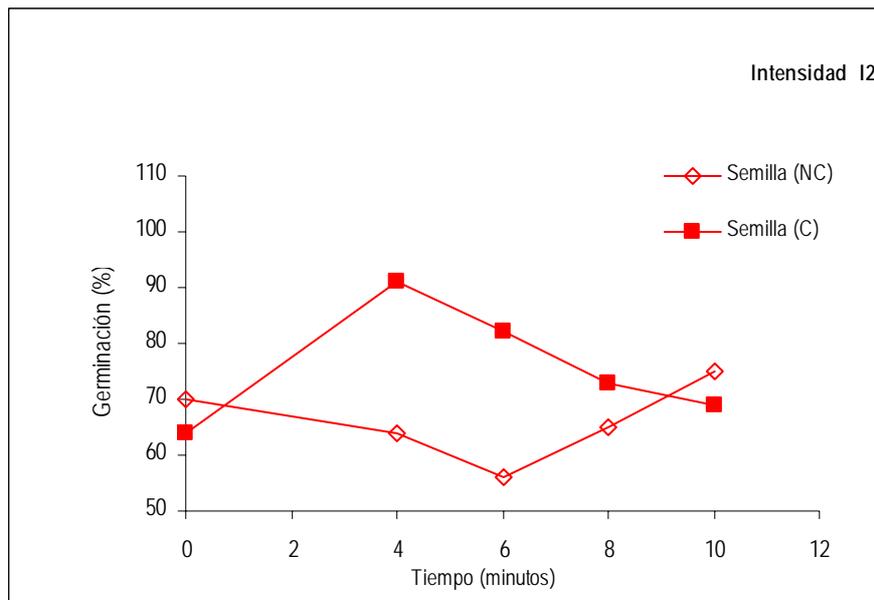


FIGURA 4.5 Porcentaje de Germinación para cada tratamiento láser aplicado antes de la siembra, semilla coloreada y no coloreada a la intensidad $I_2 = 6.08 \text{ mW/cm}^2$ (NC, DMS = 15.7373; C , DMS = 12.175, $p \leq 0.05$)

En general, las respuestas fueron encontradas para los tiempos de 4, 6, y 8 minutos de irradiación que se incrementaron por los efectos del colorear la semilla y respondió a un efecto mayor debido a la irradiación láser para ambos niveles de intensidad aplicados antes de la siembra. De esta forma, la combinación de condiciones semilla coloreada y tratamiento láser producen mayores efectos al ser aplicados en la semilla.

Los resultados obtenidos confirman que la irradiación láser y el colorear la semilla son un método para el mejoramiento de la germinación de la semilla de trigo.

Otros autores reportan que la irradiación láser de semillas influyó significativamente la germinación y modificó el curso del desarrollo de las plantas de haba manifestando una aceleración de la germinación y madurez de las plantas (Podlesney, 2002), empleando un láser de He-Ne.

Resultados previos a la investigación muestran un patrón de comportamiento análogo, al emplear diferente condición de la semilla: remojada por 25 minutos para teñirla con rojo metil antes de ser irradiada (Hernández *et al.*, 2004), y semilla sin teñir, los efectos debido a la irradiación aumentan en semilla teñida, incluso no hay diferencias significativas si no es coloreada la semilla.

Colorear la semilla repercute en un incremento de los efectos de irradiación, a la longitud de onda de 650 nm, y empleando como colorante el azul metileno. Los efectos de la irradiación láser en la semilla de trigo dependen del coeficiente de absorción óptico, a mayor β se incrementan los efectos de irradiación producidos por un diodo láser de 650 nm y $P = 27.4$ mW.

Con la combinación de irradiación láser y coloreando la semilla se obtuvieron respuestas significativas ($p \leq 0.05$) con relación a las muestras testigo o control, incrementándose en un 45.3125% la germinación en el mejor tratamiento, para la semilla coloreada a un $t = 4$ minutos y una $I = 3.04$ mw/cm² y para la semilla sin colorear en un 7.142857%.

CAPÍTULO 5

**OBTENCIÓN DE LOS ESPECTROS DE ABSORCIÓN DEL CONTENIDO DE
CLOROFILAS A Y B EN HOJAS DE PLÁNTULAS REGADAS CON AGUA
TRATADA MAGNÉTICAMENTE**

5. OBTENCIÓN DE LOS ESPECTROS DE ABSORCIÓN DEL CONTENIDO DE CLOROFILAS A Y B EN HOJAS DE PLÁNTULAS REGADAS CON AGUA TRATADA MAGNÉTICAMENTE

5.1 INTRODUCCIÓN

La aplicación de diferentes agentes físicos para acelerar la germinación y el crecimiento de las plantas ha tomado auge en los últimos tiempos por su acción positiva. Las radiaciones no ionizantes como el láser y el campo magnético, se han convertido en los más utilizados para estos fines.

La acción de estos agentes físicos puede provocar variaciones a nivel celular que afectan los mecanismos de transporte y los procesos metabólicos que ocurren en las plantas. Los efectos que pueden encontrarse dependen para el caso del campo electromagnético, de la inducción magnética, frecuencia, intensidades, y forma de onda; y para el caso del láser, de la longitud de onda, de la intensidad, tiempo de exposición y regímenes de irradiación.

Muchos han sido los sistemas biológicos estudiados bajo la influencia del campo electromagnético, desde microorganismos hasta organismos superiores. Como un hecho de notable interés debe resaltarse la gran repercusión del estudio del campo electromagnético y del agua tratada magnéticamente en la agricultura donde en algunos países se han realizado numerosas investigaciones con el propósito de lograr mayores rendimientos en los cultivos (Sarmientos y González, 1998).

En la actualidad no se cuenta con suficiente información sobre los efectos que produce regar semillas en su etapa de plántulas con agua tratada magnéticamente para analizar el comportamiento de la clorofila, por lo que en el presente capítulo planteamos establecer un diseño experimental aplicando varios tratamientos al agua para regar la semilla de maíz de una línea CL₁.

5.2 OBJETIVO

Estudiar el efecto de diferentes tratamientos de agua magnetizada en las hojas de plántulas provenientes de semillas de maíz que desde que se sembraron fueron regadas con agua magnética

5.3 HIPÓTESIS

El agua magnetizada a diferentes tiempos de exposición sobre imanes permanentes produce cambios en el nivel de clorofila de las hojas de las plántulas provenientes de semillas de maíz.

5.4 MATERIALES Y MÉTODOS

5.4.1 Material biológico.

Se utilizó semilla de maíz de línea proporcionada por el Área de Mejoramiento y Control de la Calidad Genética del IREGEP, y producida en 2005. El tamaño de la semilla fue uniformizado en peso, aspecto, color y forma, siendo el peso promedio de 1000 semillas de 200 g.

5.4.2 Tratamientos de agua magnetizada

Fueron empleados imanes permanentes para magnetizar el agua a diferentes tiempos de exposición, empleando imanes permanentes cuya inducción magnética fue de 74 Gauss. Los tratamientos aplicados resultaron del nivel de intensidad de campo y colocando los imanes en la superficie inferior de un envase de plástico cuya capacidad fue de 1.5 lt. Cuatro tiempos de exposición del agua a los imanes se emplearon: 1, 2, 4 y 8 horas.

Para la medición del campo magnético se empleó un montaje experimental presentado en el anexo.

5.4.3 Establecimiento de la prueba

Las semillas correspondientes a los 4 tratamientos más el control fueron sembradas el 28 de agosto del 2006 en macetas acomodadas, bajo un diseño de bloques completos al azar, donde la unidad experimental fue de tres semillas, empleando como sustrato un suelo del tipo franco arcilloso. Cada semilla fue ubicada a 1 cm de profundidad, colocando hacia abajo el pedicelo y dejando expuesta la corona; para luego cubrir con una capa de sustrato. Los 4 tratamientos más el testigo fueron sembradas y colocadas a una temperatura ambiente de 18 grados centígrados temperatura máxima y mínima de 10 grados centígrados. Se regó cada 48 hrs. Después de 16 días fue evaluado el contenido de clorofila de la primera hoja ligulada de las plántulas. Sólo plántulas normales fueron evaluadas (ISTA, 1993), eligiendo tres plántulas de cada una de las tres repeticiones de cada tratamiento. De la primera hoja de la plántula fue cortado un disco de 6mm de diámetro, los cuales se colocaron dentro de la celda fotoacústica para obtener sus espectros ópticos de absorción. Estos procedimientos fueron repetidos nueve veces para cada tratamiento para completar las tres repeticiones.

5.4.4 Diseño experimental y análisis estadístico

Los datos registrados fueron sometidos a un análisis de varianza usando los procedimientos del SAS GLM (SAS, versión 1998). La prueba de diferencias mínimas significativas (DMS) al nivel de 5% de probabilidad fue aplicada para la comparación de los tratamientos (Steel and Torrie, 1980).

5.4.5 Instrumentación óptica empleada para la medición del contenido de pigmento en las hojas.

La evaluación del espectro de absorción óptico se realizó en el rango de 640 a 690 nm, mediante la técnica de espectroscopía fotoacústica utilizando la instrumentación óptica que se señala en capítulos anteriores.

Las evaluaciones se realizaron eligiendo en forma aleatoria 9 plántulas en total de cada tratamiento, de las cuales se seleccionó la primera hoja ligulada para realizar la espectroscopia. Este objeto biológico se fue colocando en la celda fotoacústica y se obtuvieron los espectros ópticos.

5.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las amplitudes de las señales fotoacústicas que corresponden al contenido de clorofila en el rango de 640 nm a 690 nm fueron introducidas en el programa SAS, considerando los 4 tratamientos más el control en sus nueve repeticiones.

El ANOVA para los dos parámetros revelaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en los tratamientos en la longitud de onda de 680 nm, correspondientes a la clorofila (a). En la clorofila (b), no hubo diferencias estadísticas significativas.

Tabla 5.1 Análisis de varianza de la amplitud de la señal fotoacústica correspondiente a la absorción en las longitudes de onda de 650 nm y 680 nm.

<u>Variables de respuesta</u>	<u>Media</u>	<u>Prueba F</u>	<u>C.V. %</u>
Longitud de onda (nm)			
650 (b)	1.058859	0.3136	4.023043
680 (a)	1.304281	0.0467*	12.59209

* = Significancias al nivel del 5% de probabilidad de error.

a: Clorofila a

b: Clorofila b

De la tabla 5.1 se desprende que los tratamientos aplicados presentaron una respuesta diferente por el efecto del agua magnética a la longitud de onda de 680 nm; esto es, que existieron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos para esta variable.

En la Figura 5.1, se muestran los efectos del agua magnética en los espectros promedios de absorción óptico de las hojas de plántulas, obtenidos de las tres repeticiones.

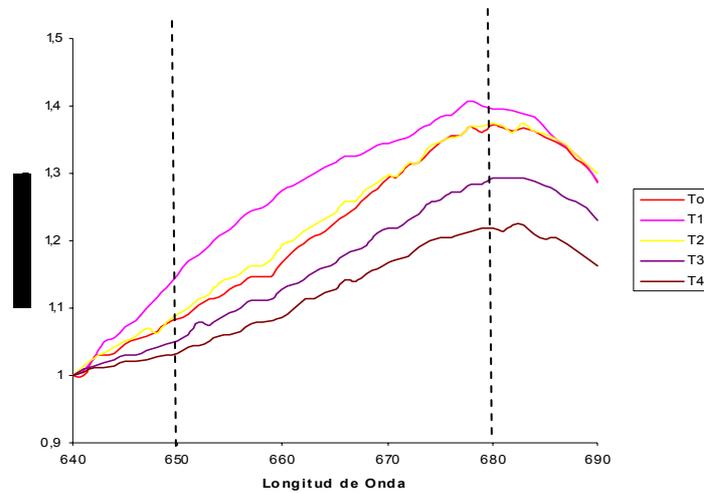


Figura 5.1 Espectros de absorción promedios del nivel de clorofila (a) en la primera hoja ligulada de plántulas de maíz.

En la Figura 5.1, se puede observar que existen diferencias entre las curvas resultantes del espectro de absorción óptico de cada tratamiento y el control, existiendo valores en el nivel de amplitud de la clorofila b correspondientes a los tratamientos aplicados que están arriba del valor resultante de las muestras de control y valores que están por debajo dependiendo del tratamiento. Para el tratamiento de agua magnetizada de 1h el valor se incrementa, para el valor de 2 h el resultado casi coincide con el correspondiente a la muestra de control. En cambio para los tratamientos del agua magnetizada de 4 y 8 horas el valor de la amplitud disminuye.

El comportamiento específico de este rango, se observa en la figura 4.2:

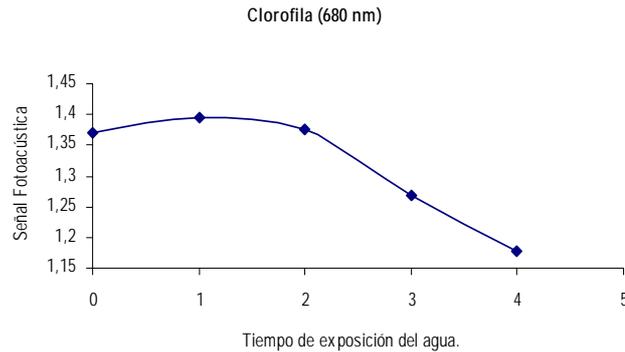


Figura 5.2 Amplitud de la señal fotoacústica a 680 nm para los tratamientos aplicados.

Se puede observar que la señal PA, que representa el contenido de clorofila (a), bajo las condiciones en que fue llevado a cabo el experimento a la intensidad de campo de 74 G a la cual fue sometida el agua magnetizada y agua con la cual fueron regadas las plántulas, se ve afectada con un aumento con respecto a las muestras de control en el tratamiento de 1 h en un 2.61639% y el mayor decremento a esa misma longitud de onda fue para el tratamiento correspondiente a un tiempo de exposición del agua de 8 h con una disminución con respecto de las muestras de control del 18.2928%.

Las gráficas sugieren que el empleo de agua magnetizada a diferentes tiempos de exposición produce cambios en el contenido de clorofila de las hojas de plántulas, medido a través de la técnica de espectroscopia fotoacústica.

Martínez et al. (1999) señalan que el tratamiento magnético del agua de riego a 150 mT proporcionó efectos estimulantes significativos en el vigor de las plántulas provenientes de las semillas tratadas de arroz (*Oryza sativa* L.). Resultados similares fueron obtenidos en lenteja (*Lens culinaris* L.) y girasol (*Helianthus annuus* L.) con incrementos en el vigor con 250 mT en tratamiento de semillas en condiciones de laboratorio.

El agua tratada magnéticamente ha sido tema de investigaciones en otros países no sólo para conocer su acción estimulante en las plantas, sino para estudiar cómo influye en el régimen hídrico suelo-planta-atmósfera (Díaz, 2001). No obstante, se puede decir que existe una amplia necesidad de seguir investigando para consolidar los métodos y puedan ser utilizados en diferentes países.

CAPÍTULO 6

DISCUSIÓN,
CONCLUSIONES
Y PERSPECTIVAS

6.1 EXPERIMENTO 1

Espectroscopía Fotoacústica aplicada al estudio del contenido de carotenoides de hojas de plántulas de semillas de maíz irradiadas con láser.

Si bien es cierto que la luz láser puede ayudar al mejor establecimiento de los cultivos, también es cierto que éstos se pueden perjudicar. Por tal motivo, es necesario aplicar las dosis adecuadas de irradiación para encontrar efectos que sean benéficos en semillas de especies diversas.

Para este caso se planteó la investigación proponiendo como elemento fuente de luz a un láser semiconductor que emite luz roja. En ese estudio se evaluó el contenido de carotenoides de plántulas desarrolladas de semillas de maíz irradiadas. Se aplicaron 4 tratamientos más el control (sin irradiación). Los espectros de las hojas de las plántulas fueron obtenidos mediante la técnica de espectroscopia fotoacústica en el rango de 400 a 500 nm, en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, obteniéndose diferencias estadísticas significativas en el rango de 471 a 478 nm.

Al interactuar la luz láser con la semilla de maíz, estimula también a los fitocromos encargados de establecer el contenido del pigmento en las hojas de las plántulas, ya que los resultados encontrados reflejan este comportamiento a determinados regímenes de irradiación: R1, 1 régimen ; R2, 2 regímenes; R3, 3 regímenes y R4, 4 regímenes más el control o testigo (sin irradiación).

En la Figura 6.1 se pueden observar las gráficas de las cromoproteínas (fitocromos) en sus dos formas que son reversiblemente intercambiables por la luz. La forma biológica inactiva P_r que absorbe la luz roja, y la forma biológicamente activa P_{fr} que absorbe la luz infrarroja (Quail, 2002). Pulsos cortos de luz maximizan la conversión de moléculas fitocromos a la forma activa P_{fr} (Shimizu-Sato *et al.*, 2002). En los experimentos realizados se pudo observar cómo con una irradiación de 1 régimen, los fitocromos se activan, ya que a nivel macro se midió un cambio en el nivel de carotenoides, activándose la forma biológica P_r tan sólo con un pulso de 15 segundos, en el régimen de irradiación 2, se irradiaron dos intervalos de 15 segundos, dejándose un periodo igual de 15 segundos sin irradiar, el comportamiento refleja que el

estado biológico de la semilla se activó y luego se desactivó, ya que el nivel de carotenoides disminuyó. Para 3 regímenes de irradiación: al hacer incidir la luz roja, 15 segundos tres veces con un intervalo sin irradiación de 15 segundos se activó, luego se desactivó y luego se volvió a activar la condición biológica de la semilla, manifestándose en un incremento del nivel de contenido de carotenoides. Para 4 regímenes de irradiación; pasó por un estado de activación, luego desactivación, luego activación y finalmente desactivación de la condición biológica, observándose en la gráfica, entonces dependiendo del número de regímenes de irradiación son los estados a los cuales podemos llevar la condición biológica de la semilla.

Otros autores señalan también cambios dependiendo el número de regímenes de irradiación al medir clorofila y carotenoides en plántulas de semillas de pepino (Shaban, 1988), empleando otra técnica de medición de clorofila, ésta fue mediante extracción química. Empleándose la técnica de espectroscopia Fotoacústica se identificaron cambios en el nivel de clorofila a diferentes intensidades y tiempos de irradiación en hojas de plántulas de semillas de maíz irradiadas pre-siembra (Hernández, 2005).

Los carotenoides son importantes porque participan en el proceso de Fotosíntesis. La fotosíntesis, del griego antiguo φῶς (foto) "luz" y σύνθεσις (síntesis) "composición", es la base de la vida actual en la Tierra. Consiste en una serie de procesos mediante los cuales las plantas, algas y algunas bacterias captan y utilizan la energía de la luz para transformar la materia inorgánica de su medio externo en materia orgánica que utilizarán para su crecimiento y desarrollo. En algas eucarióticas y en plantas, la fotosíntesis se lleva a cabo en un orgánulo especializado denominado cloroplasto. Este orgánulo está delimitado por dos membranas (envueltas de los cloroplastos) que lo separan del citoplasma circundante. En su interior se encuentra una fase acuosa con un elevado contenido en proteínas e hidratos de carbono (estroma del cloroplasto) y una serie de membranas denominadas tilacoides. Los tilacoides contienen los pigmentos (sustancias coloreadas) fotosintéticos y proteínas necesarios para captar la energía de la luz. El principal de esos pigmentos es la clorofila, de color verde, de la que existen varios tipos (bacterioclorofilas y clorofilas a, b, c y d). Además de las clorofilas, otros

pigmentos presentes en todos los organismos eucarióticos son los carotenoides (carotenos y xantofilas), de color amarillo o anaranjado y que tienen un papel auxiliar en la captación de la luz, además de un papel protector. En cianobacterias (que no poseen cloroplastos) los carotenoides son sustituidos por otro tipo de pigmentos denominados ficobilinas, de naturaleza química diferente a los anteriores. En las plantas vasculares el mayor número de cloroplastos se encuentra dentro de las células del mesófilo de las hojas, lo cual les confiere su característico color verde.

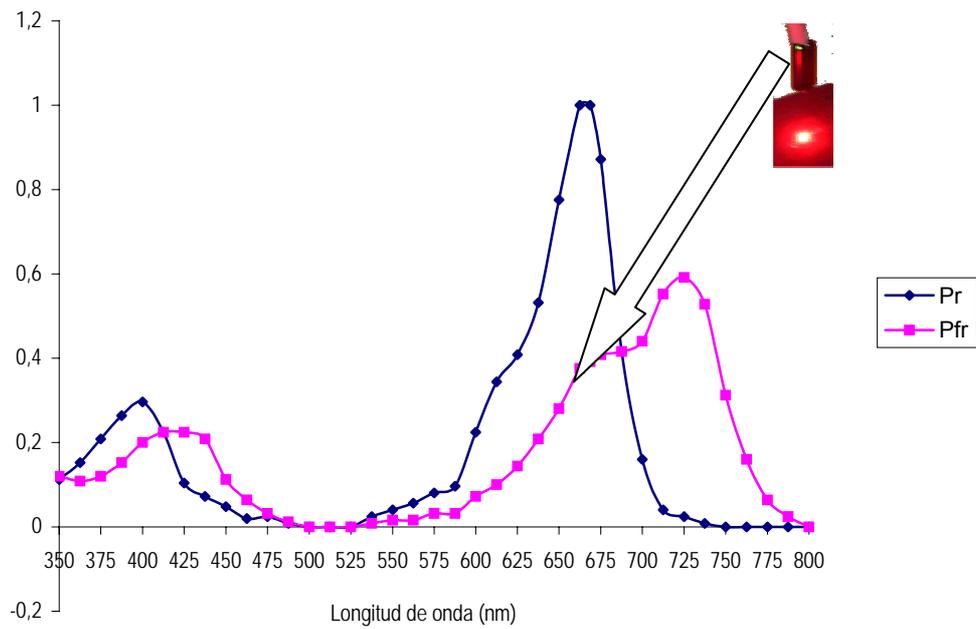


Figura 6.1 Espectro de absorción de los fitocromos (Quail, 2002)

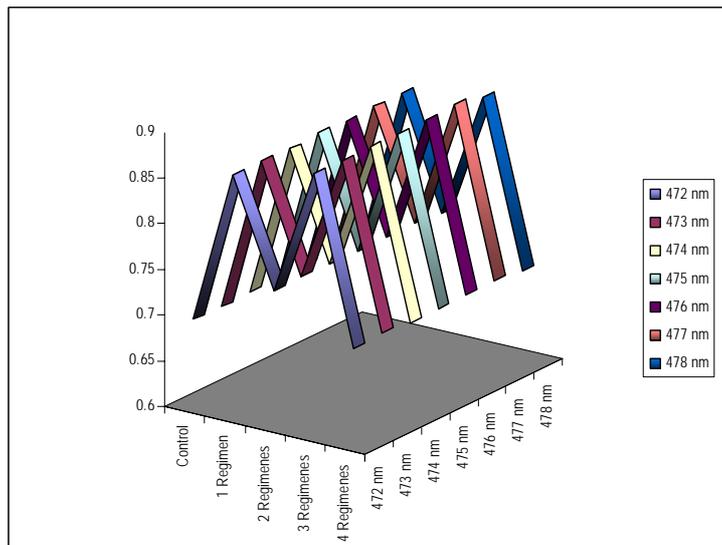


Figura 6.2 Respuesta del contenido de carotenoides en las hojas de plántulas provenientes de semilla irradiada a diferentes regímenes de irradiación.

Es interesante observar la modificación de los niveles de carotenoides al variar los regímenes de irradiación, y el respectivo encendido y apagado, esto es la activación y desactivación del estado biológico de la semilla

Al contenido de pigmentos en las hojas, algunos autores lo asocian con la intensidad de la fotosíntesis, por ejemplo para Shaban *et al.*, (1988) la intensidad de la fotosíntesis aumentó después de la iluminación con láser, y el contenido de pigmentos verdes disminuyó al emplear varios regímenes de irradiación. En los resultados de esta investigación se tiene que dependiendo de la combinación de los regímenes de irradiación del diodo láser el contenido de carotenoides se modificó

La carencia de clorofila no permite que la planta utilice la luz solar como fuente de energía en el proceso de la fotosíntesis y la planta pierde la habilidad de ejecutar funciones esenciales como la absorción de nutrientes. La acumulación y el aprovechamiento de la energía en las células se aseguran en los cloroplastos y las mitocondrias de la célula; esta energía se obtiene de procesos de fosforización oxidante, que produce aumento del almacenamiento de la energía en la célula.

Por otra parte la necesidad creciente de reducir costos, de mejorar la eficiencia en el uso de los fertilizantes nitrogenados, de macronutrientes y micronutrientes, y evitar la contaminación ambiental con nitratos, hace necesario el uso de nuevas metodologías en la agricultura, que mejoren las condiciones de las plantas y no dañen el ambiente.

6.2 EXPERIMENTO 2

El sinergismo entre los fotorreceptores y las características de la luz láser en el rango de la luz roja estimula cambios en el crecimiento de las plantas. El uso de colorante como un fotosensibilizador puede incrementar el efecto de la irradiación láser en semillas. En el presente estudio el coeficiente de absorción óptico (β) de las semillas de trigo humedecidas en colorante azul

metileno y sin colorear es determinado mediante la técnica de espectroscopia fotoacústica. La determinación de β es basada en el modelo de Rosencwaig y Gersho, que permite deducir el coeficiente de absorción óptico directamente a partir de la amplitud de la señal fotoacústica medida. Comparando los valores de β obtenidos de la semilla tratada y no tratada se encontraron diferencias estadísticas significativas al nivel de 1% de probabilidad. El valor β de la semilla tratada con colorante fue mayor que la semilla sin colorear.

Posteriormente, fue establecida la prueba de germinación de acuerdo a las reglas de la Asociación Internacional de Pruebas de Semillas (ISTA) con ambas semillas, previamente irradiadas con luz láser emitida por un diodo láser de 650 nm a diferentes tiempos de irradiación. Las semillas coloreadas manifestaron un incremento de los efectos de irradiación con respecto de las semillas no coloreadas

En la agricultura un grupo de reportes señalan su aplicación en semillas, plántulas, plantas y agua de riego (Vasilevski, 2001).

La aplicación de la irradiación láser en algunas semillas antes de la siembra se han llevado a cabo manejando diferentes tipos de láseres, las fuentes de luz empleadas han tenido diferentes parámetros de irradiación: longitud de onda, potencia de salida, tipo de onda, tiempos y dosis de irradiación.

Los primeros estudios están reportados con Wilde *et al.*, (1969), ellos expusieron 4 diferentes tipos de semilla a la radiación láser antes de sembrar, empleando dos *láseres de rubí*. Las semillas fueron sembradas inmediatamente después del tratamiento y los resultados mostraron una tendencia al incremento de la velocidad de germinación.

Paleg y Aspinall (1970) reportan el empleo de los láseres de He-Ne para activar los procesos controlados por el fitocromo incluyendo la germinación de semillas.

En 1979 empleando un láser de He-Ne en Canadá reportan la activación del fitocromo que controla la germinación de la semilla de *Pinus Banksiana*, por lo que recomiendan emplearla ya que podría ser una herramienta útil para tener eventos metabólicos asociados a la germinación tempranamente (Campbell y Donald, 1979).

En la India otro grupo de investigadores proponen el empleo del láser de Nitrógeno (337.1 nm) ya que encontraron que a 30 minutos se incrementaron los brotes de la planta, la longitud de las raíces, y el peso fresco y seco de las plántulas (Govil *et al.*, 1985). Posteriormente, ese mismo grupo de investigadores experimentan combinando dos láseres distintos: el láser de Nitrógeno y el láser de Argón (514.5nm), de esta combinación reportan también un incremento de brotes de la planta, longitud de raíces y peso fresco y seco de las plántulas, empleando 30 minutos de irradiación con el láser de Nitrógeno y 5 minutos con el láser de Argón (Govil *et al.*, 1991).

La influencia de la bioestimulación láser a la semilla antes de la siembra ha probado efectos positivos usando como bioestimulador un láser de He-Ne (Koper, 1994); muestra efectos positivos, como un incremento en la productividad y el contenido de azúcar con respecto al control (Koper *et al.*, 1996).

En Macedonia, Vasilevski y Bosev, (1997) concluyen que dentro del campo de producción de vegetales existen reacciones positivas al tratar semillas y plantas con luz láser; la productividad se incrementó en un 20-24 % en tomates, 13% en pimienta, 15% en pepino, 15.5 % en cebolla y 27% en haba. El período de vegetación del tomate fue reducido en 8 días, no especifican cuáles resultados corresponden a qué niveles de irradiación en plantas y cuáles corresponden a radiación de semilla antes de la siembra o en la planta. Lo que sí indican es que la estimulación en plantas causa efectos visuales positivos y además cambios en la calidad de los productos como en contenido de vitaminas, clorofila y peso seco.

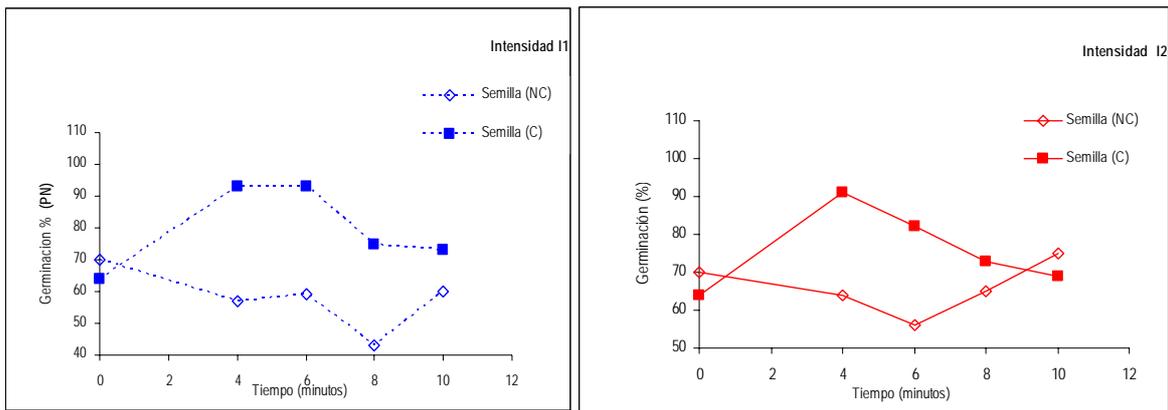
Diferentes tipos de láseres se han manejado, en diferentes longitudes de onda, y niveles de intensidad, eso por parte de la fuente de irradiación, también resalta la condición de la semilla, es importante señalar que para realizar un experimento de esta naturaleza debemos de considerar, tal y como lo

recomienda Pietruszeuski (Pietruzeuski *et al.*,2007) debemos de considerar la condición bioquímica, fisiológica y mecánica de la semilla, además de otros factores ya no relacionados a la condición compleja del sistema biológico en estudio.

Algunos otros autores reportan, por ejemplo en Egipto la influencia de la irradiación láser empleando el láser de He-Ne para radiar semilla de soya, y analizando la micoflora, el crecimiento, la nodulación y la resistencia al hongo *Fusarium Solani*, los resultados que indican son: estimulación de la germinación a 1 minuto de irradiación, en semillas irradiadas a 1 o 3 minutos la formación de clorofila **a** fue menos afectada que la formación de clorofila **b**; en semillas irradiadas a 10 minutos ambas clorofilas fueron disminuidas, sobre todo cuando la semilla de soya fue **teñida**; el número de nódulos y peso seco fue mayor para las semillas irradiadas entre 1 y tres minutos en relación con las de control. En este reporte recomiendan el tratamiento de la semilla con luz láser en combinación con el empleo de **fotosensitizadores** para tratar la semilla como tratamientos fungicidas (Ouf y Abdel, 1999). En este reporte y otros señalan como es que se incrementan los efectos de la luz láser al colorear la semilla, esto nos motivo a investigar una de las propiedades de la semilla manejada, en este caso fue la semilla de trigo, importante cereal consumido en nuestro País.

La semilla de trigo al teñirse con azul metileno, cambió su propiedad óptica, conocida como coeficiente de absorción óptico, presentándose con mayor capacidad de absorber la luz en capas externas del sistema biológico, reduciéndose la profundidad de penetración de la luz láser. Foto-activándose así los procesos metabólicos de la semilla, al hacer incidir la luz láser, quedando demostrado con el establecimiento de la prueba de germinación desarrollada de acuerdo a las reglas de la ISTA, esta prueba es desarrollada bajo condiciones controladas de temperatura.

Observamos en las gráficas resultantes como para los dos niveles de



intensidad I_1 e I_2 , en la curva que representan la semilla teñida incremento el porcentaje de germinación, siendo para ambos niveles de intensidad, para el tiempo de 4 minutos el que mayor porcentaje tuvo con respecto al control, Pudiéndose comprobar como el efecto de la irradiación láser depende la característica: coeficiente de absorción óptico de la semilla, que es la propiedad que se ve modificada al colorearla con azul metileno.

Si bien es cierto que la luz láser puede ayudar al mejor establecimiento de los cultivos, también es cierto que éstos se pueden perjudicar. Por tal motivo, es necesario aplicar las dosis adecuadas de irradiación para encontrar efectos que sean benéficos en semillas de especies diversas, y en las condiciones mas favorables de estas, en este caso señalamos el uso de colorante para incrementar los efectos de la irradiación láser.

6.3 EXPERIMENTO 3

El contenido de clorofila está correlacionado con la producción de nitrógeno y otros micro y macro elementos importantes para el metabolismo de las plantas. El objetivo de planteado en este capítulo fue determinar el efecto que puede producir en la clorofila (a), el riego de plántulas de maíz con agua tratada magnéticamente a diferentes tiempos de exposición: 1, 2, 4 y 8 horas. Fue establecido un Diseño experimental de bloques completos al azar con 3 repeticiones de tres plántulas cada una. Después de 17 días fueron tomadas las mediciones empleando la técnica de espectroscopía fotoacústica. Las amplitudes de las señales fotoacústicas fueron introducidas en el programa SAS, considerando los 4 tratamientos más el control (plántulas sin agua magnetizada), en sus tres repeticiones. El ANOVA, reveló diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en los tratamientos en la longitud de onda de 680 nm correspondiente a la clorofila (a).

No solo la luz láser es empleada en la actualidad, también el magnetismo y el electromagnetismo como tratamientos o métodos biofísicos para semillas, plántulas, plantas y al agua de riego. En los últimos años se le da mayor importancia ya que el siglo pasado la incorporación de sustancias químicas provocó un deterioro ambiental a nivel mundial y ahora los métodos que se incorporen en el sector agrícola no deben dañar el ambiente y en consecuencia la salud de las personas (Vasilevski, 2004). Por las razones anteriores algunos científicos creen que este siglo será de aplicación de métodos biofísicos en la agricultura en donde hay todo un camino por explorar.

En el caso de los campos magnéticos y electromagnéticos empleandolos como bioestimuladores tenemos la siguiente breve revision de reportes. De la Cruz y Fung (1996), indujeron un efecto estimulador para las longitudes de la raíz y del tallo de la especie *Coffea arabica* L.; tratada con un campo magnético con una inducción de 40 Gauss y un tiempo de exposición de 5, 10 y 15 minutos, durante un periodo de 8 semanas. Francis (1996) planteó que el campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja (0-60Hz) induce corriente que puede producir efectos electroquímicos en la superficie celular, que ejercen su influencia en los mecanismos de transporte a través de las membranas

celulares, y particularmente a la concentración intracelular de los iones calcio. Cabe señalar que estos iones juegan un papel importante en la regulación del metabolismo y en el crecimiento de las células.

Botta, y colegas (1999), concluyeron que un campo electromagnético de frecuencia de 60 HZ produjo una mayor formación de propágulos; en la especie *Dioscorea alata*. L. var. Cartagena y var. Blanco Pelú. Este resultado demostró el efecto positivo del campo electromagnético en el coeficiente de multiplicación, factor determinante en la micropropagación de este género por vía organogénica

Ferrer y colegas (2001) determinaron que el efecto de un campo electromagnético de 60 Hz influye positivamente en la multiplicación de *Coffea arábica* L var. Caturra Rojo, por el aumento en la composición del gran número de células heterogéneas, que conforman un callo, las cuales presentan además gran actividad meristemática, que altera la permeabilidad de las membranas celulares, lo que facilita los mecanismos de transporte de nutrientes y de esta forma contribuye a una mayor formación y desarrollo de esos callos. La mayor longitud del tallo y el mayor número de pares de hojas se obtuvo para 60 Hz y 24 horas. El número de brotes fue mayor con 60 Hz y 10 horas y con 8 Hz en 10 horas se obtuvo un mayor número de propágulos.

Se puede concluir que en la multiplicación *in vitro* el efecto ha estado en una estimulación en el crecimiento celular de los propágulos y en un aumento de los mismos en las vitroplantas tratadas magnéticamente. Los propágulos son las unidades de multiplicación de las plántulas y determinan su coeficiente de multiplicación, por lo cual se obtiene una mayor cantidad de plantas a micropropagar.

Isaac y colegas (2001), estimularon el crecimiento de los embriones cigóticos de *Pinus cubensis*, reduciendo considerablemente el período de germinación.

García y colegas (1998) demostraron que las semillas de rabanito, pimiento, pepino, habichuela, cebollino y remolacha; tratadas magnéticamente germinaron mucho más rápido y aumentaron su rendimiento agrícola.

En investigaciones realizadas en lechuga (Black Seeded Simpson) en condiciones de campo, los tratamientos magnético presembrado estimularon el rendimiento por área en las plantas provenientes de semillas tratadas magnéticamente comparados con las plantas del control (García y col., 2005).

Socorro y colegas (2004), realizaron tratamientos magnéticos en semillas de girasol, maíz y trigo, y evaluaron la longitud total de la planta, el porcentaje de germinación en semillas y la masa fresca de los granos en las tres campañas y obtuvieron un aumento en estas las variables analizadas.

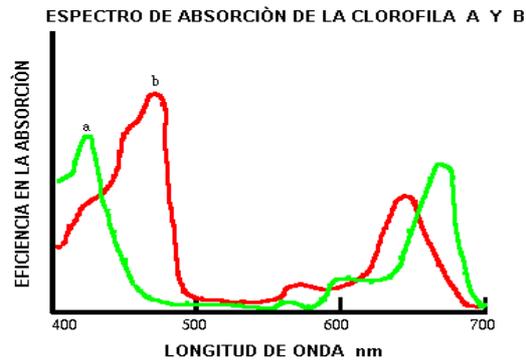
De Souza y colegas (2005) demostraron que las semillas de tomate (Lignon) tratadas magnéticamente antes de la siembra incrementaron significativamente el crecimiento de las hojas, tallos y raíces de las plantas con respecto a las plantas del control. Se logró un incremento significativo en el área foliar, masa seca foliar y área foliar específica, también en la etapa de madurez de los frutos, el agente físico incrementó significativamente la masa promedio de los frutos, el rendimiento por planta, rendimiento por área y el diámetro ecuatorial de los frutos comparados con las plantas no tratadas.

Como aportación presentamos el comportamiento de la clorofila, al regarse la siembra con agua tratada magnéticamente usando imanes permanentes.

El estudio de la clorofila y de encontrar tratamientos que mejoren su nivel es importante ya que de este pigmento dependen los procesos de fotosíntesis .

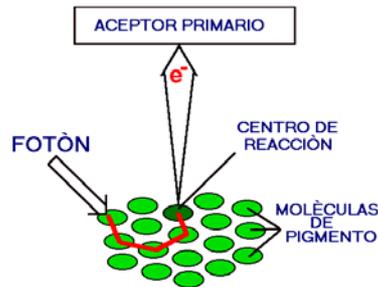
Recordamos que la Fotosíntesis

CLOROFILA Y PIGMENTO ACCESORIOS



Un pigmento es cualquier sustancia que absorbe luz. El color de un pigmento es el resultado de la longitud de onda reflejada (no absorbida). La clorofila, el pigmento verde de todas las células fotosintéticas, absorbe todas las longitudes de onda de la luz visible excepto el verde, el cual es reflejado y percibido por nuestros ojos. Un cuerpo negro absorbe todas las longitudes de onda que recibe. El pigmento blanco o colores claros reflejan todo o casi todas las longitudes de onda. Las sustancias coloreadas tienen su espectro de absorción característico, que es el patrón de absorción de un pigmento dado. La clorofila es una molécula compleja, formada por cuatro anillos pirrólicos, un átomo de magnesio y una cadena de fitol larga ($C_{20}H_{39}OH$).

En las plantas y otros organismos fotosintéticos existen diferentes tipos de clorofilas. La clorofila a se encuentra en todos los organismos fotosintéticos (plantas, ciertos protistas, proclorobacterias y cianobacterias). Los pigmentos accesorios absorben energía que la clorofila es incapaz de absorber. Los pigmentos accesorios incluyen clorofila b (en algas y protistas las clorofilas c, d y e), xantofila (amarilla) y caroteno, anaranjado (como el beta caroteno, un precursor de la vitamina A). La clorofila a absorbe las longitudes de ondas violeta, azul, anaranjado-rojizo, rojo y pocas radiaciones de las longitudes de onda intermedias (verde-amarillo-anaranjado). Los pigmentos accesorios actúan como antena, conduciendo la energía que absorben hacia el centro de reacción. Una molécula de clorofila en el centro de reacción puede transferir su excitación como energía útil en reacciones de biosíntesis.



La unidad estructural de la fotosíntesis es el cloroplasto. Los organismos fotosintéticos procariotes y eucariotes poseen sacos aplanados o vesículas llamadas tilacoides, que contienen los pigmentos fotosintéticos; pero solamente los cloroplastos de los eucariotes están rodeados por una doble membrana. Los tilacoides se disponen como una pila de panquecas, que recibe el nombre de grana. El interior del cloroplasto entre las granas es el estroma proteico, donde se encuentran las enzimas que catalizan la fijación del CO_2 . Las mitocondrias constituyen un sistema con dos membranas como los cloroplastos, pero los cloroplastos tienen tres compartimentos: el estroma, el espacio tilacoidal y el espacio entre las membranas. El cloroplasto en su interior tiene un ADN circular y ribosomas.

La fotosíntesis es un proceso que ocurre en dos fases. La primera fase es un proceso que depende de la luz (reacciones luminosas), requiere la energía directa de la luz que genera los transportadores que son utilizados en la segunda fase. La fase independiente de la luz (reacciones de oscuridad), se realiza cuando los productos de las reacciones de luz son utilizados para formar enlaces covalentes carbono-carbono (C-C), de los carbohidratos. Las reacciones oscuras pueden realizarse en la oscuridad, con la condición de que la fuente de energía (ATP) y el poder reductor (NADPH) formados en la luz se encuentren presentes. Investigaciones recientes sugieren que varias enzimas del ciclo de Calvin, son activadas por la luz mediante la formación de grupos -SH; de tal forma que el término reacción de oscuridad no es del todo correcto. Las reacciones de oscuridad se efectúan en el estroma; mientras que las de luz ocurren en los tilacoides.

En la fotosíntesis cooperan dos grupos separados de pigmentos o fotosistemas, que se encuentran localizados en los tilacoides. Muchos

organismos procariotes solamente tienen el fotosistema I (es el más primitivo desde el punto de vista evolutivo).

Los organismos eucariotes poseen los fotosistemas I y II. El fotosistema I está asociado a las formas de clorofila a, que absorbe a longitudes de onda de 700 nm (P_{700}), mientras que el fotosistema II tiene un centro de reacción que absorbe a una longitud de onda de 680 nm (P_{680}). Cada uno de estos fotosistemas se encuentra asociado a polipeptidos en la membrana tilacoidal y absorben energía luminosa independientemente. En el fotosistema II, se produce la fotólisis del agua y la liberación de oxígeno; sin embargo ambos fotosistemas operan en serie, transportando electrones, a través de una cadena transportadora de electrones. En el fotosistema I se transfieren dos electrones a la molécula de $NADP^+$ y se forma NADPH, en el lado de la membrana tilacoidal que mira hacia el estroma.

En este estudio se exploró el comportamiento cualitativo del nivel de clorofila a, observándose como dependiendo del tratamiento del agua en los imanes permanentes aparece un efecto en el nivel de la señal fotoacústica detectada mediante la respectiva instrumentación fotoacústica manejada en este trabajo de tesis.

Otros reportes señalan el incremento de la productividad, ya llevándola a nivel de ciclo completo de cosecha, utilizando diferente instrumentación para llevar a cabo el tratamiento de agua con magnetismo, ya sea a través de imanes más potentes o electroimanes.

Asimismo, resulta de interés señalar la importancia de la elección de la variedad de semilla y que tenga baja variabilidad ya en el desempeño de campo para ser estudiada como, ya que recalamos es un sistema biológico complejo, si empleamos la semilla descrita en el apartado correspondiente es debido a que presento baja variabilidad en investigaciones preliminares. De ser comprobado a nivel de campo a una mayor cantidad de muestra y midiendo productividad, tendría impacto desde el punto de vista tecnológico y social; aunque habría que dar seguimiento al comportamiento posterior hasta medir efectos en el rendimiento.

El efecto del tratamiento magnético en el agua es explicado a través de varios modelos, se explican los fenómenos mediante modelos celulares donde se simula el comportamiento de las corrientes iónicas ante la presencia de un campo magnético externo (Socorro et al, 1999, García y Arza, 2001)..

6.4. ACTITUD TRANSDISCIPLINARIA

Es importante resaltar la actitud del investigador requerido en la época actual, ya que se requiere consciencia y apertura para afrontar los graves problemas que aquejan a la humanidad y abordarlos desde las diferentes perspectivas, desde las diferentes áreas del conocimiento, integrándolas y relacionando las disciplinas que intervienen en la mayoría de los problemas que vive la sociedad.

6.5 CONCLUSIONES

De acuerdo a las condiciones experimentales en las cuales se desarrolló la investigación y por los resultados obtenidos se concluye.

6.5.1. Los resultados experimentales muestran que hay una bioestimulación por la interacción de la luz láser en los fotorreceptores de las semillas del maíz empleadas en esta investigación. Se encontraron diferencias significativas en la amplitud de la señal PA, para las hojas de las plántulas provenientes de semillas tratadas. En las longitudes de onda de 472-478 nm el comportamiento fue similar, aumentando el efecto de la irradiación o decrementándose respectivamente a la cantidad de regímenes de irradiación. El incremento a

esas longitudes de onda varía del 26.74% al 27.46% con respecto a la señal fotoacústica obtenida de las muestras de control.

6.5.2. Los efectos de la irradiación láser en la semilla de trigo dependen del coeficiente de absorción óptico. A mayor β se incrementan los efectos de irradiación producidos por un diodo láser de 650 nm y $P = 27.4$ mW.

6.5.6. Los resultados experimentales muestran que el agua tratada magnéticamente a diferentes tiempos de exposición produce cambios en el nivel de clorofila de las hojas de las plántulas y pueden ser detectados los cambios a través de la técnica de Espectroscopia Fotoacústica.

6.5.7 Para abordar estos experimentos y trabajar en equipo es indispensable asumir una actitud transdisciplinaria por parte de los investigadores.

6.6 ORIENTACIÓN PARA FUTURAS INVESTIGACIONES

Como se ha señalado hay un amplio camino por explorar, de acuerdo a nuestro criterio las investigaciones futuras deberán de desarrollarse desde varias perspectivas:

Debemos de considerar que las futuras investigaciones podrían llevarse a cabo considerando un germoplasma más amplio en su diversidad y condiciones, Físicas (ópticas), Bioquímicas, Fisiológicas y Mecánicas.

Realizar investigación atendiendo a la calidad de la semilla para buscar sustituir tratamientos químicos

Estudiar además parámetros de crecimiento y el rendimiento de la calidad de las plantas y los productos originados

Realizar estudios fitosanitarios empleando tratamientos biofísicos

Emplear las fuentes de irradiación como semiconductores o diodos láseres, imanes permanentes, electroimanes, y explorar los parámetros óptimos para producir efectos de bioestimulación, debido a que es indispensable la determinación de la intensidad y el tiempo de irradiación adecuados para favorecer algunos procesos metabólicos y bioquímicos, ya que van a variar de acuerdo a las características de tamaño, color y peso de las semillas, así como por la condición genotípica de la misma.

Profundizar en la optimización de los parámetros de irradiación de cada fuente empleada

Atender a las diversas características del agua y de suelo empleados en las investigaciones sobre todo cuando se emplea tratamiento de agua tratada magnéticamente

Evaluar el valor ambiental del uso de métodos ecológicos

Desarrollar y establecer protocolos de tratamiento atendiendo al genotipo de las plantas

Elaborar manuales de tratamientos para cada variedad de semilla, la dosis aplicada

Investigar los mecanismos que explican la relación entre objeto biológico y campos magnéticos o radiación láser

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Artola, A., Carrillo-Castañeda, G. and Garcia de los Santos, G. (2003)** Hydropriming: A strategy to increase *Lotus corniculatus* L. seed vigor. *Seed Science & Technology* 31, 455-463.
- Agrios, G. N. (1985).** Fitopatología. Ed. Limusa, México 756 p.
- Association of Official Seed Analysts (AOSA) (1983)** Seed vigour testing handbook. *AOSA Handbook* 32.
- Bachs, L. , Cuesta J., Carles N. (1988)** Aplicaciones Industriales del Láser. Ed. Marcombo, 9-21.
- Basra A S (1995)** Seed Quality: Basic Mechanisms and agricultural implications. Food Products Press New York, U.S.A. 389 p.
- Benavides Mendoza, Garnica Serna, Michtchenko, Hernández Aguilar C., Ramírez Rodríguez, Hernández Dávila (2003)** Stress Response and Growth in seedling Developed from seeds irradiated with low intensity Laser . *Agrofaz* 3(1), 269-272.
- Black M. and Bewley D. (1999)** Seed Technology and its Biological Basis.
- Boddi B., Frank F. (1997)** Room temperature fluorescence spectra of protochlorophyllide and chlorophyllide forms in etiolated bean leaves. *J. Photochem. Photobiol. B: Biology* 41,73-82
- Bruce G. Danly, R. J. Temkin and George Bekefi (1987)** Free-electron Lasers and their application to Biomedicine *QE-23*, 10, 1739-1750.
- Blum A. (1988)** Plant Breeding for stress environments. CRC Press, inc. Boca Raton, Florida , p. 223
- Campbell R. and Donald J. Durzan (1979)** “ Laser activation of phytochrome controlled germination in *Pinus Banksiana*” *Can. J. For. Res.* 9: 522-524.
- Carbonell, V. Socorro; A. Martínez, E. ; Pérez, S. y Amaya, J.M. (2002).** Tratamiento magnético de semillas de trigo (*Triticum aestivum* L.) como técnica de estimulación del crecimiento. *Alimentaria de España*. Octubre. No 337 Pp 167-170.
- Casal J. , Sánchez A. y Javier F. Botto (1998)** “Modes of action of phytochromes”, *Journal of experimental botany* 49, 319: 127-138.
- Castaño-Zapata, J. y ZEPEDA, J. (1987).** Microorganismos asociados con granos almacenados de arroz, maíz, frijón, soya y chile, y efectividad del tratamiento químico de la semilla. *CEIBA* 28:59-65.

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) (2000) Ensayos para la semilla de maíz y trigo. Manual de laboratorio. 6-72 p

Dakowska, M. Jedryczka, W. Rybinski (2001) Effect of He- Ne laser on survival of fungi in seeds of oilseed rape” International Conference “Influence of electromagnetic field on agricultural environment” Lublin, Poland, 128-130.

De León, C. (1984). Enfermedades del maíz. Una guía para su identificación en el campo. Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y Trigo (CIMMYT), 3ra . Ed. 114 p.

Dziamba S. y Michal Dziamba (2001) Influence of pre-sowing light radiation of seeds on yielding and elements of yield structure in spring barley. International Conference “Influence of electromagnetic field on agricultural environment” Lublin, Poland, 19-24.

Dornbos L. D. (1995) Seed Vigour, In: Seed Quality: Basic Mechanisms and agricultural implications. A S Basra (ed) Food Products Press. New York, U.S. A. 389 p.

Drozd D. , Hanna Alina Szajsner and Hanna Turzyniecka (2001) Application of laser radiation to increase of wheat sowing value . International International Conference “Influence of electromagnetic field on agricultural environment” Lublin, Poland, 13-17.

Drozd D., H. Szajsner (1999) Influence of pre-sowing laser radiation on spring wheat characters *International Agrophysisc*, **13**:79-85.

Fankhauser, Christian (2001) The phytochromes, a family of red/far-red absorbing photoreceptors *Journal of Biological Chemistry* **276**, 15, 11453-11456.

Fenyo M. (1984) Theoretical and experimental basis of biostimulation by laser irradiation. *Optics Laser Electronics*, 209-214.

Galindo, L. (2007) Una metodología básica para el desarrollo de sistemas. Memorias del Tercer Congreso Internacional de Metodología de la Ciencia y la Investigación para la Educación, Asociación Mexicana de Metodología de la Ciencia y la Investigación A. C. Instituto Campechano, Campeche, Cam. México, marzo, 2007.

Giavelli, S., G. Fava, G. Castronuovo, L. Spinoglio, A. Galanti (1998). LLLT in osteoarticular diseases in geriatric patients. *Radiol. Med.* **95**:303-309.

Gladyszewska B. , R. Koper (2001a) “Determination of a laser radiation energy dose in the seed biostimulation process” I International Conference *Influence of electromagnetic field on agricultural environment* , Lublin, Poland, 130.

Gladyszewska B., R. Koper (2001b) “Influence of the pre-sowing laser biostimulation of tomatos seeds on the germination process” I International

Conference *Influence of electromagnetic field on agricultural environment* , Lublin, Poland, 131-132.

Gladyszewska, B., R. Koper, K. Kornarzynski. (1998a). Application and results of pre-sowing laser biostimulation of tomato seeds. *Inzynieria Rolnicza* 2:37-44.

Gladyszewska, B., B. Kornas-Czuczwar, R. Koper, S. Lipski. (1998b) Theoretical and practical aspects of pre-sowing laser biostimulation of te seeds. *Inzynieria Rolnicza* 2:21-29.

Govil, S. R., Agrawal D. C., Kai K. P. and Thakur, S. N. (1991) Physiological responses of *Vigna radiata* L. to nitrogen and argon laser irradiation. *Indian Journal of Plant Physiology XXXIV*, 72-76

Govil, S. R., Agrawal D. C., Kai K. P. and Thakur, S. N. (1985) Growth responses of *Vigna radiata* seeds to laser irradiation in the UV-A region. *Physiologia Plantarum* 63, 133-134.

Hampton, J. G. (2002) What is seed quality ? *Seed Science & Technology* 30, 1-10.

Harazaki, M. and Y. Isshiki (1997). Soft laser irradiation effects on pain reduction in orthodontic treatment. *Bull. Tokyo Dent. Coll.* 38:291-295.

Hernández Aguilar, A. Carballo C. , A. Artola and A. Michtchenko (2004) Laser irradiation effects on Maize seed vigour. ISTA Seed Symposium, Budapest, Hungary. "Towards the future in seed production, evolution and improvement" p.76.

Hernández, Aguilar C., Carballo, Carballo A., Artola, A. , Michtchenko, A. (2005) Laser irradiation effects on maize seed vigour. *Seed Science & Technology* Unpublished.

Hernández, A. C., Michtchenko, A. and Dominguez, J. (2001) Biostimulation effects of low-intensity laser light on cucumbers seeds. 6^{to} Sexto Congreso Nacional de Ingeniería Electromecánica y de Sistemas, ESIME, IPN, D.F (México).

Hendricks S. (1980) Phytochrome and plant growth. *Carolina Biological Supply company.* Folleto, 3-6.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) (2003) Estadísticas del Comercio Exterior de México 82 p.

International Seed Testing Association)(1993) International rules for seed testing . *Seed Science Technology* 21, Suplement. 288.

International Seed Testing Association (1985), international Rules for seed Testing 1985. *Seed Science and Technology* 13 (2): 299-520

Ivanova, R. and S. Stoyanova. (2000). Effect of presowing irradiation of seed from winter rapeseed by helium-neon laser on the growth, yield and quality of the green mass. *Biotehnologija-u-stocarstvu* 16:75-83.

Karu, T. Ludmila V. Pyatibrat and Galina S. Kalendo (2004) Photobiological modulation of cell attachment *via* cytochrome c oxidase. *Photochemistry Photobiology Science* **3**, 211-216.

Karu, T. (2003) "Low-Power laser effects". In: Biomedical Photonics Handbook. Ch. 48, Editor-in-chief Tuan Vo-Dinh, Boca Raton: CRC Press. 48.1-48.25.

Karu T., L.V. Pyatibrat and G.S. Kalendo (2001a) Studies into the action specifics of a pulsed GaAlAs laser on a cell culture. *Lasers in the Life Sciences* **9**, 203-210.

Karu T., L.V. Pyatibrat and G.S. Kalendo b (2001 b) Studies into the action specifics of a pulsed GaAlAs laser on a cell culture . Enhancement of the Adhesive Properties of Cellular Membranes: Dependence on the Dark Period between Pulses. *Lasers in the Life Sciences* **9**, 211-217.

Karu T. (1999) Primary and secondary mechanisms of action of visible to near-IR radiation on cells. *Journal Photochemistry Photobiology, B: Biology* **49**, 1-17.

Karu, T. (1996) Activation of metabolism of Nonphotosynthesizing Microorganisms with Monochromatic Visible (Laser) Light: A Critical Review. *Laser in the life Sciences* **7, 1**: 11-33

Karu T. (1994) "Photostimulation," *J. Photochemistry Photobiology, B Biology*, **22**, 85-86.

Karu T. (1991) Laser applications in medicine and biology volume 5, edited by Miron L. Wolbarsht, Plenum Press, New York.

Karu T. (1990) "Photostimulation" . *J. Photochemistry Photobiology, B Biol*, **8**, 119-124.

Karu T. (1987) Photobiological Fundamentals of low – power Laser therapy *IEEE Journal of Quantum Electronics*, Vol. QE-23, No. 10, 1703-1717.

Karu T. (1989) Photobiology of Low – Power Laser Therapy *Laser Technology Center USSR Academy of Sciences Troitz, USSR*.

Karu, T. (1989) "Laser biostimulation: a photobiological phenomenon. *Journal Photochemistry and Photobiology*, **3**, 638-640

Karu T.(1989) "Photobiology of low-power laser effects. *Health Physics*, **56**,5, 691-704.

Karu, T. (1989b) "Photobiology of Low –Power laser Therapy". In Laser Science Technology an International Handbook 5-9.

Karu T. (1988) "Photobiological basis of laser biostimulation". Proc of 10th Intern Conf. "IEEE Engineering in Medicine" 4-7.11.88, New Orleans, p.34-35.

Klimont K. (2001a) "Studies of laser biostimulation on sowing value of seeds and crops structure of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) and cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants." I International Conference *Influence of electromagnetic field on agricultural environment* , Lublin, Poland, 132-133.

Klimont K. (2001b) "Influence of laser light on crops and quality of amaranth (*Amaranthus cruentus* L.) seeds" I International Conference *Influence of electromagnetic field on agricultural environment* , Lublin, Poland, 134.

Klimont K. (2001c) "Influence of laser light on crops and sowing quality of barley (*Hordeum vulgare* L.) seeds" I International Conference *Influence of electromagnetic field on agricultural environment* , Lublin, Poland, 135-136.

Konstanty Skwarko (2003) "The Influence of Laser Radiation on Plant Growth" International Conference "Influence of electromagnetic field on agricultural environment" Lublin, Poland.

Koper, Roman (2001) Selected methods of pre-sowing laser biostimulation of vegetable seeds. International Conference "Influence of electromagnetic field on agricultural environment" Lublin, Poland, 31-36.

Koper R., B. Kornas-Czuczwar, M. Mikos-Bielak, L. Podlesney, J. Truchlinski (2001a) "Influence of laser light on crops and sowing quality of barley (*Hordeum vulgare* L.) seeds" I International Conference *Influence of electromagnetic field on agricultural environment* , Lublin, Poland, 136-138.

Koper R. , J. Truchlinski, A. Wieclaw, M. Gagos (2001b) "Presowing laser biostimulation with natural beam of tomato seeds" I International Conference *Influence of electromagnetic field on agricultural environment* , Lublin, Poland, 138-139.

Koper R., M. Oleszczuk, J. Truchlinski,, W. Zarebski (2001c) "Presowing biostimulation with natural light of sugar beet seeds" I International Conference *Influence of electromagnetic field on agricultural environment* , Lublin, Poland, 140-141.

Koper R., B. Kornas-Czuczwar, J. Podlesney (2001d) "Influence of pre-sowing laser biostimulation of faba bean seeds on mechanical properties of crops" I International Conference *Influence of electromagnetic field on agricultural environment* , Lublin, Poland, 142-143.

Koper, R., B. Kornas-Czuczwar, T. Prochniak, J. Podlesny (1999). Effect of pre-sowing laser biostimulation of white lupine seeds on mechanical properties of crop yield. *Inzynieria Rolnicza* 2:21-28.

Koper R. , S. Woljck, B. Kornas (1996) Effects of the laser exposure of seeds on the yield and chemical composition of sugar beet roots. *International Agrophysics*, 10, 103-108.

Koper R. (1994) Pre-sowing laser biostimulation of seeds of cultivated plants and its results in agrotechnics. *International Agrophysisc*, 8:593-596.

Laszkiewicz, E. (2001) Application of laser radiation to improving sowing quality of durum wheat seeds. International Conference "Influence of electromagnetic field on agricultural environment" Lublin, Poland, 45-50.

Letokhov S. (1985) Laser biology and medicine *Nature* vol. 316, 325-329.

Lipski S. (2001a) Efficiency of laser biostimulation of maize in dependence of seed moisture. International Conference "Influence of electromagnetic field on agricultural environment" Lublin, Poland, 51-56.

Lipski S. (2001b) " Field evaluation of the effect of laser irradiation on maize (*Zea mays L.*)" International Conference "Influence of electromagnetic field on agricultural environment" Lublin, Poland, 57-62.

Llanos Manuel (1984) Su cultivo y aprovechamiento. Ediciones Mundi-prensa. Madrid

McDonald M. (1998) Seed Quality assessment. *Seed Science Research*. 8, 265-275.

Maguire, D. J. (1962) Speed of germination, an aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. *Crop Science* 2, 176-177.

Manteifel V.M., Bakeeva L.E. and Karu Tiina (2000) Long-Term Effects of He-Ne laser radiation: Changes in ultraestructure of chondriome in successive generations of yeast cells *Torulopsis sphaerica* . *Lasers in the Life Sciences* 9, 153-169.

Martinez, E.; Carbonell, M.V.; Socorro, A.; Florez, M y Amaya, J.M. (2001) Magnetic stimulation of sunflower (*Heliantus annuus*, L.). Memorias del III Simposio Internacional de Técnicas Nucleares y Conexas aplicadas a la Industria, Agricultura y Medio Ambiente. Suplemento especial de la revista Núcleus en CD. Oct-2001. ISBN-959-7136-12-0.

Martí López, Altamirano Aguilar (1997) Láseres en Medicina. Instituto Politécnico Nacional, México, 97-128.

Morán R Jorge Anibal (1993) Influencia de *Pratylenchus pratensis* en el desarrollo de la pudrición de la raíz del maíz por *Fusarium moniliforme*. Revista Mexicana de Fitopatología 11(1) 13-18.

- Neergaard, P.** (1977) Seed pathology Vol. I y II John Wiley & Sons, New York.
- Newman I. and Briggs** (1972) Phytochrome –mediated electric potential changes in Oat seedlings *Plant Physiology* **50**: 687-693
- Novoa R. , S.A, Nicolás Villagrán A.** (2002) Evaluation of a chlorophyll meter on the assessment of foliar nitrogen in corn Agricultura Técnica (Chile) 62(1):166 -171.
- Ouf, S. A. and Abdel-Hady, N. F.** (1999) Influence of He-Ne Laser Irradiation of Soybean seeds on seed mycoflora, growth, nodulation, and resistance to *Fusarium solani*. *Folia Microbiologica* 44, 388-396.
- PACHECO, C.** (1989). Importancia de la patología de semillas, para los programas de semillas. *Fitopatología Colombiana* 13(1):20-31.
- Paleg, L. G. And D. Aspinall** (1970). Field control of plant growth and development through the laser activation of phytochrome. *Nature* (London), 228: 970-973.
- Parrish A. John and Thomas F. Deutsh** (1984) Laser Photomedicine. *IEEE Journal of Quantum Electronics*, Vol. QE-20, No. 12, 1386-1396.
- Pérez S.** (2000) Métodos para estudios genéticos en poblaciones de hongos fitopatógenos. *Revista de protección vegetal* 15 (3): 137-148.
- Podlesny J.** (2002) Effect of laser irradiation on the biochemical changes in seeds and the accumulation of dry matter in the *faba bean*. *International Agrophysisc*, **16**:209-213.
- Podleśna, A. and J. Podleśny** (2001). The effect of seeds laser biostimulation on growth of faba bean determinate form in differentiated temperature conditions. Página de internet consultada en febrero del 2003. <http://www.georgikon.pate.hu/jcea/issues/jcea2-12/Pdf/Jcea21-S4.pdf>
- Podlesna Anna and Janusz Podlesny** (2000) The effect of seeds laser biostimulation on growth of faba bean determinate form in differentiated temperature conditions, 4^a Conferencia Internacional de “Ecofisiología del proceso de producción de plantas en condiciones de stress”, 120-121.
- Podlesny J. and Podlesna Anna Janusz Podlesny** (2000) The effect of seeds laser biostimulation on determinate form of faba bean growth in differentiated moisture conditions, 4^a Conferencia Internacional de “Ecofisiología del proceso de producción de plantas en condiciones de estrés”, 121-122.
- Quail, P. H.** (2002) Phytochrome photosensory signalling networks. *Nature Reviews Molecular Cell Biology* 3, 85-93.

Ristici Danila M., Ristici E. (2003) “ He-Ne Laser Beam Irradiation Effect on Germination Response of Corn Plant Seeds”. International International Conference “Influence of electromagnetic field on agricultural environment” Lublin, Poland.

Rosencwaig A. (1975) Photoacoustic Spectroscopy. *Analytical Chemistry*. 47, 592-604.

Rubinov A.N. (2004) Physical mechanisms of biological effect of coherent and noncoherent light.

SAGAR-CEA (Centro de Estadística Agropecuaria) (1997) Anuario Estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. 721 p.

Shaban. N., Kartalov, P. and Kolarov, V. (1988) Influence of laser irradiation of seeds on some physiological behaviour of cucumbers. *Plant Sciences*, (Bulgaria) vol. XXV, No. 5 pp. 64-68.

Shimizu-Sato, S., Huq, E., Tepperman, J. M. and Quail, P. H. (2002) A light – switcchable gene promoter system. *Nature Biotechnology* 20, 1041-1044.

Sierra Macías, Artemio Palafox, Octavio Cono Reyes (2003) El maíz en el sureste del país. *Agricultura Técnica en México- INIFAP*, 29, 81-84

Skvarko, K.O. and O.T. Demkiv. (1994). Changes in the Ca²⁺ content and intracellular pH in cress (*Lepidium sativum*) under the influence of laser radiation. *Fiziologiya-i-Biokhimiya-Kul'turnykh-Rastenii* 26:26-32.

Smith, Harry (2000) Phytochromes and light signal perception by plants – an emerging synthesis. *Nature* 407, 585-590.

Son, T. S. (1990) Laser activated Kenaf. *Tekhnicheskije Kultury* (Russian) 6, 42-43.

Steel, R. D. G. and Torrie, J. M. (1980) Principles and procedures of statistics. 2^o-edition. Mc Graw Hill, New York.

Steele, R. (2002) “Review and Forecast of the laser markets, part II: Diode Laser”. *Laser Focus*, 61-80.

Tekrony, D.M. (2003) Precision is an essential component in seed vigour testing. *Seed Science Technology* (31), 435-447.

UNESCO, 2001 “Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Resolución 31C/20 aprobada, previo informe de la Comisión III, en la 19^a sesión plenaria, el 2 de noviembre de 2001.

UNESCO, 2004- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la cultura, Luis Carrizo, “Transdisciplinariedad y complejidad en el análisis social”

Van de Venter, A. (2000) What is seed vigour? ISTA Vigour Test Committee. ISTA News Bulletin 121, 13-14.

Vasilevski G. (2004) "Application of biophysics methods in crop production". International Center for Advanced Mediterranean Agronomic Studies, Crette-Greece. 1-10.

Vasilevski, G. (2003) Perspectives of the application of biophysical methods in sustainable agriculture. *Bulgarian Journal Plant Physiology., Special Issue*, 179-186.

Vasilevski, G. , Bosev, D., Bozev, Z., Vasilevski, N. (2001) Biophysical Methods as a factor in Decreasing of the Soil Contamination, International Workshop on Assessment of the Quality of Contaminated Soils and sites In Central and Eastern European Countries (CEEC) and New Independent States (NIS), Sofia, Bulgaria.

Vasilevski, G. and Bosev, D. (1999). Results of the effect of the laser light on some vegetables. *Acta Hort. (ISHS)* **462**:473-476.

Vasilevski G. (1997) Results of the effect of the laser light on some vegetables *Acta horticulturae* 462, 2, 473-475.

Vasilevski, G. and Bosev, D. (1997). laser light as a biostimulator into the potato production. *Acta Hort. (ISHS)* **462**:325-328.

Vasilevski, (2003) e-mail.gvasilevski@zf.ukim.edu.mk

Wen-Shi Wu (2001) The frontier of seed health testing-plant quarantine. *Proceeding of International Workshop on seed Health Testing* , 23-24.

Wilde W. H. A., Parr W.H., and McPeak D. W. (1969) Seeds bask in laser light. *Laser Focus*, **5, 23**: 41-42.

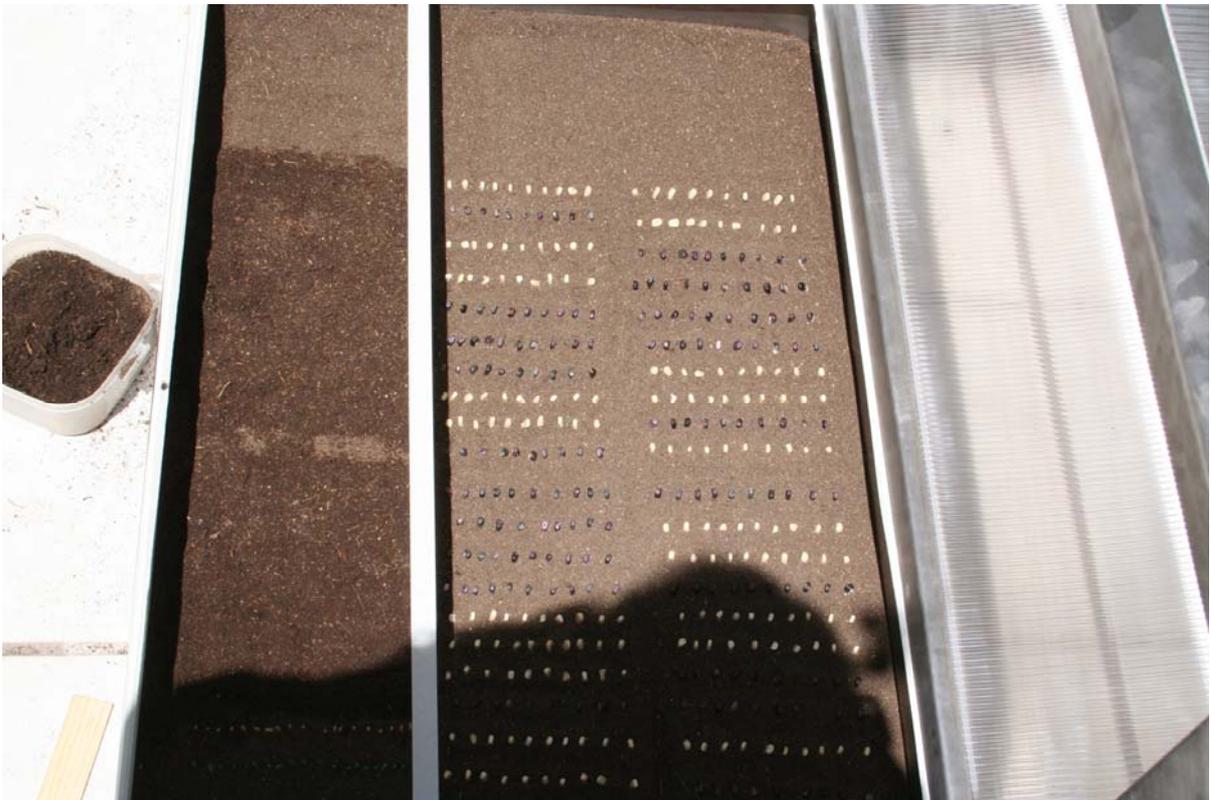
Zepeda, B. R., Carballo, C. A., Alcántar, G. G., Hernández, L. A., Hernández, G.A. (2002) Effect of foliar fertilization on yield and seed quality of corn single crosses. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25, 419-426.

Zhi Qi, Ming Yue, Xun-Ling Wang. (2000) Laser pretreatment protects cells of broad bean from UV-B radiation damage. *Journal of Photochemistry and photobiology B*: **59**, 33-37.

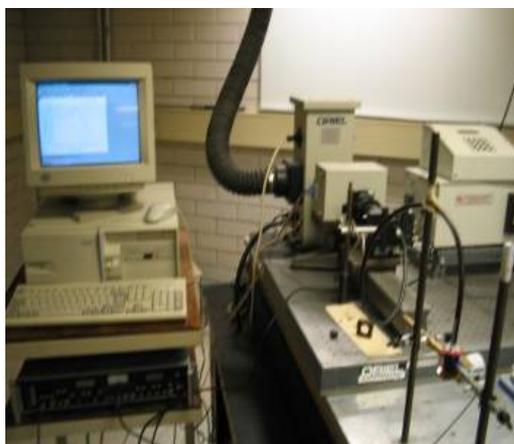
Zukauskas A, Sur M., Remis Gasca (2002) Introduction to solid state lighting . John Wiley & Sons, New York, ISBN 0 – 471 – 21574 – 0.

A.1 ANEXO

ESPECTROSCOPIA FOTOACÚSTICA APLICADA AL ESTUDIO DEL CONTENIDO DE CAROTENOIDES DE HOJAS DE PLÁNTULAS DE SEMILLAS DE MAÍZ IRRADIADAS CON LÁSER.



Arreglo experimental



	λ_{472}	λ_{473}	λ_{474}	λ_{475}	λ_{476}	λ_{477}	λ_{478}
3 Control	0.696	0.695	0.69586	0.69546	0.69627	0.6976	0.69519
1 1 Regimen	0.86388	0.86555	0.86315	0.86606	0.86383	0.8647	0.86395
2 2 Regimenes	0.74822	0.74926	0.74743	0.74721	0.74764	0.74733	0.74395
4 3 Regimenes	0.88694	0.88588	0.88604	0.88577	0.88541	0.88768	0.88111
5 4 Regimenes	0.70591	0.70793	0.70459	0.70447	0.70504	0.70502	0.70098

λ_{472}	26.99%
λ_{473}	27.46%
λ_{474}	27.33%
λ_{475}	27.36%
λ_{476}	27.16%
λ_{477}	27.25%
λ_{478}	26.74%

CAROTENOIDES

4 REPETICIONES

λ	T1 - R1		T1 - R2		T1 - R3		T1 - R4	
400	4.26E-02	1.00E+00	3.82E-02	1.00E+00	5.09E-02	1.00E+00	3.23E-02	1.00E+00
401	4.23E-02	9.93E-01	3.79E-02	9.91E-01	5.09E-02	1.00E+00	3.14E-02	9.73E-01
402	4.19E-02	9.83E-01	3.75E-02	9.81E-01	5.10E-02	1.00E+00	3.15E-02	9.75E-01
403	4.20E-02	9.86E-01	3.69E-02	9.65E-01	5.03E-02	9.88E-01	3.11E-02	9.63E-01
404	4.16E-02	9.77E-01	3.69E-02	9.64E-01	5.02E-02	9.87E-01	3.07E-02	9.49E-01
405	4.11E-02	9.66E-01	3.67E-02	9.59E-01	4.96E-02	9.76E-01	3.05E-02	9.45E-01
406	4.16E-02	9.77E-01	3.66E-02	9.56E-01	5.01E-02	9.85E-01	3.01E-02	9.31E-01
407	4.07E-02	9.56E-01	3.66E-02	9.58E-01	4.97E-02	9.77E-01	2.97E-02	9.18E-01
408	4.12E-02	9.68E-01	3.65E-02	9.53E-01	4.94E-02	9.71E-01	2.96E-02	9.16E-01
409	4.13E-02	9.69E-01	3.62E-02	9.46E-01	4.96E-02	9.75E-01	2.93E-02	9.07E-01
410	4.12E-02	9.67E-01	3.59E-02	9.38E-01	4.98E-02	9.78E-01	2.94E-02	9.11E-01
411	4.07E-02	9.56E-01	3.56E-02	9.32E-01	4.94E-02	9.71E-01	2.95E-02	9.14E-01
412	4.05E-02	9.52E-01	3.58E-02	9.37E-01	4.93E-02	9.68E-01	2.95E-02	9.13E-01
413	4.08E-02	9.58E-01	3.56E-02	9.31E-01	4.91E-02	9.64E-01	2.93E-02	9.06E-01
414	4.01E-02	9.43E-01	3.58E-02	9.36E-01	4.91E-02	9.64E-01	2.91E-02	9.02E-01
415	4.07E-02	9.55E-01	3.56E-02	9.30E-01	4.96E-02	9.74E-01	2.88E-02	8.92E-01
416	3.99E-02	9.37E-01	3.55E-02	9.28E-01	4.95E-02	9.72E-01	2.88E-02	8.92E-01
417	4.03E-02	9.47E-01	3.52E-02	9.21E-01	4.92E-02	9.68E-01	2.82E-02	8.74E-01
418	4.03E-02	9.47E-01	3.50E-02	9.15E-01	4.94E-02	9.70E-01	2.84E-02	8.80E-01
419	4.00E-02	9.39E-01	3.51E-02	9.17E-01	4.94E-02	9.71E-01	2.86E-02	8.85E-01
420	3.96E-02	9.31E-01	3.51E-02	9.17E-01	4.90E-02	9.64E-01	2.85E-02	8.84E-01
421	4.03E-02	9.46E-01	3.49E-02	9.11E-01	4.91E-02	9.64E-01	2.84E-02	8.81E-01
422	3.98E-02	9.36E-01	3.48E-02	9.10E-01	4.92E-02	9.68E-01	2.83E-02	8.76E-01
423	4.07E-02	9.57E-01	3.46E-02	9.05E-01	4.95E-02	9.72E-01	2.82E-02	8.74E-01
424	4.01E-02	9.43E-01	3.45E-02	9.01E-01	4.93E-02	9.69E-01	2.80E-02	8.68E-01
425	4.01E-02	9.43E-01	3.48E-02	9.10E-01	4.97E-02	9.76E-01	2.83E-02	8.76E-01
426	3.99E-02	9.37E-01	3.48E-02	9.11E-01	4.92E-02	9.66E-01	2.82E-02	8.73E-01
427	4.00E-02	9.41E-01	3.48E-02	9.09E-01	4.92E-02	9.67E-01	2.80E-02	8.66E-01
428	4.00E-02	9.40E-01	3.46E-02	9.06E-01	4.94E-02	9.71E-01	2.78E-02	8.59E-01
429	4.05E-02	9.51E-01	3.43E-02	8.97E-01	4.98E-02	9.78E-01	2.80E-02	8.67E-01
430	3.99E-02	9.37E-01	3.45E-02	9.02E-01	4.98E-02	9.78E-01	2.78E-02	8.60E-01
431	3.96E-02	9.30E-01	3.44E-02	9.00E-01	4.96E-02	9.75E-01	2.81E-02	8.69E-01
432	3.99E-02	9.36E-01	3.43E-02	8.97E-01	4.95E-02	9.74E-01	2.81E-02	8.70E-01
433	3.97E-02	9.34E-01	3.43E-02	8.98E-01	4.95E-02	9.73E-01	2.74E-02	8.49E-01
434	4.00E-02	9.40E-01	3.48E-02	9.09E-01	4.96E-02	9.76E-01	2.81E-02	8.70E-01
435	3.96E-02	9.29E-01	3.42E-02	8.96E-01	4.95E-02	9.73E-01	2.78E-02	8.62E-01
436	3.92E-02	9.20E-01	3.42E-02	8.94E-01	4.92E-02	9.67E-01	2.77E-02	8.59E-01
437	3.92E-02	9.22E-01	3.43E-02	8.98E-01	4.93E-02	9.69E-01	2.78E-02	8.60E-01
438	3.94E-02	9.26E-01	3.42E-02	8.95E-01	4.95E-02	9.72E-01	2.73E-02	8.47E-01
439	3.94E-02	9.26E-01	3.41E-02	8.92E-01	4.97E-02	9.77E-01	2.74E-02	8.48E-01
440	3.92E-02	9.20E-01	3.39E-02	8.88E-01	4.97E-02	9.76E-01	2.73E-02	8.46E-01
441	3.93E-02	9.24E-01	3.41E-02	8.93E-01	4.97E-02	9.77E-01	2.75E-02	8.50E-01
442	3.93E-02	9.23E-01	3.41E-02	8.91E-01	4.94E-02	9.71E-01	2.74E-02	8.49E-01
443	3.93E-02	9.24E-01	3.38E-02	8.84E-01	4.93E-02	9.69E-01	2.74E-02	8.49E-01
444	3.96E-02	9.29E-01	3.41E-02	8.92E-01	4.92E-02	9.66E-01	2.74E-02	8.49E-01
445	3.91E-02	9.19E-01	3.36E-02	8.79E-01	4.90E-02	9.62E-01	2.72E-02	8.43E-01
446	3.87E-02	9.09E-01	3.35E-02	8.75E-01	4.88E-02	9.59E-01	2.69E-02	8.35E-01

447	3.85E-02	9.04E-01	3.35E-02	8.76E-01	4.84E-02	9.51E-01	2.72E-02	8.42E-01
448	3.88E-02	9.12E-01	3.40E-02	8.88E-01	4.87E-02	9.57E-01	2.70E-02	8.37E-01
449	3.90E-02	9.16E-01	3.35E-02	8.77E-01	4.87E-02	9.57E-01	2.68E-02	8.31E-01
450	3.85E-02	9.06E-01	3.36E-02	8.79E-01	4.85E-02	9.54E-01	2.69E-02	8.35E-01
451	3.81E-02	8.94E-01	3.37E-02	8.81E-01	4.82E-02	9.47E-01	2.65E-02	8.20E-01
452	3.84E-02	9.01E-01	3.38E-02	8.83E-01	4.80E-02	9.43E-01	2.66E-02	8.24E-01
453	3.84E-02	9.03E-01	3.38E-02	8.84E-01	4.78E-02	9.39E-01	2.64E-02	8.17E-01
454	3.82E-02	8.98E-01	3.41E-02	8.91E-01	4.81E-02	9.45E-01	2.61E-02	8.09E-01
455	3.80E-02	8.93E-01	3.38E-02	8.83E-01	4.78E-02	9.40E-01	2.63E-02	8.14E-01
456	3.80E-02	8.92E-01	3.39E-02	8.87E-01	4.76E-02	9.35E-01	2.62E-02	8.12E-01
457	3.76E-02	8.84E-01	3.38E-02	8.84E-01	4.73E-02	9.30E-01	2.63E-02	8.13E-01
458	3.78E-02	8.87E-01	3.39E-02	8.86E-01	4.69E-02	9.21E-01	2.61E-02	8.09E-01
459	3.78E-02	8.88E-01	3.37E-02	8.82E-01	4.68E-02	9.20E-01	2.62E-02	8.10E-01
460	3.74E-02	8.79E-01	3.36E-02	8.79E-01	4.67E-02	9.18E-01	2.59E-02	8.02E-01
461	3.73E-02	8.76E-01	3.37E-02	8.82E-01	4.63E-02	9.10E-01	2.58E-02	7.98E-01
462	3.71E-02	8.72E-01	3.39E-02	8.86E-01	4.62E-02	9.08E-01	2.59E-02	8.01E-01
463	3.74E-02	8.79E-01	3.40E-02	8.89E-01	4.60E-02	9.05E-01	2.57E-02	7.96E-01
464	3.69E-02	8.68E-01	3.41E-02	8.92E-01	4.59E-02	9.03E-01	2.55E-02	7.89E-01
465	3.70E-02	8.70E-01	3.40E-02	8.89E-01	4.57E-02	8.98E-01	2.55E-02	7.90E-01
466	3.71E-02	8.73E-01	3.42E-02	8.94E-01	4.56E-02	8.97E-01	2.56E-02	7.94E-01
467	3.71E-02	8.71E-01	3.47E-02	9.08E-01	4.54E-02	8.92E-01	2.56E-02	7.94E-01
468	3.70E-02	8.70E-01	3.51E-02	9.17E-01	4.53E-02	8.91E-01	2.58E-02	7.99E-01
469	3.70E-02	8.68E-01	3.51E-02	9.17E-01	4.53E-02	8.91E-01	2.56E-02	7.93E-01
470	3.64E-02	8.55E-01	3.53E-02	9.22E-01	4.50E-02	8.85E-01	2.56E-02	7.94E-01
471	3.65E-02	8.57E-01	3.51E-02	9.18E-01	4.47E-02	8.79E-01	2.56E-02	7.93E-01
472	3.64E-02	8.56E-01	3.54E-02	9.27E-01	4.51E-02	8.87E-01	2.54E-02	7.86E-01
473	3.63E-02	8.53E-01	3.57E-02	9.34E-01	4.50E-02	8.85E-01	2.55E-02	7.91E-01
474	3.65E-02	8.57E-01	3.57E-02	9.33E-01	4.47E-02	8.79E-01	2.53E-02	7.85E-01
475	3.64E-02	8.55E-01	3.59E-02	9.38E-01	4.47E-02	8.79E-01	2.56E-02	7.92E-01
476	3.63E-02	8.53E-01	3.60E-02	9.41E-01	4.46E-02	8.76E-01	2.54E-02	7.86E-01
477	3.64E-02	8.54E-01	3.60E-02	9.43E-01	4.46E-02	8.77E-01	2.53E-02	7.84E-01
478	3.62E-02	8.51E-01	3.63E-02	9.50E-01	4.43E-02	8.71E-01	2.53E-02	7.84E-01
479	3.60E-02	8.47E-01	3.64E-02	9.53E-01	4.44E-02	8.73E-01	2.52E-02	7.80E-01
480	3.65E-02	8.59E-01	3.66E-02	9.56E-01	4.42E-02	8.69E-01	2.52E-02	7.80E-01
481	3.61E-02	8.48E-01	3.66E-02	9.57E-01	4.40E-02	8.66E-01	2.51E-02	7.79E-01
482	3.59E-02	8.44E-01	3.66E-02	9.58E-01	4.44E-02	8.73E-01	2.48E-02	7.68E-01
483	3.62E-02	8.50E-01	3.69E-02	9.64E-01	4.43E-02	8.70E-01	2.49E-02	7.70E-01
484	3.60E-02	8.45E-01	3.65E-02	9.55E-01	4.40E-02	8.64E-01	2.52E-02	7.80E-01
485	3.60E-02	8.47E-01	3.69E-02	9.64E-01	4.39E-02	8.64E-01	2.51E-02	7.76E-01
486	3.62E-02	8.50E-01	3.70E-02	9.68E-01	4.38E-02	8.61E-01	2.50E-02	7.75E-01
487	3.63E-02	8.53E-01	3.71E-02	9.71E-01	4.36E-02	8.56E-01	2.47E-02	7.66E-01
488	3.62E-02	8.52E-01	3.72E-02	9.72E-01	4.35E-02	8.55E-01	2.51E-02	7.76E-01
489	3.60E-02	8.45E-01	3.72E-02	9.74E-01	4.36E-02	8.56E-01	2.49E-02	7.72E-01
490	3.60E-02	8.46E-01	3.73E-02	9.76E-01	4.35E-02	8.55E-01	2.47E-02	7.64E-01
491	3.61E-02	8.48E-01	3.73E-02	9.77E-01	4.31E-02	8.47E-01	2.45E-02	7.60E-01
492	3.57E-02	8.38E-01	3.73E-02	9.75E-01	4.32E-02	8.49E-01	2.46E-02	7.61E-01
493	3.57E-02	8.39E-01	3.74E-02	9.77E-01	4.29E-02	8.43E-01	2.46E-02	7.61E-01
494	3.59E-02	8.43E-01	3.74E-02	9.78E-01	4.28E-02	8.41E-01	2.44E-02	7.56E-01
495	3.55E-02	8.35E-01	3.77E-02	9.85E-01	4.26E-02	8.38E-01	2.43E-02	7.52E-01
496	3.58E-02	8.40E-01	3.76E-02	9.82E-01	4.29E-02	8.43E-01	2.42E-02	7.51E-01
497	3.56E-02	8.37E-01	3.77E-02	9.85E-01	4.31E-02	8.48E-01	2.42E-02	7.49E-01
498	3.51E-02	8.24E-01	3.74E-02	9.79E-01	4.27E-02	8.39E-01	2.38E-02	7.37E-01
499	3.45E-02	8.11E-01	3.74E-02	9.78E-01	4.25E-02	8.35E-01	2.39E-02	7.39E-01
500	3.45E-02	8.11E-01	3.75E-02	9.80E-01	4.20E-02	8.25E-01	2.37E-02	7.33E-01

λ	T2-R1		T2-R2		T2-R3		T2-R4	
400	3.33E-02	1.00E+00	3.70E-02	1.00E+00	3.22E-02	1.00E+00	3.11E-02	1.00E+00
401	3.31E-02	9.94E-01	3.73E-02	1.01E+00	3.24E-02	1.01E+00	3.07E-02	9.89E-01
402	3.28E-02	9.85E-01	3.64E-02	9.83E-01	3.23E-02	1.00E+00	3.01E-02	9.70E-01
403	3.25E-02	9.75E-01	3.65E-02	9.85E-01	3.16E-02	9.83E-01	3.02E-02	9.72E-01
404	3.21E-02	9.62E-01	3.63E-02	9.82E-01	3.12E-02	9.69E-01	2.95E-02	9.51E-01
405	3.13E-02	9.39E-01	3.64E-02	9.84E-01	3.12E-02	9.71E-01	2.93E-02	9.42E-01
406	3.17E-02	9.51E-01	3.67E-02	9.90E-01	3.10E-02	9.64E-01	2.93E-02	9.42E-01
407	3.09E-02	9.25E-01	3.62E-02	9.79E-01	3.08E-02	9.56E-01	2.90E-02	9.33E-01
408	3.02E-02	9.06E-01	3.59E-02	9.71E-01	3.08E-02	9.56E-01	2.83E-02	9.11E-01
409	3.04E-02	9.11E-01	3.59E-02	9.69E-01	3.02E-02	9.40E-01	2.86E-02	9.20E-01
410	3.01E-02	9.02E-01	3.60E-02	9.72E-01	2.99E-02	9.30E-01	2.82E-02	9.08E-01
411	2.99E-02	8.97E-01	3.55E-02	9.59E-01	2.97E-02	9.22E-01	2.80E-02	9.01E-01
412	2.94E-02	8.83E-01	3.52E-02	9.50E-01	2.98E-02	9.26E-01	2.77E-02	8.92E-01
413	2.95E-02	8.84E-01	3.56E-02	9.61E-01	3.01E-02	9.37E-01	2.79E-02	8.99E-01
414	2.91E-02	8.74E-01	3.51E-02	9.48E-01	3.05E-02	9.48E-01	2.74E-02	8.81E-01
415	2.91E-02	8.72E-01	3.51E-02	9.47E-01	2.91E-02	9.03E-01	2.73E-02	8.79E-01
416	2.86E-02	8.59E-01	3.48E-02	9.39E-01	2.89E-02	8.97E-01	2.74E-02	8.82E-01
417	2.89E-02	8.67E-01	3.47E-02	9.36E-01	2.91E-02	9.03E-01	2.71E-02	8.74E-01
418	2.81E-02	8.42E-01	3.45E-02	9.32E-01	2.90E-02	9.01E-01	2.70E-02	8.68E-01
419	2.80E-02	8.39E-01	3.42E-02	9.24E-01	2.88E-02	8.96E-01	2.68E-02	8.61E-01
420	2.81E-02	8.44E-01	3.45E-02	9.33E-01	2.88E-02	8.97E-01	2.66E-02	8.57E-01
421	2.80E-02	8.41E-01	3.39E-02	9.15E-01	2.89E-02	8.98E-01	2.64E-02	8.49E-01
422	2.78E-02	8.33E-01	3.39E-02	9.17E-01	2.86E-02	8.89E-01	2.60E-02	8.37E-01
423	2.78E-02	8.33E-01	3.34E-02	9.02E-01	2.85E-02	8.87E-01	2.62E-02	8.42E-01
424	2.76E-02	8.27E-01	3.36E-02	9.08E-01	2.86E-02	8.89E-01	2.62E-02	8.43E-01
425	2.77E-02	8.32E-01	3.37E-02	9.10E-01	2.91E-02	9.03E-01	2.61E-02	8.39E-01
426	2.73E-02	8.20E-01	3.35E-02	9.06E-01	2.89E-02	8.98E-01	2.61E-02	8.39E-01
427	2.71E-02	8.12E-01	3.32E-02	8.96E-01	2.84E-02	8.83E-01	2.58E-02	8.29E-01
428	2.73E-02	8.18E-01	3.35E-02	9.04E-01	2.89E-02	8.97E-01	2.58E-02	8.32E-01
429	2.73E-02	8.19E-01	3.37E-02	9.10E-01	2.89E-02	8.98E-01	2.58E-02	8.30E-01
430	2.67E-02	8.01E-01	3.34E-02	9.01E-01	2.87E-02	8.91E-01	2.58E-02	8.29E-01
431	2.63E-02	7.89E-01	3.30E-02	8.93E-01	2.84E-02	8.82E-01	2.56E-02	8.25E-01
432	2.70E-02	8.09E-01	3.30E-02	8.93E-01	2.80E-02	8.71E-01	2.54E-02	8.19E-01
433	2.65E-02	7.94E-01	3.30E-02	8.91E-01	2.83E-02	8.81E-01	2.54E-02	8.18E-01
434	2.68E-02	8.04E-01	3.29E-02	8.90E-01	2.80E-02	8.70E-01	2.55E-02	8.22E-01
435	2.64E-02	7.92E-01	3.26E-02	8.81E-01	2.80E-02	8.70E-01	2.51E-02	8.06E-01
436	2.63E-02	7.90E-01	3.27E-02	8.84E-01	2.84E-02	8.82E-01	2.52E-02	8.11E-01
437	2.64E-02	7.91E-01	3.26E-02	8.81E-01	2.89E-02	8.98E-01	2.51E-02	8.09E-01
438	2.65E-02	7.95E-01	3.23E-02	8.72E-01	2.87E-02	8.92E-01	2.50E-02	8.04E-01
439	2.63E-02	7.87E-01	3.26E-02	8.81E-01	2.86E-02	8.89E-01	2.49E-02	8.00E-01
440	2.61E-02	7.83E-01	3.22E-02	8.71E-01	2.88E-02	8.96E-01	2.49E-02	8.02E-01
441	2.60E-02	7.80E-01	3.19E-02	8.63E-01	2.87E-02	8.94E-01	2.46E-02	7.93E-01
442	2.60E-02	7.79E-01	3.19E-02	8.62E-01	2.84E-02	8.84E-01	2.46E-02	7.92E-01
443	2.59E-02	7.76E-01	3.20E-02	8.64E-01	2.85E-02	8.87E-01	2.46E-02	7.91E-01
444	2.57E-02	7.70E-01	3.15E-02	8.50E-01	2.82E-02	8.76E-01	2.45E-02	7.88E-01
445	2.54E-02	7.63E-01	3.14E-02	8.48E-01	2.82E-02	8.76E-01	2.46E-02	7.91E-01
446	2.55E-02	7.65E-01	3.12E-02	8.44E-01	2.81E-02	8.73E-01	2.44E-02	7.86E-01
447	2.53E-02	7.58E-01	3.14E-02	8.49E-01	2.76E-02	8.59E-01	2.42E-02	7.79E-01
448	2.53E-02	7.58E-01	3.14E-02	8.47E-01	2.78E-02	8.63E-01	2.41E-02	7.76E-01

449	2.50E-02	7.49E-01	3.11E-02	8.39E-01	2.75E-02	8.56E-01	2.39E-02	7.68E-01
450	2.51E-02	7.52E-01	3.09E-02	8.34E-01	2.71E-02	8.43E-01	2.38E-02	7.67E-01
451	2.50E-02	7.49E-01	3.06E-02	8.28E-01	2.71E-02	8.42E-01	2.39E-02	7.68E-01
452	2.48E-02	7.43E-01	3.06E-02	8.26E-01	2.73E-02	8.48E-01	2.38E-02	7.65E-01
453	2.47E-02	7.41E-01	3.09E-02	8.34E-01	2.74E-02	8.50E-01	2.36E-02	7.59E-01
454	2.44E-02	7.32E-01	3.06E-02	8.28E-01	2.73E-02	8.48E-01	2.36E-02	7.59E-01
455	2.44E-02	7.32E-01	3.03E-02	8.19E-01	2.70E-02	8.38E-01	2.36E-02	7.59E-01
456	2.45E-02	7.34E-01	3.02E-02	8.16E-01	2.68E-02	8.33E-01	2.36E-02	7.58E-01
457	2.43E-02	7.30E-01	2.99E-02	8.08E-01	2.70E-02	8.40E-01	2.33E-02	7.51E-01
458	2.43E-02	7.30E-01	2.98E-02	8.04E-01	2.67E-02	8.31E-01	2.31E-02	7.45E-01
459	2.37E-02	7.10E-01	3.02E-02	8.16E-01	2.71E-02	8.44E-01	2.33E-02	7.49E-01
460	2.36E-02	7.09E-01	2.96E-02	7.99E-01	2.70E-02	8.40E-01	2.33E-02	7.49E-01
461	2.37E-02	7.10E-01	2.96E-02	7.99E-01	2.69E-02	8.36E-01	2.32E-02	7.48E-01
462	2.38E-02	7.13E-01	2.95E-02	7.97E-01	2.67E-02	8.31E-01	2.29E-02	7.37E-01
463	2.36E-02	7.09E-01	2.93E-02	7.91E-01	2.66E-02	8.26E-01	2.29E-02	7.35E-01
464	2.35E-02	7.05E-01	2.92E-02	7.90E-01	2.65E-02	8.23E-01	2.29E-02	7.36E-01
465	2.33E-02	6.97E-01	2.92E-02	7.89E-01	2.66E-02	8.25E-01	2.30E-02	7.40E-01
466	2.32E-02	6.97E-01	2.89E-02	7.82E-01	2.63E-02	8.17E-01	2.28E-02	7.32E-01
467	2.30E-02	6.91E-01	2.87E-02	7.77E-01	2.66E-02	8.28E-01	2.28E-02	7.33E-01
468	2.33E-02	7.00E-01	2.90E-02	7.84E-01	2.65E-02	8.23E-01	2.29E-02	7.36E-01
469	2.33E-02	6.98E-01	2.88E-02	7.77E-01	2.66E-02	8.25E-01	2.28E-02	7.33E-01
470	2.31E-02	6.93E-01	2.84E-02	7.66E-01	2.63E-02	8.19E-01	2.25E-02	7.23E-01
471	2.29E-02	6.86E-01	2.85E-02	7.70E-01	2.62E-02	8.16E-01	2.25E-02	7.23E-01
472	2.28E-02	6.84E-01	2.84E-02	7.67E-01	2.62E-02	8.14E-01	2.26E-02	7.27E-01
473	2.29E-02	6.86E-01	2.83E-02	7.66E-01	2.62E-02	8.15E-01	2.27E-02	7.30E-01
474	2.28E-02	6.83E-01	2.84E-02	7.66E-01	2.60E-02	8.08E-01	2.28E-02	7.32E-01
475	2.29E-02	6.86E-01	2.83E-02	7.64E-01	2.60E-02	8.09E-01	2.27E-02	7.30E-01
476	2.28E-02	6.85E-01	2.82E-02	7.63E-01	2.60E-02	8.08E-01	2.28E-02	7.35E-01
477	2.28E-02	6.84E-01	2.82E-02	7.61E-01	2.62E-02	8.13E-01	2.27E-02	7.31E-01
478	2.27E-02	6.82E-01	2.83E-02	7.64E-01	2.60E-02	8.07E-01	2.24E-02	7.22E-01
479	2.28E-02	6.83E-01	2.85E-02	7.70E-01	2.59E-02	8.06E-01	2.25E-02	7.25E-01
480	2.28E-02	6.83E-01	2.81E-02	7.58E-01	2.59E-02	8.06E-01	2.27E-02	7.29E-01
481	2.26E-02	6.79E-01	2.79E-02	7.54E-01	2.59E-02	8.04E-01	2.31E-02	7.44E-01
482	2.29E-02	6.87E-01	2.82E-02	7.61E-01	2.58E-02	8.02E-01	2.30E-02	7.41E-01
483	2.28E-02	6.83E-01	2.80E-02	7.57E-01	2.59E-02	8.04E-01	2.30E-02	7.39E-01
484	2.26E-02	6.77E-01	2.79E-02	7.53E-01	2.57E-02	7.99E-01	2.30E-02	7.40E-01
485	2.26E-02	6.79E-01	2.77E-02	7.50E-01	2.59E-02	8.06E-01	2.29E-02	7.37E-01
486	2.25E-02	6.76E-01	2.76E-02	7.46E-01	2.56E-02	7.97E-01	2.31E-02	7.44E-01
487	2.27E-02	6.82E-01	2.76E-02	7.46E-01	2.55E-02	7.93E-01	2.31E-02	7.44E-01
488	2.27E-02	6.82E-01	2.77E-02	7.48E-01	2.55E-02	7.93E-01	2.29E-02	7.37E-01
489	2.27E-02	6.80E-01	2.77E-02	7.49E-01	2.57E-02	7.99E-01	2.29E-02	7.38E-01
490	2.28E-02	6.82E-01	2.76E-02	7.46E-01	2.56E-02	7.97E-01	2.29E-02	7.38E-01
491	2.26E-02	6.77E-01	2.76E-02	7.47E-01	2.56E-02	7.96E-01	2.31E-02	7.42E-01
492	2.26E-02	6.78E-01	2.75E-02	7.42E-01	2.56E-02	7.97E-01	2.30E-02	7.39E-01
493	2.26E-02	6.79E-01	2.74E-02	7.41E-01	2.54E-02	7.90E-01	2.32E-02	7.45E-01
494	2.26E-02	6.77E-01	2.75E-02	7.43E-01	2.53E-02	7.86E-01	2.29E-02	7.38E-01
495	2.25E-02	6.76E-01	2.72E-02	7.35E-01	2.52E-02	7.85E-01	2.27E-02	7.29E-01
496	2.22E-02	6.66E-01	2.72E-02	7.35E-01	2.52E-02	7.82E-01	2.28E-02	7.34E-01
497	2.23E-02	6.70E-01	2.69E-02	7.28E-01	2.51E-02	7.79E-01	2.29E-02	7.36E-01
498	2.26E-02	6.78E-01	2.68E-02	7.25E-01	2.52E-02	7.82E-01	2.28E-02	7.34E-01
499	2.22E-02	6.66E-01	2.71E-02	7.33E-01	2.50E-02	7.77E-01	2.29E-02	7.36E-01
500	2.21E-02	6.64E-01	2.69E-02	7.27E-01	2.48E-02	7.71E-01	2.28E-02	7.34E-01

λ	T7-R1		T15-R2		T15 - R3		T15 - R4	
-----------	-------	--	--------	--	----------	--	----------	--

400	6.50E-02	1.00E+00	3.94E-02	1.00E+00	3.98E-02	1.00E+00	3.41E-02	1.00E+00
401	6.29E-02	9.67E-01	3.91E-02	9.94E-01	3.98E-02	1.00E+00	3.77E-02	1.11E+00
402	6.13E-02	9.43E-01	3.86E-02	9.80E-01	3.95E-02	9.93E-01	3.72E-02	1.09E+00
403	5.92E-02	9.12E-01	3.73E-02	9.48E-01	3.93E-02	9.87E-01	3.67E-02	1.08E+00
404	5.79E-02	8.91E-01	3.65E-02	9.26E-01	3.88E-02	9.74E-01	3.64E-02	1.07E+00
405	5.70E-02	8.77E-01	3.60E-02	9.14E-01	3.83E-02	9.61E-01	3.65E-02	1.07E+00
406	5.56E-02	8.56E-01	3.56E-02	9.04E-01	3.84E-02	9.64E-01	3.63E-02	1.07E+00
407	5.41E-02	8.32E-01	3.49E-02	8.87E-01	3.82E-02	9.59E-01	3.60E-02	1.06E+00
408	5.35E-02	8.23E-01	3.44E-02	8.73E-01	3.79E-02	9.51E-01	3.67E-02	1.08E+00
409	5.24E-02	8.06E-01	3.42E-02	8.69E-01	3.75E-02	9.42E-01	3.63E-02	1.07E+00
410	5.12E-02	7.89E-01	3.32E-02	8.45E-01	3.77E-02	9.47E-01	3.61E-02	1.06E+00
411	5.08E-02	7.81E-01	3.30E-02	8.38E-01	3.71E-02	9.30E-01	3.61E-02	1.06E+00
412	5.00E-02	7.70E-01	3.28E-02	8.33E-01	3.70E-02	9.29E-01	3.60E-02	1.06E+00
413	4.95E-02	7.62E-01	3.27E-02	8.30E-01	3.70E-02	9.28E-01	3.59E-02	1.05E+00
414	4.89E-02	7.53E-01	3.23E-02	8.22E-01	3.69E-02	9.26E-01	3.58E-02	1.05E+00
415	4.82E-02	7.42E-01	3.20E-02	8.14E-01	3.64E-02	9.15E-01	3.59E-02	1.05E+00
416	4.75E-02	7.31E-01	3.15E-02	8.01E-01	3.65E-02	9.16E-01	3.51E-02	1.03E+00
417	4.75E-02	7.31E-01	3.12E-02	7.93E-01	3.64E-02	9.15E-01	3.49E-02	1.03E+00
418	4.69E-02	7.22E-01	3.11E-02	7.91E-01	3.59E-02	9.02E-01	3.52E-02	1.03E+00
419	4.64E-02	7.14E-01	3.08E-02	7.83E-01	3.59E-02	9.01E-01	3.48E-02	1.02E+00
420	4.62E-02	7.11E-01	3.06E-02	7.78E-01	3.58E-02	8.99E-01	3.46E-02	1.02E+00
421	4.58E-02	7.05E-01	3.04E-02	7.72E-01	3.58E-02	8.99E-01	3.46E-02	1.02E+00
422	4.54E-02	6.98E-01	3.02E-02	7.66E-01	3.52E-02	8.83E-01	3.42E-02	1.01E+00
423	4.48E-02	6.90E-01	2.98E-02	7.58E-01	3.55E-02	8.92E-01	3.44E-02	1.01E+00
424	4.45E-02	6.85E-01	2.99E-02	7.59E-01	3.55E-02	8.93E-01	3.43E-02	1.01E+00
425	4.43E-02	6.81E-01	2.99E-02	7.59E-01	3.52E-02	8.85E-01	3.42E-02	1.00E+00
426	4.42E-02	6.80E-01	2.93E-02	7.44E-01	3.52E-02	8.85E-01	3.43E-02	1.01E+00
427	4.39E-02	6.76E-01	2.90E-02	7.36E-01	3.50E-02	8.78E-01	3.37E-02	9.90E-01
428	4.40E-02	6.77E-01	2.89E-02	7.35E-01	3.45E-02	8.67E-01	3.36E-02	9.87E-01
429	4.36E-02	6.71E-01	2.87E-02	7.30E-01	3.45E-02	8.66E-01	3.38E-02	9.91E-01
430	4.35E-02	6.69E-01	2.86E-02	7.26E-01	3.43E-02	8.62E-01	3.37E-02	9.89E-01
431	4.31E-02	6.63E-01	2.84E-02	7.22E-01	3.46E-02	8.68E-01	3.33E-02	9.77E-01
432	4.33E-02	6.66E-01	2.86E-02	7.28E-01	3.45E-02	8.66E-01	3.30E-02	9.70E-01
433	4.27E-02	6.57E-01	2.82E-02	7.17E-01	3.43E-02	8.61E-01	3.32E-02	9.74E-01
434	4.26E-02	6.56E-01	2.83E-02	7.19E-01	3.43E-02	8.61E-01	3.33E-02	9.76E-01
435	4.22E-02	6.50E-01	2.82E-02	7.16E-01	3.41E-02	8.56E-01	3.31E-02	9.72E-01
436	4.22E-02	6.49E-01	2.81E-02	7.14E-01	3.42E-02	8.58E-01	3.28E-02	9.64E-01
437	4.21E-02	6.48E-01	2.80E-02	7.12E-01	3.42E-02	8.60E-01	3.26E-02	9.58E-01
438	4.21E-02	6.48E-01	2.79E-02	7.09E-01	3.40E-02	8.53E-01	3.26E-02	9.56E-01
439	4.21E-02	6.48E-01	2.79E-02	7.09E-01	3.37E-02	8.47E-01	3.24E-02	9.51E-01
440	4.12E-02	6.33E-01	2.72E-02	6.92E-01	3.36E-02	8.43E-01	3.25E-02	9.55E-01
441	4.18E-02	6.44E-01	2.75E-02	6.98E-01	3.32E-02	8.34E-01	3.19E-02	9.36E-01
442	4.14E-02	6.36E-01	2.75E-02	6.99E-01	3.35E-02	8.41E-01	3.20E-02	9.40E-01
443	4.10E-02	6.31E-01	2.74E-02	6.97E-01	3.31E-02	8.30E-01	3.19E-02	9.38E-01
444	4.10E-02	6.30E-01	2.71E-02	6.87E-01	3.30E-02	8.29E-01	3.17E-02	9.31E-01
445	4.07E-02	6.27E-01	2.70E-02	6.85E-01	3.29E-02	8.27E-01	3.18E-02	9.34E-01
446	4.04E-02	6.22E-01	2.69E-02	6.82E-01	3.29E-02	8.25E-01	3.18E-02	9.33E-01
447	4.02E-02	6.19E-01	2.68E-02	6.82E-01	3.30E-02	8.28E-01	3.12E-02	9.17E-01
448	4.04E-02	6.21E-01	2.66E-02	6.77E-01	3.30E-02	8.27E-01	3.11E-02	9.13E-01

449	3.98E-02	6.13E-01	2.65E-02	6.72E-01	3.26E-02	8.19E-01	3.07E-02	9.01E-01
450	3.96E-02	6.09E-01	2.65E-02	6.73E-01	3.24E-02	8.13E-01	3.06E-02	9.00E-01
451	3.93E-02	6.04E-01	2.62E-02	6.66E-01	3.22E-02	8.09E-01	3.09E-02	9.08E-01
452	3.92E-02	6.03E-01	2.64E-02	6.70E-01	3.23E-02	8.10E-01	3.10E-02	9.10E-01
453	3.92E-02	6.03E-01	2.61E-02	6.63E-01	3.20E-02	8.04E-01	3.10E-02	9.10E-01
454	3.93E-02	6.05E-01	2.64E-02	6.71E-01	3.18E-02	8.00E-01	3.07E-02	9.00E-01
455	3.93E-02	6.04E-01	2.60E-02	6.61E-01	3.20E-02	8.03E-01	3.03E-02	8.91E-01
456	3.89E-02	5.99E-01	2.57E-02	6.54E-01	3.17E-02	7.97E-01	3.02E-02	8.86E-01
457	3.88E-02	5.96E-01	2.59E-02	6.58E-01	3.17E-02	7.95E-01	3.02E-02	8.87E-01
458	3.89E-02	5.98E-01	2.58E-02	6.55E-01	3.15E-02	7.92E-01	2.98E-02	8.75E-01
459	3.88E-02	5.97E-01	2.58E-02	6.56E-01	3.12E-02	7.83E-01	2.98E-02	8.75E-01
460	3.87E-02	5.95E-01	2.56E-02	6.49E-01	3.10E-02	7.79E-01	3.00E-02	8.80E-01
461	3.84E-02	5.90E-01	2.55E-02	6.49E-01	3.08E-02	7.73E-01	2.94E-02	8.63E-01
462	3.85E-02	5.93E-01	2.56E-02	6.49E-01	3.09E-02	7.77E-01	2.93E-02	8.59E-01
463	3.86E-02	5.93E-01	2.53E-02	6.44E-01	3.07E-02	7.72E-01	2.92E-02	8.58E-01
464	3.80E-02	5.85E-01	2.52E-02	6.41E-01	3.05E-02	7.65E-01	2.90E-02	8.52E-01
465	3.84E-02	5.91E-01	2.53E-02	6.42E-01	3.04E-02	7.64E-01	2.89E-02	8.48E-01
466	3.84E-02	5.92E-01	2.52E-02	6.39E-01	3.05E-02	7.66E-01	2.89E-02	8.48E-01
467	3.84E-02	5.90E-01	2.50E-02	6.35E-01	3.04E-02	7.63E-01	2.88E-02	8.46E-01
468	3.87E-02	5.96E-01	2.49E-02	6.32E-01	3.04E-02	7.64E-01	2.85E-02	8.38E-01
469	3.84E-02	5.91E-01	2.49E-02	6.33E-01	3.03E-02	7.60E-01	2.84E-02	8.33E-01
470	3.85E-02	5.93E-01	2.48E-02	6.29E-01	3.01E-02	7.55E-01	2.85E-02	8.36E-01
471	3.82E-02	5.88E-01	2.46E-02	6.24E-01	3.00E-02	7.54E-01	2.83E-02	8.30E-01
472	3.82E-02	5.88E-01	2.45E-02	6.23E-01	2.97E-02	7.47E-01	2.81E-02	8.26E-01
473	3.82E-02	5.88E-01	2.45E-02	6.21E-01	2.97E-02	7.47E-01	2.81E-02	8.24E-01
474	3.83E-02	5.89E-01	2.45E-02	6.22E-01	2.97E-02	7.46E-01	2.82E-02	8.26E-01
475	3.83E-02	5.90E-01	2.44E-02	6.21E-01	2.98E-02	7.49E-01	2.80E-02	8.22E-01
476	3.85E-02	5.92E-01	2.45E-02	6.23E-01	2.97E-02	7.45E-01	2.81E-02	8.24E-01
477	3.86E-02	5.95E-01	2.44E-02	6.20E-01	2.98E-02	7.48E-01	2.82E-02	8.28E-01
478	3.84E-02	5.91E-01	2.45E-02	6.22E-01	2.96E-02	7.42E-01	2.81E-02	8.26E-01
479	3.86E-02	5.94E-01	2.44E-02	6.19E-01	2.99E-02	7.50E-01	2.78E-02	8.16E-01
480	3.86E-02	5.94E-01	2.42E-02	6.14E-01	2.97E-02	7.46E-01	2.80E-02	8.21E-01
481	3.85E-02	5.93E-01	2.43E-02	6.18E-01	2.95E-02	7.40E-01	2.79E-02	8.19E-01
482	3.84E-02	5.91E-01	2.44E-02	6.20E-01	2.96E-02	7.44E-01	2.80E-02	8.23E-01
483	3.83E-02	5.89E-01	2.43E-02	6.17E-01	2.96E-02	7.44E-01	2.80E-02	8.23E-01
484	3.85E-02	5.92E-01	2.43E-02	6.17E-01	2.96E-02	7.43E-01	2.78E-02	8.17E-01
485	3.88E-02	5.97E-01	2.43E-02	6.18E-01	2.93E-02	7.36E-01	2.78E-02	8.17E-01
486	3.88E-02	5.98E-01	2.43E-02	6.18E-01	2.95E-02	7.40E-01	2.77E-02	8.12E-01
487	3.86E-02	5.94E-01	2.43E-02	6.17E-01	2.94E-02	7.39E-01	2.74E-02	8.06E-01
488	3.84E-02	5.91E-01	2.44E-02	6.19E-01	2.95E-02	7.40E-01	2.76E-02	8.10E-01
489	3.86E-02	5.94E-01	2.43E-02	6.17E-01	2.94E-02	7.39E-01	2.79E-02	8.18E-01
490	3.89E-02	5.98E-01	2.43E-02	6.18E-01	2.90E-02	7.29E-01	2.75E-02	8.07E-01
491	3.86E-02	5.94E-01	2.44E-02	6.20E-01	2.92E-02	7.33E-01	2.77E-02	8.14E-01
492	3.84E-02	5.91E-01	2.40E-02	6.11E-01	2.90E-02	7.27E-01	2.77E-02	8.12E-01
493	3.87E-02	5.95E-01	2.43E-02	6.17E-01	2.91E-02	7.30E-01	2.74E-02	8.06E-01
494	3.85E-02	5.92E-01	2.43E-02	6.17E-01	2.91E-02	7.32E-01	2.73E-02	8.01E-01
495	3.83E-02	5.89E-01	2.42E-02	6.16E-01	2.88E-02	7.23E-01	2.74E-02	8.05E-01
496	3.85E-02	5.93E-01	2.42E-02	6.14E-01	2.90E-02	7.29E-01	2.74E-02	8.03E-01
497	3.86E-02	5.94E-01	2.41E-02	6.12E-01	2.88E-02	7.24E-01	2.74E-02	8.05E-01
498	3.84E-02	5.91E-01	2.40E-02	6.08E-01	2.91E-02	7.30E-01	2.72E-02	7.99E-01
499	3.82E-02	5.88E-01	2.39E-02	6.07E-01	2.87E-02	7.22E-01	2.71E-02	7.96E-01
500	3.82E-02	5.88E-01	2.40E-02	6.10E-01	2.85E-02	7.15E-01	2.71E-02	7.96E-01

λ	T8 - R1		T8 - R2		T8 - R3		T8 - R4	
400	3.23E-02	1.00E+00	4.50E-02	1.00E+00	6.37E-02	1.00E+00	3.54E-02	1.00E+00
401	3.30E-02	1.02E+00	4.44E-02	9.88E-01	6.39E-02	1.00E+00	3.56E-02	1.00E+00
402	3.23E-02	9.99E-01	4.42E-02	9.83E-01	6.31E-02	9.92E-01	3.55E-02	1.00E+00
403	3.26E-02	1.01E+00	4.42E-02	9.84E-01	6.29E-02	9.88E-01	3.51E-02	9.92E-01
404	3.19E-02	9.86E-01	4.40E-02	9.78E-01	6.25E-02	9.82E-01	3.46E-02	9.77E-01
405	3.22E-02	9.95E-01	4.39E-02	9.76E-01	6.26E-02	9.83E-01	3.45E-02	9.73E-01
406	3.21E-02	9.92E-01	4.42E-02	9.83E-01	6.22E-02	9.77E-01	3.43E-02	9.67E-01
407	3.20E-02	9.88E-01	4.36E-02	9.69E-01	6.18E-02	9.71E-01	3.39E-02	9.56E-01
408	3.16E-02	9.78E-01	4.39E-02	9.77E-01	6.16E-02	9.68E-01	3.35E-02	9.46E-01
409	3.16E-02	9.77E-01	4.36E-02	9.71E-01	6.17E-02	9.70E-01	3.29E-02	9.30E-01
410	3.15E-02	9.73E-01	4.37E-02	9.71E-01	6.11E-02	9.60E-01	3.29E-02	9.29E-01
411	3.19E-02	9.85E-01	4.38E-02	9.74E-01	6.12E-02	9.62E-01	3.29E-02	9.28E-01
412	3.17E-02	9.79E-01	4.41E-02	9.81E-01	6.19E-02	9.72E-01	3.27E-02	9.21E-01
413	3.20E-02	9.90E-01	4.39E-02	9.77E-01	6.23E-02	9.79E-01	3.25E-02	9.16E-01
414	3.16E-02	9.78E-01	4.39E-02	9.76E-01	6.18E-02	9.71E-01	3.22E-02	9.08E-01
415	3.19E-02	9.88E-01	4.36E-02	9.70E-01	6.15E-02	9.66E-01	3.16E-02	8.91E-01
416	3.16E-02	9.78E-01	4.38E-02	9.74E-01	6.13E-02	9.63E-01	3.19E-02	9.00E-01
417	3.20E-02	9.88E-01	4.38E-02	9.74E-01	6.15E-02	9.66E-01	3.15E-02	8.88E-01
418	3.16E-02	9.77E-01	4.41E-02	9.82E-01	6.13E-02	9.63E-01	3.13E-02	8.83E-01
419	3.16E-02	9.77E-01	4.36E-02	9.70E-01	6.17E-02	9.69E-01	3.10E-02	8.74E-01
420	3.20E-02	9.89E-01	4.37E-02	9.71E-01	6.19E-02	9.72E-01	3.11E-02	8.78E-01
421	3.19E-02	9.86E-01	4.37E-02	9.73E-01	6.19E-02	9.73E-01	3.13E-02	8.82E-01
422	3.17E-02	9.82E-01	4.40E-02	9.79E-01	6.15E-02	9.66E-01	3.10E-02	8.75E-01
423	3.16E-02	9.77E-01	4.37E-02	9.72E-01	6.14E-02	9.65E-01	3.08E-02	8.70E-01
424	3.19E-02	9.85E-01	4.40E-02	9.78E-01	6.14E-02	9.65E-01	3.08E-02	8.68E-01
425	3.19E-02	9.87E-01	4.40E-02	9.79E-01	6.25E-02	9.82E-01	3.15E-02	8.89E-01
426	3.17E-02	9.80E-01	4.39E-02	9.77E-01	6.24E-02	9.81E-01	3.08E-02	8.70E-01
427	3.17E-02	9.81E-01	4.40E-02	9.78E-01	6.27E-02	9.85E-01	3.08E-02	8.70E-01
428	3.15E-02	9.74E-01	4.40E-02	9.79E-01	6.21E-02	9.76E-01	3.07E-02	8.68E-01
429	3.20E-02	9.91E-01	4.38E-02	9.73E-01	6.27E-02	9.85E-01	2.99E-02	8.44E-01
430	3.17E-02	9.80E-01	4.41E-02	9.82E-01	6.31E-02	9.91E-01	3.05E-02	8.62E-01
431	3.16E-02	9.77E-01	4.40E-02	9.78E-01	6.31E-02	9.92E-01	3.05E-02	8.62E-01
432	3.15E-02	9.75E-01	4.40E-02	9.79E-01	6.29E-02	9.88E-01	3.05E-02	8.61E-01
433	3.17E-02	9.80E-01	4.42E-02	9.84E-01	6.28E-02	9.87E-01	3.06E-02	8.62E-01
434	3.14E-02	9.72E-01	4.43E-02	9.84E-01	6.34E-02	9.95E-01	3.01E-02	8.50E-01
435	3.16E-02	9.77E-01	4.42E-02	9.83E-01	6.31E-02	9.92E-01	3.02E-02	8.52E-01
436	3.18E-02	9.83E-01	4.43E-02	9.84E-01	6.31E-02	9.91E-01	3.01E-02	8.49E-01
437	3.17E-02	9.79E-01	4.42E-02	9.83E-01	6.29E-02	9.88E-01	3.03E-02	8.56E-01
438	3.15E-02	9.72E-01	4.39E-02	9.77E-01	6.25E-02	9.81E-01	3.03E-02	8.54E-01
439	3.13E-02	9.68E-01	4.42E-02	9.82E-01	6.28E-02	9.87E-01	3.01E-02	8.50E-01
440	3.12E-02	9.65E-01	4.42E-02	9.82E-01	6.27E-02	9.85E-01	3.01E-02	8.49E-01
441	3.16E-02	9.76E-01	4.40E-02	9.78E-01	6.29E-02	9.88E-01	3.04E-02	8.58E-01
442	3.17E-02	9.79E-01	4.40E-02	9.78E-01	6.38E-02	1.00E+00	3.02E-02	8.52E-01
443	3.15E-02	9.74E-01	4.37E-02	9.71E-01	6.38E-02	1.00E+00	3.02E-02	8.53E-01
444	3.14E-02	9.70E-01	4.35E-02	9.68E-01	6.37E-02	1.00E+00	3.06E-02	8.65E-01
445	3.12E-02	9.66E-01	4.35E-02	9.68E-01	6.34E-02	9.96E-01	2.99E-02	8.43E-01
446	3.09E-02	9.56E-01	4.35E-02	9.67E-01	6.25E-02	9.82E-01	2.99E-02	8.44E-01
447	3.10E-02	9.58E-01	4.31E-02	9.58E-01	6.20E-02	9.75E-01	2.98E-02	8.40E-01
448	3.10E-02	9.59E-01	4.30E-02	9.56E-01	6.17E-02	9.70E-01	3.00E-02	8.46E-01
449	3.11E-02	9.61E-01	4.27E-02	9.50E-01	6.18E-02	9.71E-01	2.97E-02	8.38E-01
450	3.08E-02	9.51E-01	4.27E-02	9.49E-01	6.21E-02	9.75E-01	3.00E-02	8.46E-01
451	3.10E-02	9.58E-01	4.25E-02	9.44E-01	6.18E-02	9.71E-01	3.01E-02	8.48E-01

452	3.09E-02	9.54E-01	4.25E-02	9.45E-01	6.16E-02	9.67E-01	2.98E-02	8.40E-01
453	3.06E-02	9.45E-01	4.27E-02	9.50E-01	6.18E-02	9.72E-01	2.96E-02	8.35E-01
454	3.07E-02	9.49E-01	4.25E-02	9.46E-01	6.20E-02	9.74E-01	2.99E-02	8.44E-01
455	3.03E-02	9.36E-01	4.21E-02	9.37E-01	6.12E-02	9.61E-01	2.96E-02	8.36E-01
456	2.99E-02	9.24E-01	4.22E-02	9.39E-01	6.09E-02	9.57E-01	3.03E-02	8.55E-01
457	2.98E-02	9.21E-01	4.21E-02	9.36E-01	6.08E-02	9.55E-01	3.00E-02	8.47E-01
458	2.98E-02	9.22E-01	4.21E-02	9.37E-01	6.16E-02	9.68E-01	2.99E-02	8.43E-01
459	2.99E-02	9.24E-01	4.20E-02	9.33E-01	6.15E-02	9.67E-01	2.97E-02	8.37E-01
460	2.92E-02	9.03E-01	4.18E-02	9.30E-01	6.12E-02	9.62E-01	2.96E-02	8.34E-01
461	2.96E-02	9.17E-01	4.17E-02	9.27E-01	6.12E-02	9.61E-01	2.95E-02	8.32E-01
462	2.96E-02	9.15E-01	4.15E-02	9.24E-01	6.09E-02	9.57E-01	2.96E-02	8.36E-01
463	2.95E-02	9.12E-01	4.16E-02	9.25E-01	6.08E-02	9.55E-01	2.95E-02	8.32E-01
464	2.93E-02	9.05E-01	4.12E-02	9.15E-01	6.05E-02	9.51E-01	2.93E-02	8.26E-01
465	2.95E-02	9.11E-01	4.14E-02	9.20E-01	6.05E-02	9.50E-01	2.93E-02	8.28E-01
466	2.90E-02	8.97E-01	4.13E-02	9.18E-01	6.08E-02	9.55E-01	2.93E-02	8.27E-01
467	2.88E-02	8.92E-01	4.13E-02	9.19E-01	6.08E-02	9.55E-01	2.93E-02	8.26E-01
468	2.90E-02	8.96E-01	4.13E-02	9.18E-01	6.08E-02	9.55E-01	2.95E-02	8.33E-01
469	2.91E-02	9.00E-01	4.10E-02	9.13E-01	6.07E-02	9.53E-01	2.90E-02	8.19E-01
470	2.87E-02	8.87E-01	4.08E-02	9.06E-01	6.04E-02	9.49E-01	2.86E-02	8.08E-01
471	2.85E-02	8.80E-01	4.09E-02	9.10E-01	6.03E-02	9.47E-01	2.91E-02	8.20E-01
472	2.87E-02	8.88E-01	4.06E-02	9.02E-01	6.02E-02	9.45E-01	2.88E-02	8.13E-01
473	2.86E-02	8.83E-01	4.05E-02	9.01E-01	5.99E-02	9.41E-01	2.90E-02	8.18E-01
474	2.87E-02	8.87E-01	4.05E-02	9.00E-01	5.99E-02	9.41E-01	2.89E-02	8.15E-01
475	2.87E-02	8.87E-01	4.05E-02	9.02E-01	5.99E-02	9.41E-01	2.88E-02	8.14E-01
476	2.85E-02	8.81E-01	4.06E-02	9.02E-01	5.99E-02	9.41E-01	2.90E-02	8.18E-01
477	2.84E-02	8.79E-01	4.05E-02	9.02E-01	6.00E-02	9.43E-01	2.93E-02	8.27E-01
478	2.81E-02	8.69E-01	4.04E-02	8.97E-01	5.98E-02	9.40E-01	2.90E-02	8.18E-01
479	2.83E-02	8.74E-01	4.05E-02	9.02E-01	5.90E-02	9.27E-01	2.90E-02	8.19E-01
480	2.83E-02	8.73E-01	4.07E-02	9.06E-01	5.92E-02	9.30E-01	2.89E-02	8.16E-01
481	2.83E-02	8.76E-01	4.06E-02	9.02E-01	5.90E-02	9.27E-01	2.90E-02	8.19E-01
482	2.81E-02	8.68E-01	4.03E-02	8.96E-01	5.87E-02	9.23E-01	2.90E-02	8.20E-01
483	2.82E-02	8.71E-01	4.03E-02	8.96E-01	5.88E-02	9.23E-01	2.93E-02	8.27E-01
484	2.82E-02	8.71E-01	4.03E-02	8.95E-01	5.81E-02	9.12E-01	2.93E-02	8.26E-01
485	2.82E-02	8.71E-01	4.00E-02	8.91E-01	5.82E-02	9.15E-01	2.90E-02	8.19E-01
486	2.80E-02	8.66E-01	4.05E-02	9.00E-01	5.83E-02	9.16E-01	2.91E-02	8.21E-01
487	2.80E-02	8.67E-01	4.04E-02	8.99E-01	5.82E-02	9.15E-01	2.90E-02	8.18E-01
488	2.81E-02	8.68E-01	4.04E-02	8.99E-01	5.79E-02	9.10E-01	2.89E-02	8.16E-01
489	2.80E-02	8.67E-01	4.04E-02	8.98E-01	5.82E-02	9.15E-01	2.92E-02	8.23E-01
490	2.82E-02	8.70E-01	4.04E-02	9.00E-01	5.80E-02	9.12E-01	2.90E-02	8.18E-01
491	2.79E-02	8.63E-01	4.04E-02	8.99E-01	5.81E-02	9.13E-01	2.92E-02	8.24E-01
492	2.79E-02	8.61E-01	4.03E-02	8.96E-01	5.78E-02	9.08E-01	2.90E-02	8.19E-01
493	2.77E-02	8.57E-01	4.02E-02	8.93E-01	5.75E-02	9.04E-01	2.92E-02	8.25E-01
494	2.75E-02	8.52E-01	4.03E-02	8.96E-01	5.75E-02	9.03E-01	2.92E-02	8.24E-01
495	2.75E-02	8.51E-01	4.03E-02	8.96E-01	5.67E-02	8.91E-01	2.93E-02	8.26E-01
496	2.75E-02	8.51E-01	4.02E-02	8.94E-01	5.66E-02	8.90E-01	2.91E-02	8.21E-01
497	2.74E-02	8.46E-01	3.98E-02	8.86E-01	5.64E-02	8.85E-01	2.90E-02	8.19E-01
498	2.74E-02	8.47E-01	3.98E-02	8.85E-01	5.59E-02	8.79E-01	2.89E-02	8.17E-01
499	2.72E-02	8.40E-01	3.97E-02	8.83E-01	5.56E-02	8.73E-01	2.87E-02	8.11E-01
500	2.71E-02	8.39E-01	3.98E-02	8.85E-01	5.51E-02	8.65E-01	2.89E-02	8.16E-01

λ	T10 - R1		T10 - R2		T10 - R3		T13 - R4	
400	3.30E-02	1.00E+00	3.61E-02	1.00E+00	4.29E-02	1.00E+00	8.35E-02	1.00E+00
401	3.28E-02	9.96E-01	3.61E-02	1.00E+00	4.28E-02	9.99E-01	8.04E-02	9.63E-01
402	3.28E-02	9.93E-01	3.61E-02	9.99E-01	4.24E-02	9.90E-01	7.66E-02	9.18E-01
403	3.31E-02	1.00E+00	3.59E-02	9.95E-01	4.21E-02	9.81E-01	7.36E-02	8.82E-01
404	3.31E-02	1.00E+00	3.54E-02	9.81E-01	4.18E-02	9.74E-01	7.11E-02	8.52E-01
405	3.25E-02	9.86E-01	3.50E-02	9.69E-01	4.16E-02	9.71E-01	6.88E-02	8.24E-01
406	3.22E-02	9.76E-01	3.53E-02	9.78E-01	4.19E-02	9.77E-01	6.62E-02	7.93E-01
407	3.17E-02	9.63E-01	3.48E-02	9.64E-01	4.17E-02	9.73E-01	6.43E-02	7.71E-01
408	3.22E-02	9.78E-01	3.47E-02	9.60E-01	4.16E-02	9.69E-01	6.20E-02	7.43E-01
409	3.23E-02	9.81E-01	3.46E-02	9.59E-01	4.16E-02	9.70E-01	6.06E-02	7.26E-01
410	3.21E-02	9.74E-01	3.47E-02	9.60E-01	4.14E-02	9.65E-01	5.95E-02	7.13E-01
411	3.28E-02	9.93E-01	3.52E-02	9.74E-01	4.12E-02	9.61E-01	5.78E-02	6.93E-01
412	3.24E-02	9.83E-01	3.48E-02	9.62E-01	4.10E-02	9.57E-01	5.64E-02	6.76E-01
413	3.31E-02	1.00E+00	3.48E-02	9.63E-01	4.15E-02	9.68E-01	5.55E-02	6.64E-01
414	3.19E-02	9.66E-01	3.47E-02	9.61E-01	4.14E-02	9.66E-01	5.45E-02	6.53E-01
415	3.19E-02	9.66E-01	3.44E-02	9.51E-01	4.14E-02	9.64E-01	5.30E-02	6.35E-01
416	3.15E-02	9.56E-01	3.44E-02	9.53E-01	4.12E-02	9.61E-01	5.18E-02	6.20E-01
417	3.18E-02	9.63E-01	3.45E-02	9.55E-01	4.08E-02	9.52E-01	5.10E-02	6.11E-01
418	3.16E-02	9.59E-01	3.47E-02	9.60E-01	4.11E-02	9.58E-01	5.06E-02	6.07E-01
419	3.12E-02	9.47E-01	3.46E-02	9.59E-01	4.10E-02	9.56E-01	4.99E-02	5.98E-01
420	3.08E-02	9.35E-01	3.43E-02	9.49E-01	4.15E-02	9.67E-01	4.93E-02	5.90E-01
421	3.04E-02	9.22E-01	3.42E-02	9.45E-01	4.11E-02	9.59E-01	4.82E-02	5.78E-01
422	3.03E-02	9.18E-01	3.41E-02	9.44E-01	4.08E-02	9.52E-01	4.77E-02	5.71E-01
423	3.01E-02	9.12E-01	3.44E-02	9.53E-01	4.10E-02	9.57E-01	4.71E-02	5.65E-01
424	2.99E-02	9.08E-01	3.43E-02	9.50E-01	4.09E-02	9.54E-01	4.68E-02	5.60E-01
425	3.01E-02	9.13E-01	3.41E-02	9.45E-01	4.07E-02	9.49E-01	4.59E-02	5.50E-01
426	2.96E-02	8.98E-01	3.37E-02	9.34E-01	4.08E-02	9.50E-01	4.55E-02	5.45E-01
427	2.95E-02	8.95E-01	3.42E-02	9.47E-01	4.07E-02	9.48E-01	4.48E-02	5.36E-01
428	2.91E-02	8.82E-01	3.40E-02	9.41E-01	4.09E-02	9.53E-01	4.45E-02	5.33E-01
429	2.88E-02	8.74E-01	3.40E-02	9.40E-01	4.07E-02	9.48E-01	4.41E-02	5.28E-01
430	2.89E-02	8.75E-01	3.38E-02	9.35E-01	4.06E-02	9.47E-01	4.41E-02	5.29E-01
431	2.86E-02	8.67E-01	3.33E-02	9.22E-01	4.09E-02	9.55E-01	4.36E-02	5.22E-01
432	2.81E-02	8.52E-01	3.38E-02	9.36E-01	4.10E-02	9.56E-01	4.33E-02	5.18E-01
433	2.80E-02	8.49E-01	3.37E-02	9.33E-01	4.10E-02	9.57E-01	4.28E-02	5.12E-01
434	2.79E-02	8.47E-01	3.38E-02	9.35E-01	4.15E-02	9.68E-01	4.28E-02	5.12E-01
435	2.79E-02	8.45E-01	3.37E-02	9.33E-01	4.18E-02	9.74E-01	4.22E-02	5.06E-01
436	2.78E-02	8.43E-01	3.37E-02	9.33E-01	4.17E-02	9.72E-01	4.21E-02	5.04E-01
437	2.75E-02	8.34E-01	3.38E-02	9.34E-01	4.16E-02	9.71E-01	4.12E-02	4.93E-01
438	2.71E-02	8.21E-01	3.37E-02	9.32E-01	4.16E-02	9.70E-01	4.12E-02	4.93E-01
439	2.71E-02	8.22E-01	3.34E-02	9.24E-01	4.12E-02	9.62E-01	4.08E-02	4.89E-01
440	2.71E-02	8.21E-01	3.36E-02	9.29E-01	4.14E-02	9.65E-01	4.04E-02	4.84E-01
441	2.69E-02	8.15E-01	3.33E-02	9.22E-01	4.11E-02	9.59E-01	4.04E-02	4.83E-01
442	2.69E-02	8.14E-01	3.34E-02	9.23E-01	4.10E-02	9.57E-01	4.00E-02	4.79E-01
443	2.66E-02	8.06E-01	3.34E-02	9.23E-01	4.09E-02	9.53E-01	3.97E-02	4.75E-01
444	2.63E-02	7.96E-01	3.32E-02	9.20E-01	4.08E-02	9.51E-01	3.92E-02	4.70E-01
445	2.61E-02	7.90E-01	3.31E-02	9.17E-01	4.08E-02	9.51E-01	3.89E-02	4.66E-01
446	2.57E-02	7.80E-01	3.31E-02	9.15E-01	4.02E-02	9.38E-01	3.87E-02	4.63E-01
447	2.58E-02	7.82E-01	3.32E-02	9.18E-01	4.02E-02	9.38E-01	3.85E-02	4.61E-01
448	2.59E-02	7.86E-01	3.31E-02	9.16E-01	4.06E-02	9.48E-01	3.82E-02	4.58E-01
449	2.55E-02	7.73E-01	3.25E-02	9.00E-01	4.00E-02	9.32E-01	3.78E-02	4.53E-01
450	2.53E-02	7.66E-01	3.24E-02	8.95E-01	3.98E-02	9.29E-01	3.73E-02	4.47E-01
451	2.53E-02	7.66E-01	3.24E-02	8.98E-01	3.97E-02	9.27E-01	3.70E-02	4.43E-01

452	2.51E-02	7.62E-01	3.23E-02	8.93E-01	3.95E-02	9.22E-01	3.67E-02	4.40E-01
453	2.49E-02	7.54E-01	3.23E-02	8.95E-01	3.97E-02	9.25E-01	3.67E-02	4.40E-01
454	2.47E-02	7.48E-01	3.23E-02	8.94E-01	3.93E-02	9.17E-01	3.61E-02	4.32E-01
455	2.46E-02	7.46E-01	3.22E-02	8.90E-01	3.91E-02	9.12E-01	3.60E-02	4.31E-01
456	2.45E-02	7.43E-01	3.21E-02	8.88E-01	3.90E-02	9.10E-01	3.57E-02	4.27E-01
457	2.45E-02	7.44E-01	3.19E-02	8.83E-01	3.89E-02	9.08E-01	3.55E-02	4.26E-01
458	2.46E-02	7.46E-01	3.18E-02	8.81E-01	3.86E-02	9.00E-01	3.54E-02	4.24E-01
459	2.43E-02	7.37E-01	3.17E-02	8.77E-01	3.83E-02	8.94E-01	3.51E-02	4.20E-01
460	2.41E-02	7.32E-01	3.17E-02	8.77E-01	3.83E-02	8.93E-01	3.47E-02	4.15E-01
461	2.40E-02	7.26E-01	3.15E-02	8.72E-01	3.82E-02	8.92E-01	3.43E-02	4.11E-01
462	2.41E-02	7.31E-01	3.15E-02	8.72E-01	3.82E-02	8.91E-01	3.42E-02	4.10E-01
463	2.39E-02	7.24E-01	3.15E-02	8.71E-01	3.78E-02	8.80E-01	3.40E-02	4.08E-01
464	2.39E-02	7.25E-01	3.11E-02	8.61E-01	3.78E-02	8.81E-01	3.37E-02	4.04E-01
465	2.36E-02	7.15E-01	3.11E-02	8.61E-01	3.77E-02	8.79E-01	3.40E-02	4.07E-01
466	2.36E-02	7.16E-01	3.09E-02	8.56E-01	3.78E-02	8.81E-01	3.37E-02	4.04E-01
467	2.36E-02	7.15E-01	3.10E-02	8.58E-01	3.78E-02	8.80E-01	3.33E-02	3.99E-01
468	2.37E-02	7.17E-01	3.10E-02	8.59E-01	3.76E-02	8.77E-01	3.34E-02	4.00E-01
469	2.38E-02	7.22E-01	3.10E-02	8.57E-01	3.75E-02	8.75E-01	3.32E-02	3.98E-01
470	2.36E-02	7.15E-01	3.07E-02	8.51E-01	3.75E-02	8.75E-01	3.27E-02	3.92E-01
471	2.24E-02	6.79E-01	3.08E-02	8.54E-01	3.75E-02	8.75E-01	3.28E-02	3.93E-01
472	2.34E-02	7.11E-01	3.08E-02	8.52E-01	3.74E-02	8.71E-01	3.25E-02	3.90E-01
473	2.35E-02	7.13E-01	3.10E-02	8.59E-01	3.74E-02	8.73E-01	3.24E-02	3.88E-01
474	2.33E-02	7.05E-01	3.10E-02	8.58E-01	3.72E-02	8.69E-01	3.23E-02	3.87E-01
475	2.33E-02	7.07E-01	3.09E-02	8.56E-01	3.72E-02	8.68E-01	3.23E-02	3.87E-01
476	2.34E-02	7.10E-01	3.10E-02	8.57E-01	3.72E-02	8.68E-01	3.22E-02	3.86E-01
477	2.34E-02	7.09E-01	3.09E-02	8.56E-01	3.73E-02	8.70E-01	3.22E-02	3.86E-01
478	2.31E-02	6.99E-01	3.07E-02	8.50E-01	3.73E-02	8.70E-01	3.21E-02	3.85E-01
479	2.35E-02	7.13E-01	3.10E-02	8.57E-01	3.71E-02	8.65E-01	3.18E-02	3.81E-01
480	2.36E-02	7.17E-01	3.08E-02	8.52E-01	3.72E-02	8.67E-01	3.19E-02	3.82E-01
481	2.35E-02	7.13E-01	3.09E-02	8.55E-01	3.72E-02	8.67E-01	3.17E-02	3.80E-01
482	2.34E-02	7.11E-01	3.10E-02	8.58E-01	3.71E-02	8.64E-01	3.17E-02	3.80E-01
483	2.35E-02	7.11E-01	3.10E-02	8.59E-01	3.76E-02	8.77E-01	3.15E-02	3.78E-01
484	2.37E-02	7.17E-01	3.13E-02	8.66E-01	3.74E-02	8.72E-01	3.15E-02	3.78E-01
485	2.35E-02	7.13E-01	3.11E-02	8.60E-01	3.72E-02	8.69E-01	3.14E-02	3.76E-01
486	2.37E-02	7.20E-01	3.11E-02	8.60E-01	3.73E-02	8.69E-01	3.11E-02	3.73E-01
487	2.36E-02	7.16E-01	3.10E-02	8.58E-01	3.72E-02	8.68E-01	3.09E-02	3.70E-01
488	2.37E-02	7.19E-01	3.11E-02	8.61E-01	3.74E-02	8.71E-01	3.11E-02	3.72E-01
489	2.38E-02	7.23E-01	3.10E-02	8.57E-01	3.73E-02	8.70E-01	3.11E-02	3.72E-01
490	2.39E-02	7.26E-01	3.09E-02	8.54E-01	3.74E-02	8.73E-01	3.09E-02	3.70E-01
491	2.37E-02	7.20E-01	3.09E-02	8.54E-01	3.74E-02	8.72E-01	3.09E-02	3.70E-01
492	2.38E-02	7.23E-01	3.08E-02	8.53E-01	3.69E-02	8.61E-01	3.08E-02	3.68E-01
493	2.41E-02	7.29E-01	3.07E-02	8.49E-01	3.71E-02	8.65E-01	3.07E-02	3.68E-01
494	2.42E-02	7.34E-01	3.05E-02	8.43E-01	3.70E-02	8.63E-01	3.05E-02	3.66E-01
495	2.40E-02	7.28E-01	3.05E-02	8.45E-01	3.67E-02	8.56E-01	3.06E-02	3.66E-01
496	2.43E-02	7.37E-01	3.08E-02	8.53E-01	3.63E-02	8.47E-01	3.02E-02	3.62E-01
497	2.43E-02	7.38E-01	3.06E-02	8.48E-01	3.64E-02	8.49E-01	3.02E-02	3.61E-01
498	2.42E-02	7.35E-01	3.03E-02	8.39E-01	3.60E-02	8.40E-01	3.00E-02	3.59E-01
499	2.46E-02	7.47E-01	3.01E-02	8.33E-01	3.57E-02	8.33E-01	2.99E-02	3.58E-01
500	2.44E-02	7.41E-01	3.02E-02	8.35E-01	3.57E-02	8.32E-01	2.96E-02	3.54E-01

A.2 ANEXO

COEFICIENTE DE ABSORCIÓN ÓPTICO DE SEMILLAS DETERMINADO POR ESPECTROSCOPIA FOTOACÚSTICA

COEFICIENTE DE ABSORCIÓN

		ℓ (mm)	β (cm ⁻¹)
R1	C1	3.166	4.253982105
R2	C1	3.398	7.484097098
R3	C1	3.152	6.875837466
R1	C2	3.189	30.979594
R2	C2	3.987	52.18574264
R3	C2	3.232	35.56500882

Mediciones obtenidas

TRIGO 1					
λ (nm)	q (S.U)	Φ (grados)	β (cm ⁻¹)	ℓ (cm)	ℓ (mm)
600	4.32E-02	-2.11E+01	6.91494948	1.45E-01	1.44614216
601	4.34E-02	-2.17E+01	6.94800824	1.44E-01	1.43926139
602	4.30E-02	-2.10E+01	6.8819008	1.45E-01	1.45308691
603	4.25E-02	-2.14E+01	6.79932319	1.47E-01	1.47073462
604	4.23E-02	-2.15E+01	6.76630977	1.48E-01	1.47791046
605	4.17E-02	-2.13E+01	6.66732979	1.50E-01	1.49985081
606	4.11E-02	-2.12E+01	6.56844015	1.52E-01	1.52243147
607	4.04E-02	-2.11E+01	6.45318283	1.55E-01	1.54962292
608	4.03E-02	-2.17E+01	6.4367275	1.55E-01	1.55358449
609	4.00E-02	-2.11E+01	6.38737649	1.57E-01	1.565588
610	3.97E-02	-2.11E+01	6.33804794	1.58E-01	1.57777286
611	3.92E-02	-2.07E+01	6.25588353	1.60E-01	1.59849523
612	3.87E-02	-2.10E+01	6.17378134	1.62E-01	1.61975286
613	3.86E-02	-2.07E+01	6.15736836	1.62E-01	1.62407045
614	3.83E-02	-2.14E+01	6.10814432	1.64E-01	1.63715844
615	3.83E-02	-2.11E+01	6.10814432	1.64E-01	1.63715844
616	3.77E-02	-2.11E+01	6.00976322	1.66E-01	1.66395907
617	3.71E-02	-2.11E+01	5.91147127	1.69E-01	1.69162625
618	3.68E-02	-2.12E+01	5.86235868	1.71E-01	1.70579805
619	3.64E-02	-2.08E+01	5.79690978	1.73E-01	1.72505703
620	3.61E-02	-2.10E+01	5.74784901	1.74E-01	1.73978126
621	3.58E-02	-2.16E+01	5.69881042	1.75E-01	1.75475218
622	3.51E-02	-2.13E+01	5.58447313	1.79E-01	1.79067922
623	3.49E-02	-2.11E+01	5.55182745	1.80E-01	1.80120872
624	3.46E-02	-2.08E+01	5.50287733	1.82E-01	1.81723113

625	3.42E-02	-2.08E+01	5.43764482	1.84E-01	1.83903148
626	3.38E-02	-2.08E+01	5.37245149	1.86E-01	1.86134766
627	3.36E-02	-2.06E+01	5.33986951	1.87E-01	1.87270494
628	3.33E-02	-2.09E+01	5.29101485	1.89E-01	1.88999659
629	3.29E-02	-2.14E+01	5.22590948	1.91E-01	1.91354252
630	3.27E-02	-2.17E+01	5.19337143	1.93E-01	1.92553145
631	3.28E-02	-2.11E+01	5.20963924	1.92E-01	1.91951871
632	3.19E-02	-2.09E+01	5.06331662	1.97E-01	1.97499006
633	3.14E-02	-2.10E+01	4.98211138	2.01E-01	2.00718114
634	3.14E-02	-2.11E+01	4.98211138	2.01E-01	2.00718114
635	3.11E-02	-2.05E+01	4.93341736	2.03E-01	2.0269925
636	3.11E-02	-2.07E+01	4.93341736	2.03E-01	2.0269925
637	3.07E-02	-2.08E+01	4.86852593	2.05E-01	2.05400981
638	2.99E-02	-2.04E+01	4.73885922	2.11E-01	2.11021251
639	3.00E-02	-2.10E+01	4.7550591	2.10E-01	2.10302328
640	2.99E-02	-2.10E+01	4.73885922	2.11E-01	2.11021251
641	2.93E-02	-2.11E+01	4.64171062	2.15E-01	2.15437816
642	2.92E-02	-2.15E+01	4.62552763	2.16E-01	2.16191553
643	2.89E-02	-2.06E+01	4.5769931	2.18E-01	2.18484052
644	2.87E-02	-2.11E+01	4.54464878	2.20E-01	2.20039006
645	2.83E-02	-2.04E+01	4.479989	2.23E-01	2.23214834
646	2.81E-02	-2.06E+01	4.44767352	2.25E-01	2.24836647
647	2.78E-02	-2.08E+01	4.39921831	2.27E-01	2.27313111
648	2.76E-02	-2.07E+01	4.36692683	2.29E-01	2.2899399
649	2.74E-02	-2.05E+01	4.33464494	2.31E-01	2.30699403
650	2.69E-02	-2.07E+01	4.2539821	2.35E-01	2.35073861
651	2.68E-02	-2.06E+01	4.23785671	2.36E-01	2.35968337
652	2.66E-02	-2.04E+01	4.2056131	2.38E-01	2.3777746
653	2.62E-02	-2.12E+01	4.14115455	2.41E-01	2.41478551
654	2.65E-02	-2.02E+01	4.18949488	2.39E-01	2.3869226
655	2.59E-02	-1.98E+01	4.09283568	2.44E-01	2.44329379
656	2.57E-02	-2.01E+01	4.06063502	2.46E-01	2.462669
657	2.54E-02	-2.03E+01	4.0123519	2.49E-01	2.49230383
658	2.53E-02	-1.94E+01	3.99626228	2.50E-01	2.50233826
659	2.52E-02	-1.96E+01	3.98017505	2.51E-01	2.51245231
660	2.50E-02	-1.99E+01	3.94800771	2.53E-01	2.53292312
661	2.50E-02	-2.07E+01	3.94800771	2.53E-01	2.53292312
662	2.46E-02	-2.00E+01	3.88370155	2.57E-01	2.57486315
663	2.47E-02	-1.95E+01	3.89977453	2.56E-01	2.56425081
664	2.44E-02	-1.91E+01	3.85156271	2.60E-01	2.59634874
665	2.42E-02	-1.97E+01	3.81943336	2.62E-01	2.61818941
666	2.38E-02	-1.91E+01	3.75520311	2.66E-01	2.66297181
667	2.36E-02	-1.89E+01	3.72310218	2.69E-01	2.68593219
668	2.35E-02	-1.90E+01	3.70705527	2.70E-01	2.69755892
669	2.32E-02	-1.98E+01	3.65892872	2.73E-01	2.73304039
670	2.34E-02	-1.97E+01	3.69101073	2.71E-01	2.709285
671	2.29E-02	-1.92E+01	3.61082344	2.77E-01	2.76945139
672	2.25E-02	-1.92E+01	3.54671611	2.82E-01	2.81950957
673	2.24E-02	-1.87E+01	3.53069517	2.83E-01	2.83230342
674	2.24E-02	-1.94E+01	3.53069517	2.83E-01	2.83230342
675	2.22E-02	-1.87E+01	3.49866036	2.86E-01	2.85823686
676	2.19E-02	-1.84E+01	3.45062582	2.90E-01	2.89802503
677	2.16E-02	-1.90E+01	3.40261245	2.94E-01	2.9389183
678	2.12E-02	-1.92E+01	3.33862752	3.00E-01	2.99524278

679	2.13E-02	-1.85E+01	3.35462023	2.98E-01	2.98096336
680	2.14E-02	-1.99E+01	3.37061529	2.97E-01	2.96681738
681	2.11E-02	-1.80E+01	3.32263716	3.01E-01	3.00965754
682	2.08E-02	-1.86E+01	3.27468016	3.05E-01	3.05373334
683	2.10E-02	-1.89E+01	3.30664915	3.02E-01	3.02420957
684	2.05E-02	-1.85E+01	3.22674426	3.10E-01	3.09909903
685	2.05E-02	-1.96E+01	3.22674426	3.10E-01	3.09909903
686	2.04E-02	-1.98E+01	3.21077032	3.11E-01	3.1145174
687	2.02E-02	-1.91E+01	3.17882944	3.15E-01	3.14581206
688	2.01E-02	-1.80E+01	3.16286252	3.16E-01	3.16169291
689	2.00E-02	-1.78E+01	3.14689793	3.18E-01	3.17773255
690	1.97E-02	-1.80E+01	3.0990182	3.23E-01	3.22682842
691	1.94E-02	-1.72E+01	3.0511595	3.28E-01	3.27744256
692	1.91E-02	-1.86E+01	3.0033218	3.33E-01	3.32964652
693	1.90E-02	-1.75E+01	2.98738057	3.35E-01	3.34741415
694	1.93E-02	-1.73E+01	3.03521127	3.29E-01	3.29466357
695	1.87E-02	-1.68E+01	2.93957085	3.40E-01	3.40185711
696	1.84E-02	-1.77E+01	2.89178209	3.46E-01	3.45807523
697	1.84E-02	-1.65E+01	2.89178209	3.46E-01	3.45807523
698	1.81E-02	-1.78E+01	2.84401426	3.52E-01	3.51615677
699	1.85E-02	-1.76E+01	2.90770935	3.44E-01	3.43913329
700	1.82E-02	-1.69E+01	2.85993455	3.50E-01	3.49658352

TRIGO2					
λ (nm)	q (S.U)	Φ (grados)	β (cm-1)	ℓ (cm)	ℓ (mm)
6.00E+02	8.03E-02	-2.56E+01	13.2219293	7.56E-02	7.56E-01
6.01E+02	7.88E-02	-2.60E+01	12.9626334	7.71E-02	7.71E-01
6.02E+02	7.72E-02	-2.62E+01	12.6834041	7.88E-02	7.88E-01
6.03E+02	7.61E-02	-2.60E+01	12.4945089	8.00E-02	8.00E-01
6.04E+02	7.48E-02	-2.56E+01	12.2727067	8.15E-02	8.15E-01
6.05E+02	7.29E-02	-2.53E+01	11.9453712	8.37E-02	8.37E-01
6.06E+02	7.20E-02	-2.55E+01	11.7829391	8.49E-02	8.49E-01
6.07E+02	7.04E-02	-2.55E+01	11.4982854	8.70E-02	8.70E-01
6.08E+02	6.90E-02	-2.55E+01	11.2576819	8.88E-02	8.88E-01
6.09E+02	6.78E-02	-2.57E+01	11.0604906	9.04E-02	9.04E-01
6.10E+02	6.79E-02	-2.53E+01	11.0723202	9.03E-02	9.03E-01
6.11E+02	6.69E-02	-2.55E+01	10.9034598	9.17E-02	9.17E-01
6.12E+02	6.60E-02	-2.57E+01	10.7572093	9.30E-02	9.30E-01
6.13E+02	6.52E-02	-2.51E+01	10.608388	9.43E-02	9.43E-01
6.14E+02	6.38E-02	-2.53E+01	10.3822611	9.63E-02	9.63E-01
6.15E+02	6.29E-02	-2.54E+01	10.2283235	9.78E-02	9.78E-01
6.16E+02	6.21E-02	-2.52E+01	10.0807144	9.92E-02	9.92E-01
6.17E+02	6.13E-02	-2.50E+01	9.94066424	1.01E-01	1.01E+00
6.18E+02	5.98E-02	-2.57E+01	9.69464392	1.03E-01	1.03E+00

6.19E+02	5.92E-02	-2.48E+01	9.58485276	1.04E-01	1.04E+00
6.20E+02	5.84E-02	-2.53E+01	9.45706729	1.06E-01	1.06E+00
6.21E+02	5.78E-02	-2.54E+01	9.35155206	1.07E-01	1.07E+00
6.22E+02	5.77E-02	-2.53E+01	9.33767695	1.07E-01	1.07E+00
6.23E+02	5.69E-02	-2.49E+01	9.20819652	1.09E-01	1.09E+00
6.24E+02	5.64E-02	-2.49E+01	9.12259659	1.10E-01	1.10E+00
6.25E+02	5.53E-02	-2.42E+01	8.94085595	1.12E-01	1.12E+00
6.26E+02	5.51E-02	-2.49E+01	8.89470602	1.12E-01	1.12E+00
6.27E+02	5.48E-02	-2.48E+01	8.84251395	1.13E-01	1.13E+00
6.28E+02	5.48E-02	-2.46E+01	8.85565425	1.13E-01	1.13E+00
6.29E+02	5.45E-02	-2.47E+01	8.7923734	1.14E-01	1.14E+00
6.30E+02	5.38E-02	-2.51E+01	8.6783915	1.15E-01	1.15E+00
6.31E+02	5.33E-02	-2.47E+01	8.6008627	1.16E-01	1.16E+00
6.32E+02	5.26E-02	-2.44E+01	8.47245107	1.18E-01	1.18E+00
6.33E+02	5.19E-02	-2.40E+01	8.36617555	1.20E-01	1.20E+00
6.34E+02	5.23E-02	-2.44E+01	8.42835425	1.19E-01	1.19E+00
6.35E+02	5.19E-02	-2.50E+01	8.36225111	1.20E-01	1.20E+00
6.36E+02	5.15E-02	-2.48E+01	8.28742744	1.21E-01	1.21E+00
6.37E+02	5.10E-02	-2.52E+01	8.21474464	1.22E-01	1.22E+00
6.38E+02	5.04E-02	-2.49E+01	8.11478291	1.23E-01	1.23E+00
6.39E+02	5.00E-02	-2.49E+01	8.03717276	1.24E-01	1.24E+00
6.40E+02	5.01E-02	-2.38E+01	8.05351573	1.24E-01	1.24E+00
6.41E+02	4.94E-02	-2.40E+01	7.9432294	1.26E-01	1.26E+00
6.42E+02	4.90E-02	-2.40E+01	7.87288165	1.27E-01	1.27E+00
6.43E+02	4.84E-02	-2.42E+01	7.78290582	1.28E-01	1.28E+00
6.44E+02	4.83E-02	-2.41E+01	7.75880664	1.29E-01	1.29E+00
6.45E+02	4.81E-02	-2.40E+01	7.72346134	1.29E-01	1.29E+00
6.46E+02	4.80E-02	-2.40E+01	7.70983523	1.30E-01	1.30E+00
6.47E+02	4.73E-02	-2.40E+01	7.60180949	1.32E-01	1.32E+00
6.48E+02	4.71E-02	-2.41E+01	7.56616626	1.32E-01	1.32E+00
6.49E+02	4.72E-02	-2.36E+01	7.57407912	1.32E-01	1.32E+00
6.50E+02	4.66E-02	-2.36E+01	7.4840971	1.34E-01	1.34E+00
6.51E+02	4.62E-02	-2.39E+01	7.41741095	1.35E-01	1.35E+00
6.52E+02	4.60E-02	-2.40E+01	7.37651374	1.36E-01	1.36E+00
6.53E+02	4.55E-02	-2.36E+01	7.3020135	1.37E-01	1.37E+00
6.54E+02	4.54E-02	-2.38E+01	7.28054832	1.37E-01	1.37E+00
6.55E+02	4.50E-02	-2.35E+01	7.20925107	1.39E-01	1.39E+00
6.56E+02	4.41E-02	-2.34E+01	7.06837612	1.41E-01	1.41E+00
6.57E+02	4.40E-02	-2.33E+01	7.04622251	1.42E-01	1.42E+00
6.58E+02	4.37E-02	-2.30E+01	6.98950631	1.43E-01	1.43E+00
6.59E+02	4.33E-02	-2.34E+01	6.93880698	1.44E-01	1.44E+00
6.60E+02	4.32E-02	-2.29E+01	6.91331664	1.45E-01	1.45E+00
6.61E+02	4.33E-02	-2.24E+01	6.92637345	1.44E-01	1.44E+00
6.62E+02	4.25E-02	-2.33E+01	6.79824515	1.47E-01	1.47E+00
6.63E+02	4.22E-02	-2.26E+01	6.75398018	1.48E-01	1.48E+00
6.64E+02	4.26E-02	-2.26E+01	6.82063871	1.47E-01	1.47E+00
6.65E+02	4.29E-02	-2.27E+01	6.86244811	1.46E-01	1.46E+00
6.66E+02	4.24E-02	-2.27E+01	6.78904999	1.47E-01	1.47E+00
6.67E+02	4.19E-02	-2.25E+01	6.69756848	1.49E-01	1.49E+00
6.68E+02	4.20E-02	-2.32E+01	6.7130803	1.49E-01	1.49E+00
6.69E+02	4.12E-02	-2.22E+01	6.58043889	1.52E-01	1.52E+00
6.70E+02	4.13E-02	-2.26E+01	6.59978829	1.52E-01	1.52E+00
6.71E+02	4.06E-02	-2.26E+01	6.48711996	1.54E-01	1.54E+00
6.72E+02	4.08E-02	-2.26E+01	6.52718206	1.53E-01	1.53E+00

6.73E+02	4.07E-02	-2.20E+01	6.50560642	1.54E-01	1.54E+00
6.74E+02	4.02E-02	-2.21E+01	6.42453571	1.56E-01	1.56E+00
6.75E+02	3.99E-02	-2.23E+01	6.37020596	1.57E-01	1.57E+00
6.76E+02	3.94E-02	-2.18E+01	6.28325544	1.59E-01	1.59E+00
6.77E+02	3.93E-02	-2.24E+01	6.27698727	1.59E-01	1.59E+00
6.78E+02	3.94E-02	-2.22E+01	6.29497288	1.59E-01	1.59E+00
6.79E+02	3.89E-02	-2.17E+01	6.20813519	1.61E-01	1.61E+00
6.80E+02	3.88E-02	-2.18E+01	6.19688682	1.61E-01	1.61E+00
6.81E+02	3.82E-02	-2.15E+01	6.0885282	1.64E-01	1.64E+00
6.82E+02	3.80E-02	-2.17E+01	6.06437175	1.65E-01	1.65E+00
6.83E+02	3.79E-02	-2.19E+01	6.04752937	1.65E-01	1.65E+00
6.84E+02	3.76E-02	-2.18E+01	6.00056587	1.67E-01	1.67E+00
6.85E+02	3.73E-02	-2.21E+01	5.93993073	1.68E-01	1.68E+00
6.86E+02	3.72E-02	-2.19E+01	5.93271444	1.69E-01	1.69E+00
6.87E+02	3.67E-02	-2.15E+01	5.85313617	1.71E-01	1.71E+00
6.88E+02	3.67E-02	-2.10E+01	5.8473543	1.71E-01	1.71E+00
6.89E+02	3.69E-02	-2.12E+01	5.87561525	1.70E-01	1.70E+00
6.90E+02	3.60E-02	-2.18E+01	5.72595218	1.75E-01	1.75E+00
6.91E+02	3.56E-02	-2.17E+01	5.65908906	1.77E-01	1.77E+00
6.92E+02	3.59E-02	-2.12E+01	5.72046313	1.75E-01	1.75E+00
6.93E+02	3.53E-02	-2.11E+01	5.61541234	1.78E-01	1.78E+00
6.94E+02	3.52E-02	-2.07E+01	5.60402117	1.78E-01	1.78E+00
6.95E+02	3.49E-02	-2.10E+01	5.55957175	1.80E-01	1.80E+00
6.96E+02	3.45E-02	-2.10E+01	5.47851329	1.83E-01	1.83E+00
6.97E+02	3.44E-02	-2.12E+01	5.46634719	1.83E-01	1.83E+00
6.98E+02	3.44E-02	-2.10E+01	5.46360103	1.83E-01	1.83E+00
6.99E+02	3.39E-02	-2.12E+01	5.39006776	1.86E-01	1.86E+00
7.00E+02	3.35E-02	-2.13E+01	5.32887692	1.88E-01	1.88E+00

TRIGO3					
λ (nm)	θ (S.U)	Φ (grados)	β (cm-1)	ℓ (cm)	ℓ (mm)
6.00E+02	5.64E-02	-2.64E+01	9.11292007	1.10E-01	1.10E+00
6.01E+02	5.64E-02	-2.66E+01	9.11292007	1.10E-01	1.10E+00
6.02E+02	5.84E-02	-2.67E+01	9.4488919	1.06E-01	1.06E+00
6.03E+02	5.86E-02	-2.63E+01	9.49811268	1.05E-01	1.05E+00
6.04E+02	5.83E-02	-2.64E+01	9.44433411	1.06E-01	1.06E+00
6.05E+02	5.79E-02	-2.70E+01	9.36443661	1.07E-01	1.07E+00
6.06E+02	5.74E-02	-2.70E+01	9.28323829	1.08E-01	1.08E+00
6.07E+02	5.71E-02	-2.68E+01	9.23694866	1.08E-01	1.08E+00
6.08E+02	5.62E-02	-2.67E+01	9.08413853	1.10E-01	1.10E+00
6.09E+02	5.61E-02	-2.65E+01	9.07348589	1.10E-01	1.10E+00
6.10E+02	5.59E-02	-2.68E+01	9.03926562	1.11E-01	1.11E+00
6.11E+02	5.58E-02	-2.63E+01	9.02117372	1.11E-01	1.11E+00
6.12E+02	5.54E-02	-2.65E+01	8.9523342	1.12E-01	1.12E+00
6.13E+02	5.48E-02	-2.67E+01	8.85630037	1.13E-01	1.13E+00
6.14E+02	5.44E-02	-2.68E+01	8.78673846	1.14E-01	1.14E+00
6.15E+02	5.41E-02	-2.66E+01	8.72328619	1.15E-01	1.15E+00
6.16E+02	5.41E-02	-2.64E+01	8.73259846	1.15E-01	1.15E+00
6.17E+02	5.40E-02	-2.65E+01	8.7206797	1.15E-01	1.15E+00
6.18E+02	5.33E-02	-2.61E+01	8.60223583	1.16E-01	1.16E+00
6.19E+02	5.32E-02	-2.62E+01	8.57380981	1.17E-01	1.17E+00

6.20E+02	5.25E-02	-2.60E+01	8.46811367	1.18E-01	1.18E+00
6.21E+02	5.19E-02	-2.57E+01	8.36055106	1.20E-01	1.20E+00
6.22E+02	5.14E-02	-2.59E+01	8.27992583	1.21E-01	1.21E+00
6.23E+02	5.13E-02	-2.59E+01	8.26295121	1.21E-01	1.21E+00
6.24E+02	5.12E-02	-2.61E+01	8.2419705	1.21E-01	1.21E+00
6.25E+02	5.08E-02	-2.60E+01	8.18436014	1.22E-01	1.22E+00
6.26E+02	5.05E-02	-2.52E+01	8.1278501	1.23E-01	1.23E+00
6.27E+02	5.06E-02	-2.55E+01	8.14312528	1.23E-01	1.23E+00
6.28E+02	5.03E-02	-2.60E+01	8.09181931	1.24E-01	1.24E+00
6.29E+02	4.99E-02	-2.60E+01	8.0312581	1.25E-01	1.25E+00
6.30E+02	4.94E-02	-2.62E+01	7.94395017	1.26E-01	1.26E+00
6.31E+02	4.93E-02	-2.59E+01	7.92629919	1.26E-01	1.26E+00
6.32E+02	4.88E-02	-2.59E+01	7.8363973	1.28E-01	1.28E+00
6.33E+02	4.86E-02	-2.53E+01	7.81431928	1.28E-01	1.28E+00
6.34E+02	4.81E-02	-2.49E+01	7.73298431	1.29E-01	1.29E+00
6.35E+02	4.74E-02	-2.56E+01	7.60756932	1.31E-01	1.31E+00
6.36E+02	4.72E-02	-2.53E+01	7.57751448	1.32E-01	1.32E+00
6.37E+02	4.66E-02	-2.57E+01	7.47774577	1.34E-01	1.34E+00
6.38E+02	4.65E-02	-2.55E+01	7.45681045	1.34E-01	1.34E+00
6.39E+02	4.57E-02	-2.54E+01	7.32219727	1.37E-01	1.37E+00
6.40E+02	4.59E-02	-2.54E+01	7.36638811	1.36E-01	1.36E+00
6.41E+02	4.57E-02	-2.50E+01	7.33153735	1.36E-01	1.36E+00
6.42E+02	4.54E-02	-2.57E+01	7.2761573	1.37E-01	1.37E+00
6.43E+02	4.55E-02	-2.54E+01	7.28820485	1.37E-01	1.37E+00
6.44E+02	4.51E-02	-2.51E+01	7.22403083	1.38E-01	1.38E+00
6.45E+02	4.48E-02	-2.52E+01	7.18461487	1.39E-01	1.39E+00
6.46E+02	4.37E-02	-2.45E+01	6.9915025	1.43E-01	1.43E+00
6.47E+02	4.45E-02	-2.54E+01	7.13617076	1.40E-01	1.40E+00
6.48E+02	4.37E-02	-2.51E+01	6.99012815	1.43E-01	1.43E+00
6.49E+02	4.39E-02	-2.53E+01	7.02498168	1.42E-01	1.42E+00
6.50E+02	4.30E-02	-2.52E+01	6.87583747	1.45E-01	1.45E+00
6.51E+02	4.28E-02	-2.48E+01	6.84563653	1.46E-01	1.46E+00
6.52E+02	4.26E-02	-2.47E+01	6.81235636	1.47E-01	1.47E+00
6.53E+02	4.22E-02	-2.47E+01	6.74583824	1.48E-01	1.48E+00
6.54E+02	4.22E-02	-2.47E+01	6.7573335	1.48E-01	1.48E+00
6.55E+02	4.22E-02	-2.47E+01	6.74919296	1.48E-01	1.48E+00
6.56E+02	4.19E-02	-2.41E+01	6.69253141	1.49E-01	1.49E+00
6.57E+02	4.13E-02	-2.52E+01	6.60747265	1.51E-01	1.51E+00
6.58E+02	4.12E-02	-2.46E+01	6.58113418	1.52E-01	1.52E+00
6.59E+02	4.12E-02	-2.42E+01	6.57799884	1.52E-01	1.52E+00
6.60E+02	4.09E-02	-2.41E+01	6.52808944	1.53E-01	1.53E+00
6.61E+02	4.05E-02	-2.37E+01	6.47699812	1.54E-01	1.54E+00
6.62E+02	4.00E-02	-2.36E+01	6.39284019	1.56E-01	1.56E+00
6.63E+02	3.98E-02	-2.36E+01	6.3591611	1.57E-01	1.57E+00
6.64E+02	4.00E-02	-2.41E+01	6.3819805	1.57E-01	1.57E+00
6.65E+02	3.95E-02	-2.45E+01	6.3100311	1.58E-01	1.58E+00
6.66E+02	3.95E-02	-2.40E+01	6.30482137	1.59E-01	1.59E+00
6.67E+02	3.94E-02	-2.34E+01	6.28192619	1.59E-01	1.59E+00
6.68E+02	3.87E-02	-2.30E+01	6.17967913	1.62E-01	1.62E+00
6.69E+02	3.85E-02	-2.32E+01	6.13351652	1.63E-01	1.63E+00
6.70E+02	3.88E-02	-2.36E+01	6.18916584	1.62E-01	1.62E+00
6.71E+02	3.85E-02	-2.40E+01	6.14135825	1.63E-01	1.63E+00
6.72E+02	3.80E-02	-2.44E+01	6.05561902	1.65E-01	1.65E+00
6.73E+02	3.75E-02	-2.38E+01	5.97939788	1.67E-01	1.67E+00

6.74E+02	3.79E-02	-2.33E+01	6.0419191	1.66E-01	1.66E+00
6.75E+02	3.75E-02	-2.31E+01	5.96972471	1.68E-01	1.68E+00
6.76E+02	3.70E-02	-2.32E+01	5.8924637	1.70E-01	1.70E+00
6.77E+02	3.69E-02	-2.32E+01	5.88471033	1.70E-01	1.70E+00
6.78E+02	3.68E-02	-2.37E+01	5.854524	1.71E-01	1.71E+00
6.79E+02	3.66E-02	-2.33E+01	5.82587096	1.72E-01	1.72E+00
6.80E+02	3.62E-02	-2.39E+01	5.7651682	1.73E-01	1.73E+00
6.81E+02	3.62E-02	-2.39E+01	5.76300806	1.74E-01	1.74E+00
6.82E+02	3.60E-02	-2.27E+01	5.73062904	1.75E-01	1.75E+00
6.83E+02	3.56E-02	-2.33E+01	5.66018197	1.77E-01	1.77E+00
6.84E+02	3.60E-02	-2.27E+01	5.72802985	1.75E-01	1.75E+00
6.85E+02	3.58E-02	-2.29E+01	5.69403688	1.76E-01	1.76E+00
6.86E+02	3.49E-02	-2.34E+01	5.5555453	1.80E-01	1.80E+00
6.87E+02	3.48E-02	-2.29E+01	5.53434809	1.81E-01	1.81E+00
6.88E+02	3.49E-02	-2.23E+01	5.55738631	1.80E-01	1.80E+00
6.89E+02	3.45E-02	-2.25E+01	5.48668949	1.82E-01	1.82E+00
6.90E+02	3.43E-02	-2.25E+01	5.45456889	1.83E-01	1.83E+00
6.91E+02	3.43E-02	-2.25E+01	5.45207577	1.83E-01	1.83E+00
6.92E+02	3.36E-02	-2.25E+01	5.33829116	1.87E-01	1.87E+00
6.93E+02	3.34E-02	-2.28E+01	5.30010341	1.89E-01	1.89E+00
6.94E+02	3.34E-02	-2.25E+01	5.31136991	1.88E-01	1.88E+00
6.95E+02	3.27E-02	-2.25E+01	5.18812395	1.93E-01	1.93E+00
6.96E+02	3.25E-02	-2.21E+01	5.16158466	1.94E-01	1.94E+00
6.97E+02	3.29E-02	-2.28E+01	5.22739019	1.91E-01	1.91E+00
6.98E+02	3.27E-02	-2.19E+01	5.18758718	1.93E-01	1.93E+00
6.99E+02	3.24E-02	-2.20E+01	5.14192426	1.94E-01	1.94E+00
7.00E+02	3.20E-02	-2.22E+01	5.08478769	1.97E-01	1.97E+00

TRIGO COLOREADO1

λ (nm)	q (S.U)	Φ (grados)	β (cm-1)	ℓ (cm)	ℓ (mm)
6.00E+02	1.43E-01	-8.42E+00	2.48E+01	4.04E-02	4.04E-01
6.01E+02	1.44E-01	-8.48E+00	2.51E+01	3.99E-02	3.99E-01
6.02E+02	1.47E-01	-8.45E+00	2.56E+01	3.91E-02	3.91E-01
6.03E+02	1.47E-01	-8.52E+00	2.56E+01	3.91E-02	3.91E-01
6.04E+02	1.48E-01	-8.32E+00	2.58E+01	3.87E-02	3.87E-01
6.05E+02	1.50E-01	-8.12E+00	2.62E+01	3.81E-02	3.81E-01
6.06E+02	1.52E-01	-9.54E+00	2.67E+01	3.75E-02	3.75E-01
6.07E+02	1.53E-01	-8.26E+00	2.67E+01	3.74E-02	3.74E-01
6.08E+02	1.54E-01	-8.04E+00	2.69E+01	3.71E-02	3.71E-01
6.09E+02	1.55E-01	-8.21E+00	2.71E+01	3.69E-02	3.69E-01
6.10E+02	1.56E-01	-8.07E+00	2.75E+01	3.64E-02	3.64E-01
6.11E+02	1.57E-01	-7.97E+00	2.76E+01	3.62E-02	3.62E-01
6.12E+02	1.57E-01	-7.70E+00	2.77E+01	3.61E-02	3.61E-01
6.13E+02	1.58E-01	-7.58E+00	2.78E+01	3.60E-02	3.60E-01
6.14E+02	1.59E-01	-7.29E+00	2.81E+01	3.56E-02	3.56E-01
6.15E+02	1.61E-01	-7.88E+00	2.84E+01	3.52E-02	3.52E-01
6.16E+02	1.61E-01	-7.65E+00	2.85E+01	3.51E-02	3.51E-01
6.17E+02	1.62E-01	-7.54E+00	2.86E+01	3.50E-02	3.50E-01
6.18E+02	1.62E-01	-7.23E+00	2.86E+01	3.49E-02	3.49E-01
6.19E+02	1.62E-01	-6.59E+00	2.86E+01	3.50E-02	3.50E-01
6.20E+02	1.61E-01	-7.33E+00	2.84E+01	3.52E-02	3.52E-01

6.21E+02	1.63E-01	-7.27E+00	2.88E+01	3.48E-02	3.48E-01
6.22E+02	1.63E-01	-7.40E+00	2.88E+01	3.47E-02	3.47E-01
6.23E+02	1.64E-01	-7.51E+00	2.91E+01	3.44E-02	3.44E-01
6.24E+02	1.65E-01	-7.51E+00	2.92E+01	3.43E-02	3.43E-01
6.25E+02	1.65E-01	-7.04E+00	2.92E+01	3.42E-02	3.42E-01
6.26E+02	1.65E-01	-7.12E+00	2.93E+01	3.42E-02	3.42E-01
6.27E+02	1.66E-01	-7.34E+00	2.95E+01	3.39E-02	3.39E-01
6.28E+02	1.67E-01	-7.02E+00	2.95E+01	3.38E-02	3.38E-01
6.29E+02	1.67E-01	-6.97E+00	2.97E+01	3.37E-02	3.37E-01
6.30E+02	1.67E-01	-6.94E+00	2.97E+01	3.37E-02	3.37E-01
6.31E+02	1.67E-01	-7.10E+00	2.97E+01	3.37E-02	3.37E-01
6.32E+02	1.68E-01	-6.69E+00	2.98E+01	3.36E-02	3.36E-01
6.33E+02	1.68E-01	-6.95E+00	2.98E+01	3.36E-02	3.36E-01
6.34E+02	1.68E-01	-6.99E+00	2.98E+01	3.36E-02	3.36E-01
6.35E+02	1.68E-01	-7.13E+00	2.99E+01	3.34E-02	3.34E-01
6.36E+02	1.68E-01	-7.11E+00	2.98E+01	3.35E-02	3.35E-01
6.37E+02	1.69E-01	-7.45E+00	2.99E+01	3.34E-02	3.34E-01
6.38E+02	1.69E-01	-7.52E+00	3.01E+01	3.32E-02	3.32E-01
6.39E+02	1.69E-01	-7.05E+00	3.00E+01	3.34E-02	3.34E-01
6.40E+02	1.71E-01	-6.67E+00	3.04E+01	3.29E-02	3.29E-01
6.41E+02	1.70E-01	-6.63E+00	3.03E+01	3.30E-02	3.30E-01
6.42E+02	1.70E-01	-6.38E+00	3.02E+01	3.31E-02	3.31E-01
6.43E+02	1.70E-01	-6.89E+00	3.01E+01	3.32E-02	3.32E-01
6.44E+02	1.70E-01	-6.44E+00	3.02E+01	3.32E-02	3.32E-01
6.45E+02	1.71E-01	-6.79E+00	3.04E+01	3.29E-02	3.29E-01
6.46E+02	1.72E-01	-6.75E+00	3.06E+01	3.27E-02	3.27E-01
6.47E+02	1.72E-01	-6.98E+00	3.06E+01	3.27E-02	3.27E-01
6.48E+02	1.72E-01	-6.69E+00	3.06E+01	3.27E-02	3.27E-01
6.49E+02	1.73E-01	-6.68E+00	3.07E+01	3.25E-02	3.25E-01
6.50E+02	1.74E-01	-6.57E+00	3.10E+01	3.23E-02	3.23E-01
6.51E+02	1.74E-01	-6.45E+00	3.11E+01	3.21E-02	3.21E-01
6.52E+02	1.75E-01	-6.40E+00	3.12E+01	3.20E-02	3.20E-01
6.53E+02	1.75E-01	-6.32E+00	3.13E+01	3.20E-02	3.20E-01
6.54E+02	1.75E-01	-6.08E+00	3.13E+01	3.20E-02	3.20E-01
6.55E+02	1.77E-01	-6.47E+00	3.16E+01	3.17E-02	3.17E-01
6.56E+02	1.76E-01	-6.51E+00	3.15E+01	3.17E-02	3.17E-01
6.57E+02	1.77E-01	-6.25E+00	3.16E+01	3.16E-02	3.16E-01
6.58E+02	1.77E-01	-6.52E+00	3.16E+01	3.16E-02	3.16E-01
6.59E+02	1.78E-01	-6.04E+00	3.20E+01	3.13E-02	3.13E-01
6.60E+02	1.79E-01	-6.02E+00	3.21E+01	3.11E-02	3.11E-01
6.61E+02	1.80E-01	-6.06E+00	3.22E+01	3.10E-02	3.10E-01
6.62E+02	1.80E-01	-6.20E+00	3.22E+01	3.10E-02	3.10E-01
6.63E+02	1.80E-01	-5.82E+00	3.23E+01	3.09E-02	3.09E-01
6.64E+02	1.79E-01	-5.70E+00	3.21E+01	3.11E-02	3.11E-01
6.65E+02	1.80E-01	-5.84E+00	3.23E+01	3.10E-02	3.10E-01
6.66E+02	1.80E-01	-5.81E+00	3.23E+01	3.10E-02	3.10E-01
6.67E+02	1.81E-01	-5.72E+00	3.24E+01	3.08E-02	3.08E-01
6.68E+02	1.81E-01	-5.92E+00	3.25E+01	3.08E-02	3.08E-01
6.69E+02	1.81E-01	-5.43E+00	3.25E+01	3.08E-02	3.08E-01
6.70E+02	1.82E-01	-5.52E+00	3.27E+01	3.06E-02	3.06E-01
6.71E+02	1.83E-01	-5.81E+00	3.29E+01	3.04E-02	3.04E-01
6.72E+02	1.84E-01	-5.78E+00	3.31E+01	3.02E-02	3.02E-01
6.73E+02	1.86E-01	-5.63E+00	3.35E+01	2.99E-02	2.99E-01
6.74E+02	1.86E-01	-5.64E+00	3.35E+01	2.99E-02	2.99E-01

6.75E+02	1.85E-01	-5.56E+00	3.33E+01	3.00E-02	3.00E-01
6.76E+02	1.85E-01	-5.59E+00	3.34E+01	2.99E-02	2.99E-01
6.77E+02	1.84E-01	-5.70E+00	3.32E+01	3.01E-02	3.01E-01
6.78E+02	1.85E-01	-5.90E+00	3.33E+01	3.00E-02	3.00E-01
6.79E+02	1.85E-01	-5.46E+00	3.34E+01	2.99E-02	2.99E-01
6.80E+02	1.85E-01	-5.56E+00	3.34E+01	3.00E-02	3.00E-01
6.81E+02	1.84E-01	-5.28E+00	3.32E+01	3.01E-02	3.01E-01
6.82E+02	1.83E-01	-5.49E+00	3.30E+01	3.03E-02	3.03E-01
6.83E+02	1.84E-01	-5.23E+00	3.32E+01	3.01E-02	3.01E-01
6.84E+02	1.84E-01	-5.67E+00	3.32E+01	3.01E-02	3.01E-01
6.85E+02	1.84E-01	-5.75E+00	3.32E+01	3.01E-02	3.01E-01
6.86E+02	1.84E-01	-5.60E+00	3.32E+01	3.02E-02	3.02E-01
6.87E+02	1.84E-01	-5.51E+00	3.32E+01	3.02E-02	3.02E-01
6.88E+02	1.83E-01	-5.74E+00	3.29E+01	3.04E-02	3.04E-01
6.89E+02	1.82E-01	-5.52E+00	3.28E+01	3.05E-02	3.05E-01
6.90E+02	1.81E-01	-5.86E+00	3.25E+01	3.08E-02	3.08E-01
6.91E+02	1.81E-01	-5.66E+00	3.25E+01	3.08E-02	3.08E-01
6.92E+02	1.80E-01	-5.99E+00	3.22E+01	3.10E-02	3.10E-01
6.93E+02	1.80E-01	-5.89E+00	3.23E+01	3.10E-02	3.10E-01
6.94E+02	1.78E-01	-5.78E+00	3.19E+01	3.13E-02	3.13E-01
6.95E+02	1.77E-01	-5.91E+00	3.16E+01	3.17E-02	3.17E-01
6.96E+02	1.76E-01	-5.87E+00	3.14E+01	3.19E-02	3.19E-01
6.97E+02	1.74E-01	-5.89E+00	3.11E+01	3.22E-02	3.22E-01
6.98E+02	1.73E-01	-5.75E+00	3.08E+01	3.25E-02	3.25E-01
6.99E+02	1.72E-01	-6.10E+00	3.06E+01	3.27E-02	3.27E-01
7.00E+02	1.70E-01	-5.89E+00	3.03E+01	3.30E-02	3.30E-01

TRIGO COLOREADO2

λ (nm)	θ (S.U)	Φ (grados)	β (cm-1)	ℓ (cm)	ℓ (mm)
6.00E+02	2.35E-01	-1.85E+01	4.43E+01	2.26E-02	2.26E-01
6.01E+02	2.38E-01	-1.81E+01	4.51E+01	2.22E-02	2.22E-01
6.02E+02	2.38E-01	-1.83E+01	4.51E+01	2.22E-02	2.22E-01
6.03E+02	2.39E-01	-1.83E+01	4.53E+01	2.21E-02	2.21E-01
6.04E+02	2.41E-01	-1.85E+01	4.58E+01	2.18E-02	2.18E-01
6.05E+02	2.42E-01	-1.82E+01	4.62E+01	2.16E-02	2.16E-01
6.06E+02	2.44E-01	-1.84E+01	4.66E+01	2.15E-02	2.15E-01
6.07E+02	2.44E-01	-1.83E+01	4.67E+01	2.14E-02	2.14E-01
6.08E+02	2.45E-01	-1.78E+01	4.69E+01	2.13E-02	2.13E-01
6.09E+02	2.46E-01	-1.79E+01	4.71E+01	2.12E-02	2.12E-01
6.10E+02	2.47E-01	-1.78E+01	4.72E+01	2.12E-02	2.12E-01
6.11E+02	2.48E-01	-1.81E+01	4.76E+01	2.10E-02	2.10E-01
6.12E+02	2.49E-01	-1.79E+01	4.78E+01	2.09E-02	2.09E-01
6.13E+02	2.50E-01	-1.78E+01	4.80E+01	2.08E-02	2.08E-01
6.14E+02	2.51E-01	-1.77E+01	4.82E+01	2.08E-02	2.08E-01
6.15E+02	2.52E-01	-1.80E+01	4.84E+01	2.07E-02	2.07E-01
6.16E+02	2.53E-01	-1.80E+01	4.88E+01	2.05E-02	2.05E-01
6.17E+02	2.54E-01	-1.75E+01	4.90E+01	2.04E-02	2.04E-01
6.18E+02	2.54E-01	-1.77E+01	4.90E+01	2.04E-02	2.04E-01

6.19E+02	2.53E-01	-1.79E+01	4.88E+01	2.05E-02	2.05E-01
6.20E+02	2.56E-01	-1.77E+01	4.94E+01	2.03E-02	2.03E-01
6.21E+02	2.57E-01	-1.77E+01	4.96E+01	2.01E-02	2.01E-01
6.22E+02	2.57E-01	-1.76E+01	4.97E+01	2.01E-02	2.01E-01
6.23E+02	2.57E-01	-1.78E+01	4.96E+01	2.01E-02	2.01E-01
6.24E+02	2.56E-01	-1.76E+01	4.96E+01	2.02E-02	2.02E-01
6.25E+02	2.56E-01	-1.72E+01	4.95E+01	2.02E-02	2.02E-01
6.26E+02	2.58E-01	-1.77E+01	5.00E+01	2.00E-02	2.00E-01
6.27E+02	2.61E-01	-1.80E+01	5.06E+01	1.98E-02	1.98E-01
6.28E+02	2.60E-01	-1.76E+01	5.05E+01	1.98E-02	1.98E-01
6.29E+02	2.60E-01	-1.76E+01	5.05E+01	1.98E-02	1.98E-01
6.30E+02	2.60E-01	-1.72E+01	5.05E+01	1.98E-02	1.98E-01
6.31E+02	2.62E-01	-1.76E+01	5.09E+01	1.96E-02	1.96E-01
6.32E+02	2.61E-01	-1.73E+01	5.08E+01	1.97E-02	1.97E-01
6.33E+02	2.61E-01	-1.75E+01	5.07E+01	1.97E-02	1.97E-01
6.34E+02	2.61E-01	-1.73E+01	5.06E+01	1.98E-02	1.98E-01
6.35E+02	2.60E-01	-1.74E+01	5.06E+01	1.98E-02	1.98E-01
6.36E+02	2.61E-01	-1.76E+01	5.07E+01	1.97E-02	1.97E-01
6.37E+02	2.61E-01	-1.77E+01	5.07E+01	1.97E-02	1.97E-01
6.38E+02	2.61E-01	-1.75E+01	5.06E+01	1.98E-02	1.98E-01
6.39E+02	2.61E-01	-1.76E+01	5.08E+01	1.97E-02	1.97E-01
6.40E+02	2.62E-01	-1.76E+01	5.09E+01	1.96E-02	1.96E-01
6.41E+02	2.62E-01	-1.74E+01	5.09E+01	1.97E-02	1.97E-01
6.42E+02	2.62E-01	-1.78E+01	5.10E+01	1.96E-02	1.96E-01
6.43E+02	2.63E-01	-1.78E+01	5.11E+01	1.96E-02	1.96E-01
6.44E+02	2.63E-01	-1.73E+01	5.13E+01	1.95E-02	1.95E-01
6.45E+02	2.64E-01	-1.70E+01	5.14E+01	1.95E-02	1.95E-01
6.46E+02	2.64E-01	-1.74E+01	5.14E+01	1.95E-02	1.95E-01
6.47E+02	2.63E-01	-1.75E+01	5.13E+01	1.95E-02	1.95E-01
6.48E+02	2.64E-01	-1.74E+01	5.14E+01	1.95E-02	1.95E-01
6.49E+02	2.65E-01	-1.72E+01	5.16E+01	1.94E-02	1.94E-01
6.50E+02	2.67E-01	-1.76E+01	5.22E+01	1.92E-02	1.92E-01
6.51E+02	2.67E-01	-1.73E+01	5.22E+01	1.91E-02	1.91E-01
6.52E+02	2.67E-01	-1.74E+01	5.22E+01	1.92E-02	1.92E-01
6.53E+02	2.68E-01	-1.75E+01	5.24E+01	1.91E-02	1.91E-01
6.54E+02	2.68E-01	-1.74E+01	5.25E+01	1.90E-02	1.90E-01
6.55E+02	2.69E-01	-1.73E+01	5.27E+01	1.90E-02	1.90E-01
6.56E+02	2.70E-01	-1.71E+01	5.28E+01	1.89E-02	1.89E-01
6.57E+02	2.70E-01	-1.74E+01	5.30E+01	1.89E-02	1.89E-01
6.58E+02	2.70E-01	-1.72E+01	5.30E+01	1.89E-02	1.89E-01
6.59E+02	2.71E-01	-1.73E+01	5.33E+01	1.88E-02	1.88E-01
6.60E+02	2.73E-01	-1.73E+01	5.37E+01	1.86E-02	1.86E-01
6.61E+02	2.74E-01	-1.70E+01	5.40E+01	1.85E-02	1.85E-01
6.62E+02	2.73E-01	-1.74E+01	5.38E+01	1.86E-02	1.86E-01
6.63E+02	2.74E-01	-1.71E+01	5.39E+01	1.85E-02	1.85E-01
6.64E+02	2.74E-01	-1.73E+01	5.40E+01	1.85E-02	1.85E-01
6.65E+02	2.74E-01	-1.71E+01	5.39E+01	1.86E-02	1.86E-01
6.66E+02	2.73E-01	-1.68E+01	5.37E+01	1.86E-02	1.86E-01
6.67E+02	2.74E-01	-1.73E+01	5.39E+01	1.85E-02	1.85E-01
6.68E+02	2.75E-01	-1.74E+01	5.43E+01	1.84E-02	1.84E-01
6.69E+02	2.75E-01	-1.72E+01	5.42E+01	1.84E-02	1.84E-01
6.70E+02	2.76E-01	-1.70E+01	5.46E+01	1.83E-02	1.83E-01
6.71E+02	2.77E-01	-1.71E+01	5.47E+01	1.83E-02	1.83E-01
6.72E+02	2.76E-01	-1.69E+01	5.46E+01	1.83E-02	1.83E-01

6.73E+02	2.77E-01	-1.68E+01	5.47E+01	1.83E-02	1.83E-01
6.74E+02	2.78E-01	-1.71E+01	5.51E+01	1.82E-02	1.82E-01
6.75E+02	2.78E-01	-1.69E+01	5.50E+01	1.82E-02	1.82E-01
6.76E+02	2.79E-01	-1.71E+01	5.52E+01	1.81E-02	1.81E-01
6.77E+02	2.78E-01	-1.72E+01	5.51E+01	1.82E-02	1.82E-01
6.78E+02	2.78E-01	-1.70E+01	5.51E+01	1.81E-02	1.81E-01
6.79E+02	2.78E-01	-1.74E+01	5.51E+01	1.82E-02	1.82E-01
6.80E+02	2.78E-01	-1.68E+01	5.51E+01	1.81E-02	1.81E-01
6.81E+02	2.79E-01	-1.67E+01	5.52E+01	1.81E-02	1.81E-01
6.82E+02	2.78E-01	-1.71E+01	5.51E+01	1.82E-02	1.82E-01
6.83E+02	2.78E-01	-1.73E+01	5.51E+01	1.81E-02	1.81E-01
6.84E+02	2.79E-01	-1.74E+01	5.52E+01	1.81E-02	1.81E-01
6.85E+02	2.79E-01	-1.74E+01	5.52E+01	1.81E-02	1.81E-01
6.86E+02	2.80E-01	-1.74E+01	5.54E+01	1.80E-02	1.80E-01
6.87E+02	2.78E-01	-1.72E+01	5.51E+01	1.81E-02	1.81E-01
6.88E+02	2.78E-01	-1.71E+01	5.50E+01	1.82E-02	1.82E-01
6.89E+02	2.78E-01	-1.75E+01	5.49E+01	1.82E-02	1.82E-01
6.90E+02	2.76E-01	-1.73E+01	5.46E+01	1.83E-02	1.83E-01
6.91E+02	2.76E-01	-1.76E+01	5.46E+01	1.83E-02	1.83E-01
6.92E+02	2.75E-01	-1.74E+01	5.42E+01	1.85E-02	1.85E-01
6.93E+02	2.73E-01	-1.70E+01	5.37E+01	1.86E-02	1.86E-01
6.94E+02	2.72E-01	-1.76E+01	5.36E+01	1.87E-02	1.87E-01
6.95E+02	2.71E-01	-1.75E+01	5.33E+01	1.88E-02	1.88E-01
6.96E+02	2.70E-01	-1.75E+01	5.30E+01	1.89E-02	1.89E-01
6.97E+02	2.68E-01	-1.76E+01	5.26E+01	1.90E-02	1.90E-01
6.98E+02	2.68E-01	-1.77E+01	5.25E+01	1.91E-02	1.91E-01
6.99E+02	2.67E-01	-1.75E+01	5.23E+01	1.91E-02	1.91E-01
7.00E+02	2.65E-01	-1.77E+01	5.16E+01	1.94E-02	1.94E-01

TRIGO COLOREADO3

λ (nm)	θ (S.U)	Φ (grados)	β (cm-1)	ℓ (cm)	ℓ (mm)
6.00E+02	1.65E-01	-1.83E+01	2.91E+01	3.43E-02	3.43E-01
6.01E+02	1.66E-01	-1.79E+01	2.94E+01	3.40E-02	3.40E-01
6.02E+02	1.67E-01	-1.82E+01	2.96E+01	3.38E-02	3.38E-01
6.03E+02	1.69E-01	-1.76E+01	3.01E+01	3.33E-02	3.33E-01
6.04E+02	1.70E-01	-1.80E+01	3.02E+01	3.31E-02	3.31E-01
6.05E+02	1.70E-01	-1.75E+01	3.03E+01	3.30E-02	3.30E-01
6.06E+02	1.71E-01	-1.77E+01	3.04E+01	3.29E-02	3.29E-01
6.07E+02	1.78E-01	-1.77E+01	3.18E+01	3.15E-02	3.15E-01
6.08E+02	1.77E-01	-1.71E+01	3.17E+01	3.15E-02	3.15E-01
6.09E+02	1.77E-01	-1.75E+01	3.16E+01	3.16E-02	3.16E-01
6.10E+02	1.77E-01	-1.78E+01	3.17E+01	3.16E-02	3.16E-01
6.11E+02	1.78E-01	-1.77E+01	3.18E+01	3.14E-02	3.14E-01
6.12E+02	1.79E-01	-1.76E+01	3.21E+01	3.12E-02	3.12E-01
6.13E+02	1.81E-01	-1.78E+01	3.25E+01	3.08E-02	3.08E-01
6.14E+02	1.81E-01	-1.76E+01	3.26E+01	3.07E-02	3.07E-01
6.15E+02	1.81E-01	-1.73E+01	3.26E+01	3.07E-02	3.07E-01
6.16E+02	1.82E-01	-1.69E+01	3.27E+01	3.05E-02	3.05E-01

6.17E+02	1.84E-01	-1.73E+01	3.32E+01	3.02E-02	3.02E-01
6.18E+02	1.85E-01	-1.72E+01	3.33E+01	3.01E-02	3.01E-01
6.19E+02	1.84E-01	-1.72E+01	3.32E+01	3.01E-02	3.01E-01
6.20E+02	1.84E-01	-1.73E+01	3.32E+01	3.01E-02	3.01E-01
6.21E+02	1.85E-01	-1.68E+01	3.34E+01	2.99E-02	2.99E-01
6.22E+02	1.86E-01	-1.70E+01	3.35E+01	2.99E-02	2.99E-01
6.23E+02	1.87E-01	-1.72E+01	3.37E+01	2.97E-02	2.97E-01
6.24E+02	1.86E-01	-1.67E+01	3.36E+01	2.98E-02	2.98E-01
6.25E+02	1.86E-01	-1.70E+01	3.37E+01	2.97E-02	2.97E-01
6.26E+02	1.87E-01	-1.67E+01	3.38E+01	2.96E-02	2.96E-01
6.27E+02	1.88E-01	-1.71E+01	3.39E+01	2.95E-02	2.95E-01
6.28E+02	1.89E-01	-1.72E+01	3.42E+01	2.92E-02	2.92E-01
6.29E+02	1.89E-01	-1.71E+01	3.41E+01	2.93E-02	2.93E-01
6.30E+02	1.89E-01	-1.67E+01	3.41E+01	2.93E-02	2.93E-01
6.31E+02	1.90E-01	-1.66E+01	3.43E+01	2.91E-02	2.91E-01
6.32E+02	1.90E-01	-1.68E+01	3.43E+01	2.91E-02	2.91E-01
6.33E+02	1.90E-01	-1.69E+01	3.44E+01	2.91E-02	2.91E-01
6.34E+02	1.90E-01	-1.65E+01	3.45E+01	2.90E-02	2.90E-01
6.35E+02	1.91E-01	-1.67E+01	3.47E+01	2.88E-02	2.88E-01
6.36E+02	1.91E-01	-1.66E+01	3.46E+01	2.89E-02	2.89E-01
6.37E+02	1.90E-01	-1.64E+01	3.45E+01	2.90E-02	2.90E-01
6.38E+02	1.91E-01	-1.63E+01	3.46E+01	2.89E-02	2.89E-01
6.39E+02	1.92E-01	-1.63E+01	3.48E+01	2.88E-02	2.88E-01
6.40E+02	1.92E-01	-1.66E+01	3.49E+01	2.87E-02	2.87E-01
6.41E+02	1.93E-01	-1.64E+01	3.50E+01	2.86E-02	2.86E-01
6.42E+02	1.93E-01	-1.64E+01	3.50E+01	2.86E-02	2.86E-01
6.43E+02	1.93E-01	-1.64E+01	3.50E+01	2.86E-02	2.86E-01
6.44E+02	1.93E-01	-1.64E+01	3.51E+01	2.85E-02	2.85E-01
6.45E+02	1.93E-01	-1.65E+01	3.50E+01	2.86E-02	2.86E-01
6.46E+02	1.93E-01	-1.64E+01	3.51E+01	2.85E-02	2.85E-01
6.47E+02	1.94E-01	-1.64E+01	3.53E+01	2.83E-02	2.83E-01
6.48E+02	1.95E-01	-1.64E+01	3.55E+01	2.82E-02	2.82E-01
6.49E+02	1.95E-01	-1.62E+01	3.55E+01	2.81E-02	2.81E-01
6.50E+02	1.95E-01	-1.63E+01	3.56E+01	2.81E-02	2.81E-01
6.51E+02	1.96E-01	-1.60E+01	3.57E+01	2.80E-02	2.80E-01
6.52E+02	1.98E-01	-1.62E+01	3.61E+01	2.77E-02	2.77E-01
6.53E+02	1.97E-01	-1.62E+01	3.59E+01	2.79E-02	2.79E-01
6.54E+02	1.97E-01	-1.59E+01	3.60E+01	2.78E-02	2.78E-01
6.55E+02	1.98E-01	-1.58E+01	3.61E+01	2.77E-02	2.77E-01
6.56E+02	1.98E-01	-1.60E+01	3.62E+01	2.76E-02	2.76E-01
6.57E+02	1.99E-01	-1.60E+01	3.64E+01	2.75E-02	2.75E-01
6.58E+02	1.99E-01	-1.62E+01	3.64E+01	2.75E-02	2.75E-01
6.59E+02	2.00E-01	-1.62E+01	3.66E+01	2.73E-02	2.73E-01
6.60E+02	2.00E-01	-1.58E+01	3.66E+01	2.73E-02	2.73E-01
6.61E+02	2.01E-01	-1.52E+01	3.67E+01	2.72E-02	2.72E-01
6.62E+02	2.01E-01	-1.61E+01	3.67E+01	2.72E-02	2.72E-01
6.63E+02	2.01E-01	-1.56E+01	3.67E+01	2.72E-02	2.72E-01
6.64E+02	2.01E-01	-1.58E+01	3.67E+01	2.73E-02	2.73E-01
6.65E+02	2.01E-01	-1.57E+01	3.69E+01	2.71E-02	2.71E-01
6.66E+02	2.03E-01	-1.57E+01	3.72E+01	2.69E-02	2.69E-01
6.67E+02	2.03E-01	-1.60E+01	3.72E+01	2.69E-02	2.69E-01
6.68E+02	2.03E-01	-1.56E+01	3.72E+01	2.69E-02	2.69E-01
6.69E+02	2.04E-01	-1.53E+01	3.74E+01	2.68E-02	2.68E-01
6.70E+02	2.04E-01	-1.56E+01	3.74E+01	2.68E-02	2.68E-01

6.71E+02	2.04E-01	-1.55E+01	3.74E+01	2.68E-02	2.68E-01
6.72E+02	2.04E-01	-1.56E+01	3.75E+01	2.67E-02	2.67E-01
6.73E+02	2.05E-01	-1.52E+01	3.76E+01	2.66E-02	2.66E-01
6.74E+02	2.05E-01	-1.55E+01	3.76E+01	2.66E-02	2.66E-01
6.75E+02	2.04E-01	-1.55E+01	3.75E+01	2.67E-02	2.67E-01
6.76E+02	2.05E-01	-1.56E+01	3.77E+01	2.65E-02	2.65E-01
6.77E+02	2.06E-01	-1.51E+01	3.78E+01	2.64E-02	2.64E-01
6.78E+02	2.06E-01	-1.56E+01	3.78E+01	2.65E-02	2.65E-01
6.79E+02	2.05E-01	-1.57E+01	3.77E+01	2.66E-02	2.66E-01
6.80E+02	2.05E-01	-1.54E+01	3.76E+01	2.66E-02	2.66E-01
6.81E+02	2.05E-01	-1.55E+01	3.76E+01	2.66E-02	2.66E-01
6.82E+02	2.05E-01	-1.57E+01	3.77E+01	2.65E-02	2.65E-01
6.83E+02	2.05E-01	-1.57E+01	3.76E+01	2.66E-02	2.66E-01
6.84E+02	2.05E-01	-1.57E+01	3.76E+01	2.66E-02	2.66E-01
6.85E+02	2.04E-01	-1.58E+01	3.75E+01	2.66E-02	2.66E-01
6.86E+02	2.05E-01	-1.58E+01	3.77E+01	2.65E-02	2.65E-01
6.87E+02	2.04E-01	-1.56E+01	3.75E+01	2.67E-02	2.67E-01
6.88E+02	2.03E-01	-1.57E+01	3.73E+01	2.68E-02	2.68E-01
6.89E+02	2.02E-01	-1.49E+01	3.71E+01	2.70E-02	2.70E-01
6.90E+02	2.02E-01	-1.55E+01	3.69E+01	2.71E-02	2.71E-01
6.91E+02	2.02E-01	-1.57E+01	3.70E+01	2.70E-02	2.70E-01
6.92E+02	2.01E-01	-1.58E+01	3.69E+01	2.71E-02	2.71E-01
6.93E+02	2.00E-01	-1.55E+01	3.66E+01	2.73E-02	2.73E-01
6.94E+02	2.00E-01	-1.60E+01	3.65E+01	2.74E-02	2.74E-01
6.95E+02	1.99E-01	-1.60E+01	3.63E+01	2.76E-02	2.76E-01
6.96E+02	1.98E-01	-1.58E+01	3.60E+01	2.77E-02	2.77E-01
6.97E+02	1.97E-01	-1.57E+01	3.60E+01	2.78E-02	2.78E-01
6.98E+02	1.96E-01	-1.62E+01	3.57E+01	2.80E-02	2.80E-01
6.99E+02	1.94E-01	-1.59E+01	3.53E+01	2.83E-02	2.83E-01
7.00E+02	1.93E-01	-1.63E+01	3.51E+01	2.85E-02	2.85E-01

PRUEBA DE GERMINACIÓN

CASO	Intensidad	tiempo	Repet	Tratam	NORM	ANOR	MUER
1	1	0	1	999	76	8	16
	1	0	2	999	68	8	24
	1	0	3	999	72	8	20
	1	0	4	999	64	4	32
	1	4	1	4	76	16	8
	1	4	2	4	56	4	40
	1	4	3	4	48	20	32
	1	4	4	4	48	16	36
	1	6	1	6	64	32	4
	1	6	2	6	60	20	20
	1	6	3	6	60	16	24
	1	6	4	6	52	12	36
	1	8	1	8	40	8	52
	1	8	2	8	52	16	32
	1	8	3	8	48	48	4
	1	8	4	8	32	24	44
	1	10	1	10	48	16	36
	1	10	2	10	64	12	24
1	10	3	10	68	8	24	
1	10	4	10	60	12	28	
	2	4	1	44	52	8	40
	2	4	2	44	60	20	20
	2	4	3	44	76	0	24
	2	4	4	44	68	4	28
	2	6	1	66	44	32	24
	2	6	2	66	72	4	24
	2	6	3	66	60	12	28
	2	6	4	66	48	24	28
	2	8	1	88	68	8	24
	2	8	2	88	40	20	40
	2	8	3	88	80	0	20
	2	8	4	88	72	0	28
	2	10	1	1010	76	20	4
	2	10	2	1010	68	0	32
2	10	3	1010	88	4	8	
2	10	4	1010	68	12	20	
	1	0	1	9999	84	4	12
	1	0	2	9999	52	40	8
	1	0	3	9999	60	36	4
	1	0	4	9999	60	28	12
	1	4	1	4	100	0	0
	1	4	2	4	88	12	0
	1	4	3	4	92	8	0
	1	4	4	4	92	0	8
	1	6	1	6	92	4	4
	1	6	2	6	92	8	0

1	6	3	6	92	8	0
1	6	4	6	96	4	0
1	8	1	8	88	8	4
1	8	2	8	76	16	8
1	8	3	8	68	20	12
1	8	4	8	68	32	0
1	10	1	10	76	20	4
1	10	2	10	76	24	0
1	10	3	10	68	20	12
1	10	4	10	72	24	4
1	4	1	44	92	8	0
1	4	2	44	88	12	0
1	4	3	44	88	8	4
1	4	4	44	96	4	0
1	6	1	66	76	16	8
1	6	2	66	84	12	4
1	6	3	66	84	12	4
1	6	4	66	84	12	4
1	8	1	88	56	28	16
1	8	2	88	80	16	4
1	8	3	88	88	12	0
1	8	4	88	68	20	12
1	10	1	1010	68	32	0
1	10	2	1010	64	36	0
1	10	3	1010	68	28	4
1	10	4	1010	76	20	4

A.4 ANEXO

METODOLOGÍA PARA EL USO DEL EQUIPO DE FOTOACÚSTICA

INSTRUCCIONES

ENCENDIDO:

1. Prender la lámpara
2. Colocar la muestra y posteriormente colocar correctamente la plataforma y fijarla
3. Conectar cuidadosamente el cable del micrófono a la plataforma
4. Prender el Lock-in amplifier.
5. Prender el chopper (controlador de cortador de luz a 27 Hz).
6. Ajustar a 90 W la lámpara
7. Ajustar a 5 mV el Lock-in presionando en el menú la tecla "gain TC", posteriormente la tecla "SENSITIVITY", a un costado de la pantalla y finalmente con el selector ajustar a 5 mV.
8. Prender el micrófono.
9. Verificar que exista señal de amplitud.
10. Abrir el programa Lab-view; Patempo de la P.C.
11. Nombrar el archivo (terminación ".dat") de la muestra a analizar.
12. Dar clic en el icono $\sqrt{\quad}$ y luego \Rightarrow para comenzar la medición.
13. Esperar a que la señal estabilice (10 mín. Aprox.).
14. Dar clic en "pause <" y registrar el tiempo marcado hasta ese momento.
15. Colocar la celda con agua o sol. Saturada, sujetando la plataforma, cuidando moverla al mínimo. Verificar que la incidencia de luz no haya cambiado de posición.
16. Dar clic en "pause <" para continuar la medición.
17. Verificar continuamente el comportamiento de la curva

APAGADO:

1. Dar clic en "stop /" para detener la medición.
2. Apagar el micrófono.
3. Desconectar el micrófono de la plataforma.
4. Retirar la celda con agua.
5. Ajustar a 0 W la lámpara.
6. Apagar el chopper (cortador de luz).
7. Ajustar a 1 V de sensibilidad el Lock-in y luego apagarlo.
8. Retirar la muestra.