



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD PROFESIONAL ADOLFO LÓPEZ MATEOS.
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
DOCTORADO EN INGENIERÍA DE SISTEMAS



**“ANÁLISIS TÉRMICO DE MATERIALES BIOLÓGICOS MEDIANTE EL MÉTODO
DE MICROSCOPIA FOTOACÚSTICA: INSTRUMENTACIÓN PORTÁTIL”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN INGENIERIA DE SISTEMAS**

P R E S E N T A :

JOSÉ ALBERTO MEDINA PÉREZ

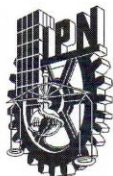
DIRECTORES DE TESIS:

**DR. FLAVIO ARTURO DOMÍNGUEZ PACHECO
DR. ALFREDO CRUZ OREA**

CIUDAD DE MÉXICO

2018





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México siendo las 11:00 horas del día 29 del mes de Noviembre del 2018 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de E.S.I.M.E. para examinar la tesis titulada:

“ANÁLISIS TÉRMICO DE MATERIALES BIOLÓGICOS MEDIANTE EL MÉTODO DE MICROSCOPIA FOTOACÚSTICA: INSTRUMENTACIÓN PORTÁTIL”

Presentada por el alumno:

MEDINA	PÉREZ	JOSÉ ALBERTO							
Apellido paterno	Apellido materno	Nombre(s)							
		Con registro:	A	1	6	0	9	2	0

aspirante de: **DOCTOR EN INGENIERÍA DE SISTEMAS**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis

DR. FLAVIO ARTURO DOMÍNGUEZ PACHECO

Presidente

DR. LUIS MANUEL HERNÁNDEZ SIMÓN

Tercer Vocal

DRA. CLAUDIA HERNÁNDEZ AGUILAR

DR. ALFREDO CRUZ OREA

Segundo Vocal

DR. ALFREDO CRUZ OREA

Secretario

DRA. CLAUDIA ELIZABETH MARTÍNEZ GONZÁLEZ

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

DR. MIGUEL TOLEDO VELÁZQUEZ
I. P. N.
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
COORDINACION GENERAL DE POSGRADO E INVESTIGACION

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de México, el día 7 del mes Diciembre del 2018, el que suscribe M. en C. José Alberto Medina Pérez alumno del programa de Doctorado en Ingeniería de Sistemas con número de registro A160920 adscrito a la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Unidad Zacatenco, manifiesta que es autor intelectual del presente Trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Flavio Arturo Domínguez Pacheco y el Dr. Alfredo Cruz Orea cede los derechos del trabajo intitulado: **ANÁLISIS TÉRMICO DE MATERIALES BIOLÓGICOS MEDIANTE EL MÉTODO DE MICROSCOPIA FOTOACÚSTICA: INSTRUMENTACIÓN PORTÁTIL**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, graficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: beto_medina2612@hotmail.com.

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

M. en C. José Alberto Medina Pérez
Nombre y firma

RESUMEN

El presente proyecto de investigación plantea la propuesta de desarrollo de tecnología alternativa no destructiva ni invasiva para la caracterización física a través de conocimientos científicos y manejo de técnicas físicas en el estudio de materiales biológicos. Aplicando conocimientos de caracterización y evaluación se busca realizar investigaciones en muestras de maíz, que contengan desde una caracterización hasta un posible impacto en el área de la agricultura..

Con esta tecnología desarrollada se atienden problemáticas de carácter agrícola, estableciendo la importancia que tiene la investigación y la innovación en la agricultura, dando una integración a la sociedad y a los que forman parte del cultivo de maíz. Por ello se plantea la divulgación de resultados obtenidos en instituciones académicas preocupadas por el desarrollo de la ciencia y la tecnología, así como a productores de maíz que tengan el interés de conocer parámetros innovadores a los ya conocidos.

Se pretende incentivar la reducción de importaciones de producto extranjero y promover que exista un mayor valor económico al producto 100% nacional.

ABSTRACT

The present research project proposes the development of alternative non-destructive or invasive technology for physical characterization through scientific knowledge and management of physical techniques in the study of biological materials. Applying knowledge of characterization and evaluation seeks to conduct research on samples of corn, ranging from a characterization to a possible impact in the area of agriculture ..

With this technology developed problems of agricultural nature are addressed, establishing the importance of research and innovation in agriculture, giving an integration to society and those who are part of the cultivation of corn. Therefore, the dissemination of results obtained in academic institutions concerned with the development of science and technology, as well as corn producers interested in knowing innovative parameters to those already known, is proposed.

The aim is to encourage the reduction of imports of foreign products and to promote a greater economic value for the 100% national product.

ÍNDICE

Índice de figuras.....	10
Glosario.....	14
Lista de acrónimos	16
Introducción.....	17
I.1 Presentación del proyecto de tesis	18
I.2 Presentación del documento de tesis.....	21
Capítulo I.....	22
Contexto y fundamentos de la investigación.....	22
1.1 Contexto de la investigación	23
1.1.1 Contexto físico.....	23
1.1.2 Contexto histórico de la sistémica.....	24
1.1.3 Contexto histórico de la Transdisciplinariedad	27
1.1.4 Contexto en la caracterización de materiales.....	29
1.1.5 Contexto del maíz	31
1.2 Fundamento de la investigación.....	34
1.2.1 Técnicas para caracterizar materiales por medio de imágenes	34
1.2.2 Técnicas fototérmicas	35
1.2.2.1 Efecto fotoacústico	36
1.2.3 Imagen	38
1.3 Imágenes térmicas.....	39
1.4 Justificación.....	43
1.5 Objetivos.....	45
1.5.1 Objetivo general.....	45
1.5.2 Objetivos particulares	45
1.6 Hipótesis	45
1.7 Tabla de congruencia.....	46
Capítulo II	47

Marco Teórico y Metodológico.....	47
2.1 Marco Teórico	48
2.1.1 Ciencia de sistemas	49
2.1.2 Física	49
2.1.3 Termodinámica.....	50
2.1.4 Tipos de transferencia de calor.....	51
2.1.4.1 Conducción.....	52
2.1.4.2 Convección	52
2.1.4.3 Radiación.....	52
2.1.5 Electromagnetismo.....	52
2.1.6 Electrónica.....	53
2.1.7 Microscopía Fotoacústica	54
2.2 Marco metodológico.....	55
2.2.1 FASE I Focalización y evidencia del problema en el mundo real	57
2.2.2 FASE II Investigación del sujeto que investiga.....	57
2.2.3 FASE III Investigación experimental	57
2.2.4 FASE IV Investigación de impactos	57
Capítulo III	58
Aplicación de la metodología.....	58
3.1 Fase I Focalización y evidencia de problema en el mundo real	59
3.1.1 Conocimiento de la problemática.....	59
3.1.2 Evidencia de problema en el mundo real.....	64
3.1.2.1 Actividad 1 Aplicación de encuestas acerca del uso de tecnología y percepción acerca de instrumentaciones desarrolladas en México.....	64
3.1.2.1.1 Introducción.....	64
3.1.2.1.2 Objetivo.....	64
3.1.2.1.3 Hipótesis	64
3.1.2.1.4 Materiales y métodos	65

3.1.2.1.5 Resultados	65
3.2 Fase II Investigación del sujeto que investiga	68
3.3 Fase III Investigación experimental.....	72
3.3.1 Actividad 1 obtención de imágenes térmicas en Acero, Aluminio y Plástico.....	73
3.3.1.1 Introducción.....	73
3.3.1.2 Objetivo.....	73
3.3.1.3 Hipótesis.....	73
3.3.1.4 Materiales y métodos.....	73
3.3.1.5 Resultados.....	74
3.3.2 Actividad 2 Obtención de imágenes térmicas en semilla de maíz harinosa y cristalina con fuente de excitación 405,532 y 650nm.....	78
3.3.2.1 Introducción.....	78
3.3.2.2 Objetivo.....	78
3.3.2.3 Hipótesis.....	78
3.3.2.4 Materiales y métodos.....	78
3.3.2.5 Resultados.....	79
3.3.3 Actividad 3 Obtención de imágenes térmicas mediante Microscopia Fotoacústica y Microscopia Piezoeléctrica (Titanato Zirconato de plomo)	81
3.3.3.1 Introducción.....	81
3.3.3.2 Objetivo.....	81
3.3.3.3 Hipótesis.....	81
3.3.3.4 Materiales y métodos.....	81
3.3.3.5 Resultados.....	83
3.3.4 Actividad 4 Obtención de imágenes térmicas mediante Microscopia Fotoacústica en Semillas de Maíz Harinosa y Cristalina.....	87
3.3.4.1 Introducción.....	87
3.3.4.2 Materiales y métodos.....	88
3.3.4.2.1 Materiales empleados	88

3.3.4.2.2 Métodos	88
3.3.4.3 Resultados.....	89
Capítulo IV.....	105
Discusiones, Conclusiones y trabajos futuros	105
Bibliografía.....	109
Anexos.....	112
Anexo I Digital Lock-In Amplifiers	112
Anexo II Carta de la transdisciplinariedad.....	113
Anexo III Tamaño de muestras en una población	115
Anexo IV Encuestas	115
Anexo V Diagrama de funcionamiento.....	119
Anexo VI Datos obtenidos mediante SPMFA 2.0 Semilla Cristalina a 405 nm.....	120
Anexo VII Datos obtenidos mediante SPMFA 2.0 Semilla Cristalina a 532 nm.....	123
Anexo VIII Datos obtenidos mediante SPMFA 2.0 Semilla Cristalina a 650 nm	127
Anexo IX Datos obtenidos mediante SPMFA 2.0 Semilla harinosa a 405 nm.....	132
Anexo X Datos obtenidos mediante SPMFA 2.0 Semilla harinosa a 532 nm.....	138
Anexo XI Datos obtenidos mediante SPMFA 2.0 Semilla harinosa a 650 nm.....	143
Participación en “The 11th Asian Thermophysical properties conference” Octubre 2-6 Yokohama Anenex Hall Japan.....	149
Cronograma de actividades	151

Índice de figuras

Figura i.1 Introducción a la investigación (Elaboración propia, 2017)	18
Figura I.2 Niveles holísticos donde podría impactar la investigación (Elaboración propia, 2016)...	20
Figura 1.1 Contexto físico de la investigación.....	23
Figura 1.2 Etapa 1 y 2 acerca de la evolución de las ideas sobre sistemas (McCulloch y Pitts,1943)	25
Figura 1.3 Ideas sobre la evolución de Sistemas (McCulloch y Pitts,1943).....	25
Figura 1.4 Pensamiento sistémico algunos autores (Elaboración propia, 2016).....	26
Figura 1.5 Evolución caracterización de materiales (Elaboración propia 2017).....	29
Figura 1.6 Contexto en la caracterización de materiales (Elaboración propia 2016)	30
Figura 1.7 Usos del maíz en millones de toneladas (FIRA, 2015).....	31
Figura 1.8 Producción mundial de maíz en millones de toneladas (USDA 2016)	32
Figura 1.9 Consumo de grano de maíz en México por tipo (FIRA, 2015).....	33
Figura 1.10 Estructura del maíz (FAO, 1993).....	33
Figura 1.11 Técnicas para caracterizar materiales mediante imágenes (Elaboración propia, 2016)	34
Figura 1.12 Celda fotoacústica cerrada empleada en diferentes técnicas fototérmicas (elaboración propia, 2015; adaptada de Domínguez 2015).....	35
Figura 1.13 Fotófono construido por Bell (Bell, 1876; Marín 2008)	36
Figura 1.14 Espectrófono de Bell (Marín, 2008).....	36
Figura 1.15 Efecto fototérmicas en una muestra (Marín. 2008).....	37
Figura 1.16 Diferentes términos aplicados a la palabra imagen (Elaboración propia, 2018).....	38
Figura 1.17 Justificación de la investigación (Elaboración propia, 2016)	43
Figura 2.1 Marco teórico a desarrolla contemplando diversas ciencias o enfoques que intervienen en la investigación (Elaboración propia, 2017)	48
Figura 2.2 Disciplinas de la Física (Elaboración Propia, 2015).....	50

Figura 2.2 Transferencia de Calor (Elaboración propia, 2018).....	51
Figura 2.3 Experimento de Edison (Tippens, 2011).....	53
Figura 2.3 Metodología transdisciplinaria (Hernández, 2017).....	56
Figura 2.4 Diagrama a bloques de las fases de la metodología transdisciplinaria (Hernández, 2017).....	57
Figura 3.1. Gráfico radial del %PIB invertido en investigación y desarrollo por naciones (UNESCO, 2015).....	60
Figura 3.2 Plan nacional de Desarrollo en México 2013-2018 (DOF, 2013).....	61
Figura 3.3 Sistema de estudio en el mundo real (Elaboración propia, 2018)	62
Figura 3.4 Ubicación del sistema en la problemática del mundo real (DOF, 2013).....	63
Figura 3.5 Grafico en respuesta a la pregunta a) ¿Ha sido responsable de algún proyecto de investigación en los últimos 5 años?; b) ¿Ha adquirido algún tipo de tecnología en los últimos 5 años?; c) ¿Ha utilizado algún tipo de la tecnología Mexicana que se comercializa en el país? (Elaboración propia, 2018).....	65
Figura 3.5 Grafico en respuesta a la pregunta ¿Cuál Ha sido el país de procedencia de la tecnología adquirida en los últimos años (Elaboración propia, 2018).....	66
Figura 3.6 Grafico en respuesta a la pregunta ¿Cuál considera que son las principales ventajas de adquirir tecnología desarrolladas en México? (Elaboración propia, 2018)	66
Figura 3.7 Grafico en respuesta a la pregunta ¿Cuál considera que son las principales desventajas de adquirir tecnología desarrolladas en México? (Elaboración propia, 2018)	67
Figura 3.8 Grafico en respuesta a la pregunta ¿Cuál considera sea la principal ventaja del desarrollo y uso de tecnología producida en México? (Elaboración propia, 2018).....	67
Tabla 3.2 Atributos para la evaluación de sustentabilidad	68
Tabla 3.3. Valores ponderados para cada indicador.....	68
Figura 3.9 Gráfico radial de los atributos	69
Figura 3.10 Etapas de metodología de Jenkins (Elaboración propia, 2017) basada en (Jenkins, 1969)	69
Figura 3.11 Fase III investigación experimental (Elaboración propia, 2015; adaptada de Jenkins, 1969; Hernández, 2007: Notas de clase)	72
Figura 3.12 Montaje experimental MFA móvil o portátil	74

Figura 3.13 Imágenes térmicas: (a) Aluminio, (b) Plástico, (c) Acero (Elaboración propia, 2016)...	75
Figura 3.14 Imágenes térmicas en acero a distintas longitudes de onda (Elaboración propia, 2017)	76
Figura 3.15 Respuesta en amplitud en la señal fotoacústica.....	77
Figura 3.16 Montaje experimental MFA (El 1Figura 3.16 Montaje experimental MFA (Elaboración propia, 2018).....	79
Figura 3.17 Imágenes térmicas en semilla de maíz harinoso (Elaboración propia, 2017).....	79
Figura 3.18 Imágenes térmicas en semilla de maíz cristalino (Elaboración propia, 2017).....	80
Figura 3.19 Montaje experimental a) MFA (Elaboración propia, 2018) b) PZT (Rosales 2017).....	82
Figura 3.20 Semilla de Maíz en celda Fotoacústica (Elaboración propia, 2017).....	82
Figura 3.21 Semilla de Maíz pegada con pasta térmica al sensor PZT (Elaboración propia, 2017).	83
Figura 3.22 Imágenes térmicas de Semilla de Maíz cristalina obtenida mediante a) MFA b) PZT (Elaboración propia, 2018).....	83
Figura 3.23 Semillas después de obtener imágenes mediante a) MFA y b) PZT (Elaboración propia, 2018).....	84
Figura 3.24 Imágenes térmicas de Semilla de maíz harinosa obtenida mediante a) MFA b) PZT (Elaboración propia, 2018).....	84
Figura 1 instrumentación SpMFA-2.0 para obtención de imágenes térmicas (Elaboración propia, 2018).....	88
Figura 2 Montaje experimental de Espectroscopia fotoacústica (Domínguez-Pacheco, Hernández- Aguilar and Cruz-Orea, 2017).....	88
Figura 3 Imágenes térmicas de Semilla de maíz cristalina mediante SpMFA-2.0 a) 405nm, b) 532nm y c) 650nm (Elaboración propia, 2018).....	92
Figura 4 Comparación de respuestas obtenidas variando la longitud de onda 405nm, 532nm, 650nm en distintos granos cristalinos mediante SpMFA a) semilla 1; b) semilla 2; c) semilla 3; d) semilla 4; e) semilla 5 (Elaboración propia, 2018)	93
Figura 5 Comparación de respuestas obtenidas en las semillas cristalinas utilizando longitud de onda a 405 nm (Elaboración propia, 2018)	94

Figura 6 Amplitud de la señal fotoacústica de la semilla cristalina mediante la técnica de espectroscopia fotoacústica (Elaboración propia, 2018).....	94
Figura 7 Imágenes térmicas de Semilla de maíz harinosa mediante SpMFA hna) 405nm, hnb) 532nm y hnc) 650nm (Elaboración propia, 2018).....	97
Figura 8 Comparación de respuestas obtenidas variando la longitud de onda 405nm, 532nm, 650nm en distintos granos cristalinos mediante	99
Figura 8 Comparación de respuestas obtenidas en las semillas cristalinas utilizando longitud de onda a 405 nm (Elaboración propia, 2018)	99
Figura 8 Amplitud de la señal fotoacústica mediante la técnica de espectroscopia fotoacústica en semilla de maíz harinoso (Elaboración propia, 2018)	99
Figura 9 Comparación en amplitud de la señal fotoacústica mediante la técnica de espectroscopia fotoacústica de semillas harinosas y cristalinas (Elaboración propia, 2018)	100
Figura 10 Comparación del promedio de la señal fotoacústica en semillas cristalinas y harinosas (Elaboración propia, 2018).....	102
Figura 11 Coeficiente de absorción óptico y Longitud de penetración en semillas harinosas y cristalinas (Elaboración propia, 2018).....	103
Figura 12 Imágenes térmicas de grano de maíz harinosa con distintos ciclos productivos a)2017; b)2009 (Elaboración propia, 2018).....	103
Figura 13 Comparación de la Señal FA del grano de maíz harinosa con distintos ciclos productivos 2009 y 2017 (Elaboración propia, 2018).....	104
Figura 14 Imágenes de grano de maíz cristalino a)Tradicional; b)Comercializado(Elaboración propia, 2018).....	104

Glosario

Absorción: Acción de absorber; Pérdida de la intensidad de una radiación al atravesar un medio (DRAE, 2016).

Actor: Participante en una acción o suceso (DRAE, 2016).

Actitud: Capacidad de un individuo o de la sociedad de guardar una orientación constante en alguna acción, pensamiento y manera de ser aun variando la situación o complejidad en el entorno (Basarab, 1993).

Agricultura: cultivo o labranza de la tierra (DRAE, 2016)

Análisis: Examen detallado de una cosa para conocer sus características o cualidades, o su estado, y extraer conclusiones, que se realiza separando o considerando por separado las partes que la constituyen (DOLD, 2016).

Análisis de datos: Es el proceso de recolección y organización de datos que tiene por finalidad encontrar patrones, tendencias, etc. (Mendenhall y Sincich, 1997).

Atributos: Caracterizan a un sistema definiéndolo como cualitativo o cuantitativo (Van Gigch, 2000).

Biofísica: Pertenece a Biología donde se estudia los fenómenos vitales de los seres vivos mediante los métodos de la física (DRAE, 2016)

Caracterizar: Determinar los atributos peculiares de alguien o de algo, de modo que claramente se distinga de los demás (DRAE, 2016).

Ciencia: Conocimiento sistemático del mundo físico, conocimiento sistematizado, conocimiento adquirido por medio del estudio sistemático, es una estructura asentada sobre hechos (Davies, 1968).

Contexto: Objetos exteriores al sistema, los cuales se encuentran intrínsecamente relacionados a él, por lo tanto existe una relación mutua entre el contexto y el sistema (Van Gigch, 2000).

Dato: Valores posibles obtenidos que se obtienen al realizar un estudio, estadístico o experimentación (Mendenhall y Sincich, 1997).

Diseño de Sistemas: Sinónimo de Enfoque de Sistemas y la antítesis de mejoramiento de sistemas. Utiliza información del entorno para la toma de decisiones como sistema abierto. Proceso creativo que cuestiona los supuestos en los cuales se han estructurado las formas antiguas (Van Gigch, 2000).

Diseño: Traza o delineación de un edificio o de una figura (DRAE, 2016).

Entrada: Son los elementos que entran al sistema y sobre los cuales se aplican los recursos (DRAE, 2016).

Grano: Fruto típico de las gramíneas o cereales (Mora, 1997).

Homeostático: Propiedad de que los organismos vivos tienen capacidad de mantener una condición interna estable (Cannon, 1926).

Información: Grados de libertad que existen en una situación específica para elegir entre señales, símbolos, mensajes o patrones a transmitirse. Datos integrados con contexto que marcan diferencias significativas entre el comportamiento del sistema concreto usando como contexto al sistema abstracto o modelo (DRAE, 2016).

Innovación: Creación o modificación de un producto, y su introducción en un mercado (DRAE, 2016).

Investigar: Indagar, seguir huellas, rastrear para descubrir una cosas (Beltrán, 2005).

Metodología: Conjunto de métodos que se siguen en una investigación científica o en una exposición doctrinal, es el estudio del método (Checkland, 2000)

Modelo: Representación de un sistema o sistema abstracto de información resultado de un proceso de planeación (Peón, 2014)

Muestra: Parte o porción extraída de un conjunto por métodos que permiten considerarla como representativa de él (Moreno, 1998)

Portátil: Movable y fácil de transportar (DRAE, 2016).

Señal: Variación de una corriente eléctrica u otra magnitud que se utiliza para transmitir información (DRAE, 2016).

Sistema: Es una reunión o conjunto de elementos relacionados con un objetivo común. Los elementos de un sistema pueden ser conceptos, objetos y sujetos. Si los elementos son conceptos entonces estamos tratando un sistema conceptual, abstracto, virtual o modelo. "Es una unión de partes o componentes, conectados en una forma organizada". "Las partes se afectan por estar en el sistema y se cambian si lo dejan". "La unión de las partes hace algo". Un sistema puede existir realmente como un agregado natural de partes componentes encontradas en la naturaleza (Van Gigch, 2000).

Subsistema: En este operan cada una de las agencias del sistema total como una organización auto contenida que buscan objetivos establecidos como una guía (Peon, 2014).

Técnica: Pertenciente o relativo a las aplicaciones de las ciencias y las artes (DRAE, 2016)..

Tecnología: Conjunto de teorías y de técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico (DRAE, 2016).

Tratamiento: Combinación específica de niveles de los factores que intervienen en un experimento (Padron, 1996).

Transdisciplina: Enfoque que va a través, entre y más allá de las disciplinas con la finalidad de solucionar problemas del mundo real (Basarab, 1993).

Lista de acrónimos

FA	Fotoacústica
EF	Efecto fotoacústico
EFA	Espectroscopia fotoacústica
Láser	Amplificación de la luz por emisión estimulada de radiación
MFA	Microscopia fotoacústica
MEB	Microscopio electrónico de barrido
TAC	Tomografía axial computarizada
ATM	Microscopio de fuerza Atómica
PZT	Piezoeléctrico



Introducción

I.1 Presentación del proyecto de tesis

Es posible obtener respuestas de diversos materiales cuando son excitados por una fuente de energía que incide sobre ellos, (Bell, 1880; González, 2003) esta respuesta permite conocer diferentes propiedades y/o características que conforman a los materiales tales como estructuras, composición, morfología, flujo de calor, absorción óptica, etc., (Nicolson y Ross, 1970; Ruiz *et al.*, 2008; Vargas *et al.*, 2013; Torres y Diaz, 2014;) conociendo sus propiedades y/o características (caracterización de materiales) permite determinar sus usos y aplicaciones (Vargas *et al.*, 2008).

La Figura i.1 muestra aspectos a considerar en la investigación, es importante el desarrollo de ciencia tecnología e innovación por este motivo en el presente trabajo de investigación contempla el desarrollo de tecnología la cual permita caracterizar materiales. Existen diversos métodos o técnicas para caracterizar materiales las cuales utilizan la excitación del material mediante una fuente de energía externa tal es el caso de las técnicas fototérmicas basándose en el efecto fotoacústico como es la Espectroscopia Fotoacústica (EFA), la Microscopia Fotoacústica (MFA) entre otras, diferenciándose por el tipo de muestra a estudiar, la forma de colocar la muestra así como diferentes usos de fuentes de excitación y el sensor utilizado en cada técnica. El obtener imágenes brinda información de la muestra a estudiar no limitándose a materiales con estructuras bien definidas tal es el caso de las imágenes obtenidas en materiales biológicos mediante fotoacústica (Domínguez *et al.*, 2010; Lomelí *et al.*, 2012; Wang y Hu, 2012), además el contar con imágenes proporciona desde el ámbito de aprendizaje una mejor interpretación para generar un mayor conocimiento (Denis y Carfantan, 1985).

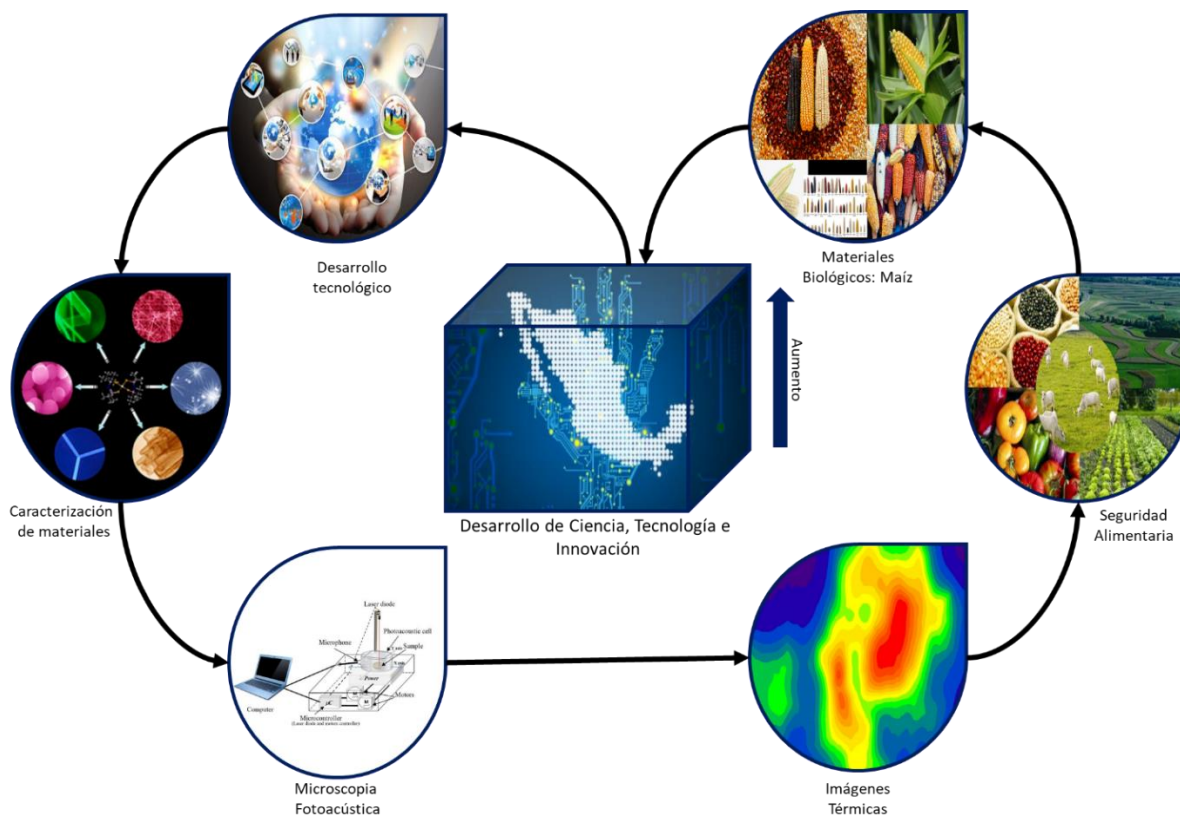


Figura i.1 Introducción a la investigación (Elaboración propia, 2017)

La técnica de MFA se basa en el efecto fotoacústico (FA) la cual tuvo algunas aplicaciones en el análisis de gases (Viengerov, 1938) el cual no obtuvo gran trascendencia por la tecnología con que se contaba en esa época, más adelante Rosencwaig y Gersho establecieron la teoría de este efecto, donde se puede obtener diversos parámetros térmicos como lo es su coeficiente de absorción mediante la señal adquirida por este efecto; diferentes casos para el estudio de las muestras como son para muestras térmicamente gruesas y delgadas y ópticamente transparente u opaca para cada caso. El uso de una técnica como es la MFA permite realizar una evaluación no destructiva en materiales sólidos (Thomas *et al.*, 1986), para obtener imágenes térmicas. Sus aplicaciones pueden ser en materiales homogéneos y no homogéneos: metales, polímeros, biológicos, aleaciones de estos, entre otros (Busse, 1983; Calderón, 1997; Suzuki *et al.*, 2005; Briseño *et al.*, 2009; Domínguez *et al.*, 2009) sus principales características son que no hay preparación previa de muestras y tampoco se modifica la estructura de la misma ya que se considera una técnica no invasiva ni destructiva (Briseño *et al.*, 2007; Domínguez *et al.*, 2012), por este motivo las imágenes térmicas obtenidas mediante MFA de materiales biológicos puede ser utilizado en el área de seguridad alimentaria ya que Maxwell y Frankenberger en 1993 definieron que para que esto exista además de cantidad se necesita calidad en los alimentos así como el acceso a la población.

El maíz es el producto agrícola más producido en el mundo, alcanzando un histórico en el ciclo 2016/2017 con 1025.6 millones de toneladas esto es por los beneficios que se adquieren a través de su consumo, además que es utilizado en el consumo forrajero, industrial y humano; en 2015 México produjo 24.69 millones de toneladas, siendo el 85.9% maíz blanco utilizado principalmente en consumo humano y pecuario, 13.6% maíz amarillo utilizado en el consumo pecuario y en la industria almidonera, finalmente el restante 0.5% a diferentes variedades de maíz (FIRA, 2015).

En materia de exportación e importación este grano ocupa un papel muy importante debido a que en el ciclo 2015/2016 en el mundo se exportaron alrededor de 119.4 millones de toneladas es por ello que es indispensable su investigación. Diversos autores muestran la importancia al mejorar la calidad fisiológica de la semilla mediante métodos alternativos (Hernandez *et al.*, 2009); (Oliveira da SILVA y Donizete TEBALDI, 2017), esto se puede ver reflejado mediante la velocidad de emergencia y porcentaje de establecimiento de la semilla (Domínguez *et al.*, 2010).

Es por ello que existen diversos métodos que puedan brindar información para realizar un estudio en las semillas de maíz; la termografía puede aplicarse debido a que permite detectar variedades en la semilla siendo estas tolerantes al estrés, encontrando genotipos mejor adaptados a las condiciones de sequía (Romano *et al.*, 2011), en 2016 se desarrolló un indicador de estrés hídrico del cultivo mediante imágenes térmicas (Han, Zhang, DeJonge, Comas, y Trout, 2016).

(Dominguez *et al.*, 2009) demostraron mediante la técnica de MFA se pueden obtener imágenes térmicas en las cuales es posible observar cambios producidos por distintos ciclos de producción del maíz así como sus diferentes contenidos de humedad, además que en esta técnica no es necesario que la semilla de maíz se destruya, además utilizando esta misma técnica es posible observar el germen de cada semilla encontrando homogeneidad en la misma, (Pacheco, Aguilar, y Cruz-Orea, 2013).

El uso de estas técnicas implica el uso de tecnología desarrollada en países como son Estados Unidos, Alemania, Japón, entre otros; su complejidad radica que al ser una instrumentación principalmente utilizada en laboratorios necesita asignarse un lugar exclusivo para llevar a cabo diversos montajes

de las mismas, uno de los equipos principales a utilizar es el Amplificador Lock-in como lo es el desarrollado por Stanford Research Systems el cual tiene un precio aproximado de \$9000 USD (Anexo I).

Debido al costo producido por estas instrumentaciones resulta difícil para algunos laboratorios en México el tener acceso a este tipo de tecnología; existe una relación entre el desarrollo económico en un país con la generación de conocimiento; teniendo interés en el desarrollo y la innovación; como es en la generación y comercialización de nuevos productos, diseños y optimización de los ya existentes (CONACYT, 2017); en el caso de América latina se introducen productos nuevos a menor ritmo que en Estados Unidos, Japón, Etc., por tal motivo se produce un estancamiento en el crecimiento económico del mismo, viéndose reflejado como un menor acceso a diferentes usos y desarrollos de tecnología repercutiendo en la calidad de vida de las personas (Banco mundial,2017). En materia de costos por uso de tecnología en el año 2014 se realizó el cobro de 95,601,750 dólares contra 1,874,103,660 dólares que se pagó por el utilizar distintas instrumentaciones desarrolladas en otras naciones.

Es por ello que esta investigación se realiza utilizando tecnología hecha en México como es el prototipo portátil de MFA “Sistema portátil de Microscopía Fotoacústica” (SpMFA-2.0) en el cual mediante la obtención de imágenes térmicas se plantea realizar un análisis térmico en diferentes materiales biológicos.

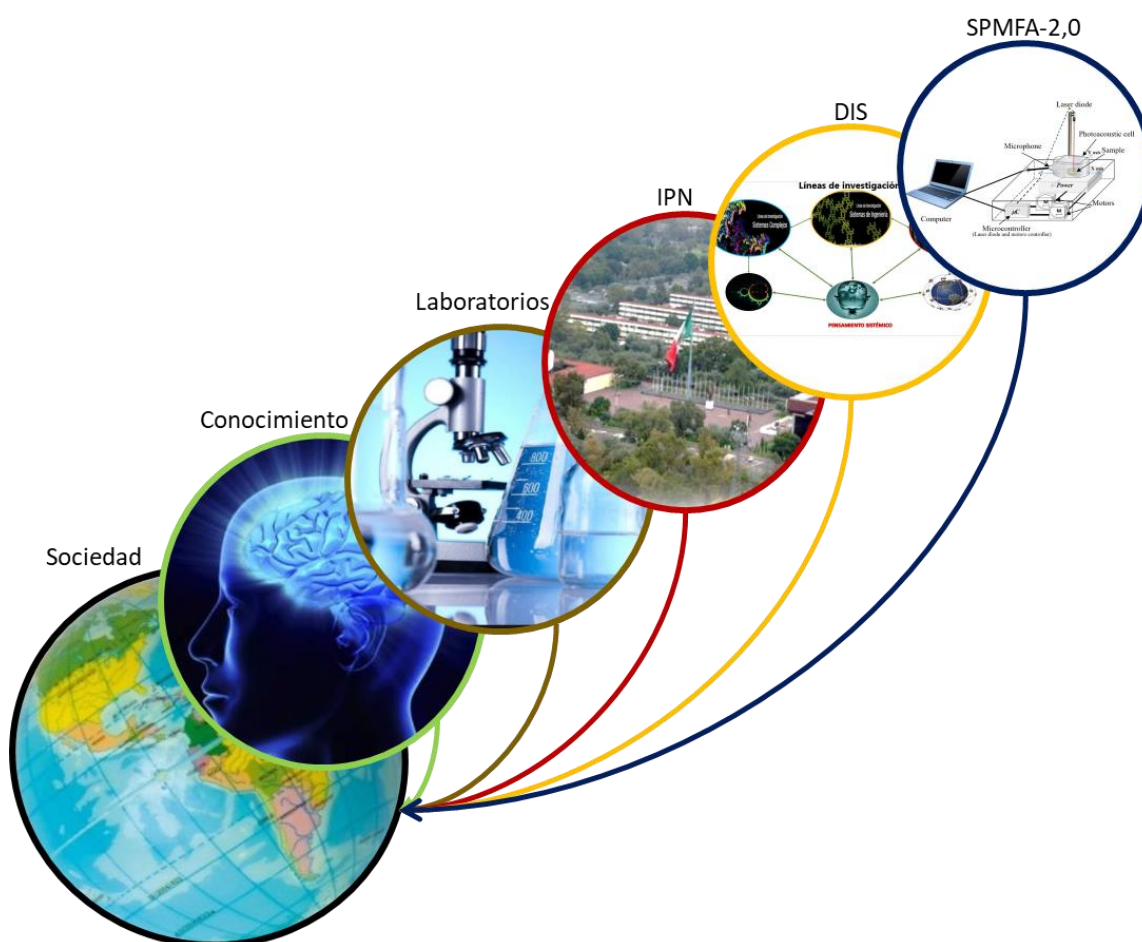


Figura I.2 Niveles holísticos donde podría impactar la investigación (Elaboración propia, 2016)

En la Figura I.2 se describen los diferentes niveles holísticos que podrían impactar en la investigación, como número 1 un aporte personal, en el número 2 los resultados contribuyen al programa de posgrado donde se lleva la investigación, en tercer lugar se encuentra el impacto a nivel institución teniendo aportes los cuales se utilizan para llegar al número 4 donde estos resultados se utilizan en laboratorios de otros centros de investigación, logrando tener mayor relación con otros investigadores los cuales podrán ayudar a tener mejores resultados y aplicaciones en otros sectores para cubrir ciertas necesidades como la salud número 5, y por último que los aportes de la investigación tengan impacto en la sociedad como número 6.

I.2 Presentación del documento de tesis

El documento de tesis se conforma por cuatro capítulos, referencias bibliográficas y anexos los cuales servirán para cumplir con los objetivos que se plantean en el documento.

En el capítulo 1 “Contexto y fundamentos de la investigación” se aborda la situación y contexto de la investigación, se contempla el contexto físico, se aborda la ciencia de sistemas y la evolución de la transdisciplina, así como la importancia del problema a abordar, la importancia de las imágenes, la caracterización de materiales y el uso de la técnica de MFA así como su teoría y el Efecto Fotoacústico, además se plantea la justificación el objetivo general y los objetivos particulares.

En el capítulo 2 se establece el Marco teórico y metodológico en los cuales se aborda la teoría necesaria para desarrollar el trabajo tomando en cuenta las ciencias que intervienen para el desarrollo de la misma, además se utiliza la metodología transdisciplinaria de Hernández la cual permitirá cumplir los objetivos propuestos en el capítulo 1.

Una vez establecida la metodología transdisciplinaria de Hernández, en el capítulo 3 “Aplicación de la metodología” se desarrolla la misma; la cual se compone de cuatro fases contemplando los problemas que se viven así como la investigación del sujeto que investiga; la finalidad de la metodología es encontrar una posible solución a los mismos. En este capítulo se muestran los resultados obtenidos y se muestra un panorama acerca de su importancia y posibles usos en otras áreas.

Finalmente en el capítulo 4 se presentan las conclusiones, discusión y trabajos futuros de la investigación.

Posterior a los cuatro capítulos se integra las referencias bibliográficas utilizadas en el documento y finalmente anexos donde se encuentran fichas técnicas y datos importantes utilizados en el documento de tesis.



Capítulo I

Contexto y fundamentos de la investigación

1.1 Contexto de la investigación

En el presente capítulo se establece el contexto y fundamentos de la investigación, la presente investigación se desarrolla bajo un enfoque de la ciencia de sistemas por lo cual es importante describir el contexto físico donde se realiza la investigación, se aborda la ciencia de sistemas, la transdisciplina, además se presenta como en la humanidad se ha evolucionado en distintas áreas como es la manera de caracterizar los materiales con los que se ha tenido acceso así como el contexto acerca del maíz.

1.1.1 Contexto físico

El desarrollo de la investigación se realizó en la Sección de estudios de posgrado e investigación del Doctorado en Ingeniería de Sistemas de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica unidad Zacatenco bajo un enfoque transdisciplinario, por este motivo se trabajó con diversas instituciones que permitan ayudar a lograr los objetivos planteados, debido a que se busca la interacción con distintos actores que puedan aportar a la investigación. Por este motivo la investigación fue realizada en relación con el departamento de Física del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados Gustavo A. Madero así como con el laboratorio de técnicas fototérmicas del CICATA unidad Legaría (Figura 1.1).

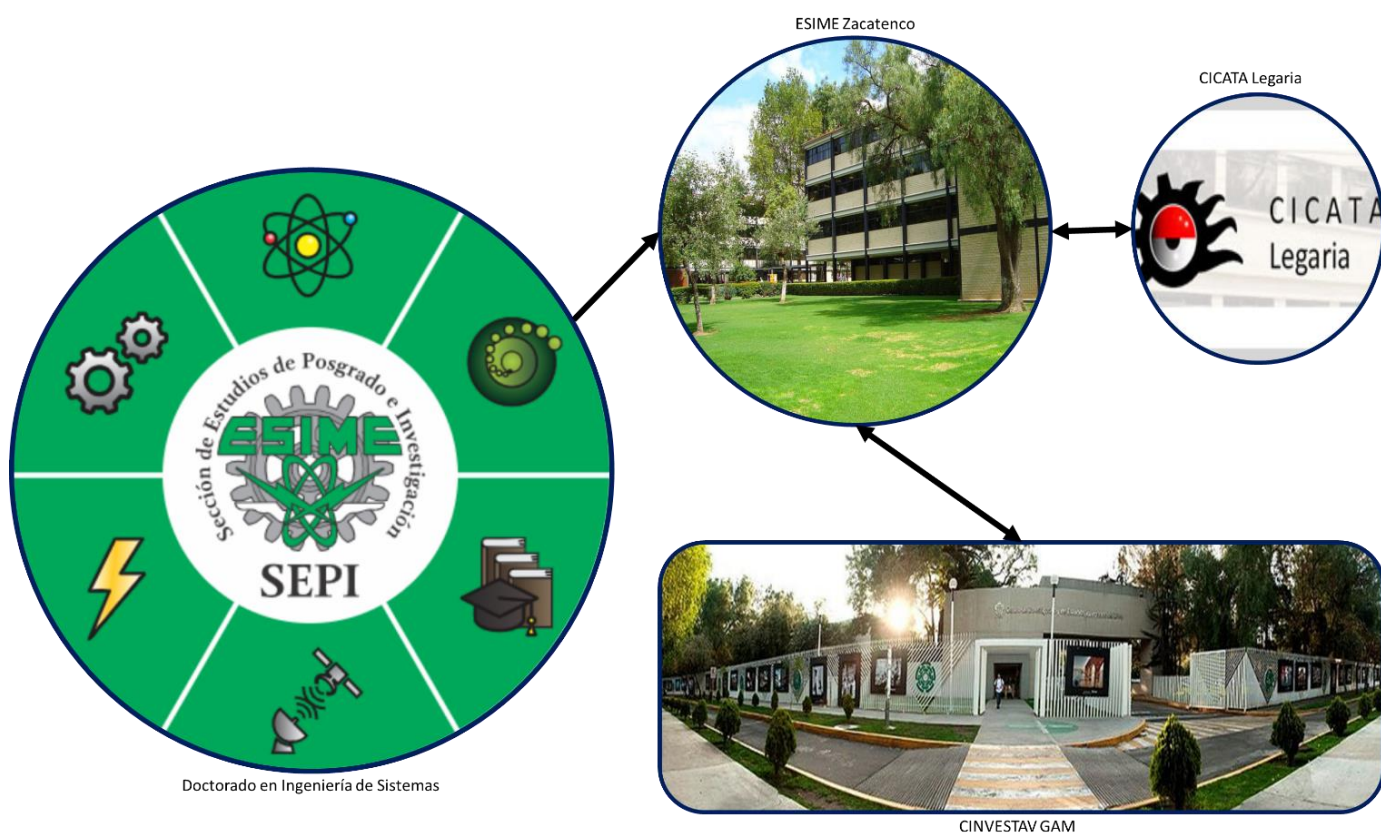


Figura 1.1 Contexto físico de la investigación

1.1.2 Contexto histórico de la sistémica

Se define como sistema al conjunto de cosas que relacionadas entre sí ordenadamente contribuyen a determinado objeto (RAE, 2017), etimológicamente el término sistema es de origen latín “systēma”, que a su vez del griego “σύστημα” que significa conjunto de elementos, donde el enfoque sistémico pretende conocer el comportamiento de las relaciones entre los componentes que pertenecen al mismo sistema y no solo enfocándose en las partes que lo integran, es por ello que se define holístico debido a que se interesa en el estudio del sistema total que en el estudio de sus partes, en la actualidad este enfoque al no seguir un esquema clásico de especialización ha tenido un gran auge en los últimos años logrando realizar aportes como una nueva perspectiva a la ciencia (Pagels, 1989).

Sus orígenes se remontan en Grecia con la visión de distintos filósofos como son Platón (428 – 347 a. C.) se encuentra en la relación de la ideas, y no solo parte de ella, para lograr la fundamentación de las ideas en una idea del bien, esto parte del conocimiento basado en creencias verdaderas justificadas (Rapoport, 1968); Mas adelante su discípulo Aristóteles (384- 322 a. de C.) sostuvo la importancia de esto definiendo “*el todo es más que la suma de sus partes*”. En épocas siguientes en el año 1797 G. Hegel plantea que el todo determina la naturaleza de las partes y que las partes no pueden comprenderse si se consideran en forma aislada del todo. Este término se ha utilizado como como un concepto clave en las investigaciones científicas, donde son estudiadas como entidades y no como partes evitando aislar el contexto (Ackoff, 1959).

Por lo que la Teoría General de Sistemas (TGS) contempla diversas teorías e ideas ya formuladas; y en 1968, L. Bertalanffy propone la TGS debido a los cuestionamientos planteados por en cuanto a la inaplicabilidad del método científico en el área de la biología, siendo contraparte al enfoque analítico y reduccionistas bajo una visión mecanicista y causal, considerando al organismo como un todo para su estudio, constituyendo un mecanismo de integración entre las ciencias naturales sociales y al ser, al mismo tiempo un instrumento para la formación y preparación de científicos (Arnold y Rodríguez, 1990).

Bertalanffy reconoce que la TGS necesita varios enfoques, se desarrollaron en eso momento diversas teorías: como son la teoría de conjuntos (Mesarovic), teoría de las redes (Rapaport), cibernética (Wiener y Ross Ashby) centrándose en el estudio de sistemas de regulación en máquinas y organismos, así mismo teoría de la información (Shannon y Weaver) proporcionando un lenguaje matemático para el uso de la información para la transmisión de mensajes, teoría de los autómatas de Turing y la teoría de juegos de von Neumann (Vieytes, 2013).

Rosnay en 1975 distingue tres etapas de este pensamiento la primera alrededor de los años 40 acerca de la teoría matemática de la información y de la cibernética de Wiener donde se establece principios de control y automatización en máquinas aplicando en organismos vivos, más adelante en los 50 llego la segunda etapa donde se intentó que las maquinas simularan el comportamiento de los seres vivos llegando a un punto en donde se realizaron estudios más avanzados acerca de neurología y neuronas artificiales definidas ahora como las bases de las redes neuronales descritas por McCulloch y Pitts en la Figura 1.2 acerca de las ideas sobre las dos etapas de la evolución de sistemas.

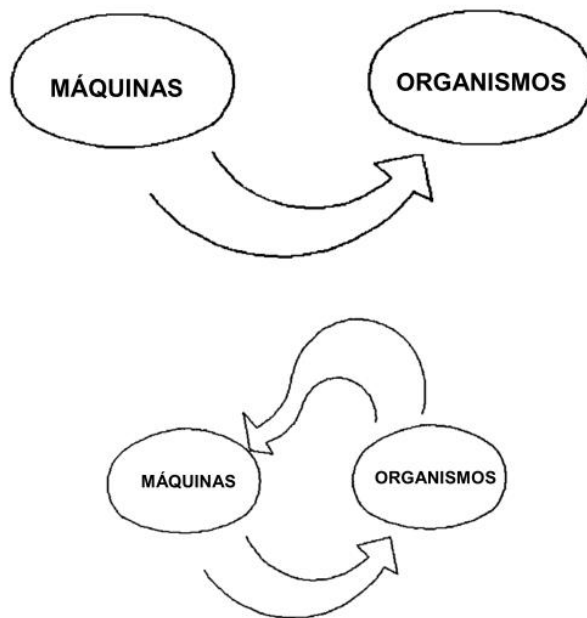


Figura 1.2 Etapa 1 y 2 acerca de la evolución de las ideas sobre sistemas (McCulloch y Pitts,1943)

La tercer etapa de evolución de TGS la encabeza J. Forrester por el desarrollo una memoria magnética utilizada en la mayoría de computadoras de la época, creando en 1961 la dinámica industrial, en 1964 Dinámica urbana y en 1971 combinando las anteriores para crear la Dinámica de sistemas la cual era una metodología para el análisis de sistemas dinámicos con la finalidad de conocer la evolución del mismo con el paso del tiempo, logrando ser utilizados para realizar análisis la serie de los comportamiento predicciones sobre la población mundial, recursos, contaminación (ecología) entre otros; Rosnay menciona estas son las tres etapas acerca de la evolución del pensamiento sistémico expuestas en la Figura 1.3 donde se observa con el paso del tiempo la evolución de distintos actores y entornos donde puede ser utilizado en máquinas, organismos, empresa, sociedad y ecología (Aracil, 2005). Ideas formuladas acerca del termino sistema abierto aplicadas en Biología para realizar un estudio de sus elementos y procesos que lo componen, partiendo de conceptos como orden y regulación eran difícil de explicar desde ciencias abstractas ya estudiadas en ese tiempo, es por ello que para Bertalanffy podrían ser estudiadas mediante sistemas (Lilienfed,1984).

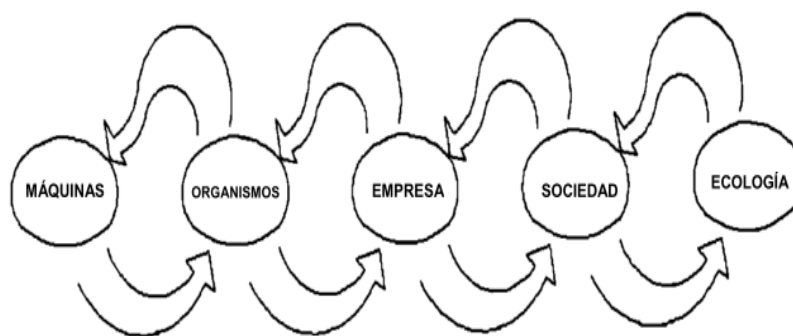


Figura 1.3 Ideas sobre la evolución de Sistemas (McCulloch y Pitts,1943)

Bertalanffy en 1947 postula la TGS como una afirmación de la existencia de modelos leyes aplicables a sistemas generalizados como elementos y sus relaciones o fuerzas existentes entre ellas (Bertalanffy, 1979). En 1955 Bertalanffy, Boulding R. W. Gerar y A. Rapapot formaron una sociedad para el estudio de la TGS con el propósito de” *sistemas teóricos aplicables a de un campo de los tradicionalmente considerados ciencia*” teniendo como uno de sus objetivos “*Promover el desarrollo de modelos teóricos adecuados en las áreas que carezcan de ellos*” (Checkland, 1981).

Deming insiste que solo existe un sistema cuando sus componentes se relacionan para buscar un fin común. Es decir, sin un fin común no habría sistema, lo que implica que nada más habría una serie de componentes desunidos y hasta competitivos individualmente, el pensamiento sistémico como la quinta disciplina lo promueve como la capacidad principal para llegar a soluciones fundamentales a los problemas de organizaciones empresariales y sociales (Sengel, 1990) .



Figura 1.4 Pensamiento sistémico algunos autores (Elaboración propia, 2016)

En la Figura 1.4 se muestra algunos autores que definen el termino de pensamiento sistémico como son Edwards Deming, Jay Forrester y Peter Senge los cuales coinciden que el pensamiento sistémico es la capacidad más importante para que un grupo de personas logre crear lo que realmente desea (Aljure, 2007), el fundamento de este pensamiento sistémico consiste en tomar en cuenta la existencia de conceptos aplicables a diversos estudios (Rosnay, 1975). Debido a que el pensamiento sistémico busca comprender a cambio de culpar, ya que sabe que las culpas traen consecuencias negativas para la organización y la gente.

El aprendizaje es el objetivo principal, ya que sin aprendizaje se tiene a hacer lo mismo y a obtener lo mismo donde se vive con responsabilidad y se trata de ayudar a las personas del entorno, tomando en cuenta diversas características como son el contexto, las relaciones, la retroalimentación, la complejidad entre otras.

Finalmente la diferencia entre enfoque sistémico y la TGS es que en el enfoque se trata de una interpretación, siendo una herramienta conceptual permitiendo manejar realidades complejas, y la TGS busca la formalización de conceptos de los sistemas logrando concretarlos en teorías del mismo sistema, como lo es en el campo de la psicología y filosofía, también esta trata de darle una aplicación del mismo (Aracil, 2005).

1.1.3 Contexto histórico de la Transdisciplinariedad

Platón (427 - 347 a. C.) plantea algunos pensamientos acerca del estudio y observación de las cosas mediante la diversidad y la unidad del mismo, más adelante Leonardo da Vinci (1452 - 1519) menciona que primero es necesario transformarse para luego transformar mencionando que para realizar impacto en los demás o en el entorno es necesario primero realizar un cambio en el interior, también Ounspenski en 1954 planteo el autoconocimiento para la posible evolución de del hombre. (Hernández, 2017).

Jean Piaget en 1970 introduce este término en Francia, en el mismo año Jack Lee Mahan aborda el tema de la investigación Td y menciona algunas características que debe contener como es realizar una investigación que trascienda las disciplinas tomando en cuenta la humanidad para así lograr mejora de la sociedad (Beristaín, 2015), siendo en 1981 cuando Checkland plantea que es necesario el uso del término conceptos disciplinarios para unificar el conocimiento (Hernández, 2017), además Edgar Morín en 1988 menciona que la persona que genera el conocimiento debe ser a su vez es el objeto del conocimiento (Carrizo 2004).

El trabajo en esta área siguió avanzando a grandes pasos y cada vez aumentando nuevo conceptos, términos o características de la investigación Td, en 1994 Gibbons *et al.* mencionaron las siguientes cuatro características de la Td 1) Generación del contexto; 2) tomar en cuenta a empíricos y teóricos; 3) se comparten los resultados; 4) La Td es forma para producir conocimiento. También en ese mismo año se realiza el congreso mundial de la Td donde se elabora la carta de la transdisciplinariedad (Hernández, 2017), Anexo 2.

Debido al surgimiento de problemas sociales complejos existe un interés por parte de los investigadores y la demanda de la sociedad para encontrar una estrategia para hacer frente a estas situaciones, Sholz, Mieg y Oswald (2000) describen la investigación transdisciplinaria como un proceso de aprendizaje mutuo entre ciencia y sociedad

La Td se caracteriza como un nuevo paradigma en la investigación clave para el futuro (Wu y Hobbs, 2002), La investigación Td es particularmente útil cuando un problema socialmente relevante se caracteriza por la incertidumbre y la complejidad, cuando la naturaleza concreta de los problemas está en disputa (Scholz y Tietje, 2002).

Mc Gregor en 2004 menciona que para integrar la Td es necesario tener un cambio de actitud para agregar y comprender al mundo complejo, en ese mismo año Lawrence y Despres aborda la complejidad y mencionan que la investigación Td requiere un trabajo constante de todos sus colaboradores en todas las fases de la investigación siendo esta una investigación no lineal. En el año

2005 Christian Pohl reporta que para realizar una investigación Td cuenta con tres características como son: 1) complejidad; 2) Integra disciplinas; 3) Separación del contexto de la ciencia para generar nuevo conocimiento. Hadorn et al. (2008) reportaron que la investigación Td relaciona con conocimiento de sistemas, objetivo y transformación, Elzinga en 2008 encontró que la participación de las sociedades más prominente en las fases inicial y final del proyecto mientras que las fases medias del análisis son realizadas en su mayoría por investigadores, en ese mismo año Monturi reporto que la Td es una manera de pensar y participar en la investigación (Hernández, 2017).

Hernández en 2007 propone una metodología para realizar una investigación Td, logrando aplicarla en la formación de investigadores. Además en 2010 se estableció que la investigación Td contempla la observación del sujeto que investiga exigiendo auto-observación siendo está orientada al servicio a los demás (Peón y Hernández, 2009).

Mobjork (2010) entiende a la Td como un proceso de producción de conocimiento que incluye una variedad de actores y con una percepción de las diferentes formas de información producidas por la comunidad científica y comunidad laica, además se distingue dos tipos de Td: Consulta y participación, en ambas es considerado los actores como los sociales pero difieren principalmente en que como su nombre lo dice en la consulta los actores tienen la tarea de responder y reaccionar a la investigación realizada y los actores sociales no se incorporan activamente en el proceso de producción del conocimiento a diferencia de la participativa donde los actores sociales son plenamente incluidos en el proceso de producción del conocimiento y su conocimiento es igualmente valioso para el conocimiento científico (Mobjörk, 2010)

Raymond *et al.* (2010) proponen cinco dimensiones de los tipos de conocimiento en las investigaciones bajo el enfoque transdisciplinario como son:

El conocimiento de contexto específico se refiere al ajuste concreto del caso individual es decir condiciones específicas del contexto

El conocimiento generalizado pretende ser universalmente valido expresado de manera sistemático

El conocimiento fenomenológico aborda los fenómenos sociales y ambientales y su descripción

El conocimiento estratégico se centra en las conexiones e interrelaciones de los elementos de sistemas

El conocimiento experiencial se deriva de la experiencia de vida no puede formalizarse

El conocimiento científico se basa en evidencia empírica o teorías científicamente reconocidas

Apunta a una trascendencia general de los límites de las disciplina, ahora se hace hincapié en

Abordar los problemas del mundo

Promover el bien común

Integrar los actores académicos en la generación del conocimiento (Hadorn et al., 2010)

Raymond et al. (2010) Encontró que no existe un enfoque óptimo para integrar tipos de conocimientos, la contribución del conocimiento por diferentes actores requiere diseños de investigación adaptados al tema estudiado

Mobjork (2010) Es necesario reconocer las relaciones entre los diversos actores, su capacidad y el papel que desempeñan pueden verse se caracteriza por la integración del conocimiento científico y no académico para la resolución de problemas más complejos (Enengel et al., 2011)

La finalidad de la investigación transdisciplinaria es que se tenga un mayor impacto en la sociedad y que se produzca una investigación de mayor calidad. “Es por ello que los investigadores se dedican a la investigación transdisciplinaria se caracterizan por integrar los conocimientos científicos y no académicos en un marco de investigación inter y transdisciplinario para la resolución de problemas complejos” (Enengel et al., 2011)

1.1.4 Contexto en la caracterización de materiales

Desde la antigüedad los seres humanos han buscado la forma de poder interpretar o dar respuesta a su existencia, así también un entendimiento de su entorno, observando y comparando cualidades de objetos y sucesos en los que está inmerso.



Figura 1.5 Evolución caracterización de materiales (Elaboración propia 2017)

En la figura 1.5 se observa la forma evolutiva del desarrollo de métodos aplicados para la caracterización de diversos objetos en distintas áreas del conocimiento se puede ver al inicio los objetos eran clasificados mediante la observación de estos en la edad de piedra, más adelante con la ayuda del conocimiento adquirido en ese momento se avanzó a la edad de los metales los cuales servirían para la construcción de herramientas que hicieran más fácil la vida, el sistema de clasificación y con nuevas experiencias evoluciona, en la época de los griegos haciendo esta clasificación con un mayor detalle de partiendo al estudio de los objetos si tenían vida o no, a este tipo de clasificación se le denominó taxonomía descrita por Carl Von Linneo en 1779 realizando una categorización de las especies, además Darwin en 1859 publicó el origen de las especies donde establece que los seres vivos evolucionan mediante el pasar de las generaciones a lo cual nombre, selección natural, este hallazgo siguió evolucionando por tanto seguía la necesidad de cubrir nuevos aspectos en la caracterización de materiales, tomando en cuenta la aplicabilidad y necesidad en otras áreas.

En 1869, Mendeleev publicó la tabla periódica de elementos con un número de 60 elementos donde se pudieron conocer propiedades químicas de los mismos, en esta tabla se clasifican y distribuyen los elementos de acuerdo a sus características como son masa atómica o número atómico, debido a esto siguió en evolución el estudio y aplicación de estas experiencias adquiridas en las diferentes disciplinas o áreas del conocimiento así sucesivamente en la evolución de conocer características de los materiales debido a las propiedades con las que cuentan ya sean eléctricas, mecánicas, térmicas, químicas, magnéticas, ópticas entre otras.

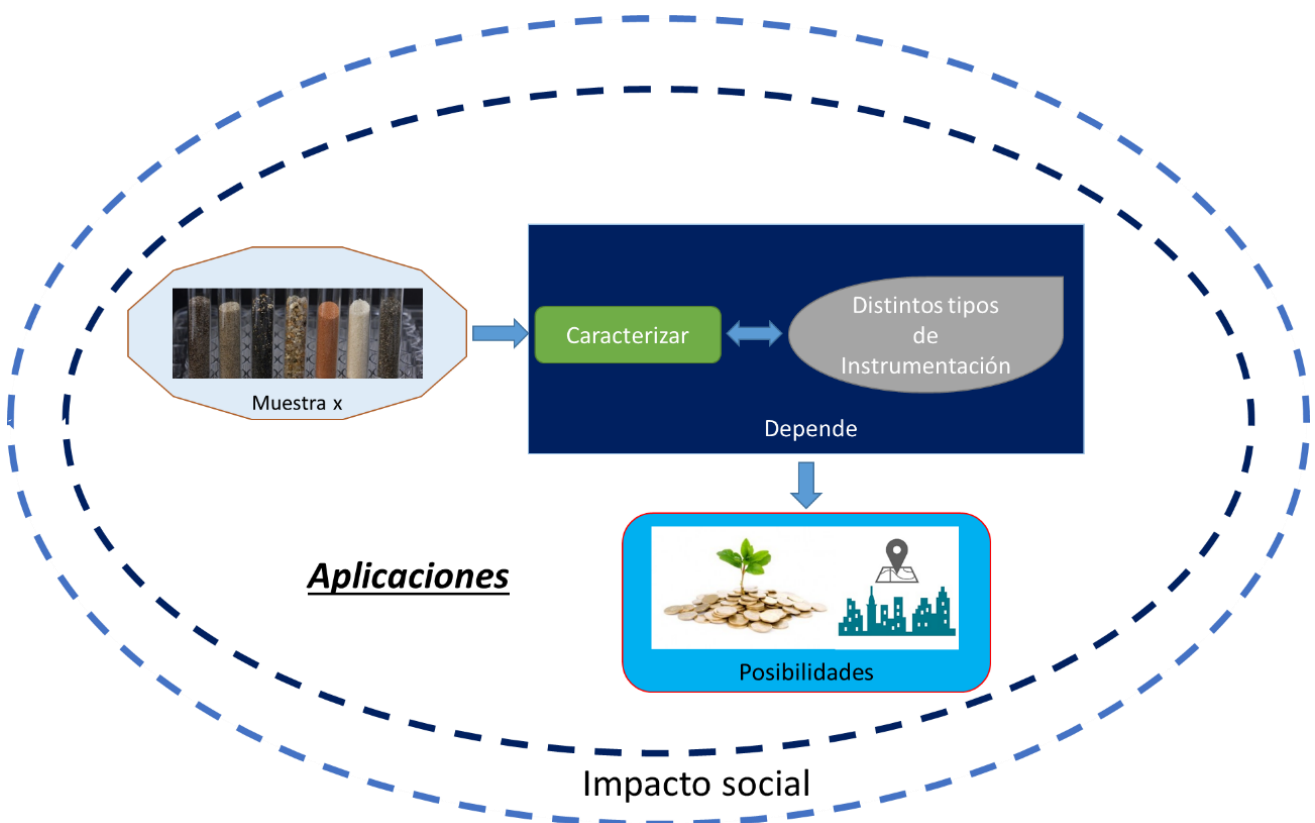


Figura 1.6 Contexto en la caracterización de materiales (Elaboración propia 2016)

La Figura 1.6 muestra algunas características o rasgos a tomar en cuenta para llevar a cabo la investigación debido a que existen diversos métodos para caracterizar materiales dependiendo del tipo de muestra a estudiar y las propiedades que se necesiten conocer, a su vez es necesario contemplar la tecnología y las posibilidades económicas con las que se cuente (Lomelí et al., 2012).

Es por ello que para generar conocimiento es necesario tener recursos que proporcione la tecnología y/o instrumentaciones para realizar investigaciones ya que una economía basada en conocimiento es aquella cuyo funcionamiento se sustenta de manera predominante en la producción, distribución y uso intensivo del conocimiento y la información, dado que la inversión en ciencia y tecnología es una herramienta fundamental para acceder a una economía de bienestar, basada en el conocimiento. En esta economía del conocimiento, las actividades productivas se basan en la creación de bienes y servicios de alto valor agregado (DOF, 2017).

1.1.5 Contexto del maíz

El nombre científico del maíz es (*Zea mays*), su planta es de producción anual, logrando alcanzar cuatro metros de altura (CONACYT, 2017), la importancia del maíz es debido a que es uno de los principales alimentos en México, Centroamérica, Colombia, etc., a su vez Estados Unidos principalmente lo utiliza como materia prima y alimento animal (González, 1995)

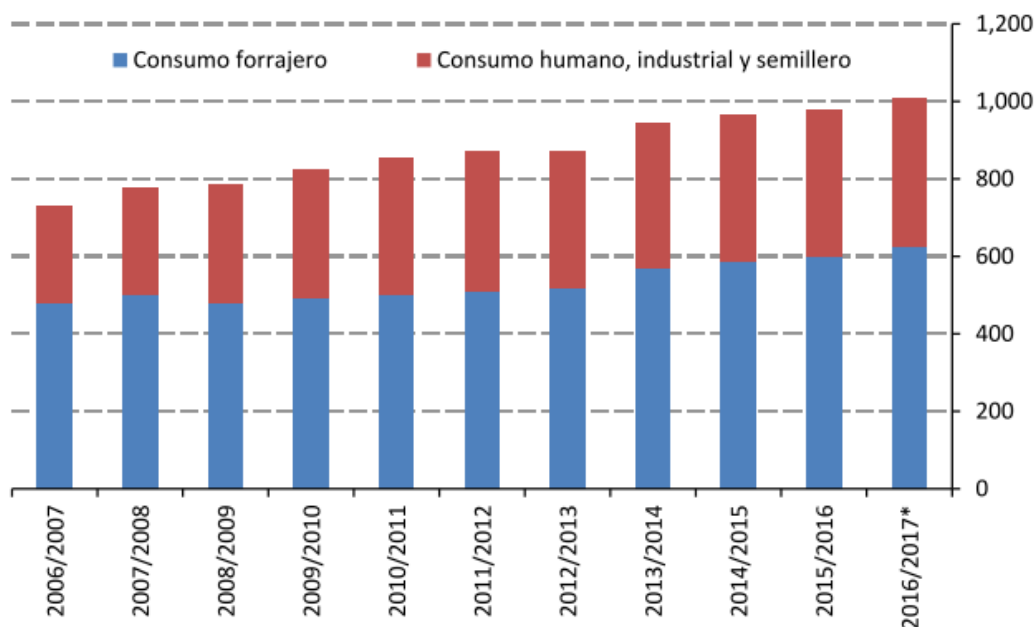


Figura 1.7 Usos del maíz en millones de toneladas (FIRA, 2015)

En la Figura 1.7 muestra el consumo de maíz donde principalmente es utilizado en consumo forrajero con 642.2 y 384.5 millones de toneladas para el consumo humano, industrial y semilla; tan solo Estados Unidos consume aproximadamente 312.4 millones de toneladas, este a su vez es utilizado en el consumo industrial como etanol.

En el ciclo productivo 2016/2017 de maíz a nivel mundial fue estimado a 1025.6 millones de toneladas, incrementando 6.9% del ciclo anterior, siendo sembrado 1.6% de más de superficie cosechada (FIRA, 2015).

La producción mundial del maíz se concentra en 5 países como son Estados Unidos, China, Brasil, Unión Europea y Argentina, en la Figura 1.8 se muestra la producción mundial de maíz estimada para 2016/ 2017 tomando en cuenta las producciones anteriores obtenidas a partir del 2006, dejando en claro que Estados Unidos es el principal productor de Maíz en el mundo.

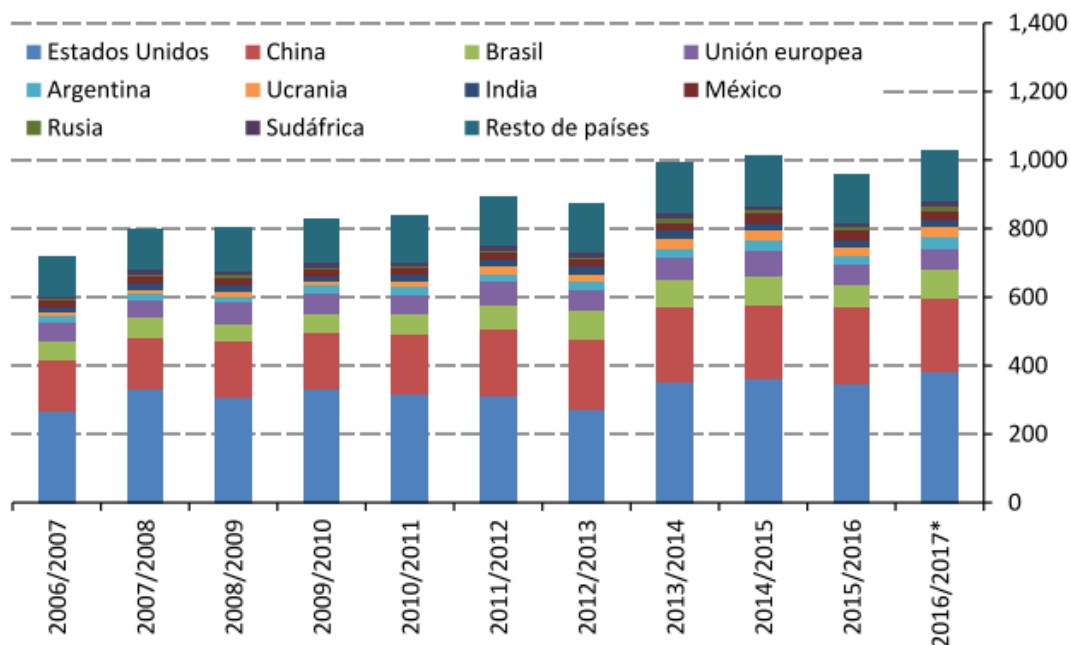


Figura 1.8 Producción mundial de maíz en millones de toneladas (USDA 2016)

En la Figura 1.9 se muestra donde fue consumido los dos tipos de maíz, en el cual el maíz blanco es principalmente para consumo humano y el maíz amarillo utilizado en consumo pecuario; siendo que en 2015 México produjo 24.69 millones de toneladas siendo principalmente 85.9% maíz blanco y 13.6% a maíz amarillo y un 0.5% a otro tipo de maíz (FIRA, 2015)

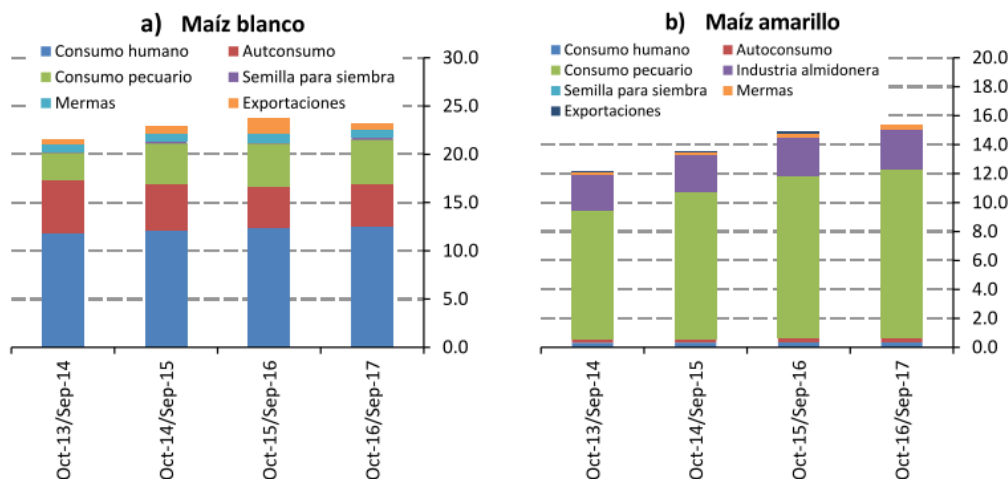


Figura 1.9 Consumo de grano de maíz en México por tipo (FIRA, 2015)

Como se mencionó en las figuras anteriores dependiendo de la variedad del maíz es su utilización y el área donde pueda tener mayor impacto; estas variedades dependerán de los compuestos químicos almacenados en el ya que existen distintas variedades como son de color negro, rojo y jaspeado; donde principalmente para consumo humano existe el maíz dulce, el reventador, el harinoso y cristalino; de estos últimos dos el harinoso posee un endospermo blando y el cristalino un endospermo grueso, duro donde se encierra un centro pequeño granuloso y amiláceo (FAO, 1993).

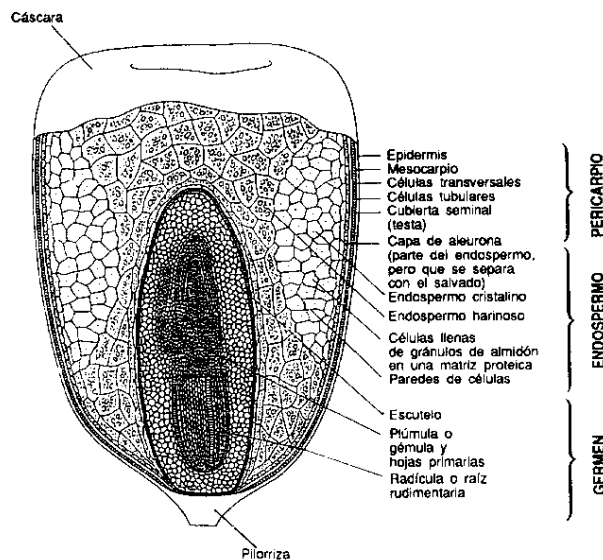


Figura 1.10 Estructura del maíz (FAO, 1993)

En la Figura 1.10 se muestra la estructura del grano, donde se encuentra el revestimiento de la semilla y se muestran las cuatro estructuras del grano, el pericarpio o cascara (5-6%), el endospermo (80-85%), el germen (10-12%) y el pedicelo (2-3%).

1.2 Fundamento de la investigación

1.2.1 Técnicas para caracterizar materiales por medio de imágenes

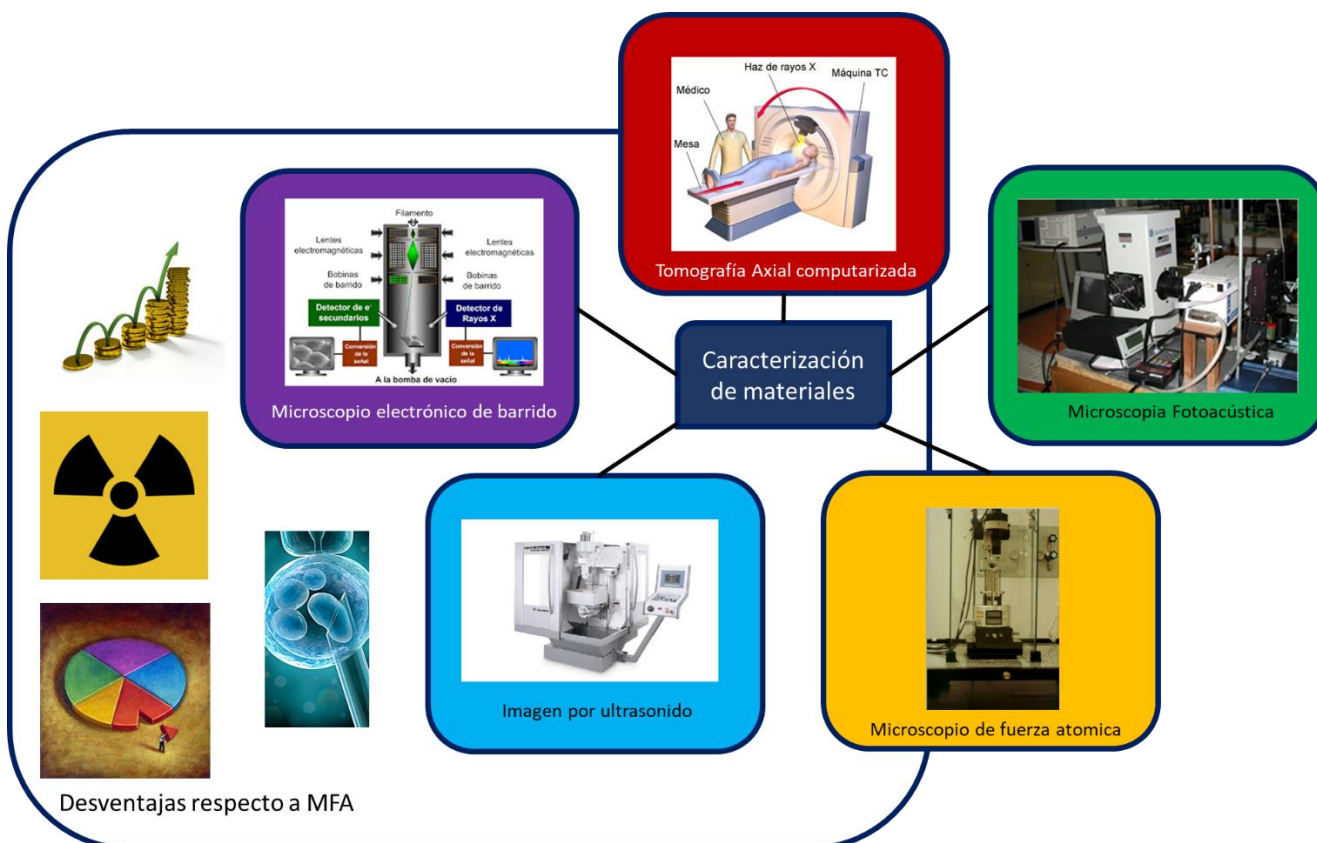


Figura 1.11 Técnicas para caracterizar materiales mediante imágenes (Elaboración propia, 2016)

En la figura 1.11 se pueden observar algunas instrumentaciones para caracterizar materiales como es la microscopia electrónica de Barrido (MEB) la cual obtiene la morfología de la superficie, cristalografía superficial y composición de elementos (Vargas et al., 2013).

La tomografía Axial computarizada (TAC) brinda imágenes por ultrasonido de las superficies teniendo en cuenta que es una instrumentación de bajo contraste así como el uso de radiación ionizante, la imagen por ultrasonido igual tiene un contraste pobre y no puede visualizar las estructuras a varios centímetros de profundidad.

Por medio de Tomografía Fotoacústica (TFA) obtuvieron las propiedades ópticas del tejido de piel de ratón *in vitro*, por otra parte mediante de la espectroscopia de Raman se logra determinar la estructura molecular y la composición de materiales, la microscopia de Fuerza atómica (ATM) brinda imágenes de superficie a escala molecular. En la Microscopia Fotoacústica (MFA) es una técnica donde se obtienen imágenes térmicas de un material, siendo una técnica no destructiva, ni invasiva (Suzuki *et al.*, 2005) tomando en cuenta que no se necesita una preparación previa de la muestra.

1.2.2 Técnicas fototérmicas

Las técnicas fototérmicas consisten en la incidencia de luz modulada sobre una muestra colocada en una celda cerrada que produce un cambio de temperatura creando variaciones de presión dentro de la celda pudiendo ser detectados estos cambios por algún tipo de sensor (Domínguez et al., 2013).

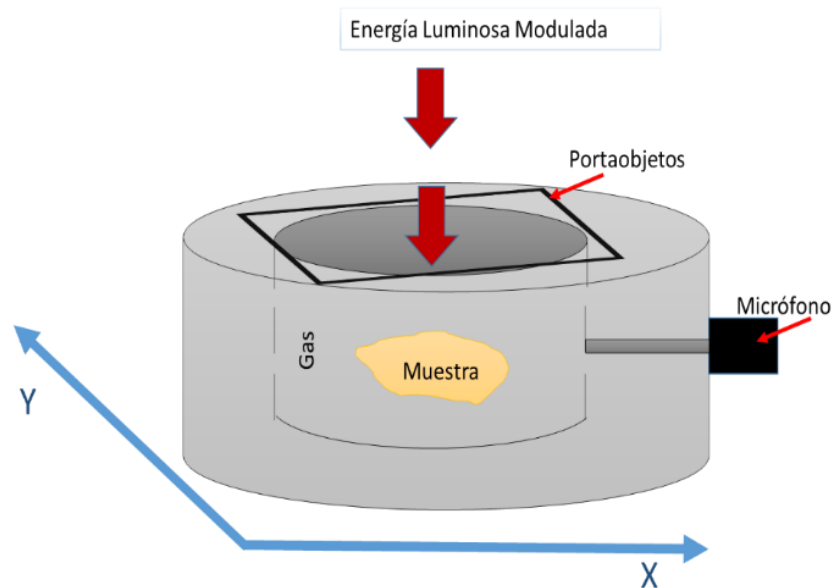


Figura 1.12 Celda fotoacústica cerrada empleada en diferentes técnicas fototérmicas (elaboración propia, 2015; adaptada de Domínguez 2015)

En la Figura 1.12 se muestra la imagen de la celda fotoacústica empleada en diferentes técnicas fototérmicas como es la MFA, donde la muestra se coloca dentro de la celda, la cual se encuentra herméticamente sellada por dos porta objetos, o ventanas de cuarzo; posterior a ello se hace incidir en la muestra energía luminosa modulada, a través de estas ventanas las cuales provocaran un calentamiento periódico en la muestra que al estar contenidas en la celda se producirá un cambio de presión dentro de la misma; estos cambios de presión serán censados mediante algún sensor como lo es un micrófono de electret.

Algunas de las técnicas fototérmicas más utilizadas por sus ventajas son:

EFA Espectroscopia Fotoacústica logran obtener espectros de absorción óptica de las muestras, efusividad térmica.

MFA Microscopía Fotoacústica obtiene imágenes térmicas siendo una técnica no destructiva ni invasiva, así como no se necesita un tratamiento previo de la muestra.

MFPE Microscopía Fotopiroelectrica obtiene imágenes térmicas así como la obtención de la efusividad térmica logrando ver variaciones de temperatura en la muestra

1.2.2.1 Efecto fotoacústico

El efecto fotoacústico es el principio de las técnicas fototérmicas donde se hace incidir la luz modulada en un material para obtener respuesta a partir de estos cambios de temperatura en la muestra

Bell (1880) descubrió el efecto FA mientras trabajaba con Charles Summer Tainter en un instrumento al que llamaron fotófono el cual se encuentra ilustrado en la Figura 1.13 donde se transmitía la voz de un lugar a otro utilizando la luz solar como portadora de la señal .



Figura 1.13 Fotófono construido por Bell (Bell, 1876; Marín 2008)

En la Figura 1.14 se muestra el espectrófono de Bell donde por la izquierda se hace incidir la luz blanca el cual por dentro separa la luz en diferentes longitudes de onda los cuales al hacer incidir en algún material provoca el efecto fotoacústico.



Figura 1.14 Espectrófono de Bell (Marín, 2008)

Una de las primeras propuestas de Bell era producir sonido por la acción de la luz, donde hizo incidir luz en Selenio a través de uno de los orificios de una rueda donde al girar el disco cortaba este haz de luz; es por ello que esta luz intermitente en el Selenio produciría un tono musical, el cual dependería de la rapidez del giro del disco (Bell y Ph, 1880).

El fotófono lo denominaron como una instrumentación para producir y reproducir sonidos de esa manera a través del aire; Bell y Summer Tainter realizaron múltiples experimentos para transmitir el sonido mediante el aire no logrando tener éxito; es por ello que cuando realizaron ese experimento se situaron a una distancia de 213 metros para comprobar si se escuchaba el sonido sin la necesidad de estar conectados el transmisor y receptor por un circuito eléctrico, logrando escuchar el Sr Bell lo siguiente: “Señor Bell, si escucha lo que digo venga a la ventana y agite su sonido” con lo cual comprobaron el funcionamiento del experimento (Bell y Ph, 1880).

Descubrió que al colocar selenio en forma de diafragma en un tubo de escucha el material emite sonido cuando es iluminado por una luz modulada, la cual obtuvo mediante hacer la luz pasar por un disco que giraba con agujeros, logrando descubrir que la intensidad de sonido emitido depende de la longitud de onda que hacía incidir debido a un proceso de absorción óptica (Marín, 2008).

La MFA se basa en la teoría del efecto fotoacústico dependiendo de tres procesos fundamentales: La Absorción de la radiación luminosa la cual depende de la muestra como es el coeficiente de absorción óptica de la misma, la Transformación de energía electromagnética en calor debida al calor generado entre la energía absorbida y la Difusión del calor a través del material como la propagación del calor a través del material (Marín, 2008)

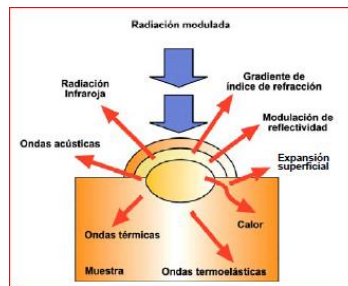


Figura 1.15 Efecto fototérmicas en una muestra (Marin. 2008)

El efecto FA forma parte de las técnicas fototérmicas FT, es por ello que la temperatura en la muestra sufre cambios iguales que a la de la radiación incidente, generando cambios térmicos en el material o en el entorno de la muestra (Marin, 2008). Cabe mencionar que en conjunto la técnica fotoacústica y fototérmico son un método de comprobación de propiedades térmicas no destructivas (Bageshwar et al, 2010).

En 1976 Rosencwaig y Gersho establecieron la teoría del efecto fotoacústico en solidos donde enuncian que es posible obtener parámetros ópticos, térmicos y geométricos en la señal fotoacústica, además de la obtención del coeficiente de absorción óptico en solidos; considerando que la señal acústica surge del flujo del calor periódico del solido al gas, encontrando una relación entre la señal acústica y la cantidad de luz absorbida por el sólido. Existen diversos casos en la teoría del efecto fotoacústico en solidos donde dependiendo de su longitud de coeficiente y de difusión térmica para saber si es térmicamente grueso o delgado, o si es ópticamente opaco o transparente bajo las siguientes condiciones:

- Ópticamente transparentes $(\mu B > 1)$
- Solidos térmicamente delgados $(\mu S \gg 1; \mu S > \mu B)$
- $(\mu S > 1; \mu S < \mu B)$
- Solidos térmicamente gruesos $(\mu S < 1; \mu S \ll \mu B)$
- Ópticamente opacos $(\mu B \ll 1)$
- Solidos térmicamente delgados $(\mu S \gg 1; \mu S \gg \mu B)$
- $(\mu S < 1; \mu S > \mu B)$
- Solidos térmicamente gruesos $(\mu S \ll 1; \mu S < \mu B)$

B= Coeficiente de absorción óptica

μB = Longitud del coeficiente de absorción óptica (Longitud de penetración = $1/B$)

$\mu B = 1/B$ y el espesor del solido l

μS = Longitud de difusión térmica en el solido

1.2.3 Imagen

La palabra imagen lo define la RAE como “Figura, Representación, semejanza y apariencia de algo”; en la Figura 1.15 se muestra estos conceptos donde en cada apartado se asemeja a aspecto de la vida cotidiana, debido a que es un término con muchas posibles interpretaciones.

Ademas proviene del latin *imago* la cual significa “mascara del muerto” debido a que esto hace alusión a los ritos funerarios en el pasado donde se pretendía la misma supervivencia de los difuntos en imagen, partiendo de esto una imagen es una construcción cultural y producción de sentidos (Mattanó, 2010).

En 1977 Foucault define a la imagen como “una representación, algo que no es una copia fiel de un objeto sino lo que aparece en su lugar”, debido a esto una imagen podría ser definida como un signo ya que no representa algo si no la idea de ese algo (Santaella y Noth, 1999): donde Saussure define que un signo depende del significante y significado que interviene en su interpretación (Kuschick, 2009)

Vitta define que la imagen es un elemento que depende de la misma idea de la civilización o sociedad, donde cada época establece su propio conocimiento y percepción de la imagen para intervenir en la realidad.

Además la imagen es una herramienta de expresión y comunicación con funciones diversas: informativa, estética y epistémica, las cuales ayudaran para generar conocimiento.

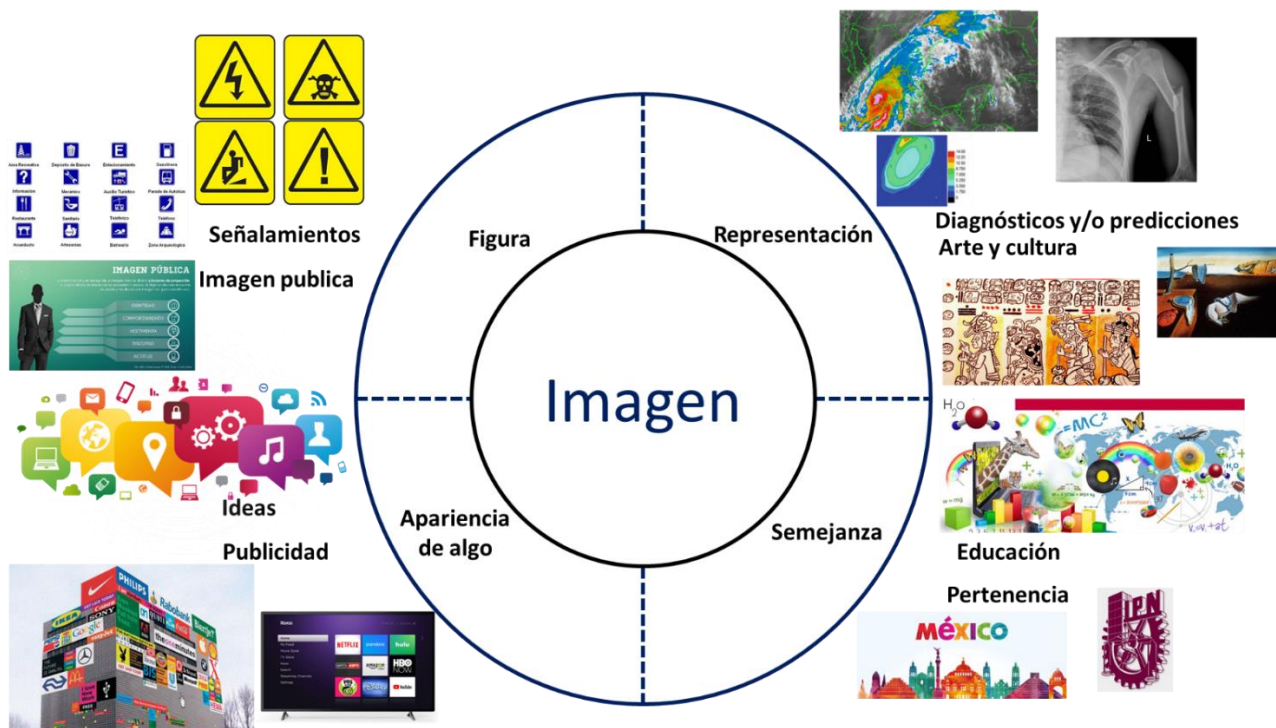


Figura 1.16 Diferentes términos aplicados a la palabra imagen (Elaboración propia, 2018)

1.3 Imágenes térmicas

Tomando en cuenta la teoría en la que se basa la MFA es posible conocer acerca de los trabajos que se han realizado con diversas instrumentaciones bajo este principio.

Para caracterizar y realizar una evaluación no destructiva en materiales sólidos la Microscopia Fotoacústica (MFA) es de utilidad (Thomas *et al.*, 1986), mediante la cual se obtienen imágenes térmicas. Sus aplicaciones pueden ser para materiales homogéneos y no homogéneos como los biológicos. Una de las características de esta técnica es que no hay preparación de muestras y tampoco se modifica la estructura de la misma ya que se considera una técnica no invasiva, tal es el caso de obtención de imágenes térmicas en semillas de maíz reportando el daño producido por plaga palomilla en el interior de la misma semilla mediante el uso de esta técnica (Domínguez *et al.*, 2012).

En 1979 Thomas *et al.* Demostraron que con la técnica de microscopia fotoacústica era posible la detección de defectos en la subsuperficies de materiales como lo es el metal, en esta investigación se utilizó como fuente de excitación luz láser de Argón con una distancia axial de resolución de 850 μm , realizando un barrido de frecuencias entre 10 y 1.5 kHz.

Es posible mediante la MFA el obtener imágenes en circuitos integrados donde se pueden observar las pistas de los mismos así como si existiera una posible discontinuidad, donde Favro *et al.* reportaron el uso de un láser de Argón, modulado a 1kHz logrando obtener una resolución Axial 6.25 μm .

Además la MFA puede ser utilizada en materiales biológicos así como en la agricultura; En 2005 Suzuki *et al.* reportaron la imagen térmica en granos de arroz en este experimento utilizó un láser de Argón realizando un barrido en una área de 6 por 6 milímetros a una resolución de 50 pixeles, haciendo que la luz incidente fuera modulada a 90 Hz; también se reportó la obtención de imágenes térmicas mediante Microscopia Fotopiroeléctrica en hojas (Briseño, 2007). Su uso también en muestras biológicas obteniendo imagen de los capilares donde el oxígeno y los nutrientes son intercambiados entre sangre y tejido (Maslov y Wang, 2008).

Mediante MFA se evaluó el deterioro de semillas de maíz y trigo obtenidas en distintos ciclos de producción (Domínguez *et al.*, 2009) logrando caracterizar semillas con diferente contenido de humedad mediante la obtención de imágenes térmicas (Domínguez *et al.*, 2010).

Con la ayuda de otras técnicas se puede obtener imágenes térmicas en materiales biológicos bajo el principio del EF, tal es el caso del estudio del cerebro de un ratón para observar la oxigenación en sangre y el flujo sanguíneo (Yao *et al.*, 2015), además se han logrado obtener imágenes en diferentes animales como son conejos, ratones y piel de cerdo, Zhang *et al.* obtuvieron imágenes térmicas de quemaduras en piel de cerdo utilizando un láser de 584 nm modulado a 50 MHz, es por ello la importancia de conocer las aplicaciones en diferentes materiales mostrados en Tabla 1.

Tabla 1 Revisión de literatura para MFA

<i>Año</i>	<i>Autor</i>	<i>Que hizo</i>	<i>Técnica</i>	<i>Tipo de muestra</i>	<i>Longitud de onda (nm)</i>	<i>Distancia del paso</i>	<i>Frecuencia (Hz)</i>
1979	R.L. Thomas et al	Detección de defectos subsuperficiales en metales	Microscopía fotoacústica	Metal	Argón	850 μm	10-1.5k
2010	Arturo Domínguez Pacheco, Claudia Hernández Aguilar, et al	Caracterización de semillas con diferente contenido de humedad	Microscopía fotoacústica	Semillas de rábano y tomate	650	70 μm	1
2005	Manabu Suzuki, Katsuhiko Miyamoto y Tsutomu Hoshimiya	Evaluación de la calidad de los granos de arroz	Microscopía fotoacústica	Grano de Arroz	Argón	6 x 6 mm con 50 x 50 pixeles	90
	Erich Stein, Konstantin Maslov, y V. Wang	Imagen no invasiva, in vivo de la dinámica de la oxigenación de la sangre dentro del cerebro del ratón	Microscopía fotoacústica	Cerebro de ratón	561 570	70 μm 54 μm	20 M
1980	L. D. Favro, P. K. Kuo, J. J. Pouch, y R. L. Thomas	Obtención de imágenes térmicas en un circuito integrado	Microscopía fotoacústica	Circuito integrado	Ar-Ion	6.25 μm	1k
2013	Arturo Domínguez Pacheco, Claudia Hernández Aguilar, et al	Análisis de los gérmenes de semilla de maíz	Microscopía fotoacústica	Semilla de Maíz	650 670	100 μm 100 μm	1 1-1K
2010	Chi Zhang, Konstantin Maslov, y Lihong V. Wang	Imagen del melanoma y los vasos sanguíneos en un ratón	Resolución de longitud de onda con Microscopía fotoacústica	Oreja de un ratón	532	125 nm	40 M

2012	Arturo Domínguez Pacheco, Claudia Hernández Aguilar, et al	Obtención de imagen térmica del germen de semilla de café	Microscopía fotoacústica	Germen de Café	650	80 μm	1
2011	Song Hu, Konstantin Maslov, and Lihong V. Wang	Imagen de vasos sanguíneos in vivo	Microscopía fotoacústica de resolución óptica rápida	Oreja de ratón	561-570	2.5 μm	40 k
2009	Arturo Domínguez Pacheco, Claudia Hernández Aguilar, et al	Evaluación de semillas de trigo y maíz	Microscopía fotoacústica	Semilla de Trigo y Maíz	650	50 μm	1
2006	Meng-Lin Li, Hao F. Zhang, and Konstantin Maslov	Imagen de fibra de carbono con varias profundidades	Microscopía fotoacústica de resolución óptica	Fibra de carbono	584	45 μm	50 M
2013	Arturo Domínguez Pacheco, Claudia Hernández Aguilar, et al	Imágenes térmicas de pequeñas semillas agrícolas	Microscopía fotoacústica	Semillas de rábano y jitomate	650	70 μm	1
						Microscopía fotopiroeléctrica	650
1986	W. Arnold, B. Hoffmann, and H. Willems	Estimación de la profundidad de una grieta	Microscopía fotoacústica	Metal		10 μm	100k

2012	Arturo Domínguez Pacheco, Claudia Hernández Aguilar, et al	Análisis térmico de semilla de maíz con plaga	Microscopia fotopiroeléctrica	Semilla de maíz	650	100 μm	1
2006	Zhang, H. F., Maslov, K., Stoica, G., y Wang, L. V. (2006)	Imágenes de quemaduras térmicas	Microscopia fotoacústica	Cerdos blancos	584	15 x 45 μm	50 M
2015	Guo HE, Bingbing LI, Sihua YANG	Imágenes in vivo de un solo eritrocito	Microscopia fotoacústica de resolución óptica	Arterias de la oreja de un conejo	532	0.2 μm	15
2008	Konstantin Maslov, Hao F. Zhang, Song Hu, y Lihong V. Wang	Imágenes de capilares in vivo	Microscopia fotoacústica de resolución óptica	Trozo de piel de ratón	590	4.9 μm	75 M
2009	Song Hu, Konstantin Maslov, and Lihong V. Wang	Imagen de vasos sanguíneos in vivo	Microscopia fotoacústica de resolución óptica	Oreja de ratón	570-578	5 μm	40 k
2011	Song Hu, Konstantin Maslov, and Lihong V. Wang	Imagen de vasos sanguíneos in vivo	Microscopia fotoacústica de resolución óptica rápida	Oreja de ratón	561-570	2.5 μm	40 k
2016	<i>Dong et al.</i>	<i>Obtención de imágenes de glóbulos rojos</i>	<i>Microscopia fotoacústica de resolución óptica rápida</i>	<i>Oreja de ratón</i>	<i>532</i>	<i>0.7 x 2.1 μm</i>	<i>280 M</i>

1.4 Justificación

La materia y energía ha servido en la humanidad para mejorar ya que al conocer su estructura se puede dar usos dependiendo de sus características, es por ello que al tener esta información se tiene la capacidad para elegir el material adecuado para cada situación, teniendo en cuenta estas propiedades físicas, químicas, etc.

El estudio de las estructuras de los materiales es cada vez más importante, en muchos casos los materiales tienen diferentes capas que los componen o dañan en su interior los cuales no son fáciles de observar o detectar sin que las muestras sufran alteraciones o daños, la MFA es una técnica no destructiva, que permite realizar escaneos de muestras obteniendo imágenes térmicas.

En la Figura 1.17 se muestra que al caracterizar materiales podemos conocer sus propiedades las cuales tienen distintas estructuras y comportamientos, dependiendo de la agrupación de sus moléculas, los cuerpos tienen cuatro estados diferentes: sólido, líquido, gaseoso y plasma siendo divididos entre grupos principalmente materiales metálicos, poliméricos, y cerámicos (Smith, 1993).

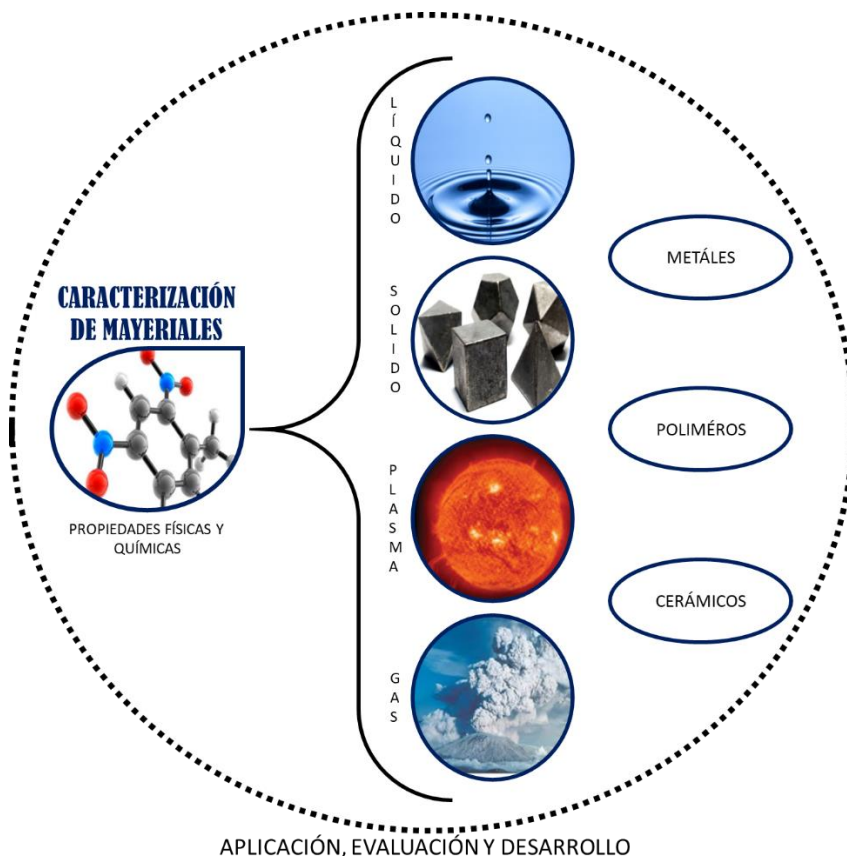


Figura 1.17 Justificación de la investigación (Elaboración propia, 2016)

Esto es de ayuda ya que al conocer su composición podemos darle usos, evaluar los materiales así como el desarrollo y estudios de nuevos materiales.

Al utilizar la técnica como Microscopia Fotoacústica brinda información que puede ser útil para determinar propiedades térmicas que logren ayudar a diferenciar materiales (Domínguez et al., 2013)

Es por ello que la técnica de MFA puede cubrir la desventaja actual acerca de la instrumentación convencional siendo una alternativa para caracterizar materiales enfocándolo a materiales que puedan servir en el medio ambiente, alimentación, salud y otros

En el caso de materiales biológicos en la agricultura se ha reportado que las técnicas fototérmicas FT como la espectroscopia fotoacústica se han utilizado para el estudio del coeficiente de absorción óptico de maíz (Muñoz *et al.*, 2000) y espectros de absorción ópticos para detectar cambios a nivel de clorofila a 650 y 680 nm reportado por Hernández *et al.* (2005) se han obtenido imágenes térmicas de arroz, empleando un láser de Argón a una frecuencia de modulación de 90 Hz reportado por Suzuki et al. (2005), Esta técnica también se ha aplicado para observar las diferencias respecto al deterioro de semillas de maíz y trigo obtenidas en distintos ciclos de producción utilizando como fuente de excitación luz láser con una longitud de onda de 650 nm modulado a 1 Hz (Domínguez *et al.*, 2009).

A pesar de los avances en tecnología y que sus aplicaciones se han utilizaron desde el siglo pasado la Microscopia Fotoacústica a permanecido en gran medida como una herramienta de investigación. Sus aplicaciones en la vida cotidiana y en el área de la medicina aún requieren mayor trabajo, por ello es importante la revisión de este tema.

Con la ayuda de las tablas de revisión y de diferencias en las técnicas es posible tener una idea acerca de la mejor técnica a emplear dependiendo del tipo de material.

Al ser aplicable en materiales biológicos, es importante el caracterizar estos materiales para conocer acerca de sus propiedades o diferencias con otros de su tipo o contrario, además el uso de tecnologías desarrolladas en el país logran crear bienes y servicios de alto valor agregado. Este supuesto está detrás de la elaboración de este Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación (DOF, 2017), tomando en cuenta uno de los objetivos del Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2014-2018 (PECiTI) “Hacer *del desarrollo científico, tecnológico y la innovación pilares para el progreso económico y social sostenible*”.

La investigación que se está realizando bajo el enfoque transdisciplinario donde se puede contribuir en varios aspectos como son el desarrollo de tecnología los cuales puedan brindar a evitar dependencia tecnológica, así como sus posibles aplicaciones en diversos materiales esperando tener aportes en algún problema de los que se abordaran en el mundo real.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Realizar un análisis térmico de materiales biológicos mediante el método de microscopia fotoacústica: instrumentación portátil

1.5.2 Objetivos particulares

- Realizar la revisión de literatura científica (estado del arte)
- Establecer un marco teórico y metodológico de la investigación
- Focalizar la problemática a abordar teniendo evidencia de ello
- Obtener imágenes térmicas mediante MFA sobre diversos materiales tales como polímeros y metales con una instrumentación portátil
- Obtener imágenes térmicas con MFA utilizando diferentes longitudes de onda como fuente de excitación
- Obtener imágenes mediante MFA en semillas de Maíz Harinosa y Cristalino
- Comparar resultados de MFA con otra instrumentación en materiales biológicos
- Realizar un análisis de las señales encontradas en los distintos materiales

1.6 Hipótesis

- Es posible obtener imágenes térmicas con una instrumentación portátil, encontrando diferencias entre ellas
- Se puede obtener imágenes térmicas en diversos materiales con MFA
- Variando la longitud de onda de los láseres es posible encontrar diferencias en las imágenes mediante MFA
- Utilizando una instrumentación de MFA es posible obtener imágenes térmicas en materiales biológicos.
- Con el uso de una instrumentación de PZT y de MFA es posible obtener imágenes térmicas en ambas instrumentaciones

1.7 Tabla de congruencia

Tabla 2 Tabla de congruencia (Elaboración propia, 2017)

Problema de Investigación	
Justificación	
<p>La materia y energía ha servido en la humanidad para mejorar ya que al conocer su estructura se puede dar usos dependiendo de sus características, es por ello que al tener esta información se tiene la capacidad para elegir el material adecuado para cada situación, teniendo en cuenta estas propiedades físicas, químicas, etc.</p> <p>Al caracterizar materiales podemos conocer sus propiedades las cuales tienen distintas estructuras y comportamientos, puede servir de ayuda ya que al conocer su composición podemos darle usos, evaluar los materiales así como el desarrollo y estudios de nuevos materiales.</p>	
Objetivo General	
Realizar un análisis térmico de materiales biológicos mediante el método de microscopia fotoacústica: instrumentación portátil	
<p style="text-align: center;">Objetivo particular 1</p> <ul style="list-style-type: none"> Realizar la revisión de literatura científica (estado del arte) <p style="text-align: center;">Objetivo particular 3</p> <ul style="list-style-type: none"> Focalizar la problemática a abordar teniendo evidencia de ello <p style="text-align: center;">Objetivo particular 5</p> <ul style="list-style-type: none"> Obtener imágenes térmicas mediante MFA sobre diversos materiales tales como polímeros y metales con una instrumentación portátil <p style="text-align: center;">Objetivo particular 7</p> <ul style="list-style-type: none"> Obtener imágenes mediante MFA en semillas de Maíz Harinosa y Cristalino 	<p style="text-align: center;">Objetivo particular 2</p> <ul style="list-style-type: none"> Establecer un marco teórico y metodológico de la investigación <p style="text-align: center;">Objetivo particular 4</p> <ul style="list-style-type: none"> Realizar una evaluación del sujeto que investiga <p style="text-align: center;">Objetivo particular 6</p> <ul style="list-style-type: none"> Obtener imágenes térmicas con MFA utilizando diferentes longitudes de onda como fuente de excitación <p style="text-align: center;">Objetivo particular 8</p> <ul style="list-style-type: none"> Comparar resultados de MFA con otra instrumentación en materiales biológicos
Hipótesis	
<ul style="list-style-type: none"> Es posible obtener imágenes térmicas con una instrumentación portátil, encontrando diferencias entre ellas Se puede obtener imágenes térmicas en diversos materiales con MFA Variando la longitud de onda de los láseres es posible encontrar diferencias en las imágenes mediante MFA Utilizando una instrumentación de MFA es posible obtener imágenes térmicas en materiales biológicos. Con el uso de una instrumentación de PZT y de MFA es posible obtener imágenes térmicas en ambas instrumentaciones 	
Características de la Investigación	
El trabajo de investigación se desarrolla bajo la perspectiva sistémica transdisciplinaria donde se llevará a cabo la revisión de la literatura , los requerimientos que se necesitan para la investigación y la investigación experimental es decir ligar la teoría con la práctica tomando en cuenta las personas que viven el problema	



Capítulo II

Marco Teórico y Metodológico

2.1 Marco Teórico

Para realizar la investigación es necesario seleccionar un marco teórico adecuado, al realizarla bajo una visión sistémica transdisciplinaria se necesita el apoyo de otras ciencias y disciplinas que ayuden a cumplir los objetivos planteados

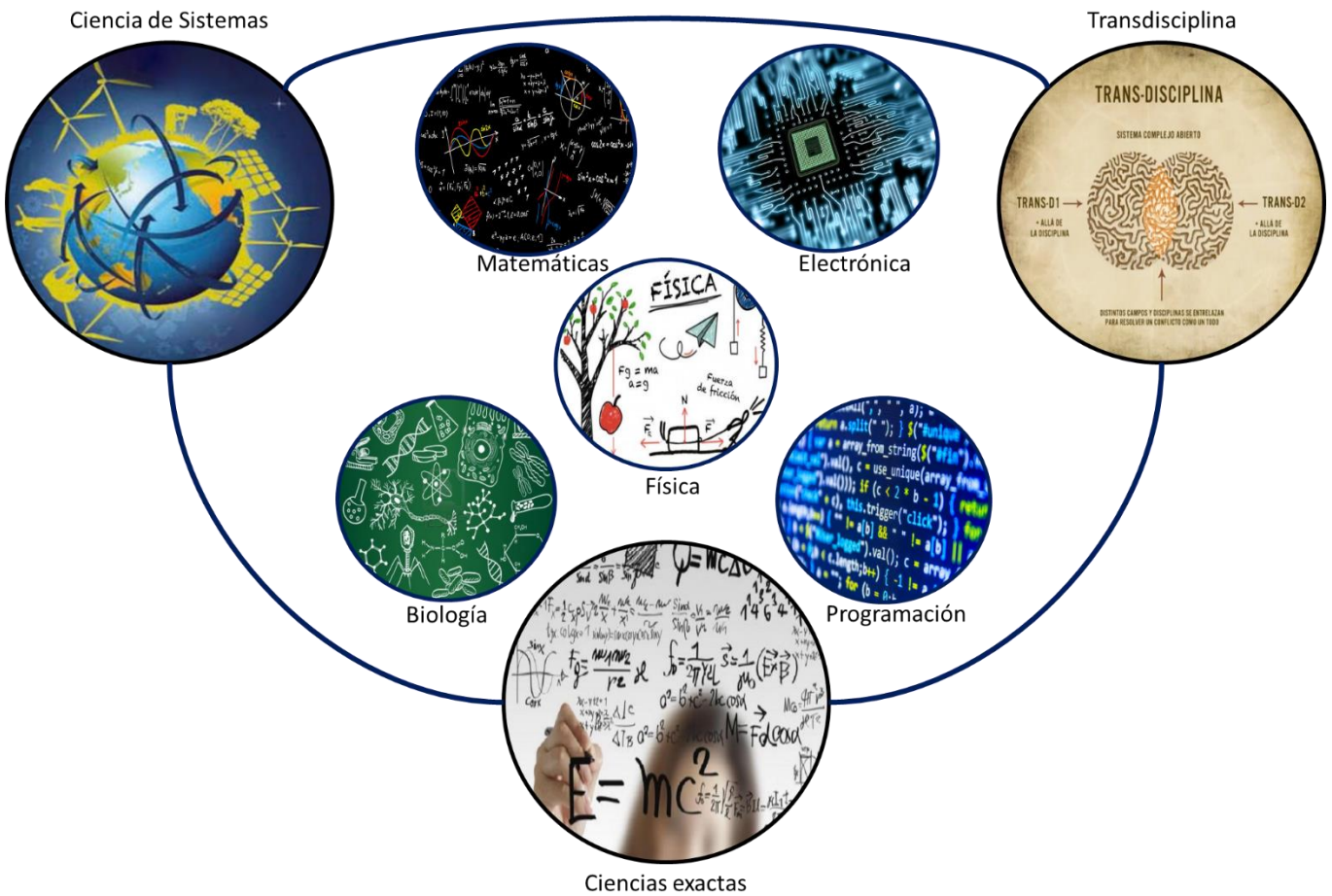


Figura 2.1 Marco teórico a desarrolla contemplando diversas ciencias o enfoques que intervienen en la investigación (Elaboración propia, 2017)

En la Figura 2.1 se muestra las ciencias que intervienen en la investigación, al pretender estar bajo el enfoque transdisciplinario es necesario el tomar en cuenta la ciencia de sistemas como integradora para realizar una investigación donde se contempla aspectos importantes como es el proponer soluciones que puedan intervenir en problemas del mundo real, el enfoque transdisciplinario servirá para elegir alguna metodología que coadyuve al cumplimiento de los objetivos tomando en cuenta a los actores del problema; por otra parte es fundamental la intervención de las ciencias exactas, en este caso la investigación al basarse en un efecto térmico es necesario el uso de física, matemáticas, termodinámica, y algunas teorías acerca del efecto fotoacústico.

2.1.1 Ciencia de sistemas

La visión sistémica es integradora del sistema y su entorno así como la relación con otros sistemas o con suprasistemas a los que pertenece.

Al hacer referencia de la visión sistémica, es necesario tomar en cuenta la aportación de la cibernética, donde se estudia el control y la autorregulación de los sistemas, clasificándolos en cibernética de primer o segundo orden, y la teoría general de sistemas, establecida por Ludwig von Bertalanffy, donde se insiste en la existencia de leyes isomorfas en la ciencia, dando paso a los enfoques multidisciplinarios (François, 1999).

El pensamiento de sistemas es contrario al pensamiento analítico clásico, fundamentado por la física newtoniana el cual depende de dos casos (Bertalanffy, 1968)

Es por ello que el pensamiento de sistemas respalda una visión holística, estudiando a los sistemas como un todo y no como la suma de sus partes (Ackoff, 1959), teniendo en cuenta esto se considera que no todo lo que influye en el sistema tiene la misma importancia (Briggs y Peat, 1989).

Ingeniería de Sistemas es la ciencia del diseño de sistemas complejos en su totalidad para garantizar que los subsistemas que componen el sistema funcionen adecuadamente, donde un sistema se ha definido como cualquier agrupación compleja de seres humanos y máquinas con un objetivo, como toda una planta industrial, toda una empresa o un sistema de cohetes (Jenkins, 1969).

La importancia de la metodología de los sistemas duros, su estudio y comprensión, tienen la finalidad de alcanzar los resultados deseados y de una manera factible, optimizando nuestro proceso y así mismo, el resultado.

Por lo tanto, la Ingeniería de Sistemas es la actividad de planificación, diseño, construcción operando sistemas complejos (Jackson, 1985)

La metodología de sistemas duros puede según P. B. Checkland, "ser visto como un compuesto de tres metodologías de "ingeniería de sistemas" (AD Hall, H. Chestnut, G. · M. Jenkins, etc.), el "análisis de sistemas" (RAND Corporation, etc.) y la "investigación operativa" tradicional con lo que Ackoff llama su paradigma de "predicción y preparación". Los sistemas duros se reconocen comúnmente donde hay una relación hombre-máquina, donde la parte tecnológica, la parte estructural, las especificaciones o mecanismos se hagan presentes en el sistema.

2.1.2 Física

La física es la ciencia que estudia e investiga los conceptos fundamentales de la materia, energía y el espacio, así como las relaciones entre ellos (Tippens, 2011), la RAE lo define como ciencia que estudia las propiedades de la materia y energía así como la relación entre ellas.

Al ser una ciencia exacta otras ciencias y disciplinas como es la química, biológica se rigen bajo las leyes descritas en Física; donde la misma surge en la antigüedad debido a la necesidad de comprender

la naturaleza y los fenómenos que en ella ocurren, con los grandes pioneros como Galileo en el siglo XVI interesado en el movimiento de los cuerpos y las leyes que lo rigen, más adelante Newton formulo las leyes de la física clásica y la ley de gravitación universal en el siglo XVII, en el siglo XIX principalmente se avanzó en el área de electromagnetismo con el trabajo de Maxwell, más adelante en 1913 Ernest Rutherford muestra el modelo del átomo; en 1905 Einstein formulo la teoría de la relatividad, siendo en 1925 cuando se comienza a introducir el termino de mecánica cuántica.

En la Figura 2.2 se muestra como la física se divide en física clásica y física moderna de las cuales se desprenden más áreas del conocimiento, como es la termodinámica, el electromagnetismo, la acústica, la electrónica, etc.

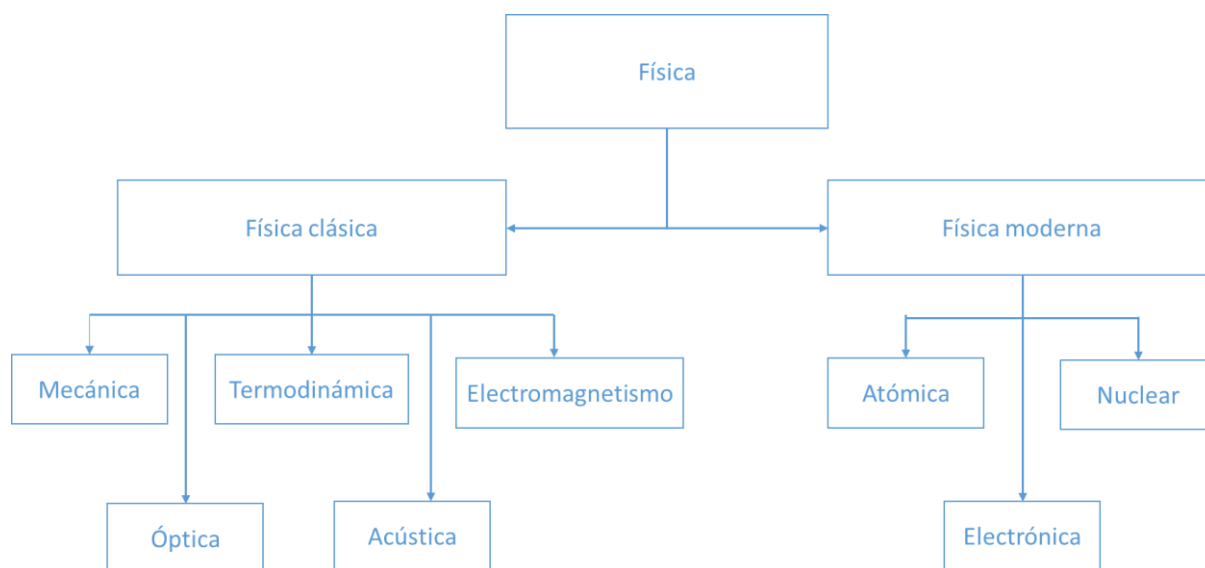


Figura 2.2 Disciplinas de la Física (Elaboración Propia, 2015)

2.1.3 Termodinámica

La termodinámica es una rama de la física que estudia la transformación de energía térmica en energía mecánica, así como el proceso inverso es decir el trabajo convertirlo a calor (Tippens, 2011).

El principio de conservación de energía explica que mediante el calor y el trabajo la energía del cuerpo puede ser transmitida al medio y de caso contrario la energía del medio puede ser transferida al cuerpo suponiendo que las pérdidas en este intercambio sea cero (Kitaigorodski, 1975) a esto se le denomina la primera ley de la termodinámica.

En la segunda ley de la termodinámica se establecen restricciones en un sistema como procesos que ocurren en una sola dirección, estableciendo que no es posible construir una máquina que trabaje continuamente y no genere otro efecto que la extracción de calor de una fuente y la realización de una cantidad equivalente al trabajo, (Tippens, 2011)

Finalmente para que exista un equilibrio térmico es necesario el cumplimiento de dos condiciones, que la temperatura del sistema sea igual a la de su entorno y que además no exista alguna fuerza externa que modifique al sistema.

2.1.4 Tipos de transferencia de calor

El calor es la forma de la energía que se puede transmitir de un sistema a otro como resultado de diferentes temperaturas (Cengel, 2011).

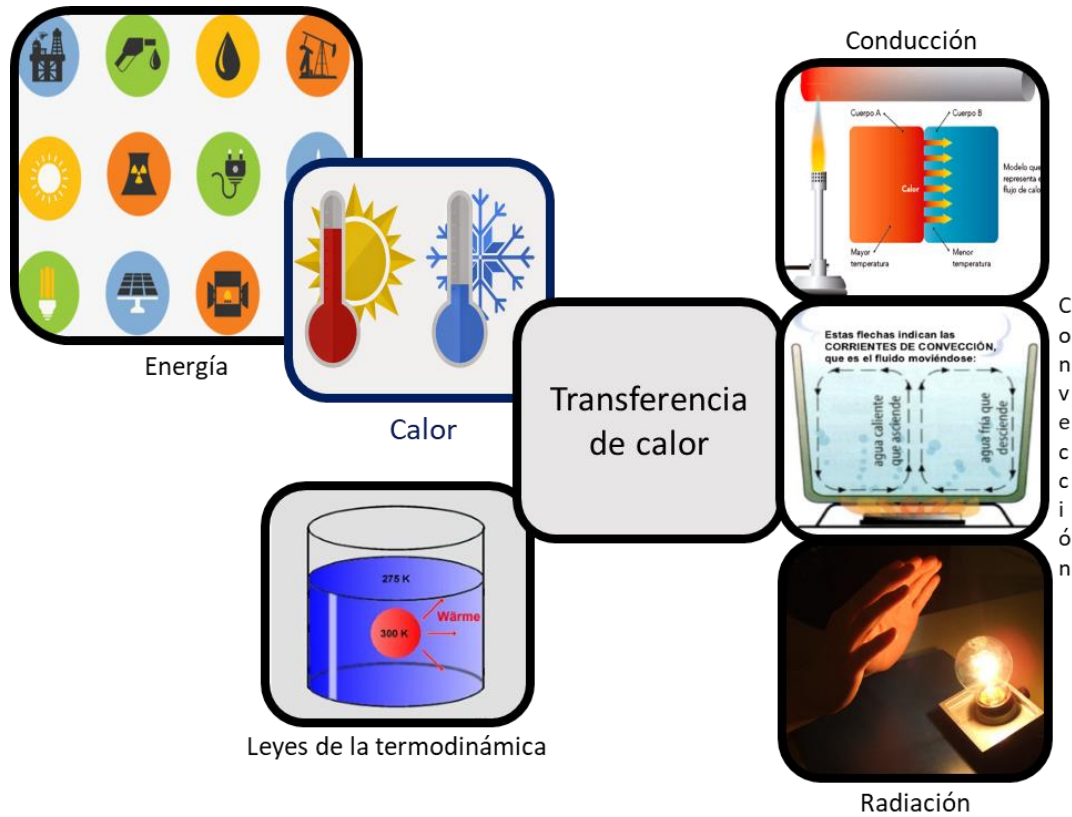


Figura 2.2 Transferencia de Calor (Elaboración propia, 2018)

La figura 2.2 muestra varios elementos necesarios para realizar la transferencia de calor. La 1ra ley de la termodinámica enuncia lo siguiente “se requiere que la razón de transferencia de energía hacia un sistema sea igual a la razón de incremento de la energía de ese sistema” mientras que la 2da ley de la termodinámica “Se requiere que el calor se transfiera en la dirección de la temperatura decreciente” (Cengel y Afshin, 2011).

Para que exista una transferencia de calor es necesario que exista una diferencia de temperatura, donde puede hacerse en tres modos:

2.1.4.1 Conducción

En este tipo de transferencia las partículas más energéticas de una sustancia son transferidas en dirección de las más adyacentes y menos energéticas como resultado de la interacción de sus partículas (Cengel, 2011).

La conductividad térmica es la rapidez de la conducción de calor a través de un medio, siendo dependiente de su estructura geométrica, el espesor así como la diferencia de temperatura siendo una medida de la capacidad de un material para conducir el calor a su vez la difusividad térmica representa la rapidez con que se difunde el calor por el material. (Cengel, 2011)

2.1.4.2 Convección

Es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas el cual se encuentra en movimiento combinando la conducción con el movimiento de fluidos, tomando en cuenta que entre más rápido sea el movimiento de un fluido mayor es transferencia de calor por convección, este tipo de transferencia de calor entre un fluido o un gas generalmente por mezcla (Kern, 1999), siendo el caso de la inexistencia de movimiento entre la superficie y el fluido será por conducción.

2.1.4.3 Radiación

Es la energía emitida por un cuerpo en forma de ondas electromagnéticas teniendo un resultado en cambios en sus átomos o moléculas (Cengel y Afshin, 2011). La radiación involucra la transferencia de energía desde una fuente al receptor tomando en cuenta que el mismo parte de la energía la absorbe y otra la refleja (Kern, 1999).

2.1.5 Electromagnetismo

Es la rama de la física que se encarga del fenómeno eléctrico y magnético y las relaciones entre ellos, generados por la interacción electromagnética, comenzando sus hallazgos cuando mediante el frotamiento del ámbar, éste atraía objetos ligeros, estableciéndose como ondas electromagnéticas hasta el siglo XIX (Alvarado y Valdés, 2011).

Fueron distintos los personajes que ayudaron al descubrimiento de esta rama, aunque entre ellos sobresalen por Michael Faraday el cual describió las bases, posteriormente fueron descritas de modo completo por James Clerk Maxwell en las denominadas ecuaciones de Maxwell, donde se establece cuatro ecuaciones que describen la variación entre los campos magnéticos y eléctricos en el espacio.

El campo eléctrico existe siempre y cuando en una región del espacio se encuentre esta carga experimentando una fuerza eléctrica, se mide mediante la intensidad de campo eléctrico (N/C)

Newton N sobre Coulomb C ; la dirección de la intensidad de campo eléctrico situada en un lugar de espacio, será la misma que la dirección en la cual una carga positiva se moverá si se situara en ese punto (Tippens, 2011).

La energía electromagnética en una longitud de onda particular λ (en el vacío) tiene una frecuencia asociada f y una energía fotónica E . Así, el espectro electromagnético puede expresarse en términos de cualquiera de estas tres variables, que están relacionadas mediante ecuaciones.

La luz visible forma parte del espectro electromagnético. El espectro electromagnético está conformado por ondas con diferentes longitudes de onda, o frecuencias.

Ondas de radio: mayores que 187 mm.

Microondas: de 187 - 10 mm.

Ondas milimétricas: de 10 - 1 mm.

Visible: de 750 - 400 nm.

Ultravioleta: de 400 - 10 nm.

Rayos X: de 10 - 0.01 nm.

Rayos Gamma: menores que 0.01 nm.

2.1.6 Electrónica

Es la rama de la física que realiza el estudio y aplicación del comportamiento de los electrones en diversos medios, como el vacío, los gases y los semiconductores, sometidos a la acción de campos eléctricos y magnéticos (RAE, 2014)

Los orígenes se dan a finales del siglo XIX cuando Thomas Edison observó que se generaban depósitos negros en el interior de las lámparas de vidrio al vacío con las que trabajaba (Tippens, 2011).

Posteriormente Edison demostró que si una placa metálica se sellaba en el interior del tubo de vacío mediante las conexiones mostradas en la Figura 2.3, el galvanómetro mostraba la presencia de corriente eléctrica entre la placa y el filamento, al fenómeno que origina la emisión de electrones a partir del filamento se le conoce como emisión termoiónica

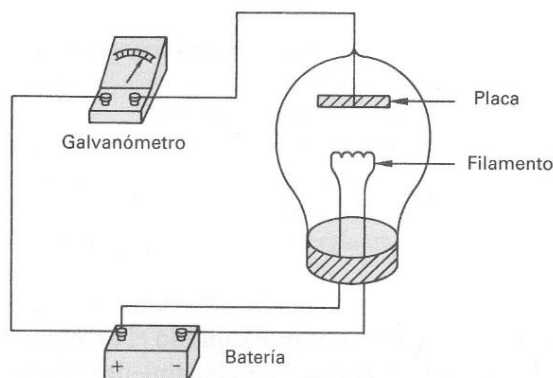


Figura 2.3 Experimento de Edison (Tippens, 2011)

La tecnología en estado sólido ha remplazado a la tecnología de tubos al vacío debido a las características singulares de los semiconductores, materiales conformados por materiales que no son aislantes pero tampoco son conductores.

2.1.7 Microscopia Fotoacústica

Hay dos configuraciones principales para la MFA: modo de reflexión, donde la fuente de iluminación y el detector están en el mismo lado de la muestra; Y el modo de transmisión donde están en lados opuestos (Maslov y Zhang, 2008)

La muestra a investigar se encuentra dentro de una celda cerrada es excitada a través de energía luminosa modulada, dicha muestra se expande térmicamente y se encuentra en una celda cerrada que contiene aire o algún tipo de gas, el cual sufre cambios de presión y con la ayuda de un micrófono es detectada esta señal, a su vez se realiza un mapeo en el plano X. Y adquiriendo la señal punto a punto en la muestra.

La señal obtenida por el micrófono utilizada en el efecto FA, depende de tres procesos fundamentales (Marin, 2008): 1.- La absorción de la radiación luminosa la cual depende de las características ópticas de la muestra tal es el caso del coeficiente de absorción óptico, 2.- La transformación de la energía electromagnética en calor que está en función del cociente de la cantidad de calor generado y la energía absorbida en el proceso y en el material, y 3.- La difusión de calor generado a través del material esto es la propagación del calor a través del material hasta la creación de un campo de temperatura con ondas térmicas (Marin, 2008).

Thomas *et al.*, (1979) reportaron mediante la técnica de MFA la obtención de imágenes térmicas aplicadas en metales para la detección de defectos sub-superficiales utilizando un láser de Argón modulado de (10-1.5k) Hz, más adelante se realizó con la misma fuente de excitación la obtención de imágenes térmicas en circuitos integrados modulado a 1 kHz (Favro *et al.*, 1980) además se reportó la estimación de la profundidad de una grieta en un metal modulado a 100 kHz (Arnold *et al.*, 1986).

Tabla 3 Diferencias en las técnicas de Microscopia (Yao et al 2013)

Modalities	Lateral resolution (μm)	Axial resolution (μm)	Imaging depth (mm)	Depth-to-resolution ratio
OR-PAM				
SW-PAM	0.22	15	0.1	6.7
UV-PAM	0.70	29	0.1	3.5
G2-OR-PAM	2.5	15	1.2	80
DI-PAM	2.3	15	2	133
AR-PAM				
Dark field AR-PAM	45	15	3	200
PAMac	560	144	40	277

En la Tabla 3 indica las diferencias que existen en Microscopia la cual se subdivide en resolución óptica (OR-PAM) y resolución acústica (AR-PAM) basándose en lo que impulsa la resolución del método de imagen: el diámetro del haz láser (OR-PAM) o el punto focal del transductor (AR-PAM).

Cuando se utilizan transductores con frecuencias centrales inferiores a 100 MHz, el ORPAM es el más adecuado para trozos de tejido fino o células individuales y ARPAM es mejor para tejidos a profundidades donde el haz se dispersan y se difunde (Yao y Wang, 2013)

Un análisis cuantitativo de las señales fotoacústicas permite tanto la detección de células individuales como la extracción de parámetros celulares

La tomografía fotoacústica se utiliza comúnmente para examinar parámetros funcionales in vivo, aunque las opciones para el análisis funcional de células individuales son limitadas debido a la atenuación acústica y la dispersión óptica a través de la piel y los tejidos (Wang y Maslov, 2013)

La temperatura intracelular se puede medir usando cambios en la amplitud de las señales fotoacústica emitidas desde células individuales. Utilizando un microscopio fotoacústica equipado con un láser pulsado de 532 nm y un transductor de 75 MHz, se incubaron las células incubadas con macropartículas de óxido de hierro mientras la temperatura incrementa en el medio (Gao, 2013)

Un método fotoacústico para detectar células de melanoma que fluyen in vitro usando un láser de fibra pulsado de 1064 nm fue demostrado por Wang, 2011 Las células de melanoma se suspendieron en sangre bovina y fluyeron a través de un microtubo de vidrio

La aplicación de esta técnica en conjunto con otras se ha reportado su estudio en animales como la imagen del melanoma y los vasos sanguíneos de un ratón, utilizando una longitud de onda de 532nm modulado 40 MHz aplicado en su oreja (Zhang *et al.*, 2010), en 2006 Zhang *et al.* Reporto imágenes de quemaduras en la piel de cerdos blancos utilizando como fuente de excitación luz láser con una longitud de onda de 584 nm teniendo una resolución de 15 μ m x 45 μ m a 50 MHz.

2.2 Marco metodológico

Ingeniería de Sistemas es la ciencia del diseño de sistemas complejos en su totalidad para garantizar que los subsistemas que componen el sistema funcionen adecuadamente ,donde un sistema se ha definido como cualquier agrupación compleja de seres humanos y máquinas con un objetivo, como toda una planta industrial, toda una empresa o un sistema de cohetes (Jenkins, 1969).

La importancia de la metodología de los sistemas duros, su estudio y comprensión, tienen la finalidad de alcanzar los resultados deseados y de una manera factible, optimizando nuestro proceso y así mismo, el resultado.

Por lo tanto, la Ingeniería de Sistemas es la actividad de planificación, diseño, construcción operando sistemas complejos (Jackson,1985)

La metodología de sistemas duros puede según P. B. Checkland, "ser visto como un compuesto de tres metodologías de "ingeniería de sistemas" (AD Hall, H. Chestnut, G. · M. Jenkins, etc.), el "análisis de sistemas" (RAND Corporation, etc.) y la "investigación operativa" tradicional con lo que Ackoff llama su paradigma de "predicción y preparación". Los sistemas duros se reconocen comúnmente donde hay una relación hombre-máquina, donde la parte tecnológica, la parte estructural, las especificaciones o mecanismos se hagan presentes en el sistema.

En una primera etapa el marco metodológico podrá tomarse como base el método y el razonamiento científico el cual es lleva distintas etapas como es la observación, la experimentación y el análisis, y, después, la construcción de hipótesis y al final la comprobación de éstas (Lewis, 1969).

La Real academia española RAE define a la metodología como un conjunto de métodos que se siguen en una investigación científica o en una exposición doctrinal.(RAE, Consultado 2017).

Metodología se compone de los términos método y logos, que significa explicación, juicio, tratado, estudio de los métodos, es decir, representa la manera de organizar el proceso de la investigación, de controlar sus resultados y de presentar posibles soluciones a un problema que conlleva la toma de decisiones(Guerrero,1984).

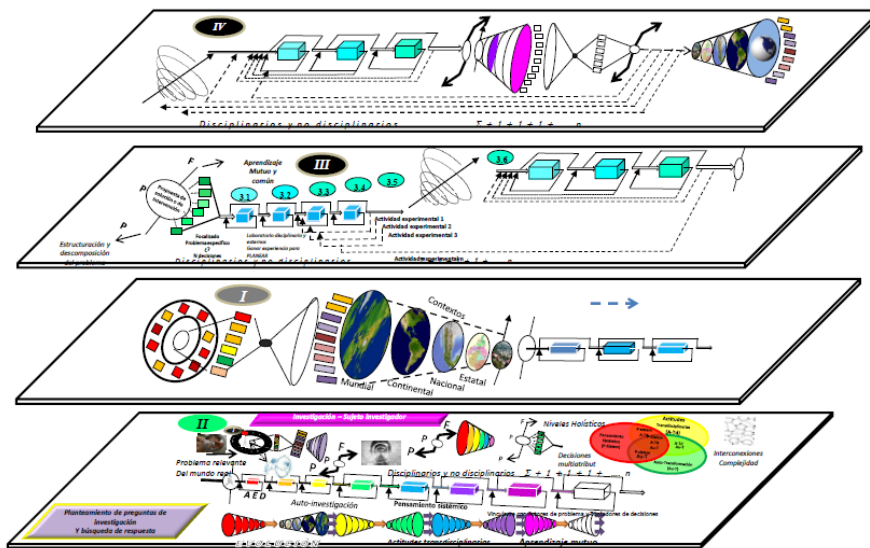


Figura 2.3 Metodología transdisciplinaria (Hernández, 2017)

La Figura 2.3 describe la metodología transdisciplinaria incorporando cuatro fases básicas:

- FASE I Focalización y evidencia de problema en el mundo real
- FASE II Investigación del sujeto que investiga
- FASE III Investigación experimental
- FASE IV Investigación de impactos

Al ser una investigación bajo el enfoque transdisciplinaria para generar conocimientos es importante tomar en cuenta las fases anteriores ya que no solo se habla de la investigación experimental, también se contempla el sujeto que se investiga cómo caso de estudio

El desarrollo de estas cuatro fases se verán descritas a continuación, Hernández (2017) realizó un diagrama a bloques de cada una de las fases de la metodología que sirven de guía para contemplar cada aspecto en cada fase como se muestra en la Figura 2.4.



Figura 2.4 Diagrama a bloques de las fases de la metodología transdisciplinaria (Hernández, 2017)

2.2.1 FASE I Focalización y evidencia del problema en el mundo real

En esta fase se realiza a partir de conocer y observa el mundo donde se contemplan diversos aspectos como es la investigación documental, en esta fase se contextualiza la situación y la problemática realizando una revisión de literatura y el uso de fuentes estadísticas para conducir a un análisis, evaluación y diagnóstico tomando en cuenta a las personas que viven el problema y apoyándonos en otras instituciones, grupos de investigación o personas que puedan aportar en la investigación.

2.2.2 FASE II Investigación del sujeto que investiga

La investigación del sujeto que investiga contempla la auto-observación el cual servirá para realizar un análisis como son debilidades, fortalezas, gustos con la finalidad de poner en práctica el pensamiento sistémico desarrollando actitudes transdisciplinarias que permitan realizar cambios en el investigador. Permitiendo vincularse con otros individuos, organismos o con tomadores de decisiones.

2.2.3 FASE III Investigación experimental

Proceso cibernético donde una vez eligiendo el problema planteado en la Fase I se comienza a trabajar, estableciendo estrategias que permitan dar solución a los requerimientos, mediante el aprendizaje y colaboración con especialistas, en esta fase se realiza el reporte de actividad que se lleva a cabo con la finalidad de comunicar los resultados.

2.2.4 FASE IV Investigación de impactos

En la última fase de la metodología una vez compartido los resultados se prueban las propuestas como solución al problema en el mundo real. Analizando los impactos que se lograron, valorando los resultados retroalimentando y desarrollando nuevas preguntas de investigación, regresando a cualquier fase.

Es importante desarrollar cada fase para realizar la investigación bajo la perspectiva transdisciplinaria, a continuación en el capítulo III se aborda el desarrollo de las fases de la metodología transdisciplinaria.



Capítulo III

Aplicación de la metodología

En el capítulo anterior se propone la metodología transdisciplinaria de Hernández para el desarrollo de la presente investigación, en este capítulo se aborda su aplicación la cual contempla el desarrollo de las siguientes fases.

3.1 Fase I Focalización y evidencia de problema en el mundo real

En la fase I se contempla diversos aspectos para conocer la problemática a abordar, para ello es necesario tener evidencia de esto mediante fuentes fiables, evidenciando el problema. Al ser una metodología transdisciplinaria es necesario el tomar en cuenta a las personas que viven el problema así como empíricos y teóricos (Nowotny et al., 1994).

3.1.1 Conocimiento de la problemática

El conocimiento científico y tecnológico y la capacidad para innovar son elementos que contribuyen a incrementar la productividad de las naciones y sus niveles de bienestar. La experiencia internacional muestra que el desarrollo de los países se basa cada día más en su capacidad para generar, asimilar y transferir conocimiento, pues de esa manera se crean bienes y servicios (DOF, 2014)

El Banco Mundial ha diseñado cuatro pilares que permiten observar el nivel de desarrollo de una economía de conocimiento los cuales mostrados a continuación:

- *“Mano de obra educada y calificada: Contar con una población bien educada y calificada es esencial para la creación, adquisición, diseminación y utilización efectiva del conocimiento.*
- *Sistema de innovación eficaz: Fomento público y privado de la investigación y el desarrollo, que da como resultado nuevos productos o bienes, nuevos procesos y nuevo conocimiento.*
- *Infraestructura de información y comunicaciones adecuada: Son las capacidades instaladas que posibilitan el desarrollo de actividades innovadoras, científicas y tecnológicas.*
- *Régimen económico e institucional conductor del conocimiento: Se refiere a la red de instituciones reglas y procedimientos que influyen la forma en que un país adquiere, crea, disemina y usa la información”*(Banco Mundial,2015)

En la Tabla 3.1 se observan algunos indicadores, como son los artículos y publicaciones científicas del país, así como el pago y cobro por uso de tecnología a otros países. Para el caso de Estados Unidos en publicaciones científicas y técnicas es casi 5 veces más grande que para el caso de México, en el aspecto del cobro y pago por uso de tecnología, de igual manera a México aún le queda por trabajar ya que en ese ámbito también se ve rezagado respecto a otras naciones generando dependencia tecnológica, en algunas ocasiones por no existir un mercado donde se genere un consumo suficiente (Sachs, 1974).

Tabla 3.1 Indicadores de desarrollo de ciencia y Tecnología

País	Publicaciones científicas y técnicas	Cargos por el uso de propiedad intelectual, pagos (US\$)	Cargos por el uso de propiedad intelectual, recibos (US\$)
Estados Unidos	208600.8	42124000000	1.30361E+11
Japón	49631.9	20934965995	36832562676
Alemania	45017.3	8122212954	13797145696
Francia	31756.6	10233725384	11917478828
Canadá	29016.9	10229810323	3161890007
Brasil	12307.3	5922655347	375097938.4
Grecia	4881.5	445830662.3	107875441.3
Portugal	4156.5	573830049.8	96980696.55
México	4127.7	1874103660	95601750
Argentina	3655.2	1955212860	129544481.8
Chile	1867.8	1548377455	86434513.66
Ucrania	1639.4	552000000	118000000
Rumania	1366.9	880131901.6	138689484.9
Malasia	1351.3	1418837688	101389735

(Banco Mundial, 2014)

Por otro lado el Instituto de Estadística de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) en 2015 dio a conocer los gastos en investigación y desarrollo abordando la investigación básica, la investigación aplicada y el desarrollo experimental mostrados en la Figura 3.1.

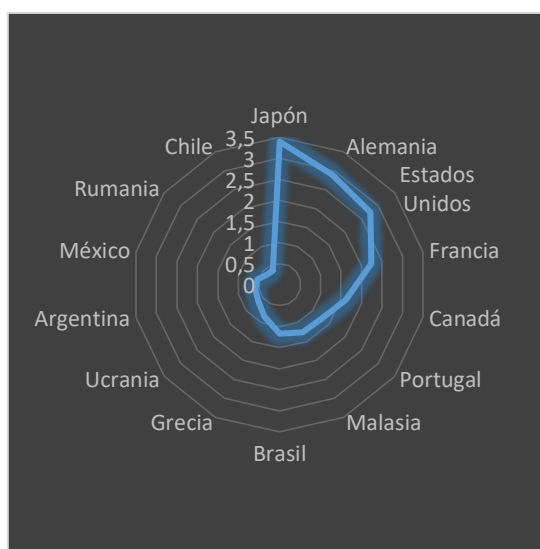


Figura 3.1. Gráfico radial del %PIB invertido en investigación y desarrollo por naciones (UNESCO, 2015)

En la Figura 3.1 se muestra un gráfico radial acerca del % del PIB invertido en investigación y desarrollo, para el caso de Japón invierte 3.39% del PIB en este ámbito, en Estados Unidos el 2.75% y para el caso de América Latina Chile con el 0.37% encontrando a México con el 0.53%.

Una de los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo (2013-2018) en materia de ciencia tecnología e innovación es invertir el 1% del PIB o superior, debido a que es asociado una mayor inversión del PIB al desarrollo en una nación.



Figura 3.2 Plan nacional de Desarrollo en México 2013-2018 (DOF, 2013)

En la Figura 3.2 se muestra el Plan Nacional de Desarrollo en México donde se contemplan cinco metas nacionales, los cuales servirán para llevar a cabo el objetivo general “Llevar a México a su máximo potencial” (PND, 2013), en este capítulo se aborda la temática de desarrollo de ciencia y tecnología, el cual se encuentra en la meta III México con educación de calidad.

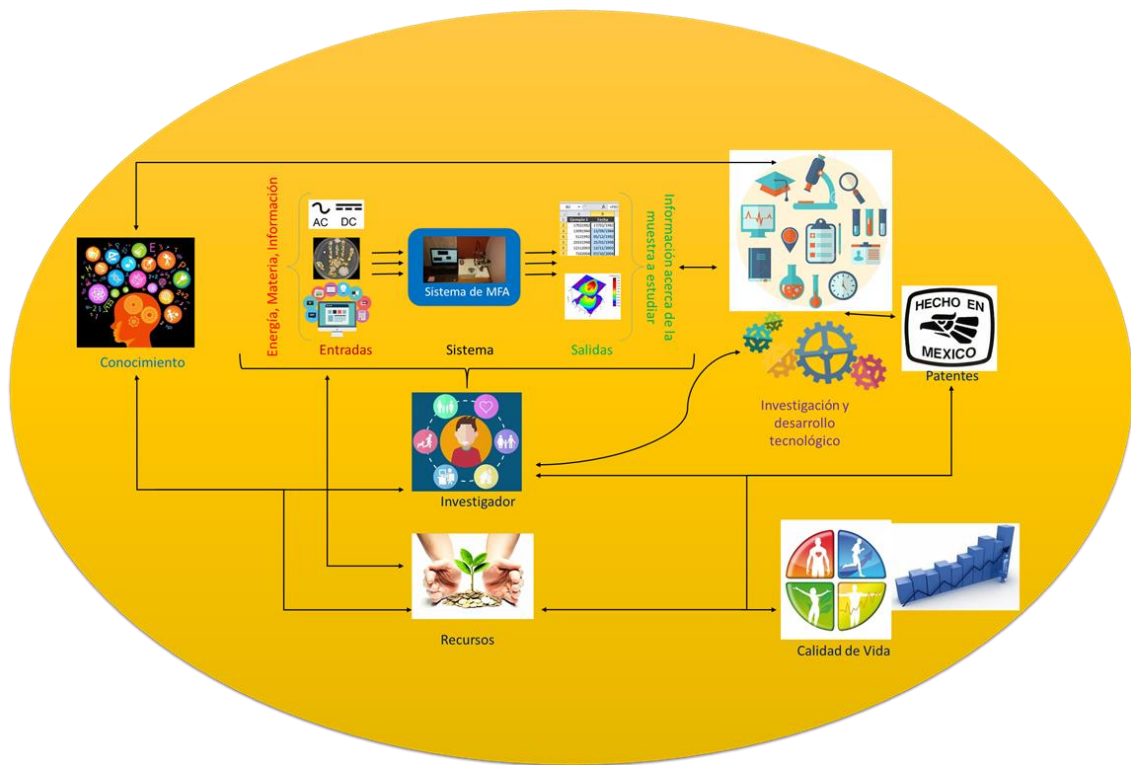


Figura 3.3 Sistema de estudio en el mundo real (Elaboración propia, 2018)

En la Figura 3.3 se presenta el sistema de estudio, el cual se compone de entradas y salidas con la finalidad de tener impacto en otros, el sistema proporciona información acerca de la muestra a estudiar generando conocimiento e impactando en desarrollos tecnológicos, con la finalidad de obtener más recursos por medio de patentes y uso de tecnología, creando un ciclo para realizar mayor desarrollo tecnológico con la finalidad de mejorar la calidad de vida en las personas; En la Figura 3.4 se presenta el sistema en la problemática del mundo real, siendo parte y relacionado con otros, con la finalidad de coadyuvar con la problemática descrita anteriormente.

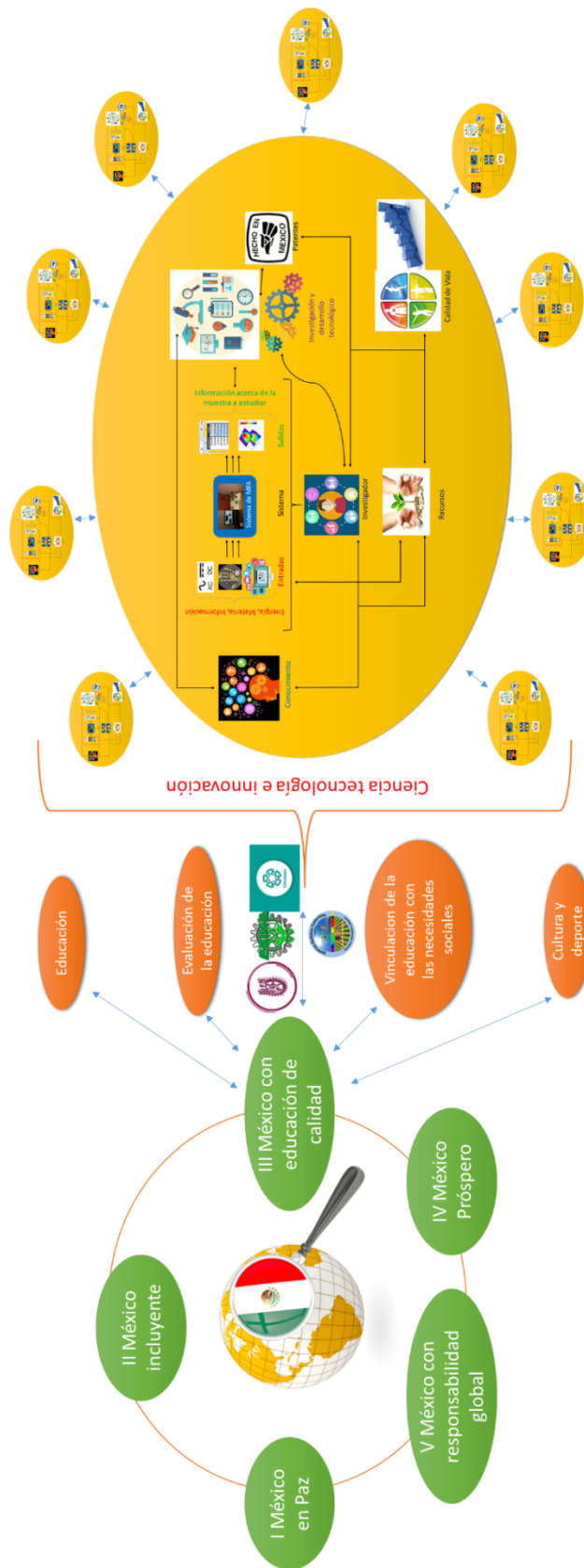


Figura 3.4 Ubicación del sistema en la problemática del mundo real (DOF, 2013)

3.1.2 Evidencia de problema en el mundo real

Una vez focalizada la problemática a abordar mediante fuentes de información es necesario el obtener evidencia en el mundo real con personas que vivan la problemática, al ser un desarrollo tecnológico hecho en México es importante conocer la percepción que tienen investigadores acerca del uso de tecnología desarrollada en el país, por esta razón se propone la actividad de aplicar encuestas

3.1.2.1 Actividad 1 Aplicación de encuestas acerca del uso de tecnología y percepción acerca de instrumentaciones desarrolladas en México

3.1.2.1.1 Introducción

La inversión en materia de ciencia, tecnología e innovación (CTI) es fundamental para el desarrollo económico y el progreso social (UNESCO, 2017).

El desarrollo de ciencia y tecnología es una herramienta fundamental para acceder a una economía de bienestar, basada en el conocimiento (DOF, 2017), tomando en cuenta que uno de los objetivos del plan nacional del desarrollo 2014-2018 es *"Hacer del desarrollo científico, tecnológico y la innovación pilares para el progreso económico y social sostenible."*

La generación de patentes es un indicador del desarrollo tecnológico en un país, Estados Unidos en el Año 2015 registro más de 600,000 patentes , México registro alrededor de 18,000 patentes de las cuales solo el 3% son otorgadas a Mexicanos (CONACYT, 2018). Por otro lado el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología reporto en el año 2016 el número de investigadores adscritos al Sistema Nacional de Investigadores con un numero de 25,077 a nivel nacional, encabezando la lista la UNAM con 4316 investigadores seguido por el IPN con un numero de 1928 investigadores, contando el Tecnológico de Monterrey con 376 investigadores.

3.1.2.1.2 Objetivo

Analizar la percepción de investigadores acerca del uso de tecnología desarrollada en el país y la posible adquisición de las mismas

3.1.2.1.3 Hipótesis

Se considera que la tecnología desarrollada en México puede ser competitiva pero es necesario mayor desarrollo en esta área.

3.1.2.1.4 Materiales y métodos

3.1.2.1.4.1 Materiales

Se aplicó encuestas a investigadores del IPN de la CDMX y el CINVESTAV GAM, con la característica de estar adscrito al SNI, mediante una encuesta en línea a través de Formularios de Google

3.1.2.1.4.2 Métodos

Mediante formularios de Google se aplicó la encuesta seleccionando investigadores pertenecientes al Sistema Nacional de Investigadores; para elegir el tamaño de muestra es necesario conocer el tamaño de población, el nivel de confianza y el margen de error (Anexo II).

Para esto se seleccionó como tamaño de población un total de 1928 investigadores del IPN adscritos al SNI, un nivel de confianza de 95% y un margen de Error de 10%, calculando un número de 92 investigadores como tamaño de la muestra.

La presente encuesta se encuentra publicada en línea en la siguiente dirección: https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScyjDcMa4CazZQaplkVCvmJSsbUqJlywKA93awEdVx3GBwa9g/viewform?usp=sf_link (Anexo III)

3.1.2.1.5 Resultados

Los resultados obtenidos mediante la aplicación de la presente encuesta se muestran a continuación.

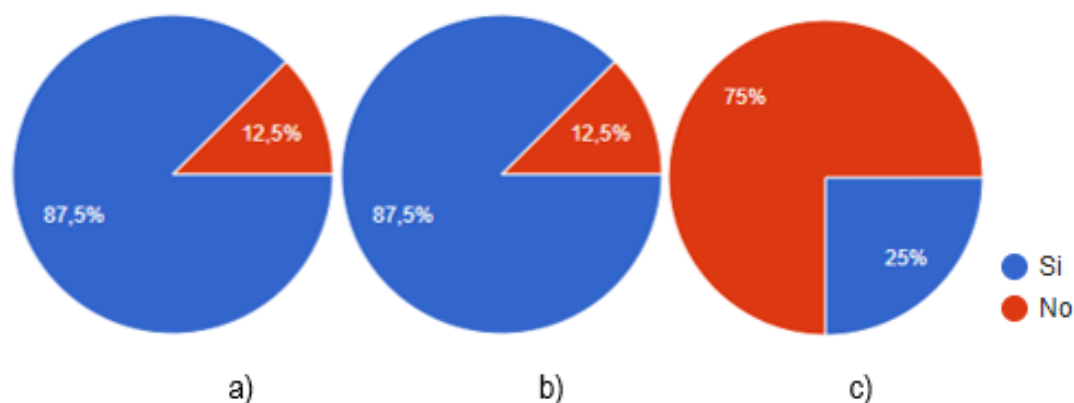


Figura 3.5 Grafico en respuesta a la pregunta a) ¿Ha sido responsable de algún proyecto de investigación en los últimos 5 años?; b) ¿Ha adquirido algún tipo de tecnología en los últimos 5 años?; c) ¿Ha utilizado algún tipo de la tecnología Mexicana que se comercializa en el país? (Elaboración propia, 2018)

En la Figura 3.5 se muestra algunas respuestas a la encuesta en a) acerca de si han sido responsables de algún proyecto de investigación, el 87.5% dijo que si, en b) al preguntar si han adquirido algún tipo de tecnología en los últimos 5 años hasta el momento han respondido si, en c) cuando se pregunto acerca del uso de tecnología comercializada en México el 75% de los encuestados respondió que no, alguna de las razones decían por el desconocimiento de ella.

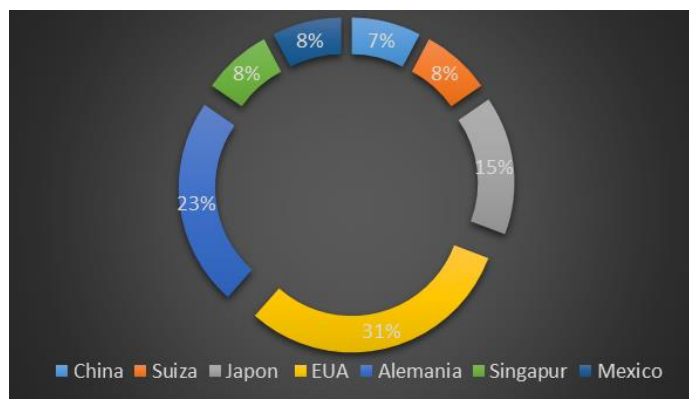


Figura 3.5 Grafico en respuesta a la pregunta ¿Cuál Ha sido el país de procedencia de la tecnología adquirida en los últimos años (Elaboración propia, 2018)

En la Pregunta acerca de cuál ha sido el país de procedencia de la tecnología adquirida en los últimos años respondiendo lo mostrado en la Figura 3.6, teniendo a Estados Unidos en primer lugar con un 34% de esta tecnología adquirida, seguida con Alemania y Japón con un 22% y a China y Suiza con el 11%.

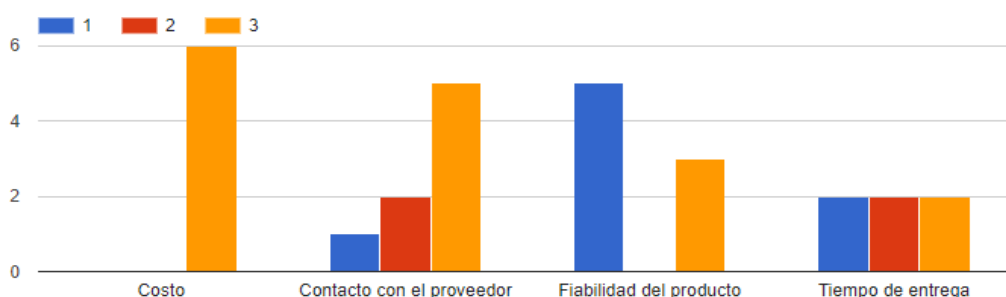


Figura 3.6 Grafico en respuesta a la pregunta ¿Cuál considera que son las principales ventajas de adquirir tecnología desarrolladas en México? (Elaboración propia, 2018)

La principal ventaja que encuentran los investigadores es la fiabilidad del producto debido a que esto cumple con las características deseadas, se encontró que el costo y el contacto con el proveedor no son ventajas en la adquisición de tecnología desarrollada en otro país mostradas en la Figura 3.6.



Figura 3.7 Grafico en respuesta a la pregunta ¿Cuál considera que son las principales desventajas de adquirir tecnología desarrolladas en México? (Elaboración propia, 2018)

La Figura 3.7 muestra el grafico acerca de las respuestas a la pregunta acerca de las desventajas de adquirir esta tecnología, reafirmando lo encontrado en la Figura 3.6, teniendo en cuenta que su costo es la principal desventaja seguido por la reparación y el costo de entrega del producto.

Finalmente los encuestados consideran que es necesario mayor uso y desarrollo de tecnología en México, y la percepción que se tiene acerca de esto es:

- Tecnología fiable
- Tecnología poco divulgada
- Hace falta promover más el desarrollo tecnológico

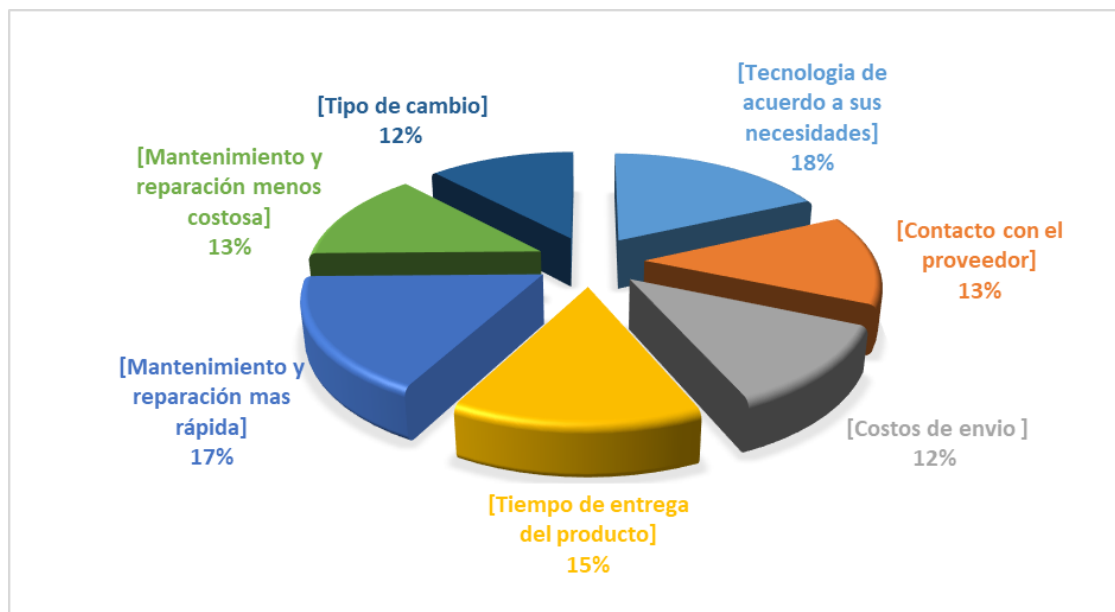


Figura 3.8 Grafico en respuesta a la pregunta ¿Cuál considera sea la principal ventaja del desarrollo y uso de tecnología producida en México? (Elaboración propia, 2018)

Algunas de las ventajas acerca del uso y desarrolló de tecnología producida en México son mostradas en la Figura 3.8 encontrando que los encuestados eligieron como ventaja principal el desarrollo de la tecnología de acuerdo a sus necesidades 18%, seguida por mantenimiento y reparación más rápida 17%, posterior a ello el tiempo de entrega del producto 15% y el mantenimiento y reparación menos costosa y contacto con el proveedor con 13% finalmente el tipo de cambio con y costo de envío con 12%

3.2 Fase II Investigación del sujeto que investiga

Analizar al sujeto que investiga es una fase de la metodología transdisciplinaria es por ello que se propone analizar mediante herramientas y metodologías para evaluar algunos parámetros que podrían ser de ayuda para realizar una mejor investigación, para esto es importante realizar lo siguiente

- Selección del problema (MESMIS)
- Solución al problema (Jenkins)
- Evaluación de solución (Jerarquización analítica)

Tabla 3.2 Atributos para la evaluación de sustentabilidad

ATRIBUTO	CRITERIO DE DIAGNOSTIO	INDICADORES	SISTEMA ACTUAL	SISTEMA OPTIMO
PRODUCTIVIDAD	DISCIPLINA	PUNTUALIDAD PROCASTINACION	BAJO	ALTO
ESTABILIDAD RESILIENCIA Y CONFIABILIDAD	CONSERVACION DE RECURSOS	ESTADO DE SALUD	MEDIO	ALTO
ADAPTABILIDAD	FLEXIBILIDAD	CAPACIDAD DE RELACIONARSE	MEDIO	ALTO
EQUIDAD	EDUCACION	APRENDER NUEVAS TECNICAS	ALTO	ALTO
AUTOGESTION	CONTROL	NIVEL DE ORGANIZACION	MEDIO	ALTO

En la tabla 3.2 se contemplan atributos, criterio de diagnóstico, indicadores y en las columnas sistema actual y sistema óptimo es importante comparar los sistemas para realizar una evaluación en mi sistema

Tabla 3.3. Valores ponderados para cada indicador.

INDICADORES	SISTEMA ACTUAL	SISTEMA OPTIMO
PUNTUALIDAD PROCASTINACION	33,3	100
ESTADO DE SALUD	66,6	100
CAPACIDAD DE RELACIONARSE	66,6	100
APRENDER NUEVAS TECNICAS	100	100
NIVEL DE ORGANIZACION	66,6	100

De lo cual se desprende la tabla 3.3 asignando un valor numérico a cada indicador, tomando en cuenta que el sistema óptimo tendrá un valor de 100 y el sistema actual se le asignará a los tres valores, bajo, medio y alto.

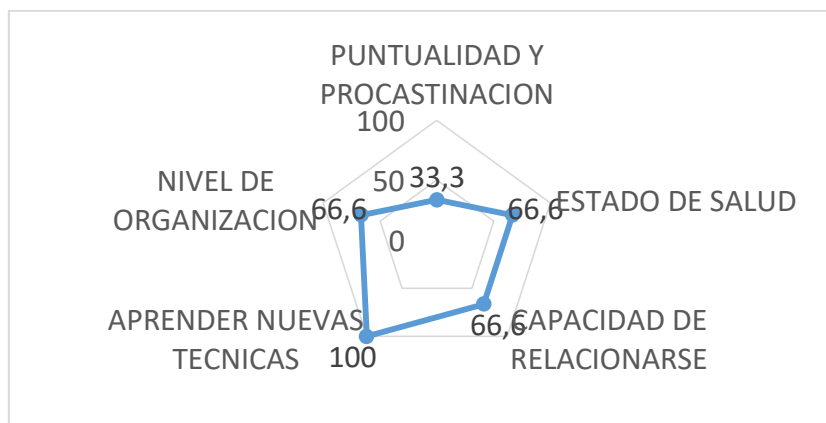


Figura 3.9 Gráfico radial de los atributos

En la Figura 3.9 nos muestra como la puntualidad y procastinacion es uno de los indicadores donde más se necesita trabajo, para esto se incorpora la metodología de Jenkins contemplando sus cuatro etapas básicas mostradas en la Figura 3.2 contemplando lo siguiente: análisis de sistemas, diseño de sistemas, implementación y operación. Una metodología de sistemas que brinda una solución óptima a problemas. El problema se formula y el sistema en el que existe se define y analiza en términos de importancia de subsistemas (Jackson, 1985)

Desarrollada para pensar en términos con un enfoque global.

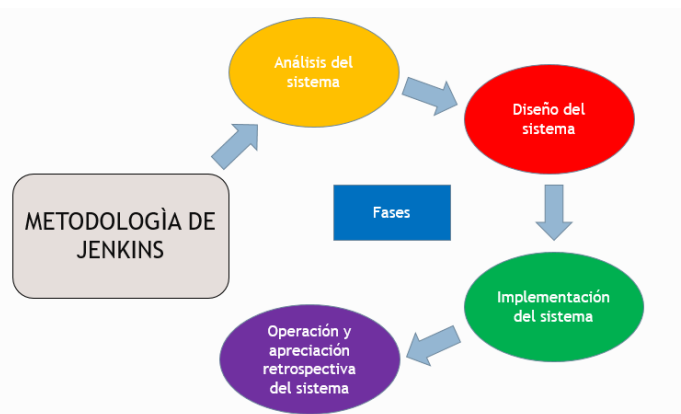


Figura 3.10 Etapas de metodología de Jenkins (Elaboración propia, 2017) basada en (Jenkins, 1969)

Etapa I Análisis del sistema

La Ingeniería de Sistemas comienza con un análisis de sentido común de lo que es y por qué, y si podría hacerse mejor. Entonces el sistema y sus objetivos tienen que ser definidos y los datos

recolectados sobre su desempeño probable se inicia con un análisis de lo que está sucediendo y por qué está sucediendo, así como también de cómo puede hacerse mejor (Jenkins, 1969).

Los cuales se conforman de las siguientes partes:

- Se observan diversos problemas en la vida cotidiana dentro de ellos son más recurrentes el problema de puntualidad y procrastinación esto con la finalidad de tener un mejor desempeño escolar y personal
- La puntualidad es un disciplina que consiste en estar a tiempo para cumplir nuestros compromisos, la falta de ello ese asocia al desinterés, y la procrastinación es una forma de evadir, usando otras actividades como refugio para no enfrentar una responsabilidad, una acción o una decisión que debemos tomar.
- El sistema a estudiar es para obtener disciplina tomando en cuenta sus elementos que intervienen tomando en cuenta que ello afecta o beneficia directamente en mi persona denominándolo suprasistema.

Etapa II Diseño del sistema

En esta fase el futuro ambiente del sistema tiene que ser pronosticado. A continuación, un modelo cuantitativo tiene que ser construido y utilizado para simular o explorar un número de diferentes maneras de operar el sistema, finalmente elegir el sistema o los sistemas que son en algún sentido "mejor", optimizando así el sistema (Jenkins, 1969)

- Esta falta de disciplina puede afectar la capacidad de pasar a la acción más rápidamente, con menor esfuerzo, y cada vez de forma más independiente de nuestro estado interno y de nuestra motivación.
- Relacionado a la puntualidad algunas veces pienso que tengo margen para hacer algo más antes de acudir a una cita; pero luego me lleva más tiempo de lo que había calculado, el trayecto también, y llego tarde y se que el procrastinar es un enemigo de productividad e impide aprovechar todo el potencial

Propuestas para mejorar la puntualidad y procrastinación:

1. Utilizar una lista de tareas
2. Ser consiente del tiempo de los demás
3. Tener claridad de ideas o prioridades
4. Dividir el trabajo en tareas pequeñas y concretas

Etapa III Implementación del sistema

Los resultados del estudio del sistema deben ser presentados y la aprobación para su implementación. El sistema optimizado tendrá entonces que ser construido, el proyecto requerirá una planificación cuidadosa en esta etapa para asegurar que se lleven a cabo todos los beneficios del enfoque del sistema (Jenkins, 1969).

- Esta aprobación se debe comenzar de manera personal tomando en cuenta sus ventajas y tomar la decisión de aceptarlo para trabajar en ello y no exista incongruencias en un futuro
- Los aspectos que se tomaron en cuenta para el diseño del sistema propuesto, fueron hechos en base a las necesidades

Etapa IV Operación

Una vez realizada la aprobación del sistema, y las pruebas necesarias para determinar si sucede lo que se espera liberándolas a los usuarios, se alcanzará un punto cuando el sistema deberá ser entregado a aquellos que tienen que operar el sistema sobre una base rutinaria. Aquí es donde se necesita mucho cuidado para evitar el malentendido y la ineficiencia y probablemente representa el área que está menos bien realizado en cualquier proyecto (Jenkins, 1969).

- Al estar diseñado en una persona este sistema puede que la eficiencia se vea afectado debido a que están operando en un ambiente cambiante como son estado de ánimo y otros aspectos.
- Para esto es necesario seguir realizando pruebas las cuales brindaran información acerca de su respuesta
- Realizada estas pruebas y concluyendo que aún no existen cambios en los dos problemas iniciales, es necesario replantear el sistema desde la fase I contemplando otros aspectos.

Logrando tener en cuenta las posibles soluciones se realiza la jerarquización analítica a partir de las mismas

S1: Utilizar una lista de tareas

S2: Ser consiente del tiempo de los demás

S3: Tener claridad de prioridades

S4: Dividir el trabajo en tareas pequeñas y concretas

$$S1 \text{ vs } S2 = 1$$

$$S1 \text{ vs } S3 = 9$$

$$S1 \text{ vs } S4 = 3$$

$$S2 \text{ vs } S3 = 1/5$$

$$S2 \text{ vs } S4 = 1/5$$

$$S3 \text{ vs } S4 = 1/3$$

Tabla 3.4 Valores propuestos a cada solución en jerarquización analítica

	S1	S2	S3	S4	valores		Porcentaje
S1	1	1	9	3	27	2,27	42,9%
S2	1	1	1/5	1/5	2/5	0,79	14,9%
S3	1/9	5	1	1/3	5/27	0,65	12,2%
S4	1/3	5	3	1	5	1,49	29,7%

Una vez realizada la tabla con los valores propuestos se evalúa cada solución comparando una con otra tratando de encontrar aquella solución que tenga mayor pero para realizar un cambio

Tomando en cuenta que la solución 1 es la que tiene mayor porcentaje con 42.9% con esto se puede inferir que la solución óptima para la resolución de problema personal seria realizar la lista de tareas

3.3 Fase III Investigación experimental

Una vez elegido el problema, el cual se demostró en la fase I se procede a buscar una posible solución, donde interviene los actores del problema, en esta etapa es necesario la colaboración con expertos del tema para conocer diversos puntos de vista.

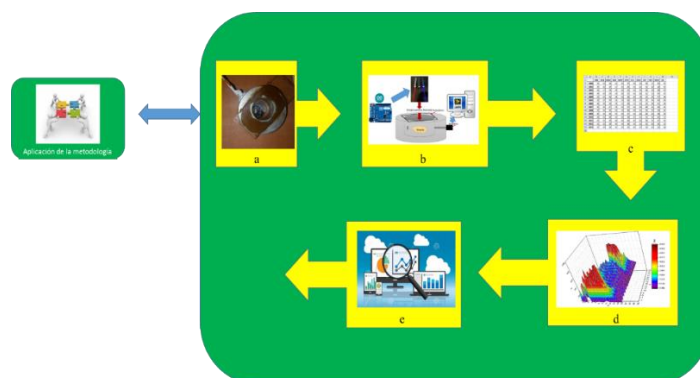


Figura 3.11 Fase III investigación experimental (Elaboración propia, 2015; adaptada de Jenkins, 1969; Hernández, 2007: Notas de clase)

En la figura 3.11 la fase III muestra las etapas para realizar la investigación lo cuales contempla lo siguiente:

- 3-a introducir la muestra en la celda
- 3-b Iniciar las pruebas
- 3-c Obtener datos
- 3-d Generar la imagen térmica
- 3-e Análisis

La importancia de esta fase es que se realiza la experimentación donde se busca la solución y realización de pruebas que puedan mostrar esto.

3.3.1 Actividad 1 obtención de imágenes térmicas en Acero, Aluminio y Plástico

3.3.1.1 Introducción

El estudio de materiales así como el conocimiento de sus propiedades brindan información para posteriormente utilizarlo, evaluarlo y describirlo. Con el uso de la MFA se pueden obtener imágenes térmicas sin necesidad de destruir muestras ni modificarlas. En 2012, Domínguez et al. Demostraron que la técnica de microscopía fotoacústica no solo se limita al material de semiconductores, sino también a materiales biológicos que por su estructura no homogénea, son más complejas. Tal es el caso de la obtención de imágenes térmicas del germen de semilla de café, donde observaron la degradación debido a que las células de la misma sufren cambios en función del tiempo de la misma con diferencias de 12 hrs, llegando a concluir que esta técnica es no destructiva y brinda información la cual podría ser de ayuda en biotecnologías (Dominguez , et al., 2012)

3.3.1.2 Objetivo

Observar la respuesta obtenida de la MFA sobre diversos materiales tales como polímeros y metales con una instrumentación portátil

3.3.1.3 Hipótesis

Es posible obtener imágenes térmicas con una instrumentación portátil, encontrando diferencias entre ellas

3.3.1.4 Materiales y métodos

3.3.1.4.1 Materiales

Este estudio se realizó para ver las diferencias producidas por diferentes longitudes de onda de 532 y 650 nm al obtener imágenes térmicas en tres diferentes tipos de materiales papel aluminio con dimensiones 0.51 por 0.64 cm con un grosor de 0.1 mm coloreando parte de la muestra, el segundo material fue una oblea de plástico con un diámetro de 0.64 cm y un grosor de 0.8 mm sin coloración previa en la muestra, el tercer material fue una tuerca de acero con diámetro nominal de 0.85cm, diámetro inferior de 0.47 y un grosor de 0.31 cm la cual fue completamente pintada con tinta negra.

3.3.1.4.2 Métodos

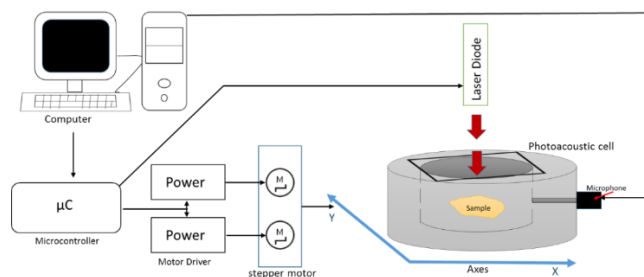


Figura 3.12 Montaje experimental MFA móvil o portátil

En la figura 3.12 se observa el montaje experimental utilizado para la obtención de imágenes térmicas mediante MFA, teniendo como fuente de excitación dos diferentes tipos de luz láser con longitudes de onda de 532 nm (verde) con una potencia de 42 mW y 650 nm (rojo) con potencia de 18 mW, focalizado a 200 micras siendo modulados electrónicamente a 17 Hz por medio de un micro controlador para realizar un escaneo sobre las muestras que se encuentran en el interior de una celda fotoacústica de aluminio sellada herméticamente con dimensiones de radio 2 cm y un grosor de 1.3 cm la cual está montada sobre un plano coordinado x-y motorizado controlado mediante un micro controlador con una resolución de pasos para el eje “x” es de 40 y para el eje “y” es de 20 micras respectivamente. La señal FA generada en el interior de la celda es captada por un micrófono de electreto que esta conectado a la tarjeta de sonido de la computadora donde es grabada y procesada por medio del software LabVIEW 2015, para posteriormente graficar los datos mediante el software Origin 2016 y obtener las imágenes térmicas.

3.3.1.5 Resultados

Se obtuvieron las imágenes térmicas de los tres tipos de materiales como se muestra en la figura 3.13, donde se presentan las imágenes en la primer columna ópticas, en la segunda columna en escala de grises, en la tercer columna se muestran las de contorno y en la cuarta columna las imágenes en tres dimensiones (3D) del aluminio(a), plástico (b) y acero (c). En el caso (a) pueden ser observadas las imágenes obtenidas por la excitación del láser de 650 nm y en el segundo renglón las obtenidas por la excitación del láser de 532 nm. En la imagen de escala de grises (segunda columna) no se observa gran diferencia mientras que en la de contorno (tercer columna) si se pueden observar las diferencias producidas por la fuente de excitación, y en la imagen de 3D (cuarta columna) se puede observar una mayor propagación de la onda térmica debida al láser de mayor potencia que corresponde al laser de 532 nm. Del tercer al sexto renglón donde se ven las imágenes del plástico y acero se puede observar un comportamiento similar que en el papel aluminio. Sin embargo observando las imágenes de contorno y en 3D para los dos diferentes longitudes de onda presentan diferencias debido a la estructura de los materiales donde el aluminio y el acero tienen estructuras con mayor orden mientras que para el plástico presenta menos orden, esto se puede relacionar con la porosidad de los materiales teniendo en cuenta que la difusividad térmica del aluminio es $0.94 \text{ cm}^2/\text{s}$ y del acero $0.14 \text{ cm}^2/\text{s}$ (Parker, 1961) son más pequeñas que las de los polímeros que van de 0.95 a $1.5 \text{ cm}^2/\text{s}$ (Sanders, 2004), lo que se observa en las figuras de 3D que las imágenes del acero se ve más homogénea la excitación térmica que en el papel aluminio y en el plástico.

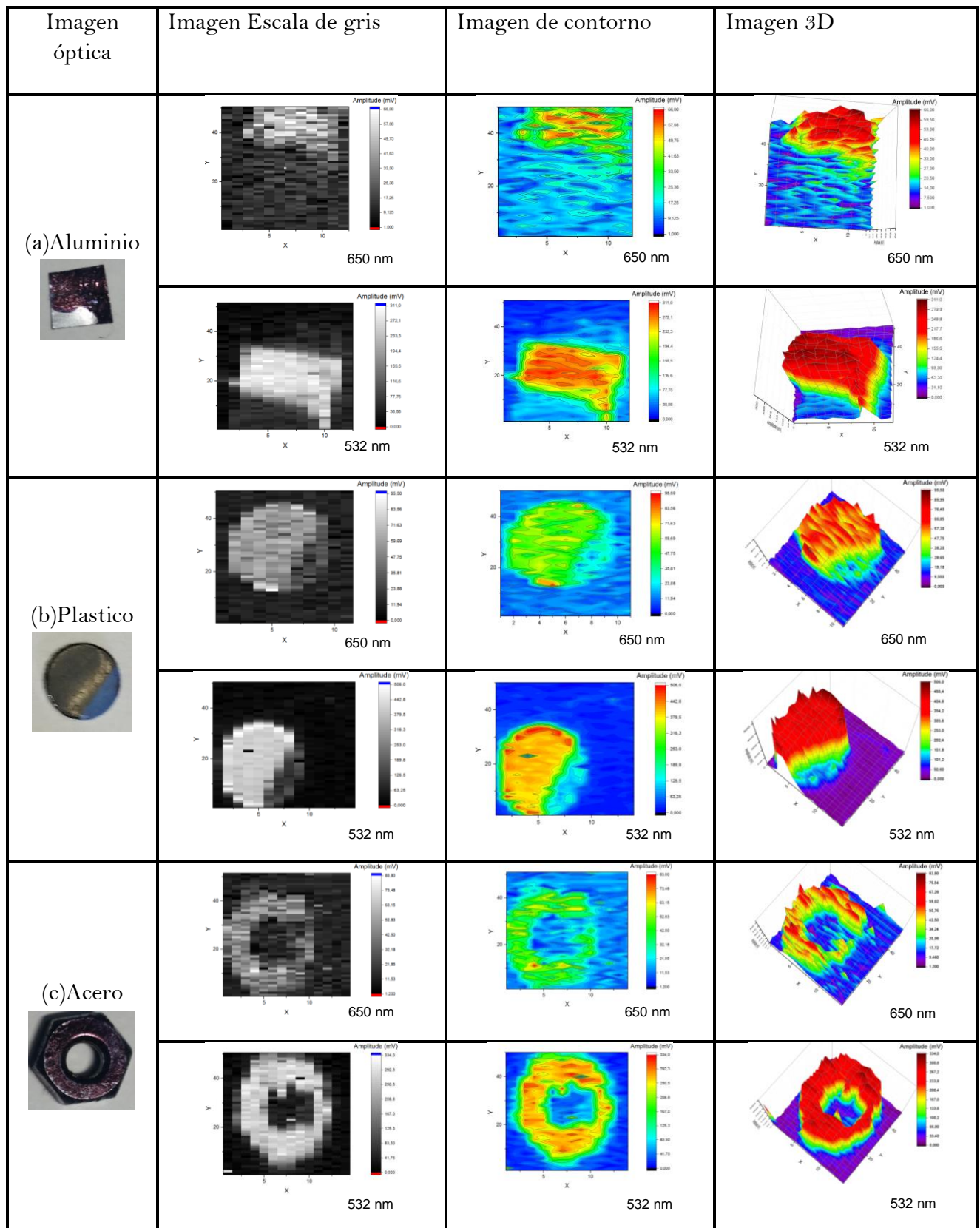


Figura 3.13 Imágenes térmicas: (a) Aluminio, (b) Plástico, (c) Acero (Elaboración propia, 2016)

Al encontrar diferencias en las imágenes obtenidas en los diversos materiales, se eligió el acero para obtener imágenes con las longitudes de onda a 532nm y 650 nm y agregando una tercer fuente de excitación con longitud de onda a 405 nm obteniendo los siguientes resultados

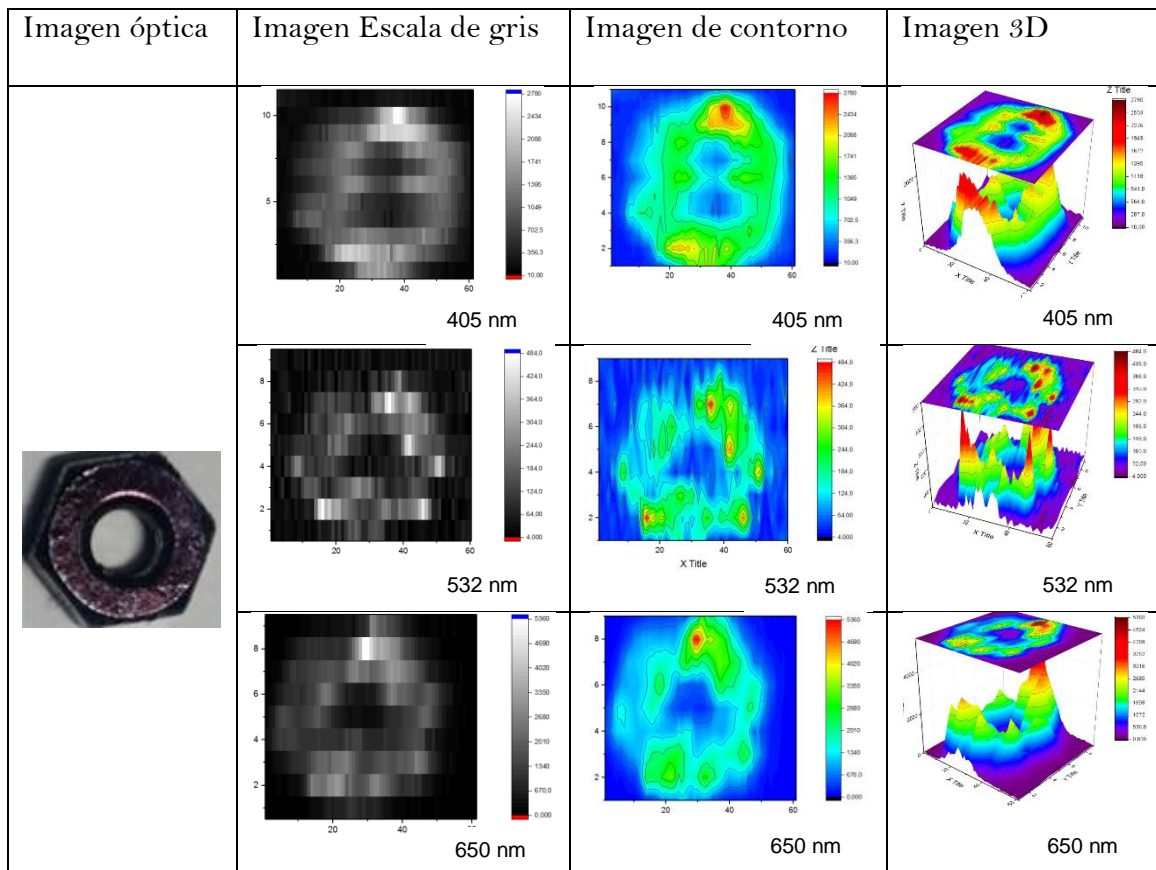


Figura 3.14 Imágenes térmicas en acero a distintas longitudes de onda (Elaboración propia, 2017)

En la Figura 3.14 se observan las diferencias en imagen como en magnitud, en la primera columna se muestra la imagen óptica de la tuerca de acero, en la segunda columna imágenes en escala de grises, en la tercera columna imágenes de contorno, finalmente en la cuarta columna las imágenes en tres dimensiones (3D).

También se observan diferencias entre una longitud de onda y otra, esto se puede ver en las filas a 405, 532 y 650 nm en donde se observa un cambio en el material atribuido a una mayor respuesta como lo es un cambio de coloración, es decir un punto máximo en amplitud, mostrado en la Figura 3.15

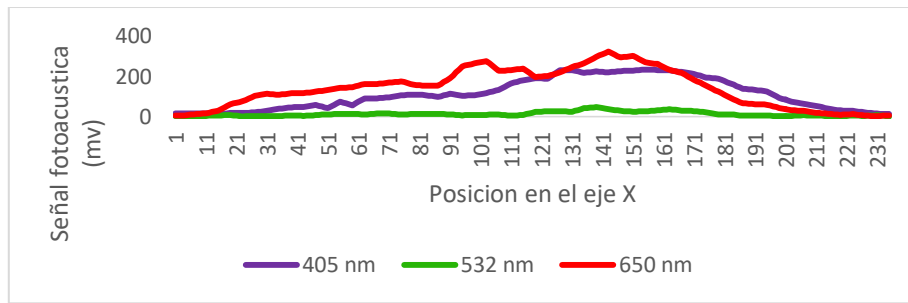


Figura 3.15 Respuesta en amplitud en la señal fotoacústica

La Figura 3.15 representa las respuestas que se obtuvieron a diferentes longitudes de onda, en la cual se observa cambios de amplitud en las señales, encontrando un punto mayor en amplitud en el láser a 650nm.

Mediante la presente actividad se comprobó que la calidad de las imágenes térmicas puede cambiar dependiendo de la longitud de onda del láser empleado como fuente de excitación. De esta forma se plantea la siguiente actividad donde la pregunta de investigación es ¿Qué pasaría si se emplea un material biológico específicamente semillas de maíz: Harinosa y cristalina?

3.3.2 Actividad 2 Obtención de imágenes térmicas en semilla de maíz harinosa y cristalina con fuente de excitación 405,532 y 650nm

3.3.2.1 Introducción

Rosencwaig y Gersho (1976) plantean la teoría del efecto FA teniendo en cuenta que puede ser utilizada en el estudio de materiales opacos o transparentes así como en sólidos o líquidos (Rosencwaig et al., 1975) comenzando de manera formal el estudio de las propiedades térmicas mediante esta teoría en donde se ha utilizado diversos aportes como son la obtención de imágenes térmicas de la superficie en un metal en 1980 por G. Busse. Más adelante se siguió utilizando el efecto fotoacústico para la obtención de imágenes en muestras de latón (Yves y A. Ash, 1985) observando diferencias en el material estudiado, usando la misma e obtuvieron imágenes térmicas para la detección de defectos en profundidad de circuitos integrados (Zhang y L. Chen, 1986).

Esto con la finalidad de caracterizar y realizar una evaluación no destructiva en materiales sólidos (Thomas *et al.*, 1986), además es una técnica mediante la cual se obtienen imágenes térmicas.).

Sus aplicaciones pueden ser para materiales homogéneos y no homogéneos. Una de las ventajas principales de esta técnica es que no es necesaria la preparación previa de la muestra, evitando una posible alteración de la misma por lo tanto es considerada una técnica no invasiva.

3.3.2.2 Objetivo

Obtener imágenes térmicas mediante MFA en materiales biológicos

3.3.2.3 Hipótesis

Es posible obtener imágenes térmicas, en materiales biológicos: semillas de maíz cuya fuente de excitación varía en longitud de onda.

3.3.2.4 Materiales y métodos

3.3.2.4.1 Materiales empleados

Al encontrar diferencias en imágenes térmicas variando material y fuentes de excitación se elige el uso de la misma instrumentación aplicado en materiales biológicos como son semillas de maíz utilizando tres láseres con distinta longitud de onda como son de 405, 532 y 650 nm.

3.3.2.4.2 Métodos

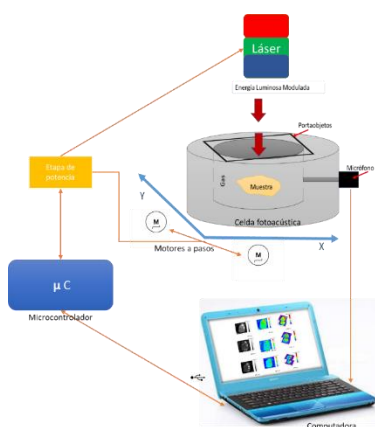


Figura 3.16 Montaje experimental MFA (El 1Figura 3.16 Montaje experimental MFA (Elaboración propia, 2018)

Para obtener imágenes térmicas mediante la técnica de Microscopía Fotoacústica se utilizó el montaje experimental descrito en la figura 3.16 donde se realiza un escaneo en dos ejes “x”, “y” a una resolución de pasos de 40 y 20 micras respectivamente los cuales son controlados mediante un microcontrolador el cual. Además de ello se encarga de modular la fuente de excitación “laser” a 17 hz con longitudes de onda de 405nm (azul), 532 nm (verde), y 650 nm (rojo) con potencia de 5 mW, focalizado a 200 micras. Posteriormente las semillas de maíz harinosas y cristalinas se introducen una a una en la celda fotoacústica de aluminio sellada herméticamente con dimensiones de radio 2 cm y un grosor de 1.3 cm en donde se encuentra acoplado un micrófono de electroto el cual se encarga de adquirir la señal FA generada por los cambios producidos en el interior de la celda el cual a su vez se encuentra conectado a la tarjeta de sonido de la computadora donde es procesada mediante LabVIEW 2015, una vez obtenidos los datos se guardan en un procesador de datos y finalmente se obtiene la imagen mediante el software Origin 2017.

3.3.2.5 Resultados

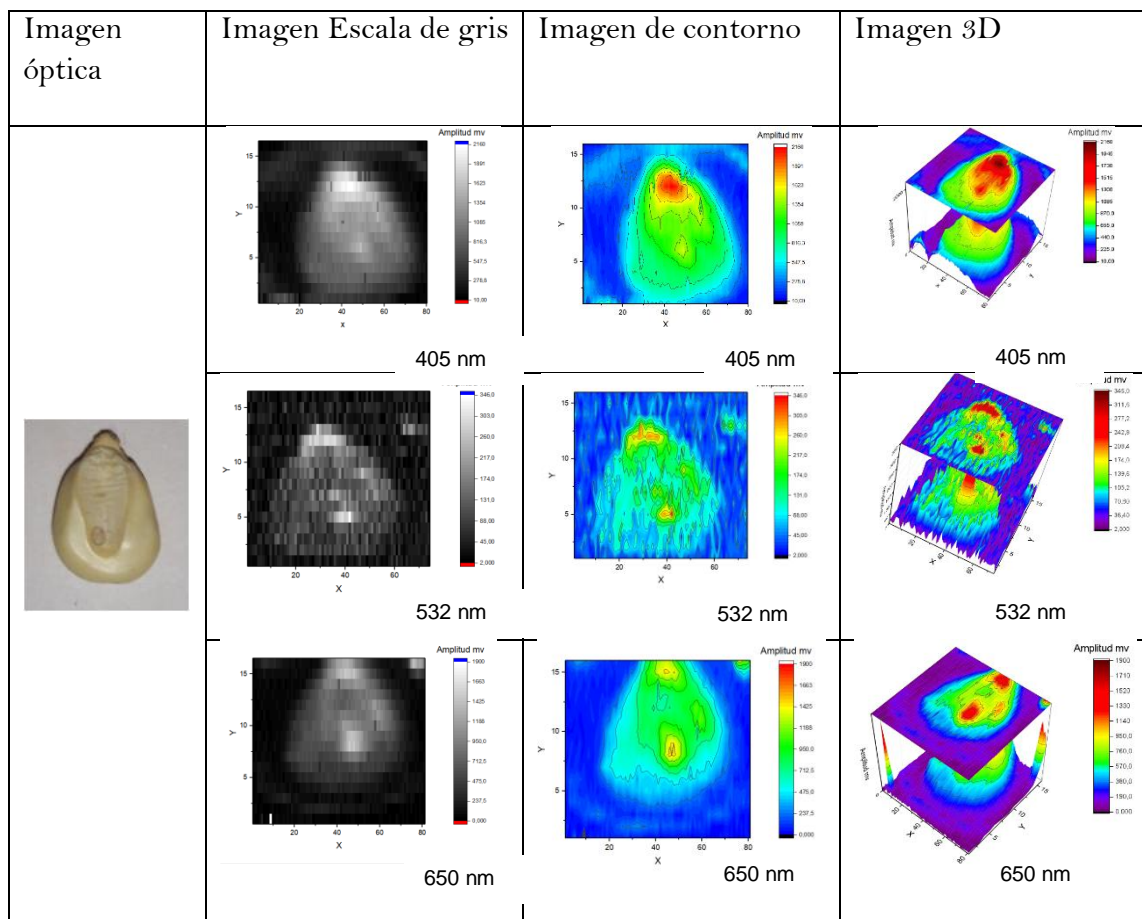


Figura 3.17 Imágenes térmicas en semilla de maíz harinoso (Elaboración propia, 2017)

En la Figura 3.17 se observan las diferencias en imagen como en magnitud, en la primera columna se muestra la imagen óptica del maíz harinoso, en la segunda columna imágenes en escala de grises, en la tercer columna imágenes de contorno, finalmente en la cuarta columna las imágenes en tres dimensiones (3D), además se observan diferencias entre una longitud de onda y otra, esto se puede ver en las filas a 405, 532 y 650 nm en donde se observa un cambio en el material atribuido a una mayor respuesta como lo es un cambio de coloración, es decir un punto máximo en amplitud.

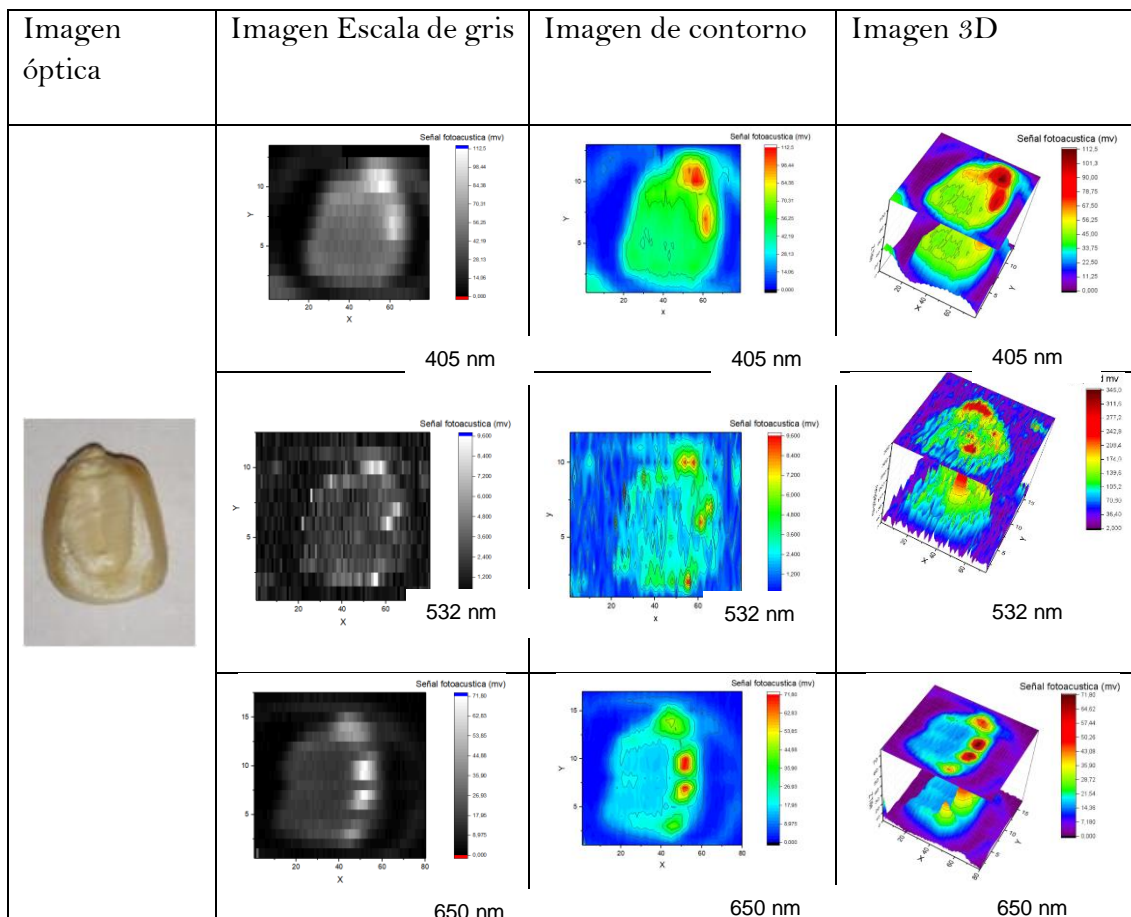


Figura 3.18 Imágenes térmicas en semilla de maíz cristalino (Elaboración propia, 2017)

En la Figura 3.18 se muestran las imágenes de semilla de maíz cristalino adquiridas mediante la técnica de MFA, utilizando en la primer fila luz láser a 405 nm, en la segunda 532nm y en la tercer fila 650 nm respectivamente, en la primer columna se muestra la imagen óptica de la semilla, en la segunda columna se presenta la imagen en escala de gris, en esta columna la imagen se alcanza a ver algunas diferencias respecto a otras, en la según columna se observa la imagen de contorno o superficie donde se muestra otra vista de la misma semilla, finalmente en la tercer columna se muestra la imagen en 3 dimensiones, atribuyendo un color rojo intenso a las zonas donde se realiza mayor absorción de la muestra, como siguiente actividad se propone realizar una comparación de estas imágenes obtenidas con otra instrumentación.

3.3.3 Actividad 3 Obtención de imágenes térmicas mediante Microscopia Fotoacústica y Microscopia Piezoeléctrica (Titanato Zirconato de plomo)

3.3.3.1 Introducción

Las imágenes térmicas obtenidas por técnicas fototérmicas han sido aplicadas en materiales como semiconductores o chips se ha estudiado para conocer ciertos defectos de profundidad y características del material (Luukkala y Penttinen, 1979; Busse, 1985; Hernández *et al.*, 2016), además esta técnica no se limita a metales o materiales con estructuras bien definidas, es por ello que se ha utilizado en materiales biológicos para determinar la calidad de arroz (Suzuki, 2005) utilizando un láser de Argón como fuente de excitación modulado a 90 Hz, también se ha evaluado semillas de trigo y maíz utilizando como fuente de excitación luz láser a 650 nm (Dominguez *et al.*, 2009); agregando otras instrumentaciones pero bajo la misma técnica como es la microscopia fotoacústica de resolución rápida es posible obtener imágenes en otros materiales biológicos como son imágenes de vasos sanguíneos en la oreja de un ratón (Hu *et al.*, 2011, 2012) así como la obtención de imágenes de glóbulos rojos en la oreja de ratón a 532 nm como fuente de excitación (Dong *et al.*, 2016).

En virtud de la necesidad de generar métodos con tecnología propia para evaluar la calidad de semillas, en la presente investigación se aprovecha el avance científico y tecnológico de las técnicas fototérmicas y se plantea como objetivo

obtener imágenes térmicas mediante microscopia fotoacústica portátil de semillas de maíz de distintos componentes estructurales en esta actividad se propone comparar las imágenes térmicas del maíz en sus dos variedades ya obtenidas en la actividad 2 con otra instrumentación actualmente utilizada en el laboratorio de técnicas fototérmicas de CICATA Legaría del IPN en la CDMX

3.3.3.2 Objetivo

Obtener imágenes térmicas mediante MFA y PZT

3.3.3.3 Hipótesis

Es posible obtener imágenes térmicas en semillas de maíz harinoso y cristalino, utilizando el sensor PZT (plomo- zirconio Titanio) y uno de electret.

3.3.3.4 Materiales y métodos

3.3.3.4.1 Materiales empleados

La literatura hace referencia al uso principal de láser con longitudes mayores a 530nm es por ello que en esta actividad se utilizó el láser con longitudes de onda menores, por tal motivo se emplea como fuente de excitación para ambas instrumentaciones luz láser a 405 nm y como muestra a estudiar semillas de maíz harinosa y cristalina

3.3.3.4.2 Métodos

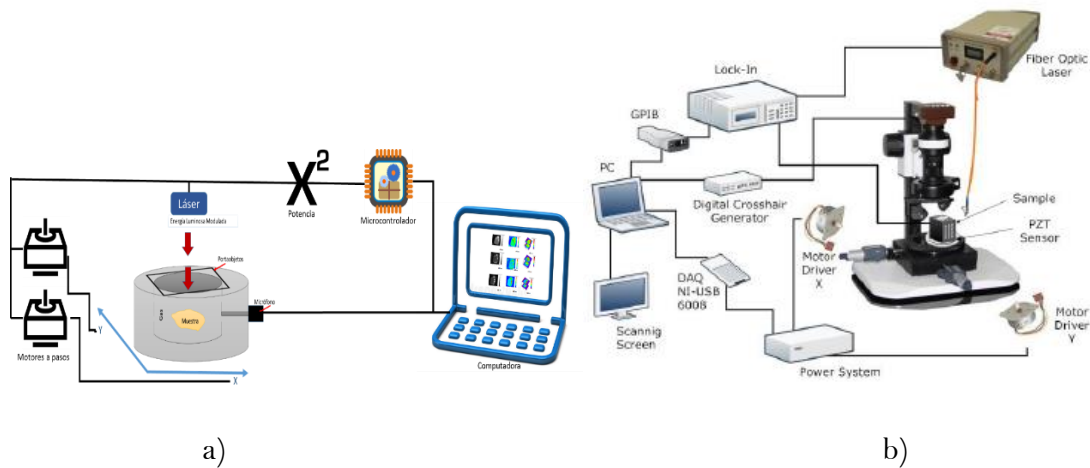


Figura 3.19 Montaje experimental a) MFA (Elaboración propia, 2018) b) PZT (Rosales 2017)

En la Figura 3.19 se describe el montaje experimental de la actividad 3 en ambas instrumentaciones se realiza un escaneo de la muestra utilizando como fuente de excitación luz láser a 405 nm.

En la instrumentación de MFA descrita en la Figura 3.19 a) Se introduce la semilla harinosa a la celda de aluminio con dimensiones radio 2 cm y un grosor de 1.3 cm mostrado en la Figura 3.20 a), esta debe de sellarse mediante dos portaobjetos y con la ayuda de cera para evitar que entre o salga aire; en el software a labVIEW 2015 se comienza a ejecutar el programa para obtener datos de la señal generada dentro de la celda en la PC, esto debido al calentamiento periódico generado por la luz láser con una potencia de 5mW modulado electrónicamente a 17 Hz focalizado a 200 micras; en el programa se va guardando una matriz de datos punto a punto realizando un escaneo en dos ejes “x” , “y” generado por los motores a pasos los cuales tienen una resolución de pasos a 40 y 20. Una vez terminada la captura de datos de la matriz de puntos se procede a graficarlos mediante la ayuda del software Origin 2017 para obtener la imagen, este mismo se realiza en la semilla cristalina

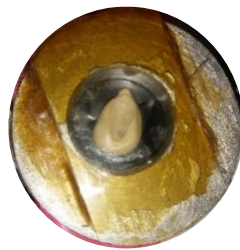


Figura 3.20 Semilla de Maíz en celda Fotoacústica (Elaboración propia, 2017)

El laboratorio de técnicas fototérmicas del CICATA legaría cuenta con la instrumentación de PZT descrito en la Figura 3.8 b) el cual utiliza un microscopio óptico Modelo 01-1001-01 mfd de la marca spirit optical ROI RAM en el cual se encuentra colocado el láser que sirve como fuente de excitación con una potencia de 5 mW modulado con la ayuda de un amplificador Lock-in modelo SR 830 de la marca Stanford Research Systems a 17 Hz focalizado a 105 micras, se utiliza la platina móvil del microscopio para realizar el barrido en el eje “x” y “y” estando acoplado a motores a pasos con resolución 0.032mm controlados por una DAQ NI-USB 6008 de la marca National Instruments;

sobre la platina se fija el sensor PZT modelo BGD el cual consiste en un material cerámico de titanato de plomo-circonio con un espesor de 0.481 mm colocado sobre una placa de metal-cobre con un espesor de 0.323 mm. Sobre el sensor PZT se pega la semilla con pasta térmica Figura 3.21 y se ejecuta el programa para realizar la adquisición de los datos punto a punto con la ayuda del amplificador Lock-in en labVIEW al igual que en la Figura 3.19 a) se guardan en una matriz de datos estos posteriormente se grafican en Origin 2017.

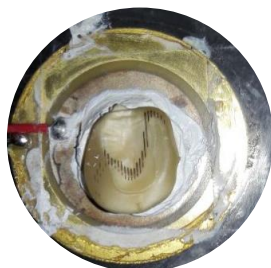


Figura 3.21 Semilla de Maíz pegada con pasta térmica al sensor PZT (Elaboración propia, 2017)

3.3.3.5 Resultados

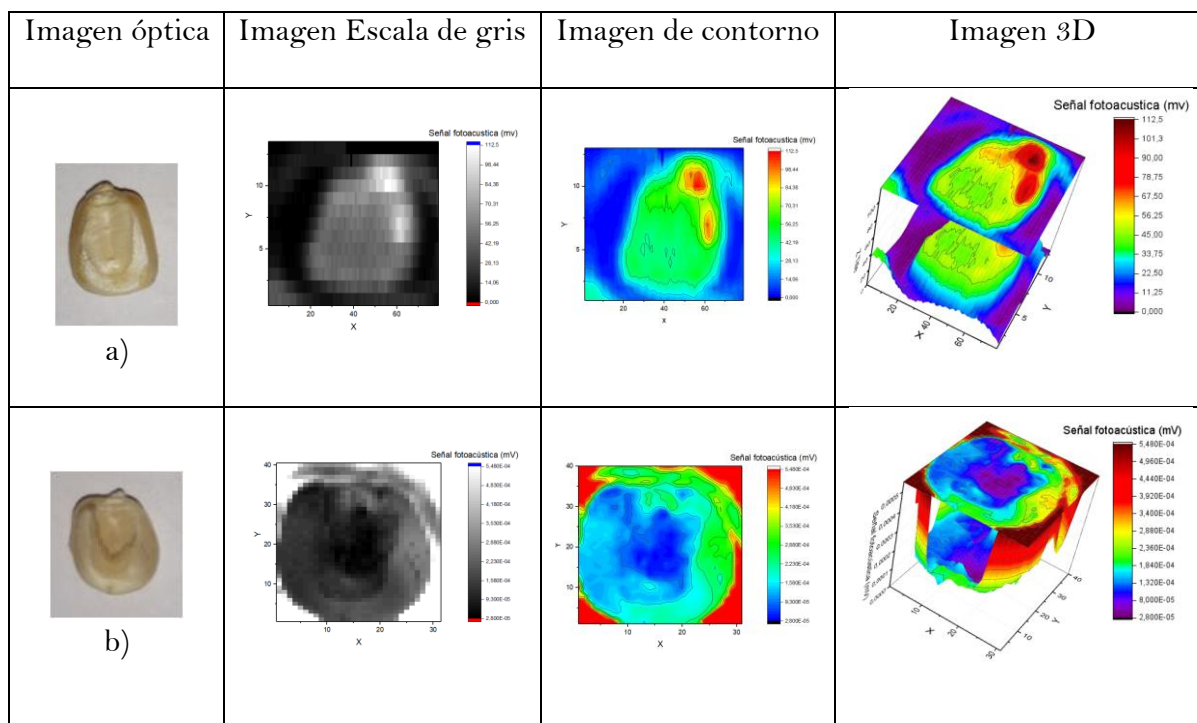


Figura 3.22 Imágenes térmicas de Semilla de Maíz cristalina obtenida mediante a) MFA b) PZT (Elaboración propia, 2018)

En la Figura 3.22 es mostrada las imágenes térmicas obtenidas mediante las dos instrumentaciones, en la primer columna se muestra la imagen óptica de las semillas, en la segunda columna se muestra la imagen a escala de gris, donde se observa que las zonas con coloración blanca es donde existe una mayor respuesta atribuida a mayor absorción, en la tercer columna se muestra la imagen de contorno o superficial, se observa que como anteriormente existen zonas donde existe mayor amplitud en la

señal fotoacústica mostradas con color rojo , se observa una imagen más nítida en el caso de MFA ya que aun con PZT no se logra observar el contorno; en la cuarta columna se muestran las imágenes en 3 dimensiones, en estas imágenes se observa como fue la respuesta del sensor que se utilizó, en MFA se observan las zonas con mayor amplitud anteriormente observadas con un color rojo más intenso donde se puede observar como la señal aumenta en función que existe una mayor absorción en la muestra, en el caso de PZT se observa como la parte de color rojo intenso se atribuye a las zonas donde el sensor está obteniendo una mayor respuesta debido a que en esa parte no existe muestra y en el sensor se hace incidir directamente la luz.



Figura 3.23 Semillas después de obtener imágenes mediante a) MFA y b) PZT (Elaboración propia, 2018)

En la Figura 3.23 se muestra las semillas después de obtener las imágenes térmicas mediante ambas instrumentaciones, en la Figura 3.23 a) no existe cambio en la semilla y en la Figura 3.23 b) se produce un daño en la superficie de la semilla cristalina; para la obtención de imágenes térmicas en semillas harinosas con ambas instrumentaciones la potencia de la fuente de excitación se trabajó a 2 mW con la finalidad de no dañar la semilla harinosa obteniendo lo siguiente:

Imagen óptica	Imagen Escala de gris	Imagen de contorno	Imagen 3D
<p>a)</p>			
<p>b)</p>			

Figura 3.24 Imágenes térmicas de Semilla de maíz harinosa obtenida mediante a) MFA b) PZT (Elaboración propia, 2018)

En la Figura 3.24 se muestran las imágenes térmicas de la semilla harinosa, utilizando ambas instrumentaciones en la primera columna la imagen óptica, en la segunda columna se muestra la imagen a escala de grises, en la segunda columna se presenta imágenes de contorno, a estas se les atribuye zonas con coloración más intensa debido a la absorción en la semilla finalmente en la tercer columna se muestran las imágenes en 3 dimensiones, en la cual la señal fotoacústica con la instrumentación de MFA es mayor donde está la semilla en comparación a la instrumentación PZT que muestra mayor señal en las zonas que no tienen semilla, debido a la configuración de la instrumentación.

Una vez comparadas las imágenes utilizadas por las dos instrumentaciones, es necesario realizar pruebas en imágenes de más semillas para observar cambios de diferentes imágenes del mismo genotipo.

3.3.4 Actividad 4 Obtención de imágenes térmicas mediante Microscopia Fotoacústica en Semillas de Maíz Harinosa y Cristalina

3.3.4.1 Introducción

La importancia de saber qué tipo o calidad tiene los alimentos nos demanda obtener sus propiedades o características que estos poseen, ya que esto depende el uso o costo que estos tendrán; el arroz, el trigo y el Maíz son los cereales más consumidos en el mundo (FAO, 2007); debido a sus propiedades químicas el maíz (*Zea mays L.*) contiene almidones, proteínas, grasas y otros componentes; el estudio de materiales biológicos es de mucha importancia en nuestros días y más este tipo de productos alimentarios y agrícolas se han estudiado por diversas técnicas en distintas áreas de la industria e investigación (Camacho *et al.*, 1995); (Padrón, 2009).

Es por ello que existen diversos métodos o técnicas que puedan brindar información para realizar un estudio de materiales mediante imágenes, siendo aplicables en materiales biológicos; en el área agrícola las imágenes son importantes debido a que pueden ser utilizadas para detectar lo que ocasiona el estrés en distintas variedades de semillas para encontrar genotipos mejor adaptados a las condiciones de sequía como la termografía (Romano *et al.*, 2011), también en 2016 se desarrolló un indicador de estrés hídrico del cultivo mediante imágenes térmicas (Han *et al.*, 2016).

El estudio y aplicación de las técnicas fototérmicas en materiales biológicos como la espectroscopia fotoacústica se han utilizado para el estudio del coeficiente de absorción óptico de maíz (Muñoz *et al.*, 2000) y espectros de absorción ópticos para detectar cambios a nivel de clorofila a 650 y 680 nm reportado por Hernández *et al.* (2005); por otra parte la Microscopia fotoacústica MFA en el estudio de materiales biológicos fueron reportados mediante la obtención de una imagen térmica en un grano de arroz donde se utilizó un láser de Argón realizando un barrido en una área de 6 por 6 milímetros a una resolución de 50 píxeles, haciendo que la luz incidente fuera modulada a 90 Hz (Suzuki *et al.*, 2005), en 2007 se reportó la obtención de imágenes térmicas mediante Microscopia Fotopiroeléctrica en hojas (Briseño, 2007). Su uso también en muestras biológicas obteniendo imagen de los capilares donde el oxígeno y los nutrientes son intercambiados entre sangre y tejido (Maslov y Wang, 2008), Esta técnica también se ha aplicado para observar las diferencias respecto al deterioro de semillas de maíz y trigo obtenidas en distintos ciclos de producción utilizando como fuente de excitación luz láser con una longitud de onda de 650 nm modulado a 1 Hz (Domínguez *et al.*, 2009).

En 2013 se reportó la obtención de imágenes utilizando dos técnicas como es la MFA y microscopia Fotopiroeléctrica utilizada en tomate y rábano encontrando diferencias en las mismas utilizando un láser a 650nm modulado a 1Hz (Domínguez *et al.*, 2013), (Domínguez *et al.*, 2009) demostraron mediante la técnica de MFA se pueden obtener imágenes térmicas en las cuales es posible observar cambios producidos por distintos ciclos de producción del maíz así como sus diferentes contenidos de humedad, además que en esta técnica no es necesario que la semilla de maíz se destruya, además utilizando esta misma técnica es posible observar el germen de cada semilla encontrando homogeneidad en la misma, (Pacheco, Aguilar and Cruz-Orea, 2013).

Una de las ventajas de la MFA es que es una técnica no destructiva y en la cual no necesita una preparación previa de la muestra se plantea el obtener imágenes térmicas de dos variedades de semillas con una instrumentación portátil como lo es el (SpMFA-2.0).

3.3.4.2 Materiales y métodos

3.3.4.2.1 Materiales empleados

El material biológico que se utilizó para la realización de este estudio fueron 5 semillas de maíz harinoso y cristalino

3.3.4.2.2 Métodos

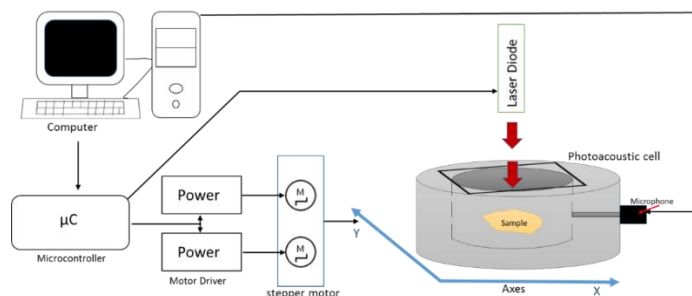


Figura 1 instrumentación SpMFA-2.0 para obtención de imágenes térmicas (Elaboración propia, 2018)

Se muestra en la Figura 1 la instrumentación SpMFA versión 2.0, donde se puede obtener imágenes térmicas mediante la técnica de MFA, la cual cuenta con una celda fotoacústica con un radio de 2 cm y un ancho de 1.3 cm, en esta celda se introduce la muestra y se sella con grasa y la ayuda de dos cristales de cuarzo; dentro de la celda se genera cambios de presión por el calentamiento periódico de la muestra a partir de la incidencia de la luz láser modulada en la misma, siendo el láser modulado a 17 Hz; estos cambios de presión son censados mediante un micrófono de electreto el cual se encuentra conectado a la tarjeta de sonido de la computadora. Para la generación de las imágenes térmicas es necesario realizar un barrido punto a punto en el eje X, Y donde se encuentra la celda; la adquisición de los datos se genera a través de micrófono de electreto los cuales posteriormente son guardados en un procesador de texto creando una matriz de puntos los cuales posteriormente se graficaran con la ayuda del Software Origin versión 2017.

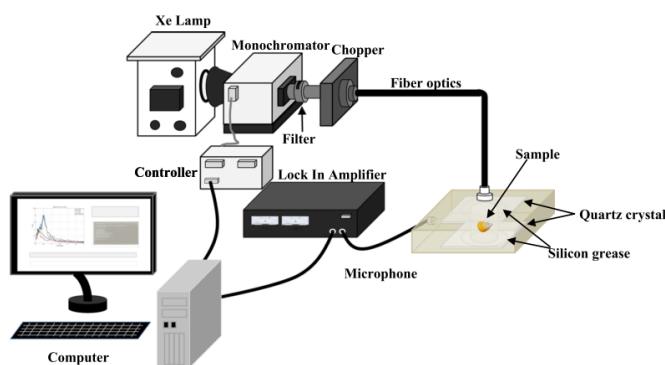
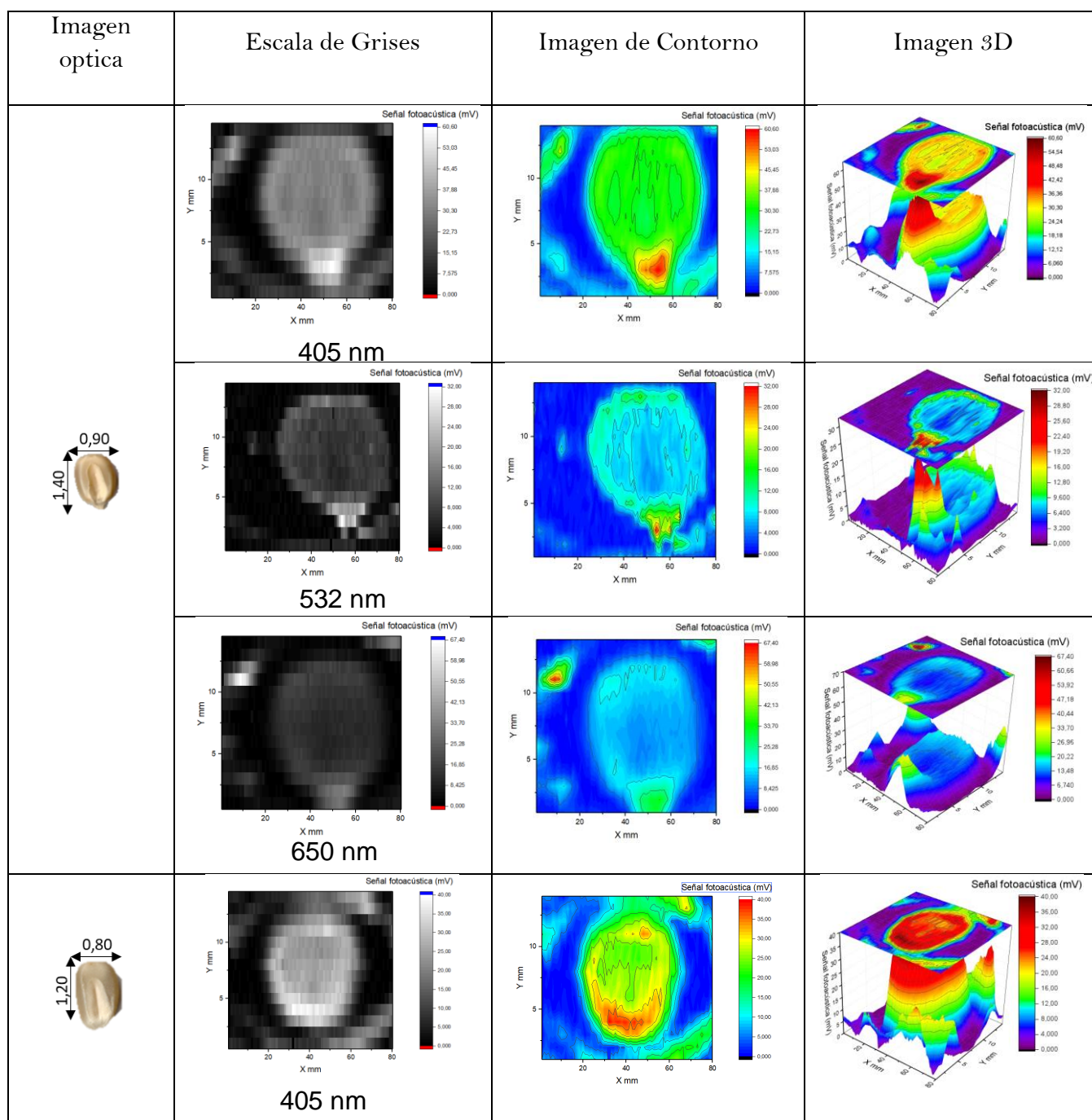
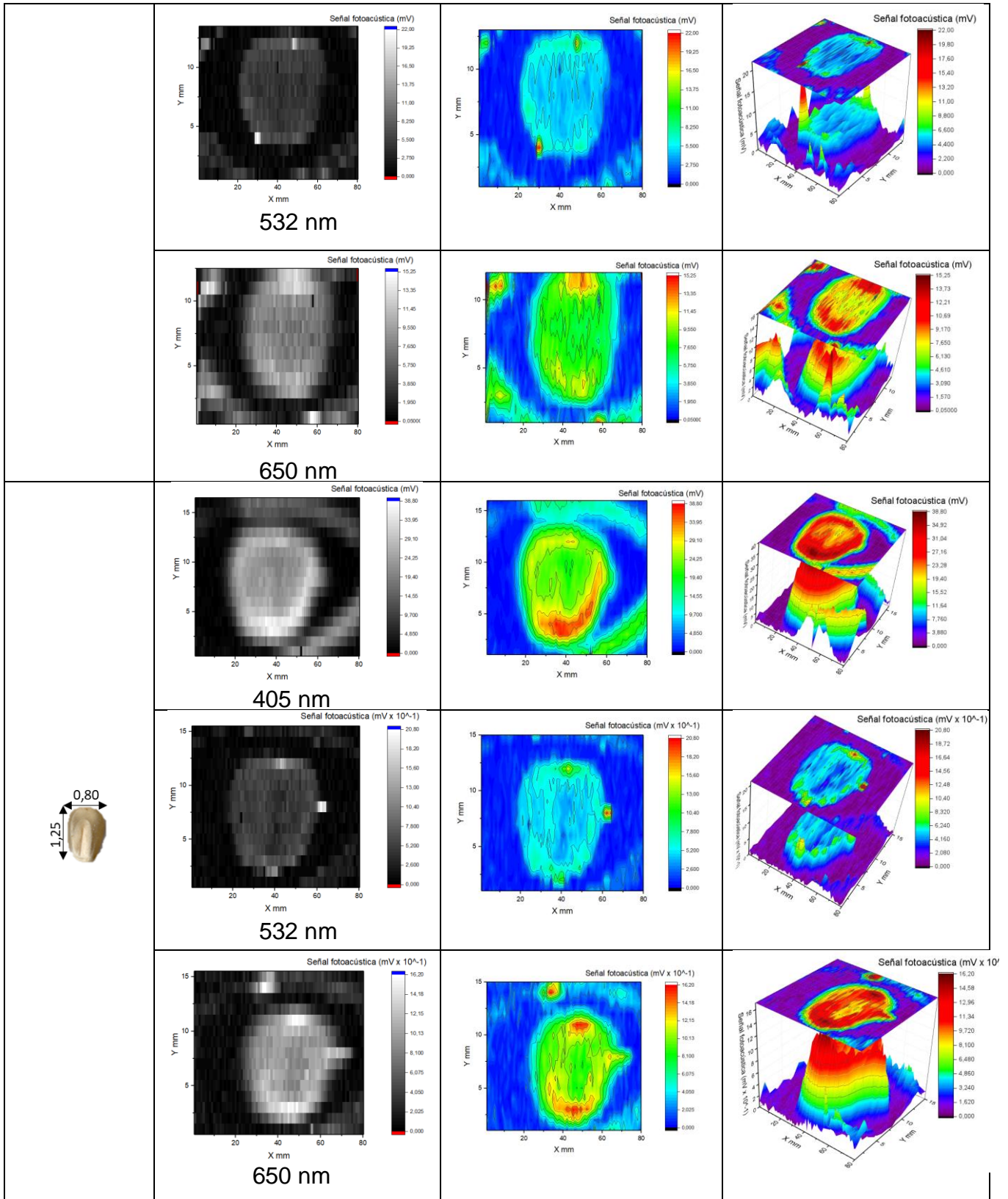


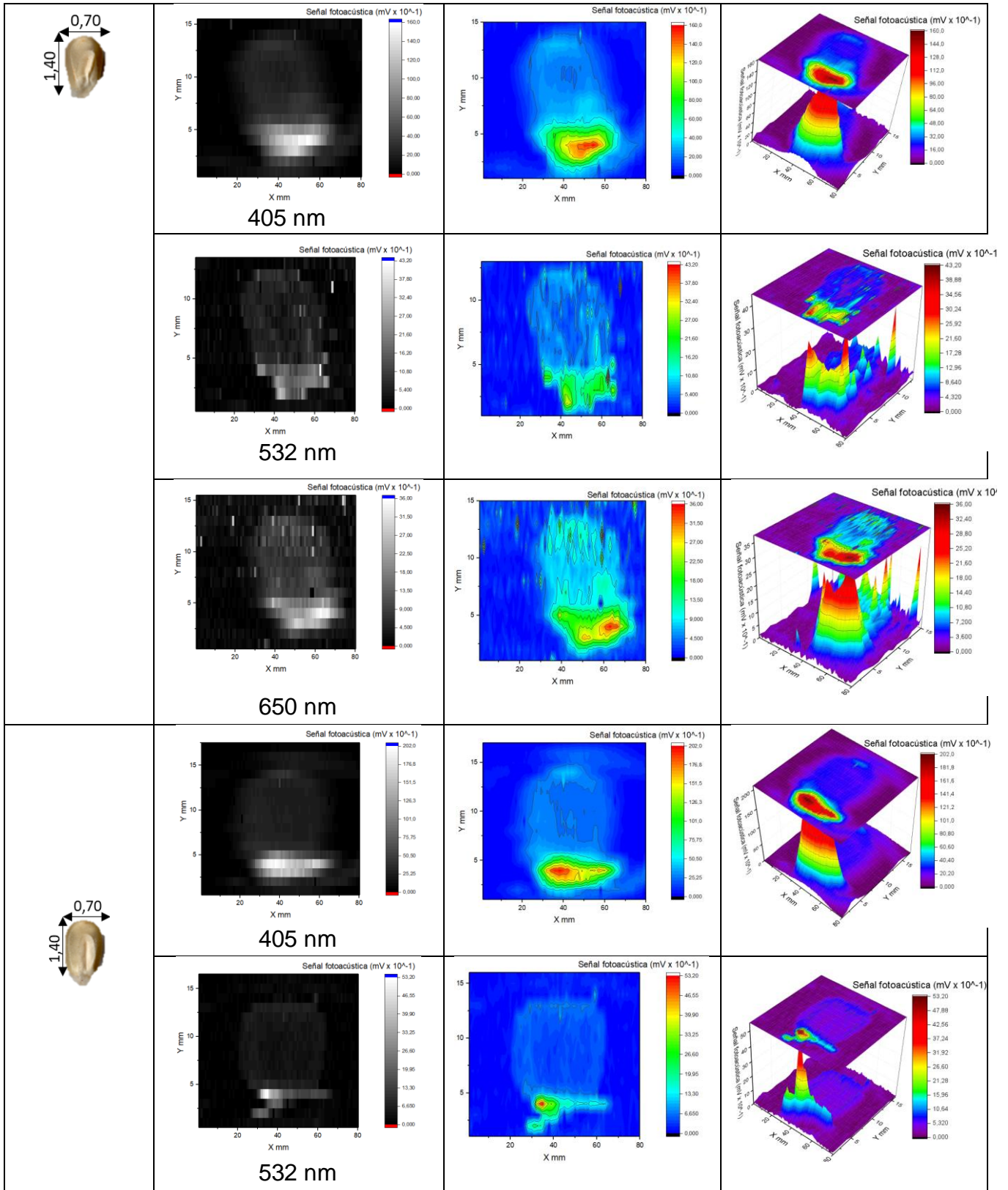
Figura 2 Montaje experimental de Espectroscopía fotoacústica (Domínguez-Pacheco, Hernández-Aguilar and Cruz-Orea, 2017)

En la Figura 2 se muestra el montaje experimental de espectroscopia fotoacústica (EFA), donde en la celda se introduce la muestra la cual se sella mediante dos cristales de cuarzo; como fuente de excitación se utiliza una lámpara de Xenón la cual se hace pasar por un monocromador y posterior a ello por el Chopper el cual realiza la modulación de la luz; esta luz modulada a 17 Hz se hace pasar por una fibra óptica haciéndose incidir este haz de luz modulado a las celda fotoacústica debido a esto dentro de la celda se generan pequeños cambios de presión los cuales serán captados por el micrófono electreto, el cual se encuentra conectado al Amplificador Lock-In responsable de realizar el procesamiento de la señal el cual posterior a ello es conectado a la PC la cual mediante el Software LabVIEW realiza la adquisición y guardado de estos datos.

3.3.4.3 Resultados







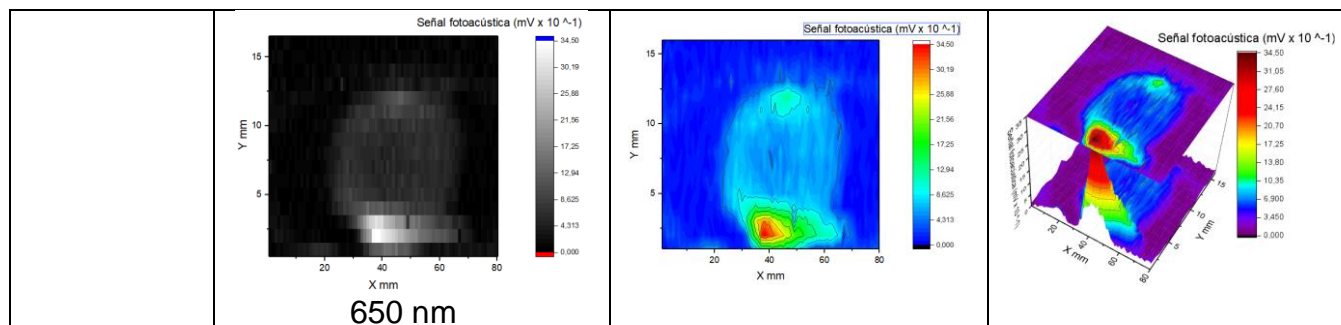


Figura 3 Imágenes térmicas de Semilla de maíz cristalina mediante SpMFA-2.0 a) 405nm, b) 532nm y c) 650nm (Elaboración propia, 2018)

Se procede a realizar la obtención de las imágenes térmicas a través del SpMFA-2.0 de las semillas cristalinas, colocando la muestra dentro de la celda y sellándola con grasa.

En la Figura 3 se muestran las imágenes obtenidas mediante la instrumentación SpMFA-2.0, donde en la primer columna se muestra la imagen óptica con las dimensiones de la muestra a estudiar, en la segunda columna se muestra la imagen de contorno y finalmente se muestra la imagen en 3D en la tercer columna; además en cada fila se muestran las imágenes obtenidas variando la longitud de onda del láser, en la primer fila se muestran las imágenes obtenidas a una longitud de onda de 405nm, en la segunda fila son las imágenes obtenidas con una longitud de onda a 532 nm , finalmente en la tercer fila se muestran las imágenes obtenidas a 650 nm..

Las imágenes muestran zonas de color rojo las cuales son atribuidas a una mayor amplitud en la señal fotoacústica, se puede observar también como variando la longitud de onda en la misma semilla se encuentran distintas zonas de este tipo; donde en la en la imagen de contorno se muestra el comportamiento en las distintas semillas y se puede observar su respuesta situando en algún punto en específico, donde se encuentra un máximo en el punto donde se generó mayor amplitud en la señal fotoacústica.

Se muestra en la Figura 4 las respuestas obtenidas variando la longitud de onda 405nm, 532nm y 650nm en las 5 semillas cristalinas donde se muestra como variando la fuente de excitación luz láser a 405 en materiales como son semillas cristalinas se obtienen imágenes de contorno con más resolución, en comparación con el láser utilizado a 532 nm, para el caso de las cinco semillas se puede observar en su respuesta para el caso de 650 nm se observa también una mejor resolución debido a esto se procede a obtener la amplitud de la señal fotoacústica respecto a la longitud de onda.

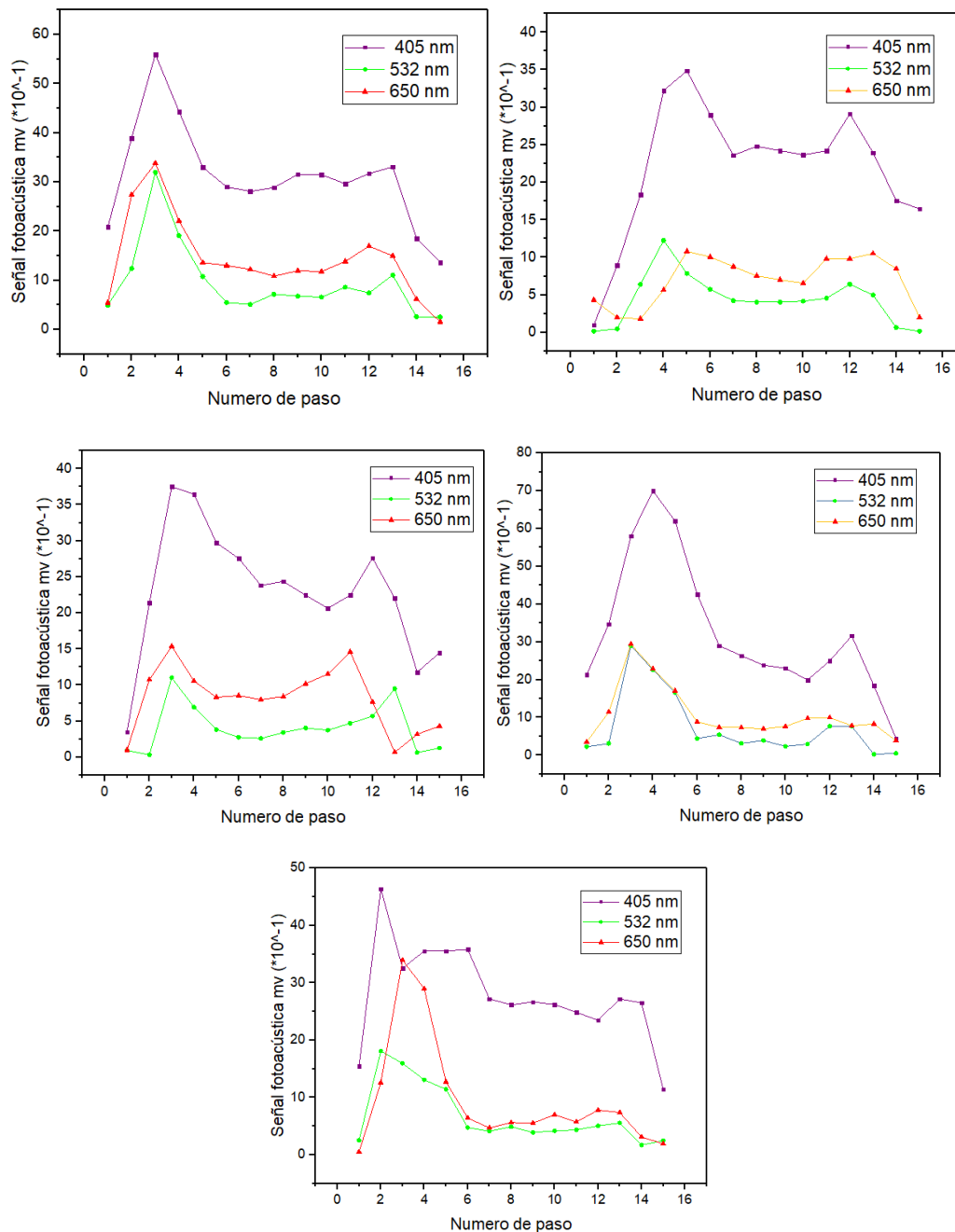


Figura 4 Comparación de respuestas obtenidas variando la longitud de onda 405nm, 532nm, 650nm en distintos granos cristalinos mediante SpMFA a) semilla 1; b) semilla 2; c) semilla 3; d) semilla 4; e) semilla 5 (Elaboración propia, 2018)

Realizando una comparación de la respuesta obtenida a 405 nm de las 5 semillas se muestra en la Figura 5 donde se analiza una zona de la semilla la cual muestra una respuesta encontrando sus máximos de 0.3 a 0.4 mv respectivamente para cada señal.

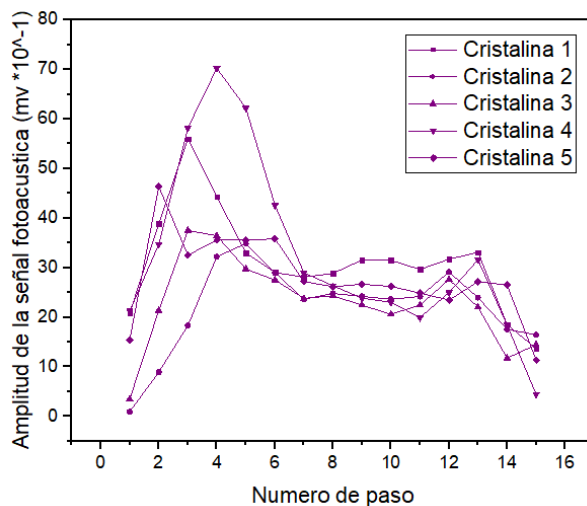


Figura 5 Comparación de respuestas obtenidas en las semillas cristalinas utilizando longitud de onda a 405 nm (Elaboración propia, 2018)

Para comprobar los resultados obtenidos en el equipo SpMFA-2.0 se procede a utilizar la instrumentación de EFA la cual brinda la amplitud de la señal fotoacústica de la muestra con respecto a la variación de la longitud óptica y posterior a ello lograr encontrar el coeficiente de absorción óptico y la longitud de penetración de la muestra.

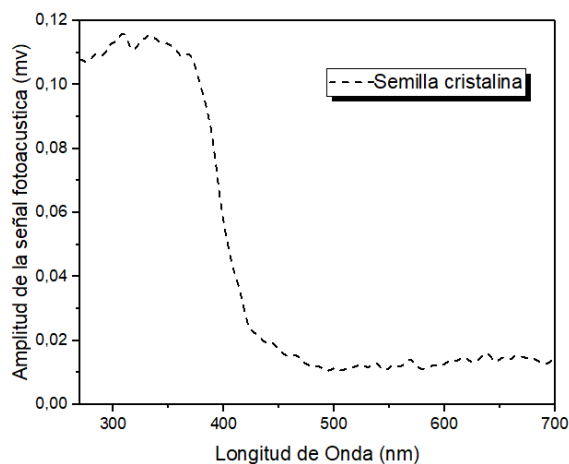
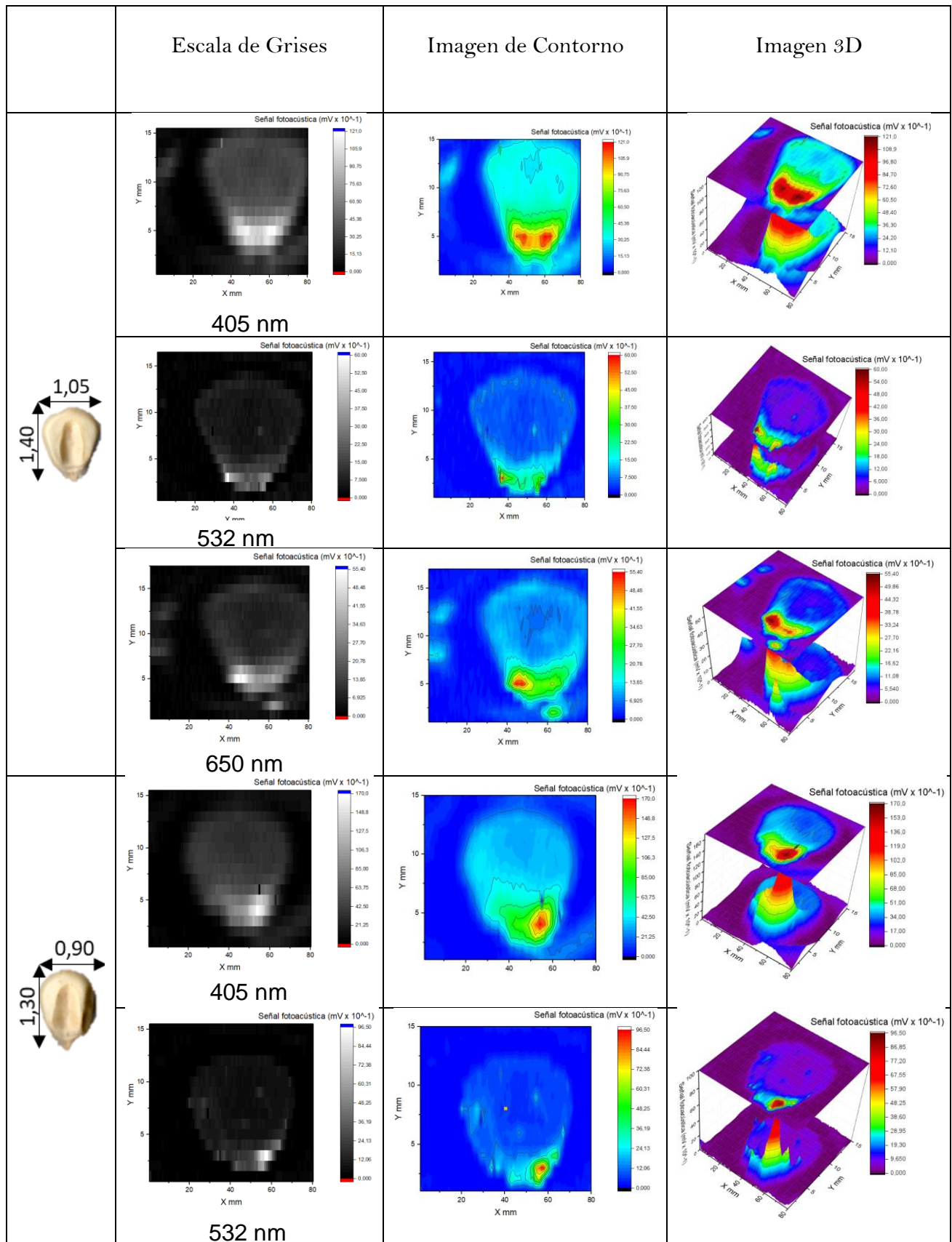
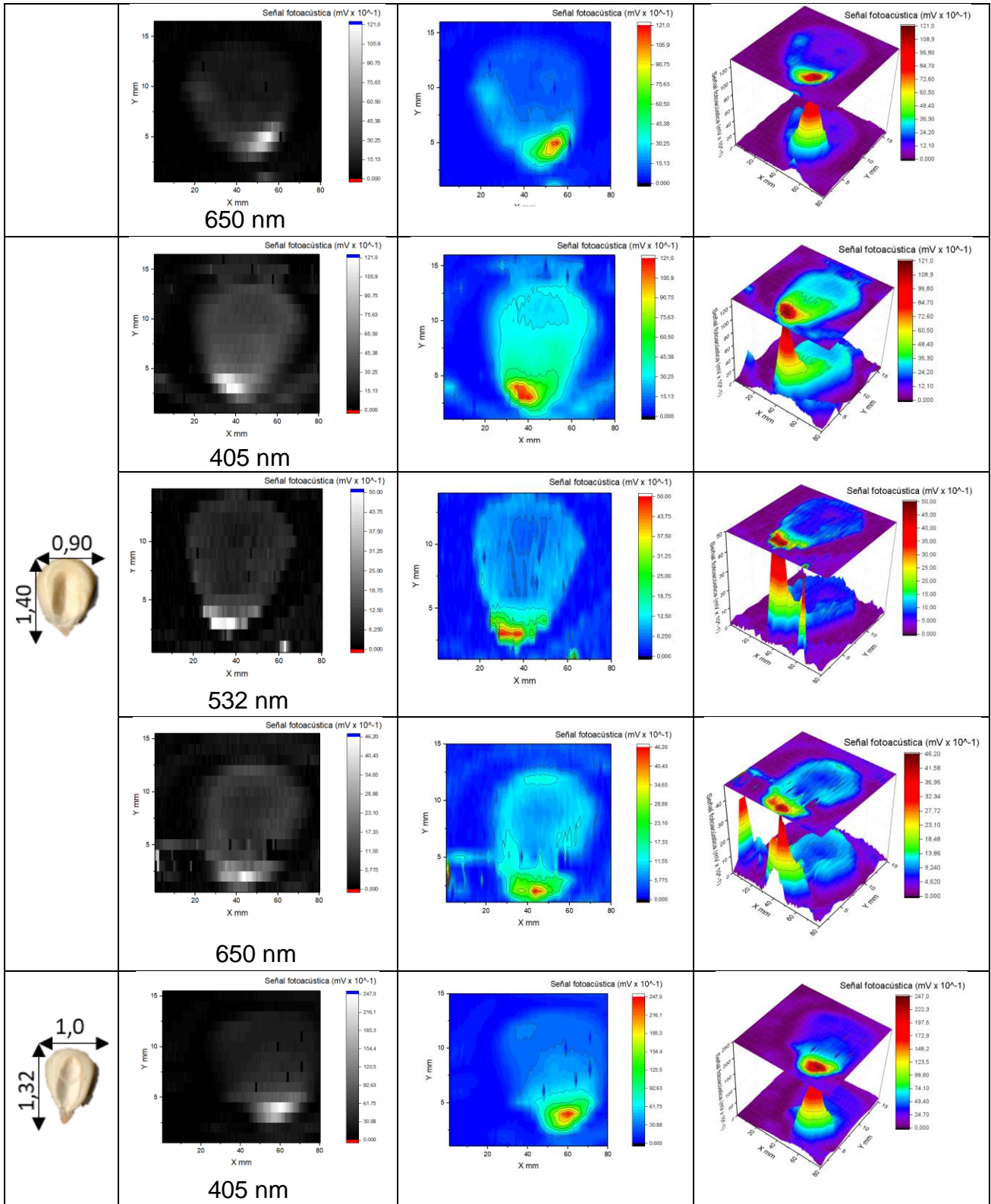


Figura 6 Amplitud de la señal fotoacústica de la semilla cristalina mediante la técnica de espectroscopia fotoacústica (Elaboración propia, 2018)

En la Figura 6 se muestra la gráfica de la amplitud de la señal fotoacústica obtenida mediante la técnica de espectroscopia fotoacústica; en la cual se observan cambios dependiendo su longitud de onda a la que es excitada la muestra, en este caso la semilla cristalina observando como a partir de 420 nm decae la señal y observando que en 532nm existe una menor señal en comparación de la obtenida a 650 nm; esto a su vez complementa a las imágenes obtenidas en el sistema SpMFA-2.0 debido a que se obtiene una mejor imagen en la longitud de onda a 405nm y una imagen con menos resolución a 532nm.





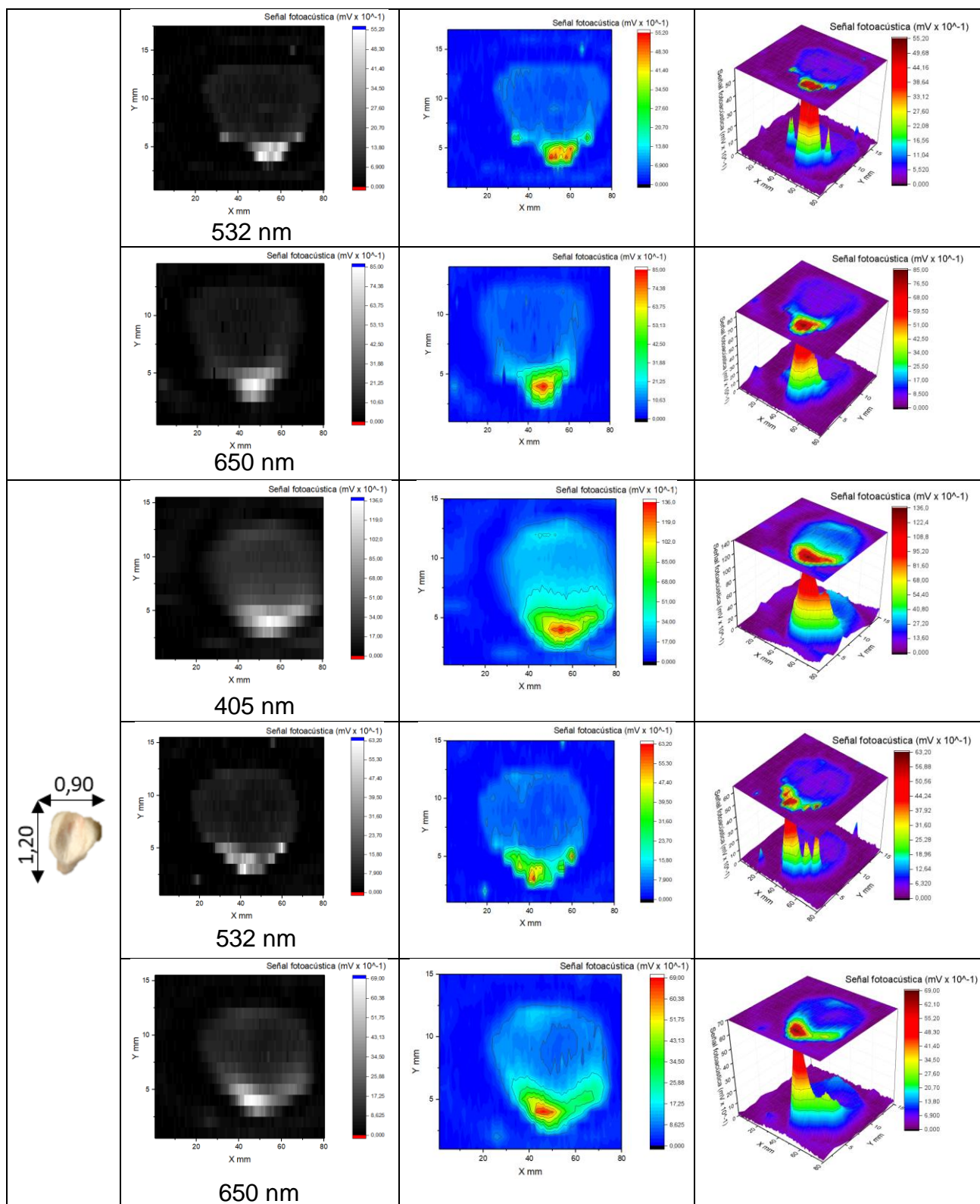


Figura 7 Imágenes térmicas de Semilla de maíz harinosa mediante SpMFA hna) 405nm, hnb) 532nm y hnc) 650nm (Elaboración propia, 2018)

La Figura 7 muestra las imágenes obtenidas mediante el SpMFA-2.0 donde las columnas indican las imágenes en escala de grises, imagen de contorno e imagen en 3D; como en el caso anterior de la Figura 7 existe una matrícula para cada fila (hnY), donde h = tipo de semilla en este caso harinosa, n= número de semilla este puede tomar valores del 1 al 5 y finalmente Y representa la longitud de

onda con la que se obtuvieron las imágenes, los valores que toma son $a = 405\text{nm}$, $b = 532\text{nm}$ y $c = 650\text{nm}$, para cada caso. Por ejemplo para la fila h4b, representa la semilla harinosa número 4 donde fue utilizado el láser a 532 nm .

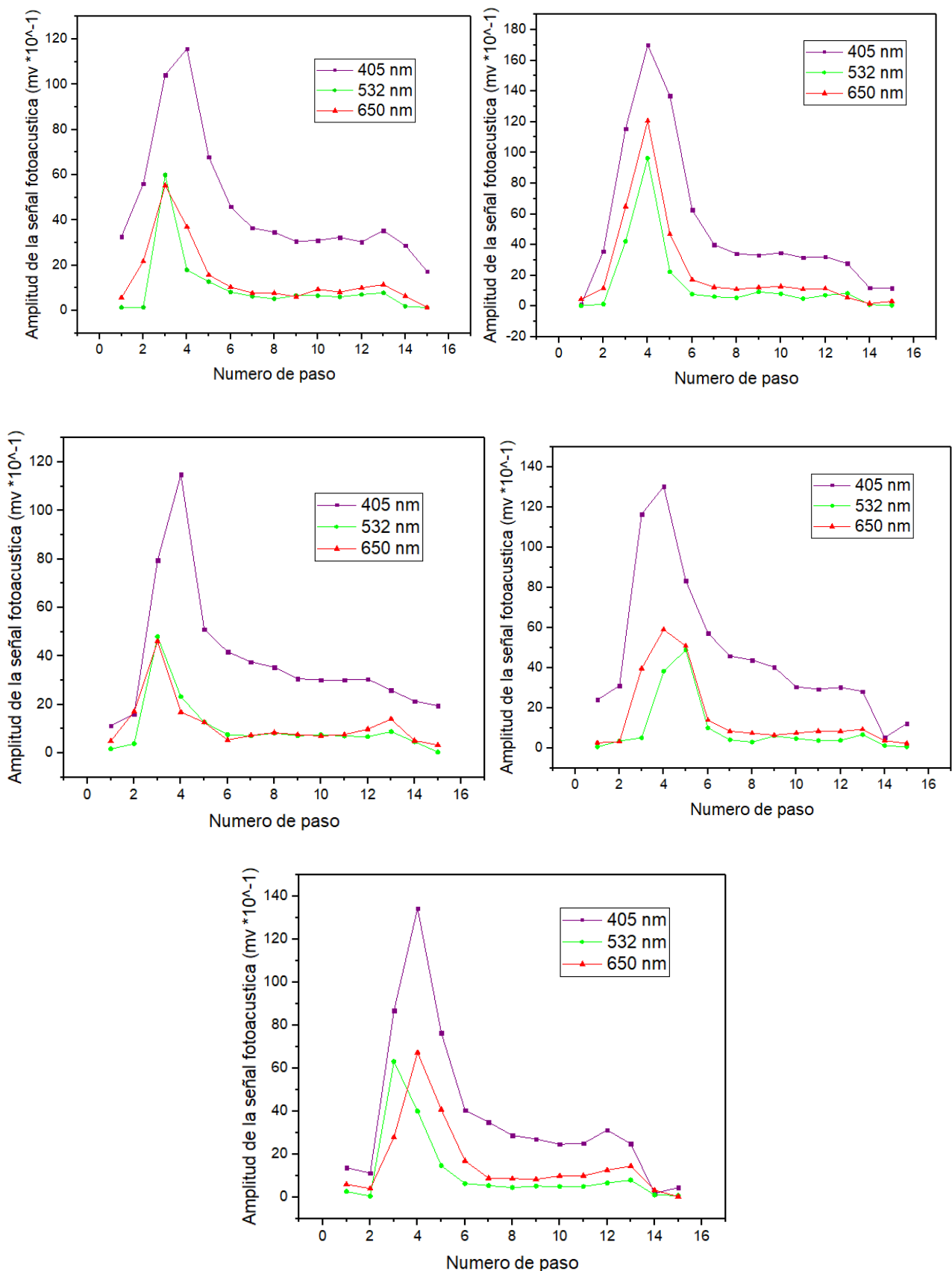


Figura 8 Comparación de respuestas obtenidas variando la longitud de onda 405nm, 532nm, 650nm en distintos granos cristalinos mediante

En estas imágenes se puede observar que en las semillas harinosas se obtiene una mejor imagen de contorno, escala de grises y en 3D utilizando como fuente de excitación luz láser a 405 nm mostrados en la Figura 8, en comparación con la longitud de onda a 532 nm; donde al igual que en la Figura 1 en las semillas harinosas se muestra estas imágenes, al igual que con las semillas cristalinas se procede a obtener la amplitud de la señal fotoacústica en las semillas harinosas.

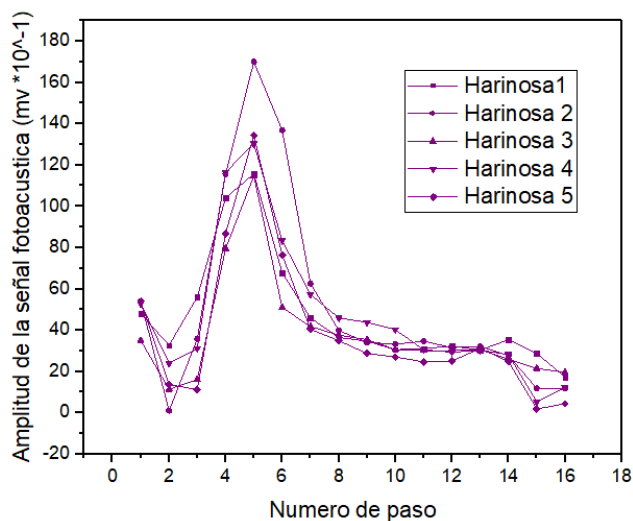


Figura 8 Comparación de respuestas obtenidas en las semillas cristalinas utilizando longitud de onda a 405 nm (Elaboración propia, 2018)

Es por ello que en la Figura 8 se muestra la amplitud de la señal fotoacústica con respecto a la longitud de onda mediante la técnica de espectroscopia fotoacústica donde se observa una mayor señal de amplitud cuando se tiene una longitud de onda menor a 410 nm

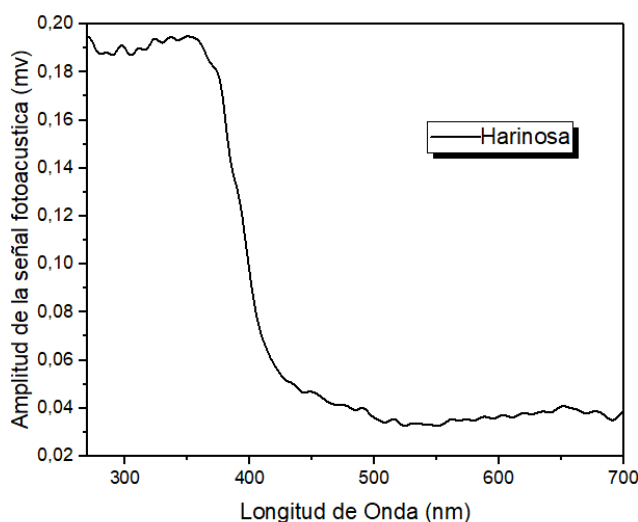


Figura 8 Amplitud de la señal fotoacústica mediante la técnica de espectroscopia fotoacústica en semilla de maíz harinoso (Elaboración propia, 2018)

La señal de amplitud obtenida en la semilla harinosa mediante la técnica de espectroscopia fotoacústica se muestra en la Figura 8 donde se observa una mayor señal de amplitud cuando se tiene una longitud de onda menor a 410 nm, en las imágenes obtenidas a 405 nm se observa una mejor definición y es atribuida a una mayor amplitud en la señal tanto para el SpMFA-2.0 que para la técnica de Espectroscopia Fotoacústica, se observa que la señal va decayendo conforme pasa los 410 nm y se mantiene debajo de 450 a 550 nm logrando tener una ligera mayor señal pasando los 600 nm.

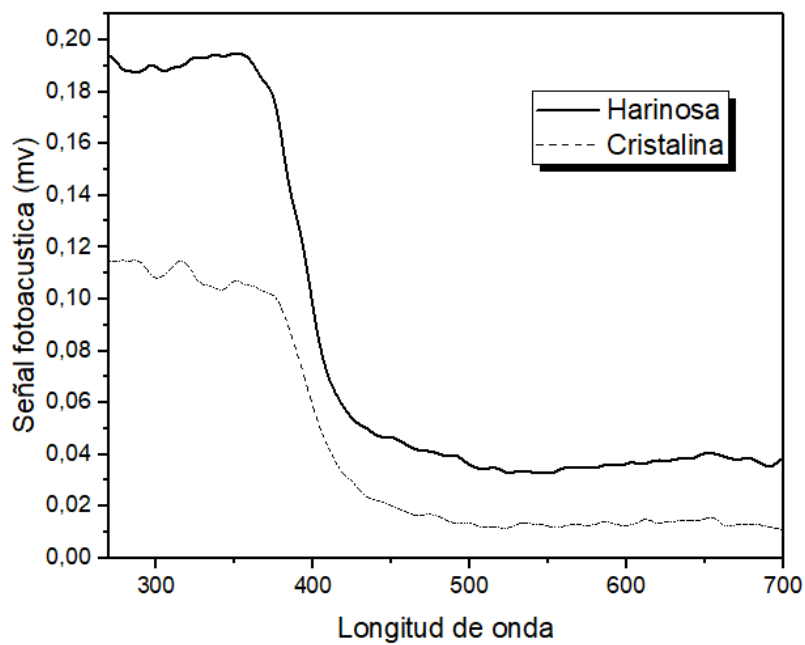


Figura 9 Comparación en amplitud de la señal fotoacústica mediante la técnica de espectroscopia fotoacústica de semillas harinosas y cristalinas (Elaboración propia, 2018)

Comparando las amplitudes en la señal fotoacústica en la Figura 9 se muestra el comportamiento de ambas señales obteniendo una mayor amplitud para longitudes de onda menores a 400 nm y de 450 a 550 la señal se observa decreciente, siendo a partir de 600nm la amplitud tiene un ligero aumento, se observa una mayor amplitud en la semilla cristalina que en la harinosa.

En la tabla 6 se muestra la respuesta de la señal fotoacústica respecto a su posición y como esta va cambiando respecto al lugar que se encuentra, atribuida a una diferente absorción óptica en el material, encontrando diferencias para cada zona del maíz y obteniendo una mayor respuesta de absorción en el germen de la semilla, donde se produce una mayor señal fotoacústica.

También se encuentran las diferencias encontradas en ambas señales y diferenciando la semilla cristalina de la harinosa, en la Figura 10 se muestra esta diferencia respecto a los promedios obtenidos de la señal FA en ambos genotipos de maíz, obteniendo mayor amplitud en las de Maíz Cristalino

Tabla 6. Respuesta de la Señal FA respecto a la posición

Variedades	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄	P ₁₅
Láser 405 nm															
a) Cristalino	12.413a	30.07a	40.517b	43.75b	39.08b	32.803b	26.347b	26.107b	25.750a	25.005a	24.227b	27.388a	27.582a	13.865a	12.102a
b) Harinoso	16.574a	30.08a	100.516b	133.06a	83.12a	49.638a	38.981a	35.375a	32.369a	30.221a	29.710a	30.919a	28.423a	18.567a	13.047a
LSD (0.05%)	6.993	29.684	26.982	37.907	41.629	13.053	5.3825	6.9861	8.8368	7.2014	4.8168	4.1763	4.261	18.653	7.9843
Media	14.49	30.07	70.51	88.4	61.1	41.2	32.6	30.7	29.05	27.6	26.9	29.1	28.002	16.21	12.5
Significance	0.17	0.99	0.0035	0.0028	0.0425	0.0231	0.0029	0.0211	0.1061	0.1147	0.0342	0.0787	0.6132	0.5226	0.7590
C.V. (%)	27.47	56.20	21.7	24.41	38.7	18.03	9.38	12.94	17.3	14.8	10.17	8.15	8.66	65.5	36.1
R ²	0.93	0.46	0.91	0.91	0.79	0.84	0.92	0.81	0.60	0.64	0.81	0.70	0.85	0.32	0.63
Láser 532 nm															
a) Cristalino	2.16a	6.88a	18.92a	14.80a	10.08a	4.64b	4.30a	4.54a	4.53a	4.20a	5.03a	6.46a	7.75a	1.16a	1.39a
b) Harinoso	1.33a	2.13a	43.68a	43.20a	22.28a	8.01a	5.81a	5.26a	6.88a	6.37a	5.32a	6.29a	7.95a	1.98a	0.72a
LSD (0.05%)	2.19	11.2	34.968	40.61	15.25	2.21	2.57	3.21	2.52	2.17	2.21	2.68	3.29	2.40	1.06
Media	1.74	4.50	31.30	29.002	16.18	6.32	5.05	4.90	5.70	5.29	5.17	6.38	7.85	1.57	1.06
Significance	0.35	0.307	0.12	0.12	0.09	0.013	0.176	0.56	0.061	0.05	0.738	0.872	0.876	0.399	0.15
C.V. (%)	71.59	142.66	63.6	79.74	53.66	19.90	28.99	37.32	25.22	23.39	24.40	23.99	23.90	86.83	57.22
R ²	0.66	0.48	0.62	0.64	0.785	0.84	0.45	0.49	0.72	0.79	0.74	0.263	0.51	0.507	0.77
Láser 650 nm															
a) Cristalino	2.96a	12.83a	22.87a	18.03a	12.49b	9.38a	8.21a	7.96a	8.33a	8.90a	10.75a	10.44a	8.27a	5.85a	2.72a
b) Harinoso	4.79a	11.56a	46.75a	60.20a	33.39a	12.77a	8.94a	8.68a	8.12a	9.37a	9.07a	10.48a	10.99a	4.05a	2.11a
LSD (0.05%)	3.39	10.73	32.01	53.28	20.28	7.50	4.33	3.32	5.35	5.31	5.77	5.58	9.41	4.62	1.43
Media	3.87	12.19	34.81	39.11	22.94	11.07	8.58	8.32	8.23	9.13	9.19	10.46	9.63	4.95	2.42
Significance	0.20	0.75	10.72	0.09	0.04	0.277	0.66	0.57	0.91	0.82	0.46	0.98	0.46	0.34	0.30
C.V. (%)	49.80	50.11	52.37	77.58	50.34	38.58	28.73	22.74	37.05	33.10	33.16	30.40	55.62	53.10	33.82
R ²	0.55	0.75	0.55	0.66	0.77	0.51	0.47	0.40	0.26	0.23	0.34	0.40	0.36	0.43	0.80

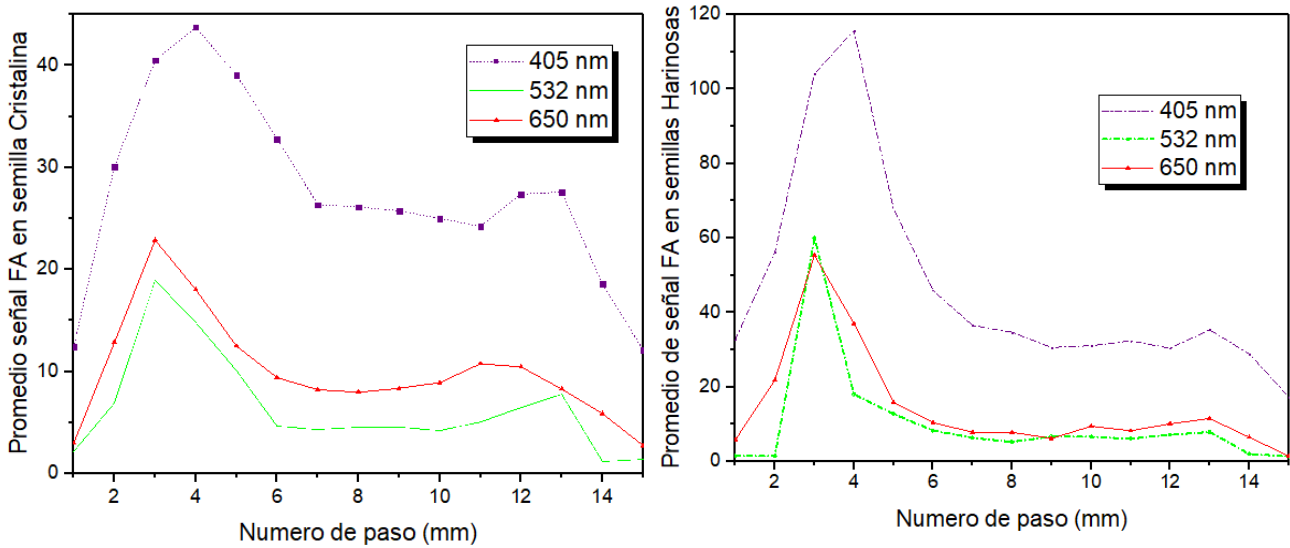


Figura 10 Comparación del promedio de la señal fotoacústica en semillas cristalinas y harinosas (Elaboración propia, 2018)

También se muestra la comparación de las señales fotoacústicas normalizadas en amplitud donde en la semilla cristalina se obtiene aun una mayor amplitud, posterior a esto se calcula el coeficiente de absorción óptica y diversos parámetros como es la longitud de penetración y su difusividad térmica del material (Poulet, Chambron and Unterreiner, 1980); donde para obtener el coeficiente de absorción óptica, es necesario conocer parámetros como son la difusividad térmica, la amplitud de la señal, y la frecuencia de modulación entre otros.

$$\beta = \frac{(a_s) \cdot [q^2 + q(2 - q^2)^{1/2}]}{(1 - q^2)} \text{ ----- (eq. 1)}$$

Donde para calcular el coeficiente de difusión térmica

$$a_s = \left(\frac{\pi \cdot f}{\alpha}\right)^{1/2} \text{ ----- (eq. 2)}$$

Tomando en cuenta $\alpha = 4.44 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ (Fernández-Muñoz *et al.*, 2001); y la frecuencia de modulación a la que fue excitada la muestra a 17 hz en eq.2 se sustituyen estos valores y se obtiene el coeficiente de difusividad térmica. .

$$a_s = \left(\frac{(3.1416) \times (17)}{4.44 \times 10^{-3}}\right)^{1/2}$$

$$a_s = 109.67 \text{ cm}^{-1}$$

Sustituyendo estos datos en eq. 1 se obtiene el coeficiente de absorción óptica, y a su vez la longitud de penetración se obtendrá como lo expresado en la eq. 3

$$l_\beta = \frac{1}{\beta} \text{ ----- (eq. 3)}$$

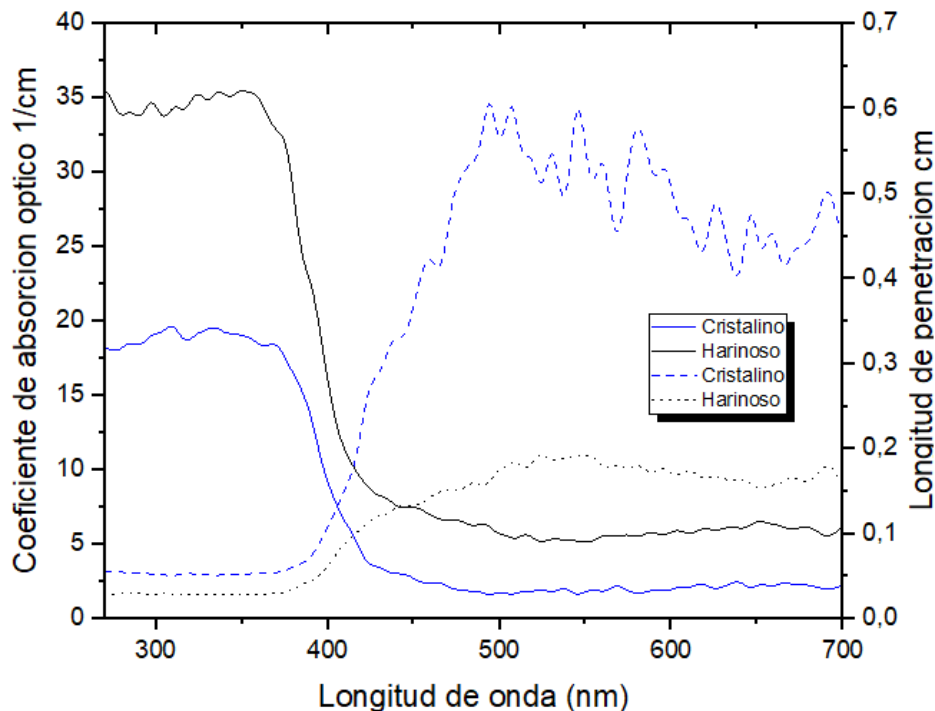


Figura 11 Coeficiente de absorción óptica y Longitud de penetración en semillas harinosas y cristalinas (Elaboración propia, 2018)

En la Figura 11 se muestra los valores obtenidos del coeficiente de absorción óptica β y la longitud de penetración l_p , tomando en cuenta que la muestra mide 0.3 cm se obtiene que el producto de $(a_s l_s \gg 1)$; siendo $(32.901 \gg 1)$ (Rico Molina *et al.*, 2013); por consiguiente es una muestra térmicamente gruesa (Rosencwaig y Gersho, 1976) en el rango de longitudes de onda de 250 a 700nm; además se muestra que para la longitud de onda en el rango de 300 a 400 nm absorbe más la muestra, teniendo en cuenta que para rango posteriores a 400 nm el β decae. Para el caso de 532 nm se muestra una disminución de absorción en la muestra.

Como complemento a esta actividad se procede a comparar la respuesta en semillas del mismo genotipo pero con distinto ciclo productivo, para este caso se procede a obtener las imágenes de grano de maíz harinoso utilizando como fuente de excitación laser a 405 nm bajo las condiciones e instrumentación antes descrita SPMFA-2.0

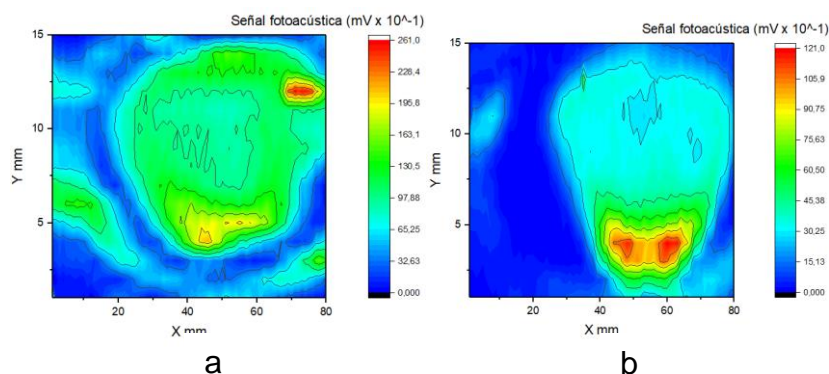


Figura 12 Imágenes térmicas de grano de maíz harinoso con distintos ciclos productivos a)2017; b)2009 (Elaboración propia, 2018)

La Figura 12 se muestra las imágenes térmicas obtenidas mediante SPMFA 2.0 de dos granos de maíz del mismo genotipo, variando el ciclo productivo, donde se puede observar los cambios en las imágenes atribuidas a una diferente amplitud de la señal FA.

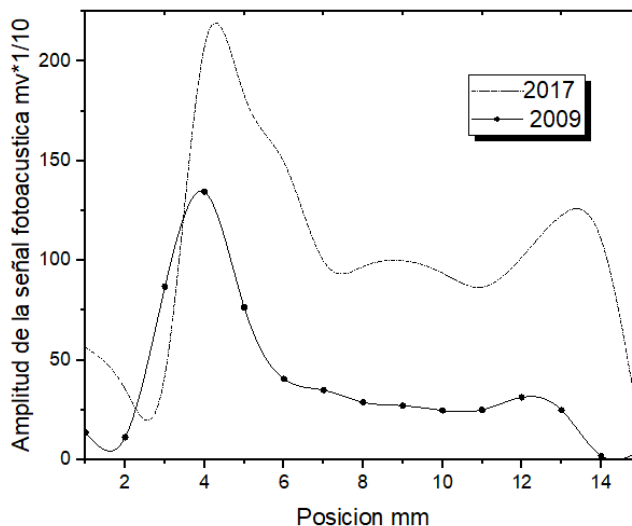


Figura 13 Comparación de la Señal FA del grano de maíz harinosa con distintos ciclos productivos 2009 y 2017 (Elaboración propia, 2018)

Se muestra en la Figura 13 la comparación de la amplitud de la señal FA, donde para el grano de ciclo productivo 2009 tiene una menor magnitud que la producida en 2017 logrando encontrar cambios producidos por el ciclo productivo en los granos de maíz.

Una vez encontrado las diferencias en las imágenes térmicas obtenidas en granos de maíz con distinto genotipo y distinto ciclo productivo se procede a obtener con las mismas condiciones imágenes de grano de maíz producido sin agroquímicos, no industrializado y cosechado de una manera tradicional proveniente de Oaxaca.

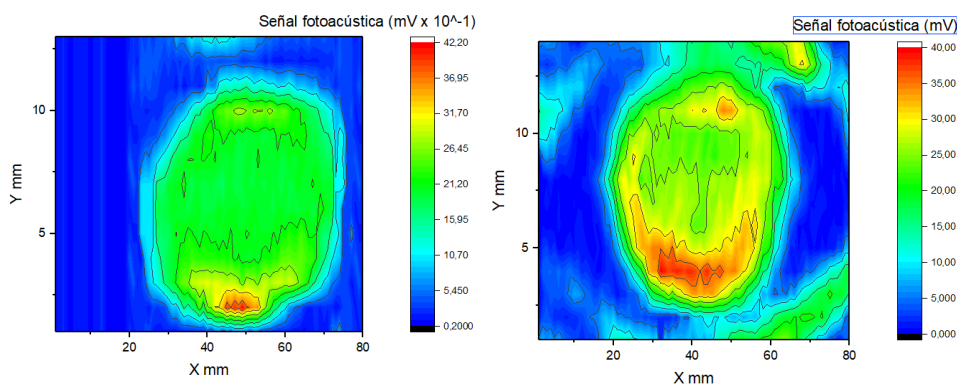


Figura 14 Imágenes de grano de maíz cristalino a) Tradicional; b) Comercializado (Elaboración propia, 2018)

Finalmente en la Figura 14 se muestran las imágenes obtenidas de dos tipos de granos de maíz uno cosechado de una manera tradicional en la sierra de Oaxaca y uno comercial, donde se pretende seguir investigando su respuesta y los cambios generados en la misma.



Capítulo IV

Discusiones, Conclusiones y trabajos futuros

En el presente capítulo se abordan discusiones, conclusiones y trabajos futuros acerca del trabajo de investigación planteado, la siguiente tabla muestra los objetivos particulares extraído de la Tabla 1, en esta se enumeran ocho objetivos particulares para cumplir el objetivo general bajo una metodología transdisciplinaria.

Objetivo General	
Realizar un análisis térmico de materiales biológicos mediante el método de microscopia fotoacústica: instrumentación portátil	
<p style="text-align: center;">Objetivo particular 1</p> <ul style="list-style-type: none"> • Realizar la revisión de literatura científica (estado del arte) <p style="text-align: center;">Objetivo particular 3</p> <ul style="list-style-type: none"> • Focalizar la problemática a abordar teniendo evidencia de ello <p style="text-align: center;">Objetivo particular 5</p> <ul style="list-style-type: none"> • Obtener imágenes térmicas mediante MFA sobre diversos materiales tales como polímeros y metales con una instrumentación portátil <p style="text-align: center;">Objetivo particular 7</p> <ul style="list-style-type: none"> • Obtener imágenes mediante MFA en semillas de Maíz Harinosa y Cristalino 	<p style="text-align: center;">Objetivo particular 2</p> <ul style="list-style-type: none"> • Establecer un marco teórico y metodológico de la investigación <p style="text-align: center;">Objetivo particular 4</p> <ul style="list-style-type: none"> • Realizar una evaluación del sujeto que investiga <p style="text-align: center;">Objetivo particular 6</p> <ul style="list-style-type: none"> • Obtener imágenes térmicas con MFA utilizando diferentes longitudes de onda como fuente de excitación <p style="text-align: center;">Objetivo particular 8</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comparar resultados de MFA con otra instrumentación en materiales biológicos

Objetivo particular 1: Realizar la revisión de literatura científica (estado del arte)

Se realizó una revisión de literatura encontrando las ventajas acerca de las técnicas fototérmicas, en este caso una técnica no invasiva ni destructiva (Briseño *et al.*, 2008; Domínguez *et al.*, 2009) además se ha encontrado en diversas publicaciones acerca de la técnica utilizada en materiales biológicos (Suzuki *et al.*, 2005; Domínguez *et al.*, 2010; Lomelí *et al.*, 2012; Wang y Hu, 2012); es importante mencionar que algunas de estas investigaciones se han realizado con diversas fuentes de excitación dentro de ellas se destaca el uso del láseres de Argón y láseres con una longitud de onda igual o mayor a 500 nm principalmente. (Thomas *et al.*, 1979; Favro *et al.*, 1980; Suzuki *et al.*, Domínguez *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2010; Hu *et al.*, 2011; He *et al.*, 2015; Dong *et al.*, 2016). Su originalidad radica en el uso e implementación de una instrumentación portátil de MFA utilizando una fuente excitación menor a 500 nm en materiales biológicos sin la necesidad de utilizar alguna otra instrumentación extra como es el Amplificador Lock-in

Objetivo particular 2: Establecer un marco teórico y metodológico de la investigación

Se establece un marco teórico y metodológico necesario para cumplir los objetivos de la investigación, es por ello que en la presente investigación al tratarse de una técnica como es la MFA se basa principalmente en Física especialmente en termodinámica por la radiación que se efectúa en la

muestra debido al laser provocando un calentamiento en ella (Thomas *et al.*, 1956; Manaba y Hoshimiya, 2005) basado en el Efecto fotoacústico (Bell. 1880).

La Metodología transdisciplinaria utilizada contempla cuatro fases desde el conocimiento de la problemática hasta la evaluación de impactos (Hernández, 2017), realizándose bajo una investigación participativa (Pohl, 2010), tomando en cuenta los actores extra científicos en la investigación (John et al, 2012).

Objetivo particular 3: Focalizar la problemática a abordar teniendo evidencia de ello

En la fase I de la metodología utilizada en la investigación se logra focalizar el problema, el cual consiste en la baja producción de desarrollos tecnológicos en el país, así como la producción de artículos científicos respecto a otros países; la evidencia de ello está relacionada con la Actividad 1, donde se realizó una encuesta a investigadores pertenecientes al SNI, en esta actividad los resultados son preliminares así como la conclusión debido a que solo se ha aplicado al 6% del número de muestras esperado, encontrando que los investigadores están de acuerdo en la necesidad de desarrollos del país y que hace falta divulgación y apoyo en ellas.

Objetivo particular 4 Realizar una evaluación del sujeto que investiga

Este Objetivo se cumple en la Fase II de la metodología, debido a que en la transdisciplinariedad se necesita una transformación de la persona que investiga (Basarab, 1997), existiendo la mejora continua y concientización para la formación de investigadores (Hernández, 2007)

Objetivo particular 5: Obtener imágenes térmicas mediante MFA sobre diversos materiales tales como polímeros y metales con una instrumentación portátil

En la actividad 1 de la Fase III de la metodología se realizó la investigación experimental donde se logra obtener imágenes térmicas de materiales como es un polímero, aluminio y acero mediante esta técnica y utilizando una instrumentación portátil encontrando una mejor imagen en el acero y cambios en la respuesta de la señal fotoacústica dependiendo del material utilizado como muestra, también se encontró que las mejores imágenes son atribuidas a la potencia, obteniendo una mejor señal fotoacústica con el láser de longitud de onda de 532nm.

Objetivo particular 6: Obtener imágenes térmicas con MFA utilizando diferentes longitudes de onda como fuente de excitación

Al encontrar en la actividad 1 de la Fase III la mejor respuesta en el láser de color verde se procedió a obtener las imágenes con diferentes longitudes de onda 405nm, 532nm y 650nm a la misma potencia donde se encontró cambios en las imágenes y amplitudes en la imagen con longitud de onda de 532 nm se encontró una menor amplitud de señal fotoacústica y también una imagen con un contraste menor a diferencia de la longitud de onda a 405 nm encontrando una mayor señal fotoacústica y mejor imagen

Objetivo particular 7: Obtener imágenes mediante MFA en semillas de Maíz Harinosa y Cristalino.

En la actividad 2 de Fase III de la Metodología se realizó la experimentación para obtener imágenes térmicas en materiales biológicos, con una instrumentación portátil utilizando como muestra semillas de maíz una harinosa y otra cristalina, encontrando cambios en las mismas y en las respuestas en amplitud de la señal fotoacústica encontrando que en semillas de maíz el láser con longitud de onda de 405 nm tiene una mejor respuesta en amplitud de la señal fotoacústica por lo tanto se obtiene una mejor imagen térmica

Objetivo particular 8: Obtener imágenes térmicas mediante MFA y PZT

Esta actividad se refiere a la actividad 3 donde se logró comparar las imágenes obtenidas con Microscopia Fotoacústica en una instrumentación portátil, contra una instrumentación PZT utilizada en los laboratorios de técnicas fototérmicas del CICATA legarúa, encontrando una mejor calidad de imagen en la MFA que en PZT, además en la primer semilla con PZT debido a configuración de la instrumentación y potencia del láser daño la muestra (semilla cristalina) encontrando que esta técnica puede alterar las muestras a estudiar. Para el caso de semilla harinosa se redujo la potencia del láser y se obtuvieron las imágenes, encontrando que a una potencia menor en este caso la instrumentación dejó de dañar a la muestra. Finalmente las imágenes obtenidas en la MFA tienen un mejor contraste que las obtenidas en PZT .

Objetivo particular 9: Comparar imágenes térmicas mediante la instrumentación portátil SpMFA-2.0, en dos variedades de semillas

.Se logró obtener las imágenes térmicas mediante el SpMFA-2.0 de dos variedades de semillas, realizando 5 repeticiones de cada variedad, observando cambios en las mismas y obteniendo todas las imágenes, se comparó con la técnica de espectroscopia fotoacústica ya que para ambas variedades de semillas se obtuvieron la señal fotoacústica con respecto a la longitud de onda, encontrando una mayor amplitud en la señal fotoacústica cuando la longitud de onda es menor a 450 nm por lo cual en la instrumentación SpMFA-2.0 se obtiene una mejor definición en las imágenes utilizando el láser a 405nm.

Bibliografía

- Alvarado , J. L., y Valdés , P. C. (2011). Electromagnetismo. Mexico: Once rios.
- Lewis, J. (1969). Ciencia, fe y Escepticismo. México: Grijalbo.
- Palacios , E., y Remiro, F. (2004). Microcontrolador PIC16f84 Desarrollo de proyectos . México: Alfaomega.
- Alvarado, j. (2011). Procesamiento Digital de Señales. Creative Commons Atribución No Comercial-Licenciar Igual.
- Arnold, M., y Osorio, F. (1998). Introducción a los conceptos básicos de la teoría general de sistemas. Cinta moebio <http://www.moebio.uchile.cl/03/frprinci.htm>, 40-49.
- Arranz , A. (2001). Introducción a los elementos y estructuras de las computadoras. México: MEGABYTE, Noriega Editores.
- Bageshwar, D. V. (2010). Photoacoustic Spectroscopy and its applications. Eurasian Journal of analytical chemistry, 187-203.
- Banco Mundial. (2014). http://datos.bancomundial.org/indicador/BX.GSR.ROYL.CD/countries/1W-US-L6?order=wbapi_data_value_2014%20wbapi_data_value%20wbapi_data_value-last&sort=asc&display=default.
- Briseño. (2007). Estructura delgada y exploradas en región Cuasi Homogéneas” .
- Dominguez et al., 2012. Imagen térmica del germen de la semilla de café obtenido por microscopía fotoacústica. Int J Thermophys Springer.
- Bell, A. G. (1880). On the production and reproduction of sound by light. American Journal of Science, (118), 305-324.
- Dominguez, A. P., Aguilar, C. H., Orea, A. C., Briseño-Tepepa, B. R., Sinéncio, F. S., Ortíz, E. M., y Valcarcel, J. P. (2009). Evaluation of wheat and maize seeds by photoacoustic microscopy. International Journal of Thermophysics, 30(6), 2036-2043.
- Gutiérrez, A., Giraldo, J., y Rodríguez-García, M. E. (2011). Técnica fotoacústica aplicada a la determinación de propiedades térmicas de muestras de silicio poroso. Revista mexicana de física, 57(2), 99-105.
- Mejía, P. A. L., Ábrego, N. P. C., González, M. M. M., Orea, A. C., y Pérez, J. L. J. (2012). Aplicaciones biofísicas de la fotoacústica.

Parker, W.J., Jenkins, R. J., Butler, C.P., y Abbott, G. L. (1961). Flash method of determining thermal conductivity. *Journal of applied physics*, 32 (9), 1679-1684.

Rosencwaig, A., y Gersho, A. (1976). Theory of the photoacoustic effect with solids. *Journal of Applied Physics*, 47(1), 64-69.

Sanders, B. (2004). *Characterization and failure analysis of plastics*. ASM international, Materials Park , OH

Suzuki, M., Miyamoto, K., y Hoshimiya, T. (2005). Evaluation of quality of rice grains by photoacoustic imaging. *Japanese journal of applied physics*, 44(6S), 4480.

Delgado, F., Garcia-Salcedo, A., y Mejia, A. M. (2012). Identificación de adulterantes soya, frijol y cebada en café tostado y molido utilizando EFA-IRTF. *Temas agrarios*.

Dominguez Pacheco, A., Hernandez Aguilar, C., Martinez Ortiz, E., y Cruz Orea, A. (2009). Evaluación de Semillas de Trigo y Maíz por Microscopia Fotoacústica. *Int J Thermophys*.

Dominguez Pacheco, A., Hernandez Aguilar, C., Cruz Orea, A., y Martinez Ortiz, E. (2010). Caracterización de semillas con diferente contenido de humedad por Microscopia Fotoacústica. *IOP Science*.

G.Bell, A. (1880). Producción y reproducción de sonido por luz.

Garcia, R. G. (2004). *Espesctroscopia fotoacustica, teoria antigua con nuevas aplicaciones*. conciencia tecnologica.

Jenkins, G. (1969). El enfoque de los sistemas. *jour of systems engineering*.

Kitaigorodski, A. (1975). *Introducción a la física*. Moscu: Mir Moscu.

Kuo, B. C. (1996). *Sistemas de Control Automatico*. Prentice Hall.

Marin, E. (2008). Escuchando la luz: Breve historia y aplicaciones del efecto fotoacústico. *American Journal of Physics*.

Maslov, K., Zhang, H., Hu, S., y Wang, L. (2008). Microscopía fotoacústica con resolución óptica para imágenes simples en capilares .

National Instruments. (2015). ¿Qué es adquisición de datos'.

National Instruments. (2015). ¿Qué es LabVIEW? <http://www.ni.com/labview/esa/>.

Ogata, K. (1997). *Ingeniería de Control Moderno*. Pearson Education.

RAE. (2014). Real academia española. Asociación de academias de la lengua española.

Rosencwaig, A., y Gersho, A. (1976). Theory of the photoacoustic effect with solids. *Journal of Applied Physics*, 47-64.

S. Y. ZHANG, L. C. (1986). *Canadian Journal of Physics*.

Tippens, P. (2011). *Física conceptos y aplicaciones*. Sexta edición: Mc GRAW-HILL.

Torassa, A. (1996). Licencia Creative Commons Atribución 3.0.

Tunal, G. (2005). Automatización de los procesos de trabajo. REDALYC Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portuga.

Van Gigch., J. (1991). *TEORÍA GENERAL DE SISTEMAS*. Mexico: trillas.

Viengerov, M. (1938). *Doklady Akademii nauk SSSR*.

Yao, J., Wang, L., Yong, J.-M., y Maslov, K. I. (2015). High Speed label Free functional photoacoustic microscopy of mouse brain in action . *Nature America*.

Maxwell, S. y Frankenberger, T.R. *Household Food Security: Concepts, Indicators,*

Measurements. A technical Review. UNICEF/IFAD, New York, 1993.

Bassarab, N. (1993). Una nueva aproximación científica, cultural y espiritual-La transdisciplinariedad.

Mendenhall, W., Sincich, T., & Escalona, R. (1997). *Probabilidad y estadística: Para ingeniería y ciencias*.

Gigch, J. V., & John, P. (2000). *Teoría General de Sistemas*, Ed. *Trillas, México*.

Checkland, P. (2000). Soft systems methodology: a thirty year retrospective. *Systems research and behavioral science*, 17(S1), S11-S58.

Beltrán Neira, R. (2005). Metodología de la Investigación [Tesis]. *Perú: Universidad Peruana Cayetano Heredia. Facultad de Estomatología*.

Martínez, E. M. (1988). *Manual para la identificación de hongos en granos y sus derivados*. UNAM.

Anexos

Anexo I Digital Lock-In Amplifiers

SR850 — DSP lock-in amplifier with graphical display



SR850 DSP Lock-In Amplifier

- **1 MHz to 102.4 kHz frequency range**
- **>100 dB dynamic reserve**
- **0.001 degree phase resolution**
- **Time constants from 10 μ s to 30ks (up to 24 dB/oct rolloff)**
- **Auto-gain, -phase, -reserve and -offset**
- **Data logging (up to 65k samples)**
- **Smoothing, curve fitting & statistics**
- **GPIB & RS-232 interfaces**

· **SR850 ... \$8950 (U.S. list)**

The SR850 is a digital lock-in amplifier based on an innovative DSP (Digital Signal Processing) architecture. The SR850 boasts a number of significant performance advantages over traditional lock-in amplifiers—higher dynamic reserve, lower drift, lower distortion, and dramatically higher phase resolution. In addition, the CRT display and 65,536 point memory make it possible to display and process data in a variety of formats unavailable with conventional lock-ins.

Digital Precision

At the input of the SR850 is a precision 18-bit A/D converter which digitizes the input signal at 256 kHz. The A/D converter, together with a high-speed DSP chip, replace the analog demodulator (mixer), low-pass filters and DC amplifiers found in conventional lock-ins. Instead of using analog components, the SR850 is implemented by a series of precise mathematical calculations which eliminate the drift, offset, non-linearity and aging inherent in analog components. The same DSP chip digitally synthesizes the reference oscillator, providing a source with less than -80 dBc distortion, 100 mHz frequency resolution, and 2 mV of amplitude resolution.

Anexo II Carta de la transdisciplinariedad

Artículo 1. Toda tentativa de reducir al ser humano a una definición y de disolverlo en estructuras formales, cualesquiera que sean, es incompatible con la visión transdisciplinaria.

Artículo 2. El reconocimiento de la existencia de diferentes niveles de realidad, regidos por diferentes lógicas, es inherente a la actitud transdisciplinaria. Toda tentativa de reducir la realidad a un solo nivel, regido por una única lógica, no se sitúa en el campo de la transdisciplinariedad.

Artículo 3. La transdisciplinariedad es complementaria al enfoque disciplinario; hace emerger de la confrontación de las disciplinas nuevos datos que las articulan entre sí, y nos ofrece una nueva visión de la naturaleza y de la realidad. La transdisciplinariedad no busca el dominio de muchas disciplinas, sino la apertura de todas las disciplinas a aquellos que las atraviesan y las trascienden.

Artículo 4. La clave de la bóveda de la transdisciplinariedad reside en la unificación semántica y operativa de las acepciones a través y más allá de las disciplinas. Ello presupone una racionalidad abierta, a través de una nueva mirada sobre la relatividad de las nociones de «definición» y «objetividad». El formalismo excesivo, la absolutización de la objetividad, que comporta la exclusión del sujeto, conducen al empobrecimiento.

Artículo 5. La visión transdisciplinaria es decididamente abierta en la medida que ella trasciende el dominio de las ciencias exactas por su diálogo y su reconciliación, no solamente con las ciencias humanas sino también con el arte, la literatura, la poesía y la experiencia interior.

Artículo 6. En relación a la interdisciplinariedad y a la multidisciplinariedad, la transdisciplinariedad es multirreferencial y multidimensional. Tomando en cuenta las concepciones de tiempo y de historia, la transdisciplinariedad no excluye la existencia de un horizonte transhistórico.

Artículo 7. La transdisciplinariedad no constituye una nueva religión, ni una nueva filosofía, ni una nueva metafísica, ni una ciencia de las ciencias.

Artículo 8. La dignidad del ser humano es también de orden cósmico y planetario. La operación del ser humano sobre la Tierra es una de las etapas de la historia del universo. El reconocimiento de la Tierra como patria es uno de los imperativos de la transdisciplinariedad. Todo ser humano tiene derecho a una nacionalidad, pero, a título de habitante de la Tierra, él es al mismo tiempo un ser transnacional. El reconocimiento por el derecho internacional de la doble pertenencia –a una nación y a la Tierra– constituye uno de los objetivos de la investigación transdisciplinaria.

Artículo 9. La transdisciplinariedad conduce a una actitud abierta hacia los mitos y las religiones y hacia quienes los respetan en un espíritu transdisciplinario.

Artículo 10. No hay un lugar cultural privilegiado desde donde se pueda juzgar a las otras culturas. El enfoque transdisciplinario es en sí mismo transcultural.

Artículo 11. Una educación auténtica no puede privilegiar la abstracción en el conocimiento. Debe enseñar a contextualizar, concretar y globalizar. La educación transdisciplinaria reevalúa el rol de la intuición, del imaginario, de la sensibilidad y del cuerpo en la transmisión de los conocimientos.

Artículo 12. La elaboración de una economía transdisciplinaria está fundada sobre el postulado de que la economía debe estar al servicio del ser humano y no a la inversa.

Artículo 13. La ética transdisciplinaria rechaza toda actitud que niegue el diálogo y la discusión, cualquiera sea su origen, ideológico, cientista, religioso, económico, político, filosófico. El saber compartido debería conducir a una comprensión compartida, fundada sobre el respeto absoluto de las alteridades unidas por la vida común sobre una sola y misma Tierra.

Artículo 14. Rigor, apertura y tolerancia son las características fundamentales de la actitud y visión transdisciplinaria. El rigor en la argumentación, que toma en cuenta todas las cuestiones, es la mejor protección respecto de las desviaciones posibles. La apertura incluye la aceptación de lo desconocido, de lo inesperado y de lo imprevisible. La tolerancia es el reconocimiento del derecho a las ideas y verdades contrarias a las nuestras.

Artículo final. La presente Carta de la Transdisciplinarietà es adoptada por los participantes del Primer Congreso de la Transdisciplinarietà, no valiéndose de ninguna otra autoridad que aquella de su obra y de su actividad.

De acuerdo a los procedimientos, que serán definidos de acuerdo con los espíritus transdisciplinarios de todos los países, la Carta está abierta a la firma de todo ser humano interesado por las medidas progresivas del orden nacional, internacional y transnacional para la aplicación de sus artículos en la vida.

Anexo III Tamaño de muestras en una población

En esta sección se aborda la manera en que se calculó el tamaño de muestra, en la actualidad existen software o programas que brindan el calcular este dato por ejemplo la página [surveymonkey.com](https://www.surveymonkey.com) es un portal donde se realiza estos cálculos; su importancia es debido a que este números representa parte del grupo de personas de la población total que sea significativa para la aplicación de encuestas, se reporta que la ecuación que nos permite conocer este dato es la siguiente:

$$Tamaño\ de\ la\ muestra = \frac{\frac{z^2 \times p(1-p)}{e^2}}{1 + \left(\frac{z^2 \times p(1-p)}{e^2 N}\right)}$$

(Surveymonkey, 2018)

Donde N= tamaño de la población

e= Margen de error

z= puntuación obtenida de la siguiente tabla

Nivel de confianza deseado	Puntuación z
80 %	1.28
85 %	1.44
90 %	1.65
95 %	1.96
99 %	2.58

Por lo tanto es necesario conocer esos datos para calcular el tamaño de la muestra, en el portal <https://es.surveymonkey.com/mp/sample-size-calculator/> para calcular el tamaño de la muestra te pide los datos como es tamaño de la población, nivel de confianza y el margen de error, los últimos dos parámetros descritos como porcentajes

Calcula el tamaño de tu muestra:

Tamaño de la población:


Nivel de confianza (%):

Margen de error (%):

Tamaño de la muestra: **89**

Anexo IV Encuestas

Como se mencionó las encuestas fueron realizadas mediante un formulario de Google el cual se muestra mediante capturas de pantalla de la encuesta.



Uso de tecnología y percepción acerca de instrumentaciones desarrolladas en México

La inversión en materia de ciencia, tecnología e innovación (CTI) es fundamental para el desarrollo económico y el progreso social (UNESCO, 2017). Una economía basada en conocimiento es aquella cuyo funcionamiento se sustenta de manera predominante en la producción, distribución y uso intensivo del conocimiento y la información, dado que la inversión en ciencia y tecnología es una herramienta fundamental para acceder a una economía de bienestar, basada en el conocimiento (DOF, 2017), tomando en cuenta que uno de los objetivos del plan nacional del desarrollo 2014-2018 es "Hacer del desarrollo científico, tecnológico y la innovación pilares para el progreso económico y social sostenible."

Como parte de una investigación en el programa de Ingeniería de Sistemas, en particular del grupo de investigación de Sistemas Biofísicos Sostenibles se ha planteado como objetivo analizar la percepción de investigadores acerca del uso de tecnología desarrollada en el país y la posible adquisición de las mismas, para lo cual se ha elaborado la presente encuesta, ya que nos interesa impulsar el desarrollo tecnológico del país.

Dirección de correo electrónico *

Tu dirección de correo electrónico

Nombre del investigador *

Tu respuesta

Edad

Tu respuesta

Adscripción

Tu respuesta

¿Ha sido responsable de algún proyecto de investigación en los últimos 5 años?

Sí

No

**¿Ha adquirido algún tipo de tecnología en los últimos 5 años?.
Especifique**

Sí

No

SIGUIENTE

¿Cual fue el principal medio de contacto para realizar la adquisición de la tecnología?

	Medio de contacto
Internet	<input type="radio"/>
Teléfono	<input type="radio"/>
Proveedor	<input type="radio"/>
Otro	<input type="radio"/>

Especifique

Tu respuesta

¿Cual considera que son las principales ventajas de adquirir tecnología desarrolladas en el extranjero?

Tomando en cuenta que la escala 1 sera la principal ventaja hasta llegar a 3 de menor ventaja

	1	2	3
Costo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Contacto con el proveedor	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fiabilidad del producto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tiempo de entrega	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

¿Cual considera que son las principales desventajas de adquirir tecnología desarrolladas en el extranjero?

	Mucha desventaja	Poca desventaja	No es desventaja
Costo de la instrumentación	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Reparación de instrumentaciones dañadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Costo de envío	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tiempo de entrega	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Producto que no cumple con características	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Mantenimiento y reparación de tecnología

Cuales considera los principales inconvenientes en el mantenimiento y reparación de la tecnología adquirida

	Muy importante	Importante	Poco importante
Contacto con el soporte técnico	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tiempo de espera para la reparación o mantenimiento	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Costos generados por el mantenimiento o reparación	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Otras (especifique)

Tu respuesta

ATRÁS

SIGUIENTE

Nunca envíes contraseñas o claves de Formularios de Google.

Tecnología desarrollada en México

¿Ha utilizado algún tipo de la tecnología Mexicana que se comercializa en el país?

Sí
 No

¿Cual es la percepción que tiene acerca de la tecnología en México?

Tu respuesta _____

¿Considera que es necesario mayor desarrollo y uso de tecnología realizadas en México?

Sí
 No

¿Cual cree sea la principal ventaja del desarrollo y uso de tecnología producida en México?

En una escala de 1 a 3 cual consideraría mayor ventaja si 1 es mayor ventaja a 3 que sería menor ventaja

	1	2	3
Tecnología de acuerdo a sus necesidades	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Contacto con el proveedor	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Costos de envío	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tiempo de entrega del producto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mantenimiento y reparación mas rápida	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mantenimiento y reparación menos costosa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tipo de cambio	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

¿Alguna otra ventaja al utilizar tecnología desarrollada en el país que considere importante?

Tu respuesta _____

Estaría dispuesto a utilizar tecnología desarrollada en México

Sí
 No

¿Confiaría en tecnología desarrollada en la ESIME Zac?

Sí
 No

Le interesaría vincularse con la ESIME Zac para el desarrollo de tecnologías de acuerdo a sus necesidades

Sí
 No
 Tal vez

Envíame una copia de mis respuestas.

Anexo V Diagrama de funcionamiento

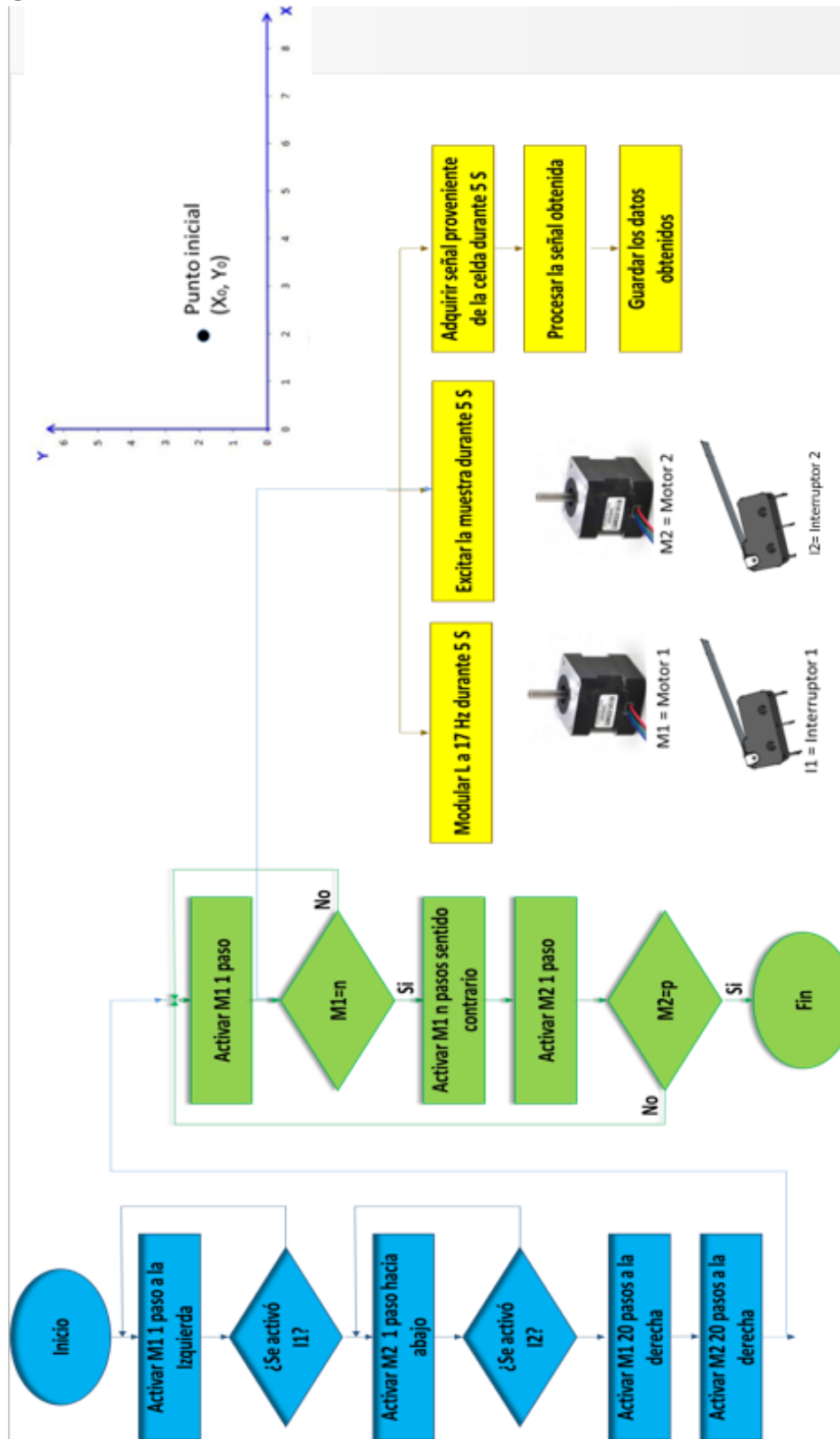


Diagrama a flujo del funcionamiento del sistema de MFA (elaboración propia 2016)

Anexo VI Datos obtenidos mediante SPMFA 2.0 Semilla Cristalina a 405 nm

A	B	C	D	E	F	G	H
20,886514	30,088468	37,755159	38,323527	18,984205	2,249706	1,277488	1,087315
30,303136	30,568711	36,532725	37,902913	18,507438	8,825149	5,991117	3,458249
32,652712	10,050263	38,865288	37,662619	21,010762	10,007578	5,337502	3,253414
32,416667	31,429992	39,181454	35,426105	18,864003	9,913471	6,384222	3,201875
33,201766	34,001242	37,354108	37,727611	19,16055	8,849116	5,469715	3,196417
35,025744	45,443348	39,466681	35,81301	19,788845	9,44946	4,846983	3,047417
34,158818	34,549789	40,046118	34,014731	15,011406	5,470487	5,271726	3,203217
33,595777	36,947783	36,660066	33,1038	11,185895	4,570224	2,976843	1,475376
32,677025	95,235177	36,796421	28,678845	9,496817	2,626611	2,061435	1,723333
34,628745	30,522704	36,51804	25,19912	6,215735	1,469812	1,056927	0,683746
32,541984	33,376671	35,620281	19,080322	4,581936	1,212425	1,478498	1,080673
29,455053	36,970254	32,714124	18,938266	4,537763	2,45801	1,349729	1,440156
29,057133	36,277364	30,760402	17,958175	3,260361	2,023423	0,733221	0,893674
28,742663	31,462241	30,621741	13,017093	2,710024	2,726136	2,977439	1,237704
26,651869	36,070268	25,488525	10,950185	3,023613	2,976024	2,751472	1,144667
23,770489	34,760512	22,457354	8,533081	3,621907	5,600941	4,877794	1,67077
26,667628	33,1544	22,596122	8,666931	6,897872	9,700693	8,590084	3,430649
23,040075	30,313821	18,528319	5,889838	12,129639	15,398006	14,24287	4,507931
21,735389	29,981243	17,719156	6,514727	15,085894	21,976086	19,159337	8,101928
21,622129	29,567487	15,087354	7,710152	18,967263	28,155198	23,105787	11,516586
25,564173	28,206876	15,714495	7,901715	28,060688	35,155027	38,061028	16,879457
23,508714	24,137127	12,293823	10,948786	35,609836	41,129188	41,025632	22,352543
22,572521	24,649357	11,194663	12,026471	37,52547	46,177052	43,32362	31,636579
23,017708	23,495476	11,22558	13,02065	41,188577	48,676196	45,061688	35,210063
25,436206	21,904733	10,875837	13,728659	45,351864	48,155408	49,18595	40,997005
24,237874	21,986386	8,753904	17,832732	45,3368	51,407035	45,29813	45,119369
22,46757	19,687393	7,824901	19,868583	44,290289	49,92854	44,174958	45,664599
26,823836	22,227198	8,799892	19,707804	47,045106	47,65863	46,192207	44,622953
24,494015	20,239393	8,67386	23,549884	47,962733	45,015599	42,46425	45,011013
23,889601	20,234638	8,942353	26,131988	45,454293	46,907228	40,367845	45,382611
21,658691	18,213023	8,444847	28,118159	44,263865	44,221855	40,242858	44,028643
27,794816	19,474195	11,745971	24,492879	46,348635	44,713771	44,123697	40,10439
23,159211	19,825265	11,656188	29,794908	42,550865	43,087793	42,587618	41,452537
20,489227	20,377457	13,023665	33,80131	47,132182	45,229044	42,068876	43,927576
21,88507	23,694961	11,338254	31,75064	46,96087	45,985109	41,065371	43,76774
25,461099	21,364711	13,732612	31,785241	51,947563	43,983023	45,765566	43,303827
24,317484	22,326888	15,186433	33,364176	49,970189	44,696708	43,803408	46,815678
21,351307	21,78547	16,227886	39,258275	48,253708	45,596198	42,159424	48,369958
26,738531	22,246539	15,503443	34,72397	50,171555	43,653627	45,038584	46,452129
26,720779	22,028792	16,833447	37,912918	49,682302	42,800164	43,753918	43,021027
25,039426	22,507716	18,299862	39,747047	48,669609	44,882845	42,733866	47,823108
26,085258	22,866954	16,041437	40,656444	45,522297	43,095203	40,989977	47,67125

30,374592	23,94677	16,201091	37,030354	50,11473	42,438032	43,181396	46,277761
30,063604	20,541946	18,416771	36,73918	44,031965	40,813506	43,674217	45,16579
28,228294	22,073394	18,805875	39,480874	45,270501	43,360206	41,823547	49,154479
28,856233	23,539559	17,824534	37,689708	48,312288	42,342893	42,039405	46,447067
32,514117	22,938415	20,113336	37,851592	48,865351	43,014601	44,175193	44,53573
31,629598	23,868047	20,200162	35,815865	46,496749	44,5515	45,431879	44,00234
29,707211	24,579269	19,753778	39,603693	46,017147	45,405077	44,838317	47,722718
32,370471	25,923273	19,221639	34,665203	47,53703	44,181954	45,689636	46,854378
32,825451	26,374858	21,604404	35,094456	50,481842	42,334059	47,814442	46,598947
29,968712	28,00601	22,214431	35,089741	48,82607	47,608594	46,871172	50,65854
29,888813	29,206109	20,650923	39,987387	48,585558	47,880584	46,052237	49,737663
32,451108	31,065717	22,93391	38,632437	51,853637	47,233718	46,554296	49,740232
31,195889	31,292331	24,460789	38,221833	55,605204	47,610525	46,97625	48,431719
29,852202	33,32519	22,319774	42,641606	52,457361	48,341438	43,243252	55,384798
27,207776	30,077699	20,732966	37,008992	54,625651	49,7542	43,812515	55,648999
29,009635	30,613497	22,77729	31,621338	53,746137	48,220324	50,449278	59,856497
26,916947	32,232683	22,173533	30,258643	50,304136	51,783858	49,553237	65,293911
23,745689	32,851855	21,20997	30,046856	46,635738	50,677462	49,718186	75,664088
24,064265	31,525902	22,125407	23,202564	45,596574	50,519062	54,460464	84,003579
23,189066	31,333804	21,482164	21,216391	41,966911	49,29671	53,875674	91,167306
20,860587	31,869503	22,037976	18,36148	39,858575	51,322915	54,080882	95,97631
17,681112	33,045416	23,028987	17,732444	35,110638	48,08662	49,504739	88,953035
13,155659	30,516255	24,915569	13,171519	30,045182	41,881501	48,950374	72,856341
11,744145	28,938458	22,734108	12,547002	29,333712	39,115033	46,97124	66,513066
10,646477	29,770939	22,798968	13,414666	25,09905	37,567359	42,57056	64,102736
8,554454	29,151891	20,540339	12,115355	17,592098	30,066012	35,183719	51,725253
6,471393	25,627653	22,67591	9,181307	11,541613	19,022286	27,500493	40,491395
3,644137	24,12996	22,165385	9,831395	7,821741	17,507622	23,05532	35,052426
4,174626	24,321285	20,073961	11,528344	6,464817	13,57632	17,424189	29,710572
4,373984	17,527958	18,659635	11,49601	4,42704	5,839774	10,036383	17,468772
3,768475	16,528901	19,532456	9,84547	3,691939	4,421382	6,101664	11,0823
5,15573	16,948147	17,440824	11,210896	2,321922	4,648167	6,321092	9,360984
3,049975	13,935323	15,397045	12,853112	2,594823	3,389229	3,186366	5,651417
3,572279	8,46312	12,955199	12,084295	4,593293	3,789642	4,34168	3,218535
4,315031	8,22178	12,423246	10,768212	5,171382	4,341718	3,782175	3,018512
4,507565	6,585235	11,252715	11,722788	5,801861	5,081525	3,767598	2,689878
1,572856	4,941594	9,239635	12,372735	7,659872	7,55385	7,158016	3,485684
1,225664	2,656364	6,337725	12,390621	11,02883	13,566124	12,844039	4,064936
I	J	K	L	M	N	O	
2,206712	3,672746	7,69682	2,057374	0,586802	1,17432	1,129868	
1,592813	3,932869	9,218725	12,089502	8,437856	3,658362	0,909146	
2,039318	2,947171	8,348603	11,431764	11,15746	4,393706	1,647071	
2,549464	5,012905	8,740626	12,467234	9,181192	4,731119	1,727569	
1,505034	5,219686	7,677701	10,580369	7,523124	3,776046	0,910154	
1,931236	4,648827	8,360007	10,881952	9,964768	5,199604	0,809069	
0,856393	2,388515	7,691577	12,116484	11,801794	6,314771	2,05413	

0,420726	2,147531	7,908956	13,560443	13,329936	7,285009	1,143205
1,477338	2,115631	5,737008	13,412548	13,262657	7,472377	1,178162
1,486691	1,28426	3,507133	11,479461	16,135141	10,890212	3,490827
1,293953	1,778307	2,886904	10,841288	16,203669	11,812077	4,176088
1,283577	0,718546	2,518196	9,640308	14,782652	11,938565	5,118163
0,974719	1,041774	1,348462	8,296331	13,184099	12,884346	5,830411
1,383991	0,961741	2,497646	3,431342	12,655085	15,282571	8,059984
0,312424	0,594818	1,226638	4,026916	11,929788	13,88395	7,459854
0,310176	0,952284	1,238597	3,932283	12,210078	14,193749	8,371823
1,960819	0,478384	0,621673	2,322285	8,824351	13,009267	10,179622
1,748224	2,063745	2,619757	1,09515	8,738652	13,796145	9,564718
3,612881	2,268342	1,961763	1,148191	7,005191	13,146681	9,755158
5,222354	1,663591	1,73763	0,390696	6,378918	10,941396	9,445582
11,908588	5,673656	2,110027	1,783268	3,264499	10,390074	11,486697
15,320442	6,973854	2,644168	0,440434	3,838354	10,920369	9,882296
20,265602	10,874713	6,679962	1,443655	3,384213	9,739411	8,562497
24,07291	15,446764	5,246413	2,041926	1,595782	9,59879	11,302488
36,817307	24,651192	16,789377	5,456242	2,980402	10,010859	11,144496
40,770564	31,586116	20,449662	9,018274	2,283899	10,906478	10,587478
41,78114	35,830378	24,367749	9,570603	3,411665	11,623714	11,406422
47,468932	41,602602	34,605682	15,061994	6,831089	9,973995	12,537927
49,682644	48,594703	42,61381	21,422749	8,906607	10,913888	12,763991
48,156809	52,44279	48,339894	26,807849	11,45911	10,965226	11,972135
45,904771	52,764174	49,485431	31,947862	11,067786	10,662551	11,895157
47,509559	51,130831	59,430173	40,774856	19,411309	10,596902	12,86314
47,874267	54,291434	59,17295	42,087734	20,261443	11,827536	13,228225
46,645399	57,137934	61,941614	48,194344	21,533283	13,631315	13,18594
45,423559	53,629232	61,819943	51,213228	23,850015	12,921124	12,635373
48,458752	51,316707	64,775326	53,426367	29,495984	14,441738	13,7415
43,732519	52,44759	61,982072	52,517965	28,38062	17,173175	13,344517
47,968218	54,840696	60,564473	54,542459	27,496768	15,588276	0,703268
48,067465	53,462587	61,513517	56,038453	31,15768	17,35662	0,749654
51,765044	51,066363	62,372956	54,333025	33,790782	1,0335	0,5935
50,377805	56,497664	64,844699	57,705077	33,294286	19,862855	1,07171
49,143951	55,464279	54,979106	58,769344	32,967372	20,193885	0,487526
51,771969	54,870728	63,086806	61,864389	41,636996	21,019545	1,068176
50,716755	50,967386	64,64999	60,86129	41,364376	24,683076	0,306477
49,814353	57,175175	63,773377	67,462347	44,053238	27,115311	0,518407
46,745883	55,640964	65,012555	69,337973	49,235359	29,322949	0,870316
48,451389	52,379593	64,753442	69,644065	60,771371	37,458139	1,332596
46,959606	49,855729	61,01429	71,666577	67,984781	42,127799	0,640427
46,24634	51,906425	57,476424	79,728314	70,12123	44,752417	1,508233
48,987203	50,078658	60,453101	78,415633	78,234312	53,501695	0,801929
50,759426	51,288677	60,257886	80,715832	88,730426	60,835364	0,451756
51,80692	56,084321	59,658282	94,284454	93,168809	65,74924	0,712839
50,916623	56,679803	58,691957	93,50074	92,556923	65,486392	1,482951

55,458406	56,742689	63,922763	93,208809	101,298275	67,730234	0,668192
57,591739	57,653805	66,286538	96,532053	94,894382	69,769978	0,291903
56,416396	64,55934	66,074969	112,05654	96,730954	64,628422	0,727833
56,821781	63,874874	65,08719	110,922034	99,659608	65,895266	2,132713
70,061051	66,575629	72,576759	111,256767	103,480153	62,526369	0,712435
75,792918	74,007057	69,996226	107,052143	98,121082	61,054865	0,572984
78,42651	78,726032	69,90026	107,07615	89,353774	52,501321	2,016357
93,179872	80,438128	70,571377	100,561538	84,003145	53,403473	0,606655
100,065948	83,00333	71,418785	86,286864	73,888753	46,97394	1,057616
97,863951	86,26408	67,917157	81,304682	58,95871	43,223081	0,79426
88,313829	84,236914	63,713648	71,736944	55,854181	41,061783	1,228455
83,58714	73,443541	59,880998	50,04999	44,884378	34,49771	0,516553
77,719252	68,667918	53,697034	41,691803	39,923758	33,623064	0,588362
69,084845	66,574025	48,438428	38,557644	35,778104	30,292982	1,131415
54,676267	57,752644	40,900345	33,48143	34,32887	27,803033	1,452521
44,248972	36,535776	28,995853	26,923546	32,787359	24,592539	1,585381
36,643331	30,303824	24,256215	26,323743	31,462771	22,496126	0,410986
29,013715	25,318318	19,830431	26,483218	28,604227	22,566012	0,697746
17,38533	15,072036	14,224342	21,635697	30,546391	20,433489	1,23435
12,219043	10,739516	13,329255	24,888615	30,342976	17,619306	1,224679
9,696699	8,146428	12,833107	28,359936	27,610863	16,56783	0,690133
6,59266	7,747977	13,76705	24,342847	27,514348	14,935849	0,267053
3,485907	5,771058	17,761363	27,295471	24,066584	9,859287	0,906617
3,525112	7,219958	19,392507	26,129411	18,855636	8,80899	0,801439
2,821531	10,186682	19,781589	27,747225	17,447261	7,059471	0,433447
2,940562	10,527557	20,343272	27,028643	17,213429	6,496119	1,216488
6,503954	17,062487	27,096732	23,921531	11,34574	6,729575	0,470375

Anexo VII Datos obtenidos mediante SPMFA 2.0 Semilla Cristalina a 532 nm

A	B	C	D	E	F
2,78442	2,88878	0,64932	0,4675	1,59899	0,56713
0,60433	2,41328	1,24642	0,8065	0,59269	0,56639
2,07805	1,42218	0,88908	0,18118	0,88353	0,64133
1,82306	1,92756	0,65992	0,38399	1,02526	0,90913
2,12001	3,06408	1,44519	1,33344	0,25601	1,69483
0,94718	1,28223	0,7568	1,45721	0,53063	0,66082
0,58851	2,58723	1,19714	0,55311	1,30572	0,86803
0,75255	2,23863	0,16272	0,7801	1,08638	1,62839
0,70076	1,58201	1,05313	1,6678	0,10818	0,88794
1,264	0,85147	0,41746	0,86029	1,01208	0,52947
0,75191	1,08712	0,76665	0,75276	0,35491	1,56154
1,148	0,58681	2,35257	0,6058	0,45863	0,49614
1,50726	0,80756	0,22578	0,2086	0,99433	1,49664

1,62368	0,90022	0,39111	0,39557	0,83093	0,42654
0,11726	0,32691	0,90776	0,52656	0,83759	0,48172
1,57353	0,26087	0,67534	0,76229	0,45229	0,20211
0,68635	0,6791	0,6712	0,18551	0,92799	1,01829
1,00568	1,16097	0,50617	1,49569	1,23121	1
1,08417	1,13711	0,65449	1,00218	1,29663	0,1104
0,97407	0,74674	0,73998	0,93713	1,12389	0,49674
0,85688	0,7905	3,12037	1,37799	0,95037	1,18231
0,01943	0,3866	2,35635	0,75555	0,56888	6,36739
0,38562	1,77658	3,17593	3,47131	1,0999	1,34965
0,35032	1,48586	2,33056	2,88592	1,6533	2,23655
0,47769	0,4792	3,079	0,76424	2,18688	2,24681
0,59513	0,69132	3,83808	2,44545	2,27734	1,91046
0,53382	0,38719	3,50999	1,80837	1,92616	0,81204
0,43775	0,96215	2,68343	4,23867	2,09571	2,60458
0,43311	1,67246	1,91479	2,07119	1,74732	2,59227
0,65494	1,15696	2,32628	1,50044	2,24521	1,2032
1,12353	0,88834	2,6258	2,05564	1,72868	2,27055
0,62531	2,1354	1,95846	2,36146	2,46238	2,18743
1,05034	2,41782	1,72837	2,6881	3,05556	1,40748
1,68266	3,19203	2,69125	2,00144	2,86861	2,10936
0,63929	2,64775	2,92977	2,61143	2,57478	2,29078
1,07806	4,3347	2,22677	3,02339	1,76489	3,32605
0,80765	4,22192	2,9349	2,75175	2,76372	1,67139
0,1075	3,22353	4,41457	2,60673	2,15126	2,26127
0,34128	3,82269	3,86229	2,21516	2,93726	1,67111
1,17664	4,47799	2,74312	3,51109	2,26119	0,9708
1,10114	4,56844	4,15152	1,42287	1,93654	2,59929
0,28485	3,96364	3,63807	2,01811	3,26246	2,45486
1,10299	4,14697	2,07537	2,72849	1,1147	2,44858
1,2493	4,68214	3,26665	1,89427	3,29549	2,87972
0,62957	2,62852	3,28969	2,94337	2,04137	2,065
0,23778	3,83286	2,51648	2,66454	3,29071	2,84346
0,42337	4,49669	2,7177	2,21785	3,74396	2,8451
0,43638	5,71143	3,03125	2,45255	3,72948	2,42577
1,23878	4,36253	2,64421	2,39973	2,97338	2,51888
0,28481	1,91852	3,15452	2,47524	2,68793	2,35397
1,66414	3,71662	2,51913	2,55141	2,08717	2,58819
1,02257	4,52607	3,47203	2,01268	1,83285	1,69493
1,54258	4,22783	2,79683	2,80816	1,67	2,64077
1,15369	7,06769	2,41404	2,03858	1,85174	2,50691
0,79915	9,44245	3,74375	1,45531	2,07318	2,8813
0,47299	9,36844	3,49405	3,38007	2,17956	3,59166
0,79857	3,66405	4,53475	3,24518	2,55123	2,12939
0,85443	2,20653	3,86584	2,68957	1,55309	4,21476
0,74915	3,43498	4,45974	2,42961	2,02017	5,82249

0,67811	1,68559	3,42746	2,49351	1,48976	6,00051
0,75591	0,99324	2,88394	2,66718	2,50308	9,28251
0,80524	1,74976	2,81674	2,89674	2,29251	7,94998
0,89292	1,97021	2,78001	2,08339	2,22028	6,17318
0,86426	0,14598	2,64922	1,20546	3,61666	3,40729
1,23878	0,80146	1,54137	2,16409	3,26557	2,17669
0,11157	0,87313	2,67804	1,22977	2,59744	3,56251
1,40455	0,37226	2,79773	2,87159	2,3135	1,54859
1,38049	0,59068	2,37505	2,27287	3,05751	1,95492
0,48946	1,2138	1,95372	1,99227	2,66182	2,08506
0,99904	0,94379	0,80395	1,69372	1,72871	0,57061
1,20036	1,01421	1,29091	2,03868	1,34033	2,48767
1,0547	1,13864	0,8324	0,99632	2,09263	0,63235
1,429	0,78833	0,74908	0,43212	1,23017	1,11758
1,56203	0,77422	0,62229	0,4135	1,34301	0,78256
0,41703	0,36718	0,26215	1,4071	0,55795	1,54772
2,53666	0,82914	1,04303	1,73523	0,54966	1,05925
1,95162	1,12236	0,53616	0,76817	1,72986	0,13604
1,75754	0,40032	0,64785	0,54392	0,94255	1,27666
1,46777	0,97957	1,42634	0,34604	0,40683	0,53953
2,31146	2,01973	0,82032	1,04442	1,15275	0,84233
G	H	I	J	K	L
1,65728	1,23086	1,3888	1,76331	1,21924	0,75808
0,98981	1,44936	1,04094	1,88173	0,8434	0,85582
1,39452	0,83869	2,66924	1,13318	0,22425	0,19614
0,81096	0,89836	1,08882	1,38045	0,99477	2,11589
1,08369	0,92189	1,46475	0,913	1,17042	1,12699
1,4273	0,45463	0,86533	1,48832	0,45766	0,72625
0,53589	1,44775	1,68997	1,36694	0,44045	0,95103
0,47032	1,66891	1,66423	2,17696	0,65678	0,49094
1,14429	0,52679	1,33916	2,69717	1,04398	0,46672
1,4112	0,30168	0,60991	3,20241	1,75416	1,6929
0,77606	1,03699	1,55543	2,56315	0,63446	1,73743
1,48284	0,70493	1,51062	2,01979	0,54465	0,65033
0,60232	0,67268	0,97548	0,90599	0,83538	0,89869
0,86038	1,18158	1,31653	1,69186	1,10445	0,32082
0,32519	0,47208	0,73632	0,4197	0,83181	0,87915
0,47848	0,42272	1,50095	0,51814	1,6665	0,65436
0,77933	1,57054	0,91416	1,2397	1,54459	0,35228
1,02111	1,30316	0,31779	0,91662	1,38483	1,13665
1,10877	1,56533	0,38525	0,39957	1,53508	1,03083
0,97017	0,16715	0,58036	1,58793	1,09916	0,73024
1,04321	0,26092	1,42206	0,37005	2,02125	1,06234
0,65796	1,00785	0,95681	0,40945	1,34762	1,47049
1,90517	0,87797	0,36892	0,19121	1,60351	0,9674
0,14375	0,20554	0,80122	0,5071	1,7221	0,47329

1,25693	0,89926	0,92195	1,54957	1,03027	0,83883
1,48986	8,05421	0,65436	0,6809	0,5086	0,93881
2,79503	1,6091	0,6697	0,54369	1,45268	0,64485
0,50306	2,68539	1,22649	0,87371	2,12093	1,00296
2,6837	2,9005	0,63857	1,15206	1,30921	0,34987
3,22999	3,61081	1,62986	0,62739	2,28466	1,52759
2,73004	3,44637	1,15013	0,97644	2,35623	0,62406
1,22037	1,58308	3,37521	0,79939	2,43352	1,14302
2,08063	2,42201	3,15319	1,26275	2,72517	0,92978
3,53369	2,21862	4,23559	0,71687	2,6653	0,97916
1,25628	2,92373	7,45517	1,98723	2,35518	2,19372
2,39986	2,76911	3,85331	1,00996	2,0033	1,38447
2,02489	2,11612	4,71996	0,79799	1,76312	1,52078
1,99381	3,71922	3,22139	1,41915	1,97699	2,22157
2,47697	2,85517	2,7746	1,94596	1,89085	0,36011
1,97832	2,64916	3,08093	0,9718	2,46235	1,88694
2,13362	1,65527	4,5966	2,06394	2,56082	0,88664
1,65457	1,65308	4,43793	3,90833	1,79482	1,46546
1,09062	2,36384	4,88126	1,64989	2,31324	1,97025
1,9134	0,57662	3,37334	1,96003	1,67574	1,51163
1,64731	2,69553	3,94627	0,77859	1,94403	1,73739
2,57985	0,97343	3,47745	1,54449	3,0378	2,46678
2,99306	2,06913	3,17521	2,03737	2,86745	0,69623
2,56908	1,66007	3,19111	2,58564	3,16801	0,09159
1,17099	1,70048	2,77122	4,71772	2,98979	0,36566
2,66511	2,11471	3,88265	5,31101	3,34358	1,67746
1,52941	1,75682	3,93677	6,39067	3,29692	1,35875
4,17364	2,31598	2,57192	6,939	3,69938	0,64273
2,41062	2,93203	2,91321	8,16535	3,90937	1,59077
2,66857	2,70884	3,19822	8,94366	3,65319	1,21355
3,06746	2,63734	3,29786	7,25049	3,90426	1,25208
3,44534	2,44719	2,88509	7,28899	3,69836	0,68232
2,9173	3,84623	3,09468	8,12165	3,97046	0,46456
2,1444	3,63501	3,59266	9,58085	3,0202	0,47938
3,49453	2,96289	4,88104	7,19915	2,58394	0,50701
3,72783	3,72218	4,54314	5,26922	3,08948	1,02855
3,72286	3,06485	4,26046	3,34612	2,74413	1,12013
4,22803	2,73502	4,71256	2,19046	3,20825	1,29786
4,80861	3,09799	3,06243	2,04859	1,77545	1,11146
7,19752	3,15904	3,71815	0,85862	2,31209	0,88655
6,4063	2,84249	2,30213	1,23676	1,85884	0,78277
7,95552	2,99178	2,09726	1,88345	1,3434	0,12689
4,69773	2,70087	0,95354	1,92836	2,52169	0,85618
3,01054	2,78911	0,75211	3,77084	0,93323	1,05464
2,1772	2,22603	1,16603	2,38021	0,50156	1,0602
2,87933	1,41861	1,89635	2,17672	0,46732	0,32581

1,69403	1,26665	1,33162	2,74418	0,92684	1,40723
0,87546	1,35598	0,90706	0,90706	0,90706	0,53573
0,8055	0,85755	1,43094	1,43094	1,43094	1,18865
0,09965	0,07415	0,13039	0,13039	0,13039	0,88461
0,70972	0,67159	0,9593	0,9593	0,9593	1,99314
0,53716	1,27349	2,1839	3,49964	1,01858	0,63947
0,99784	1,58228	3,50577	1,53299	1,85968	0,13174
0,03828	2,08096	2,89303	2,18054	0,39744	1,93035
1,51981	0,60195	2,99649	2,29417	0,82444	0,42667
0,44625	0,71354	2,11629	1,20256	0,43861	0,89046

Anexo VIII Datos obtenidos mediante SPMFA 2.0 Semilla Cristalina a 650 nm

A	B	C	D	E	F
3,771455	2,914414	1,617921	1,972992	2,231195	0,222431
28,437018	1,757889	2,141339	1,566086	2,163973	0,411229
3,272725	2,013263	0,525751	2,245915	2,387056	0,55289
5,602223	2,247658	1,348164	2,581575	1,613126	0,216239
4,575943	2,216234	1,272001	2,325718	0,957021	0,309227
3,944388	0,956886	2,254179	2,380107	0,88745	0,817614
3,995488	1,479724	2,218936	2,928016	3,159647	0,674074
4,020652	1,559531	2,226211	4,415784	2,608364	0,2582
3,164952	1,862754	4,253347	6,483481	4,308851	1,675146
3,836396	1,824307	3,991793	7,634714	7,697349	3,785453
3,30744	1,00986	6,040485	9,37206	9,636137	4,821056
2,654668	2,297848	6,487864	11,837252	11,048945	6,717807
2,37084	2,646619	7,229057	13,630148	13,883857	9,649197
3,929204	2,939397	8,871156	15,330882	15,029102	10,836615
2,591458	3,056425	9,228413	14,519273	16,177824	12,973978
2,055904	3,66272	11,759765	14,655827	15,545972	14,036783
2,366691	3,197463	10,659405	15,951509	16,080801	15,388025
0,46315	6,377108	11,506571	16,409432	17,385107	15,501396
1,937376	5,724903	12,900544	16,020082	16,353537	15,631593
0,09882	5,808527	14,15678	18,112333	15,954198	16,636143
0,753739	5,138361	12,137622	17,441133	16,166367	14,964418
2,09478	5,89403	15,354398	16,293889	16,280453	15,34318
1,360484	8,800535	17,053846	16,792525	16,398882	16,325373
2,629597	7,480764	15,886617	18,410388	15,40322	15,742776
2,227588	8,949241	16,707157	19,082467	16,153036	14,841922
2,359056	9,127842	19,503495	18,556802	16,080678	15,858994
1,821535	9,341998	20,127734	19,071882	16,471461	17,020823
2,546852	9,385899	18,73272	17,852531	16,187598	16,184465
3,036203	10,328394	20,057681	19,410389	16,0121	16,644879
2,441976	11,656415	21,201623	18,847911	16,799533	15,608974

3,057667	10,985779	20,378155	21,166705	15,427069	17,720088
3,315146	10,452738	19,712891	19,642277	13,998233	15,778069
2,451023	11,29816	20,219193	18,282135	15,843334	14,626434
3,772857	12,895715	21,47936	18,677353	15,448418	15,173163
2,972875	13,338166	20,583104	18,51021	16,754694	15,145262
2,415521	13,537146	20,312561	18,010914	15,819823	15,617593
3,742533	13,546908	23,980338	17,902981	16,009457	15,619887
2,751444	15,35843	23,745526	19,317482	17,009212	16,571632
4,079639	14,877506	24,615689	19,365364	16,126639	16,711098
3,605658	19,167861	25,327979	17,961463	17,679533	15,91976
3,961161	18,035151	29,382302	19,055117	18,10122	18,255527
4,55677	20,525705	31,112278	21,250477	16,723041	19,482947
3,577616	19,87527	37,620949	23,036429	16,708403	20,665013
4,850043	21,637597	39,491529	23,634454	18,534598	25,787102
5,187981	23,142872	43,819012	23,643473	17,737446	28,946342
5,47669	19,545664	43,321223	28,345408	17,392615	34,58206
4,9879	17,574343	42,163801	30,17389	17,111105	40,799818
5,029953	13,319362	40,340674	28,353001	19,206337	46,092214
5,581928	13,990665	36,587017	29,188403	20,01902	53,736585
4,687407	9,870919	28,919571	28,375377	19,134704	50,07098
3,924951	7,847712	22,999083	24,365769	19,180332	50,830843
5,287397	5,846252	21,220345	21,814823	19,173288	46,432274
4,461889	3,950317	17,587169	21,334459	17,698204	45,650676
5,517671	3,859552	11,465537	18,376466	16,971798	32,421236
4,199	2,469013	9,424859	14,377179	16,530464	27,658891
4,80631	2,454416	8,874004	12,899155	15,418145	24,606235
4,593206	2,030531	7,469736	12,822033	14,605839	21,083651
4,856206	1,693821	4,32177	9,99558	11,224862	15,309623
7,089817	2,647458	4,630672	7,306458	11,624646	13,447028
6,12881	1,988013	4,059093	7,45046	9,920919	11,242483
7,554858	2,141473	2,997765	5,797114	7,163929	8,517528
9,267569	2,318469	1,309853	3,11294	6,062335	4,933456
7,686045	3,660999	1,598422	2,469536	3,88095	3,798884
9,818438	2,863144	1,208741	2,388691	3,064878	3,840309
8,032707	4,515112	2,70073	2,029065	1,706348	2,628031
8,45618	4,632613	2,605867	1,759888	2,030364	1,479304
8,273761	4,430831	2,207601	2,036828	1,106325	1,921904
7,322098	5,444567	3,569695	2,644645	2,919108	1,478729
4,318912	7,631598	4,188225	3,738578	2,320791	1,985523
5,159911	7,583658	4,813052	3,765279	2,454959	0,76881
4,426594	7,541342	5,391414	4,151243	3,483874	2,779272
3,258352	7,473899	7,561138	6,556415	5,507831	3,521589
1,329001	6,900038	7,581132	7,040496	6,602989	4,041998
2,695762	5,747849	7,930641	7,729987	7,467919	3,394743
2,248707	5,479036	7,990901	8,078961	7,848467	3,486458
1,801911	3,139303	5,351597	8,23175	9,336017	6,079853

2,313447	2,419362	4,990184	7,110473	8,570798	6,898568
1,509331	2,912171	4,684566	7,141726	8,948151	6,684119
1,277546	1,488623	3,868805	6,035676	7,994462	6,265398
0,859314	2,269247	1,809265	5,374399	5,709504	4,95407
G	H	I	J	K	L
0,938229	0,679562	0,800427	1,413955	1,320552	0,365576
1,027421	0,898053	0,951902	0,240953	0,931394	1,758735
0,460175	0,352456	1,14096	0,141618	1,286754	0,831728
0,520724	0,925246	0,600505	0,798293	0,129835	1,931194
1,212185	1,0365	1,168264	0,563916	1,041172	0,857892
0,933635	1,032848	0,407046	0,233586	0,647025	1,389519
0,945853	1,130775	0,468692	1,115241	0,966833	1,667747
0,757695	0,731055	1,519068	1,236866	0,642637	1,233357
0,436045	0,988442	1,196682	0,848956	0,370218	0,907464
2,086774	0,462396	2,004101	0,956095	0,754847	0,371348
2,829383	0,666299	2,251227	3,477275	1,355726	0,807998
3,284556	0,875593	3,466141	4,832468	2,111725	0,607245
6,919258	2,980477	5,693403	6,006769	2,502821	0,798562
9,30811	5,608074	9,152681	9,214855	5,374401	2,939924
10,655544	6,427806	11,288765	12,121079	7,604083	2,827292
12,173553	9,124981	12,216304	13,572866	9,271542	5,788984
15,486148	12,006731	15,268955	15,724956	13,928237	7,664649
18,408144	15,231905	17,244597	16,293054	14,509682	10,855225
16,948631	16,118932	17,593131	16,950049	17,056055	15,238689
17,268704	17,372648	17,781188	18,431776	17,656876	17,110883
17,531243	19,560806	17,277934	18,175461	18,214673	20,642625
17,895545	19,423146	15,514076	17,156049	19,170165	20,57346
17,852021	18,591413	16,2033	17,516519	17,925523	23,033909
15,403297	18,579844	15,411289	15,39858	19,56202	21,472641
17,12918	19,067684	17,266758	16,796222	17,817286	22,560268
18,196341	18,347046	16,222059	17,777878	17,92225	24,343133
17,661198	18,887503	15,051276	17,793331	16,408751	23,523403
15,606109	18,408954	16,876251	15,14923	19,352348	21,955283
17,68733	17,27425	17,094835	17,054229	16,80749	19,969725
16,573917	17,791878	15,456737	15,925287	17,52225	22,18123
14,979126	17,464415	15,448806	16,376426	16,97315	19,938778
15,879815	18,189184	15,304591	15,479351	16,241431	19,180168
15,738679	15,72606	15,048142	14,473903	15,488823	20,528257
15,299149	16,137556	14,672564	16,1529	16,507012	21,253648
14,997372	17,700989	16,033692	15,057328	15,996576	20,201369
16,104307	15,625968	14,619162	15,224282	16,055997	18,362158
14,695983	16,077079	14,24664	15,006968	15,746318	20,464602
14,68854	18,163309	14,285296	14,98305	15,420807	20,289735
14,757098	16,690885	14,847622	13,553325	15,499227	16,984985
15,9953	16,331058	16,347227	15,616834	15,934659	19,425173
16,178587	15,459081	17,066554	15,457816	16,04217	20,347017

15,654089	17,060286	16,435227	16,185357	16,510964	20,063842
18,025702	18,71225	19,46818	16,463982	18,050681	20,893728
19,829482	17,796157	19,464027	18,507279	18,419585	21,128188
21,345858	18,191106	21,776762	21,823774	18,556064	24,903944
25,309987	20,517946	27,640425	28,379007	17,32925	24,185255
35,251645	20,591528	38,452568	37,87838	20,882376	26,218526
46,832239	19,534056	44,972312	47,508617	20,288314	26,672546
50,415955	22,54958	50,723472	52,19429	22,721043	27,125689
60,789455	23,256251	65,183319	60,481337	28,281807	24,747937
70,471324	22,479583	71,060582	67,462326	27,208119	23,576064
70,108816	24,744966	68,436745	71,683626	28,292659	23,141508
67,638876	26,647898	64,910963	68,000411	31,000383	21,017704
56,102194	28,30428	58,752538	55,91708	35,658105	18,609101
52,003378	27,307001	48,573673	50,068198	31,978701	16,734337
42,040603	24,194665	40,711434	41,628799	29,463742	16,743932
32,469692	25,298569	34,470625	32,289812	28,216291	15,17791
22,736504	19,399075	22,696927	20,838121	21,794865	12,294418
18,224648	15,326853	16,667892	16,793555	16,249007	11,375665
13,610884	15,562614	12,28462	11,597684	12,423484	9,952169
8,524162	9,442042	9,299006	7,469409	9,766713	8,732346
6,54231	7,128119	5,890182	6,15157	6,509124	7,647028
5,723411	4,605779	4,2421	5,05701	5,494745	7,219475
3,229415	3,841947	2,86257	4,353104	4,654754	4,836321
2,720062	3,993715	2,166723	2,37741	3,845498	4,400165
1,841179	2,873708	1,780594	1,143261	3,299517	6,088901
2,247016	3,700081	2,307448	2,693628	2,486403	6,687536
2,310613	2,991898	1,491887	0,921322	2,024784	5,811488
2,385306	4,543289	3,11136	3,341625	4,384354	6,667261
3,377999	4,145069	2,379069	1,24625	3,236209	6,92038
1,587715	5,476268	2,821083	3,499494	5,267313	7,50785
3,886445	5,140489	3,476817	3,049103	4,98866	6,987713
2,994694	6,403787	3,738175	3,646079	5,760517	7,684673
4,033399	5,983151	4,417113	4,093236	6,520483	7,029705
3,587878	5,598018	3,31831	3,381278	6,163345	6,655349
4,151131	6,034356	4,31793	4,309956	5,929727	5,802746
5,057457	5,979753	3,909784	4,826393	5,354745	5,21643
5,601047	4,424181	4,887934	4,706888	4,90599	3,36575
4,498668	5,187678	4,869557	4,622071	4,412272	4,848147
3,880637	2,891866	4,38648	4,349941	3,254817	3,211241
M	N	O	P	Q	
1,675254	1,184596	5,838878	4,401688	1,615057	
1,484162	2,325897	5,918451	4,567614	1,685319	
1,152306	2,922357	5,288418	5,727131	1,772418	
0,162536	3,696123	5,925339	3,856425	2,12695	
2,310084	2,480199	4,897855	3,121684	2,334321	
0,476033	1,39071	5,849374	4,358272	1,676701	

1,12383	0,878978	4,87899	4,565537	1,915682
1,155205	0,422066	4,309245	4,924183	1,917335
0,562436	0,973267	2,877561	5,722141	2,002769
1,045521	0,599371	2,610499	7,500639	2,273486
0,532066	0,870353	3,215152	5,137406	2,854667
1,562748	1,222363	2,526545	6,482465	2,549898
0,192688	0,092313	2,794274	6,552412	2,271374
0,78622	0,745701	4,739704	5,710348	4,410191
1,142405	0,494179	3,157811	6,46752	2,967547
1,058223	1,085991	2,952061	8,286191	3,693029
0,871015	0,763911	1,408288	7,347718	4,001099
2,604554	1,030545	3,030084	8,005349	4,688509
2,765939	1,710188	3,793584	7,751953	5,178936
3,406162	1,799992	3,298113	9,080319	4,478683
7,813802	3,121384	3,830172	8,631446	6,01222
7,275815	2,757227	4,336162	8,038267	4,220368
8,816495	2,578142	3,916795	9,821398	4,401409
10,526183	4,591865	4,154448	9,486405	6,574565
15,070508	6,657024	3,903806	9,471633	6,256809
15,28705	6,644673	4,05051	9,007315	6,373533
15,114631	6,239316	4,581016	10,386646	3,585208
18,172732	7,958353	3,605506	9,875795	5,356509
16,986223	8,253085	5,572855	10,242699	6,334541
18,214199	9,644976	5,335767	10,134669	4,342626
17,629038	10,995326	3,560969	10,844358	6,140628
20,115474	12,332598	4,155489	9,911316	8,451403
20,190225	12,656572	4,856209	10,986688	5,697989
20,926623	13,669069	6,383334	10,676765	5,041744
21,87116	18,071999	6,178142	10,947349	6,734033
27,307536	21,647546	9,631439	10,254205	7,227249
28,734966	25,08666	10,332702	11,7204	5,076933
29,89477	30,172979	12,635336	11,643526	4,388503
33,952719	33,143122	17,253292	11,115751	6,331043
37,763544	38,930945	22,949078	11,284568	5,099546
37,911743	44,10001	25,093654	11,649503	5,886719
37,902841	44,954752	25,843058	12,171356	5,161074
40,791878	45,652984	34,350611	12,3967	5,135209
42,383069	45,868984	33,809964	11,540509	4,634094
43,729562	48,239286	30,566483	11,597382	3,294187
41,415422	47,749097	31,2861	11,661879	5,365067
45,52688	43,401998	28,012148	11,646466	3,937971
43,490403	42,673485	26,116033	10,600976	3,971814
43,224996	42,109267	21,118365	10,672594	3,089576
40,423367	37,604099	22,084762	10,171393	3,291395
39,505634	33,679662	17,819925	8,743947	3,542762
34,836035	32,294888	13,209169	9,255771	1,966344

32,125828	31,206649	11,889721	9,621467	1,720749
27,915766	24,503307	9,647243	9,285219	1,52938
21,84308	20,864996	7,527497	8,51566	2,1163
19,218769	18,332927	10,258386	6,530072	2,415733
16,63788	16,787129	8,160093	6,884581	2,194686
13,109615	13,386392	8,441644	4,53987	0,652123
12,956718	11,295813	9,892436	5,262301	0,976825
10,94765	10,778399	7,521718	5,150702	0,8929
11,700984	10,479569	9,402683	4,269435	1,690709
12,079211	12,263662	8,439196	3,185423	1,162736
10,717555	11,437103	6,803858	2,068087	1,522333
10,775276	11,863726	6,481767	1,839266	1,855294
12,214359	11,356747	6,129084	2,23595	0,477869
10,807152	8,782933	5,524583	1,925694	0,679423
9,56637	9,326532	3,892038	1,199288	1,840251
9,746698	8,858481	4,879167	2,048082	1,901634
8,45493	6,166429	2,602562	0,40841	0,690757
8,459505	5,794684	3,523274	0,683488	0,436338
6,860517	5,317685	1,609986	0,446455	0,804068
6,606885	4,929076	1,758873	1,464173	1,66832
5,713563	2,782343	2,707453	2,07579	1,278982
3,545559	3,097114	1,494024	0,896823	2,375338
4,998762	3,22469	0,754839	0,597135	0,922382
3,977435	2,358519	2,270814	0,42293	0,343103
2,674849	0,735168	1,342453	0,661884	1,684628
2,316082	1,812682	1,313943	0,266773	0,164062
2,22136	1,62859	0,995084	0,576693	1,254144
1,215977	1,115601	1,28945	1,133863	0,228512

Anexo IX Datos obtenidos mediante SPMFA 2.0 Semilla harinosa a 405 nm

A	B	C	D	E	F
58,32585	177,53458	239,55739	51,26152	163,45324	28,39358
377,01052	403,61852	393,19092	342,3136	124,25077	175,90263
130,43159	372,92524	454,94153	329,89298	146,0355	185,81277
144,81412	390,37989	395,71341	223,51346	210,14244	157,55919
356,29659	331,61612	347,06946	185,22971	182,45215	193,99652
531,45877	310,4752	357,37102	193,58261	229,2752	125,44887
429,3132	290,08463	287,08422	201,59975	231,67802	104,25085
561,50965	293,84754	205,60188	165,27758	117,47433	117,61823
619,23383	257,87923	155,91974	159,78824	167,19441	149,53096
686,26719	229,4851	185,93066	87,48988	143,76512	102,31445
605,56327	198,63128	124,35313	87,32665	138,30858	43,70974
668,2261	221,18902	153,05838	143,21928	108,80944	117,37669

775,36126	229,95879	139,64197	121,65648	113,23803	125,98641
673,92148	195,07728	147,13544	100,62188	152,73373	75,14454
451,80092	159,96789	137,81147	119,54768	150,73845	108,21687
597,46814	100,50044	106,93545	147,02083	105,71248	142,39443
479,32099	161,45248	117,17517	140,6986	164,77622	134,49591
246,18311	151,11179	149,9581	196,64886	250,1508	287,24217
391,16621	179,72722	161,93549	357,44247	322,25449	383,53032
18,82503	141,70342	217,20672	264,16359	418,82014	449,39068
225,54702	160,52507	262,87139	471,00297	502,75003	493,84264
313,16766	212,19523	403,65441	536,81506	572,46117	573,70678
385,58898	202,42693	409,35634	647,34555	595,73109	606,8484
450,25803	263,69887	526,15602	675,92661	669,93815	570,72529
492,90965	322,07763	610,72224	828,70003	731,322	682,27317
437,17152	416,77623	676,2225	820,79214	762,09922	736,93287
476,41842	432,60776	686,51175	815,2261	785,88563	773,34282
471,30335	480,69807	728,17932	785,58734	821,13136	843,05628
501,38704	508,08365	670,39348	856,23008	705,63214	817,19967
509,24165	563,70657	787,19664	880,11382	814,69742	850,62279
614,42397	567,72762	788,13522	841,38656	834,55236	885,03789
507,20806	620,41782	776,98823	861,17527	857,31489	851,96262
578,9474	617,82951	817,68996	841,1896	863,56185	909,03138
502,31276	741,01796	804,16091	844,62725	856,60542	862,01251
544,34163	667,75405	854,30993	844,43404	858,84983	949,5177
522,99872	693,16384	839,97442	804,78242	916,94625	1016,39441
545,92627	729,30111	821,12096	869,886	926,42779	1039,22791
476,96097	711,56664	888,69599	826,12912	944,91944	1080,51598
507,55635	708,90108	817,29511	870,93527	918,50081	1104,07119
562,55872	693,8613	854,1565	855,43566	1013,19129	1124,09087
491,15312	731,38236	835,13553	928,5923	989,57566	1130,94981
484,12255	710,51937	819,31179	910,17816	989,52464	1203,38306
542,9618	744,62834	909,97894	935,2563	1029,16102	1207,9197
537,43944	753,44474	886,01754	877,39537	1006,41412	1273,33752
543,5774	761,59337	885,48741	942,85615	1084,23179	1371,3461
499,16194	736,25677	864,08519	931,76275	1086,0448	1386,89952
457,14687	726,44847	889,23453	938,61391	1201,68325	1449,96822
508,90087	728,52739	872,95239	935,50527	1200,70788	1462,45762
454,45415	696,51531	830,27055	929,41312	1258,49695	1579,18369
479,64646	679,10995	872,41371	975,16523	1271,78263	1363,36666
467,94064	626,37581	556,39331	958,69635	1232,11159	1358,55758
400,06574	710,91098	824,11626	1025,67891	1251,51084	1345,92638
396,84135	629,85512	828,29357	975,04538	1180,68039	1253,9328
383,45348	653,95743	854,66093	970,1951	1149,06917	1163,10419
348,57746	579,1472	790,08521	999,58495	1078,27312	1074,10407
338,43775	555,18458	793,57027	925,54502	1027,08408	978,10031
349,63224	544,3074	790,15019	930,48277	1020,24757	959,87824
390,99225	533,55481	785,95651	883,84087	929,11313	967,25339

390,65762	538,8061	736,3637	919,24551	940,44376	913,58648
385,86351	546,64666	718,08118	873,35493	921,21441	1039,55301
364,17259	476,3919	720,05687	842,4479	899,78405	972,75093
320,97341	525,01037	692,63359	870,04394	893,26604	999,16982
285,12709	460,48896	646,73585	830,27202	892,71467	1047,23074
229,02231	500,428	608,48754	781,36082	903,23948	993,83134
236,97995	436,69548	636,85585	774,34239	836,46425	996,80555
171,68508	444,4901	584,72684	733,19696	924,14584	969,69995
132,86255	469,21374	565,13815	703,98398	849,29697	910,00204
95,01619	418,45306	480,83051	700,72563	833,33854	868,49179
79,33606	384,54027	467,63551	647,71638	744,2919	815,36986
84,20486	415,39597	470,98677	655,31413	712,93045	818,36523
64,72272	323,41206	387,38477	595,60865	632,25287	774,5857
60,0438	264,00823	374,1767	521,39391	643,52701	652,74802
59,7263	214,47688	345,93392	398,18402	585,61092	497,35378
78,00433	202,54539	271,21049	453,17812	506,43376	475,8547
68,69876	109,32552	262,32274	370,57135	401,01649	420,98111
39,45355	96,34941	224,81618	278,33187	367,5923	350,26267
81,46187	75,99209	207,51631	280,61077	269,49537	236,09648
88,22313	83,44428	137,59551	193,85382	219,81772	207,07084
75,46032	45,25865	157,07506	252,45658	188,31171	133,19451
59,28546	82,03958	156,2052	137,92169	193,61593	122,21696
79,13446	85,86513	66,55306	111,42597	95,381	197,70801
114,77228	88,53064	98,34071	172,36153	172,0195	313,66804
90,60555	102,61577	100,45204	131,12291	148,62508	360,95805
117,00993	127,26146	98,17358	70,6224	188,06305	246,89969
129,48249	94,69279	75,54326	121,65138	204,8202	275,28909
90,69593	64,52819	94,56727	106,51771	141,87009	261,89343
82,52873	79,35619	71,60212	116,92086	206,99954	225,47127
56,69155	91,13625	154,42522	107,16964	197,16017	258,47883
92,36867	46,79295	84,35475	143,58351	168,85802	253,2265
73,2321	58,67621	90,19668	109,42338	143,68322	275,80182
60,61597	98,52271	110,50077	110,15978	151,58673	227,58131
140,72306	171,65373	117,95756	128,66429	221,13766	283,04282
95,49779	116,45051	77,88386	102,82102	163,03351	276,88905
106,36391	126,84171	123,1885	50,19365	189,91395	300,25026
130,2	96,16215	124,60753	115,07778	143,79587	249,6054
144,11683	160,11939	85,77827	154,74848	123,82219	253,59789
218,92093	156,60046	171,85545	116,12647	129,43584	224,10429
259,71311	249,81723	179,46945	113,71723	178,6576	203,83525
354,49352	334,65934	283,37892	167,41151	225,79562	223,1695
399,16469	434,40589	372,31734	233,92453	172,83736	248,88709
458,54759	445,93433	390,64511	304,7692	213,52473	283,99691
532,60313	531,48613	499,6216	237,87524	256,94451	258,38965
584,09389	540,78422	599,62938	287,6381	300,73143	248,62923
710,45397	667,77136	682,26878	502,80521	408,77083	308,49133

689,58066	688,30276	695,23191	356,33859	436,23586	311,57864
758,06205	776,77128	768,92766	704,3387	587,34526	375,57879
811,02621	820,94766	863,36624	775,91125	702,28463	452,08395
819,05434	858,91025	942,84592	913,74582	809,96338	623,97479
821,0335	946,11134	983,92315	1008,18444	870,97053	772,22319
929,95121	999,81564	1024,83699	1085,04661	1034,94504	833,93443
952,84145	1097,59114	1201,16212	1169,66447	1190,17793	1071,5777
1023,15808	1127,8067	1221,1933	1313,59075	1248,73842	1132,50321
1060,42184	1185,68746	1268,21932	1370,032	1342,43123	1457,02308
1029,4844	1155,74708	1373,56324	1381,82991	1415,29693	1530,81726
1086,37703	1235,59272	1357,70623	1385,23045	1504,76347	1089,58698
1131,7923	1238,3187	1345,90299	1505,94306	1595,08615	1708,05138
1123,77747	1223,20981	1324,21373	1494,8038	1632,66173	1867,73997
1104,86441	1362,53994	1367,17831	1523,87321	1713,38872	1893,1932
1148,61814	1299,65096	1300,35194	1487,41706	1702,35799	1968,09048
1199,75439	1244,05944	1267,25236	1487,66875	1723,05988	2055,61542
1131,71232	1269,30228	1219,67054	1446,72439	1693,08849	2098,21049
1197,61317	1272,05328	1291,46673	1390,95463	1765,9739	2063,70658
1175,69255	1284,69221	1282,04287	1373,76278	1815,20126	2156,53826
1237,57753	1254,9065	1237,10716	1422,43896	1795,28266	2136,66105
1290,503	1289,9577	1321,63742	1393,61239	1817,24039	2127,33182
1344,61379	1274,67324	1296,09259	1437,91039	1825,04259	2063,88048
1315,68691	1271,75631	1309,69309	1437,06028	1747,2882	1928,58715
1402,56867	1314,94107	1382,92736	1466,28307	1783,92846	1990,8893
1375,83385	1300,55074	1375,55748	1377,05878	1722,52115	1843,78164
1354,12134	1238,90323	1358,57121	1447,77493	1665,2789	1751,74163
1268,758	1291,40555	1352,84025	1427,88551	1608,42235	1595,78382
1230,71916	1261,73654	1236,04811	1365,09847	1709,74289	1471,56764
1142,66794	1219,58037	1320,86751	1395,1596	1659,32011	1420,05733
1126,89385	1264,99984	1310,19026	1428,56568	1591,56591	1290,85612
1067,45103	1293,53259	1325,38097	1512,5553	1469,85993	1236,05905
1149,01106	1274,67735	1383,95502	1478,90262	1544,64201	1101,52647
1098,79399	1261,39262	1548,01634	1044,36983	1371,49325	977,11259
1097,09496	1230,52841	1357,38157	1370,00576	1227,72808	791,40556
1138,61321	1313,87387	1351,67384	1277,94222	1071,01948	707,96057
1124,24664	1294,00186	1289,83178	1185,82667	1000,62824	601,03576
1101,93505	1282,67832	1171,20072	1199,51699	878,027	560,30475
1132,27835	1233,0511	1054,06611	1099,87757	742,03364	425,7212
1058,38332	1154,70162	1044,64214	999,99918	640,08988	356,2467
1034,79352	1020,67211	995,18908	927,8553	568,12732	283,68025
949,3486	935,16342	972,05393	695,10852	429,16608	248,38691
932,3552	898,91408	851,03407	602,6113	340,5699	158,05777
908,96336	897,28715	720,62092	496,04282	322,81394	109,09566
942,59823	819,45012	658,76875	495,92494	256,4425	127,12943
800,05983	695,87037	532,1394	341,14245	179,41619	148,16137
744,10379	607,90286	439,11938	298,30908	153,58035	122,14858

632,95433	488,96295	426,51088	207,53193	153,70244	116,52942
550,96923	450,62116	320,15123	249,23594	157,73474	128,39079
478,69417	320,66349	270,26805	118,26565	84,603	154,53161
423,64102	295,97499	192,79141	141,5863	103,55175	82,15078
316,48512	231,13149	151,68199	150,0643	103,58687	63,01556
274,36699	205,43872	84,33554	160,28111	42,34808	55,57789
200,50688	143,81078	131,33577	58,37809	48,16509	24,24501
157,75632	126,8462	101,6478	65,87412	80,62065	49,1302
132,07805	84,5954	74,82975	69,72197	52,62227	73,51588
106,87152	84,82401	50,92908	101,2391	40,81788	48,37801
253,26883	207,53264	75,67011	51,18873		
409,67193	361,84907	145,5457	27,96195		
354,95291	292,06142	140,75142	90,04056		
397,95025	337,03587	186,49771	58,3449		
411,0648	326,37946	176,96435	79,66197		
384,32177	375,07572	186,23966	47,90561		
375,4273	405,04409	259,53938	75,33099		
382,47354	380,47542	270,05703	43,58984		
340,55745	370,27446	256,88091	56,72349		
300,36481	439,43748	305,1132	94,91909		
345,09516	384,50863	335,58351	82,32782		
364,26866	402,62019	377,40743	114,50629		
332,13228	363,99077	340,1055	246,60404		
309,1951	422,16954	356,64314	160,99048		
304,76349	357,02056	397,12462	255,77424		
325,82959	368,3427	394,19465	264,76041		
252,22869	384,02826	399,09755	325,6351		
287,07074	327,04828	431,95251	291,65597		
330,79082	266,9246	321,74263	295,06736		
264,16546	316,37774	355,31207	350,90164		
274,58376	283,71302	381,3864	264,10505		
285,22351	256,23187	341,64408	296,97459		
247,79127	243,26766	358,56072	291,71307		
296,1935	255,25582	346,33852	278,30088		
247,64863	233,02084	314,69385	372,0063		
253,63254	225,86286	347,96025	322,83584		
321,50209	242,64221	314,05732	327,89968		
343,43697	224,49985	288,48523	384,41205		
464,53929	283,84591	298,46581	343,63932		
601,83721	379,31125	327,84042	335,54596		
778,01025	502,6605	357,18654	430,20092		
916,09364	599,6774	331,55634	431,49608		
1062,91537	635,9573	383,7707	428,3782		
1144,24362	732,4597	418,35906	419,94712		
1394,94723	830,01348	454,71862	456,32608		
1531,61244	934,62283	504,60798	467,05464		

1625,23365	1013,37545	476,58952	476,62832
1782,53305	1081,05262	529,96347	444,64886
1826,24578	1166,78894	534,83757	523,95954
1838,24632	1198,45152	548,41193	472,60744
1867,01886	1071,48971	315,27744	481,22886
1893,86583	1200,32851	509,76608	467,71487
1927,19718	1012,38196	497,81013	552,24413
1750,91485	985,27879	502,08156	514,58578
1646,50038	842,75027	503,18932	489,69113
1723,64921	852,6364	438,44214	540,68447
1510,45985	737,3185	420,98032	517,94335
787,69111	616,44638	412,55163	502,83106
766,19712	595,86933	347,91279	420,8213
1151,32707	563,28077	404,14222	492,94689
564,26232	454,65819	350,83725	474,70389
773,46713	394,24845	376,66645	401,37963
440,11162	345,41236	327,42303	430,60075
692,15741	327,87031	307,59633	420,69452
593,7336	264,13087	324,4437	431,08305
467,66052	162,19253	298,89373	378,88157
420,03735	122,94829	248,72131	430,78331
348,01806	243,01193	266,09658	420,81327
281,92192	145,89514	242,83923	436,93784
283,98545	186,11309	256,97283	401,6114
229,28091	117,30529	242,30537	443,15568
210,03026	157,91402	235,81332	389,54285
167,34045	145,2838	272,95703	380,63646
149,73776	117,20072	252,73616	476,49921
131,49961	100,29296	240,20466	411,73313
110,12082	74,28636	224,47056	376,90085
142,93217	130,60404	241,33148	404,27183
153,07047	134,89752	220,27178	405,63336
119,54992	135,09547	331,17975	409,30913
100,80678	117,45038	349,08606	346,47666
100,80053	171,03393	366,25816	331,11581
75,68071	204,08992	424,91838	287,47457
111,39426	166,27749	491,92988	237,14688
126,59411	227,7499	447,09481	242,01136
149,35911	248,28412	442,05824	238,04224
156,52211	368,62749	415,37406	131,56021
137,90929	419,57555	436,77094	97,03395
132,63107	439,71737	365,53191	96,19903
200,72054	470,27263	312,18076	118,71417
219,08207	441,00827	237,42817	76,95945

Anexo X Datos obtenidos mediante SPMFA 2.0 Semilla harinosa a 532 nm

A	B	C	D	E	F
14,01271	16,79029	12,50778	61,47691	22,00231	63,42225
18,91112	35,6515	25,04099	15,80542	40,21417	10,97811
9,54819	45,92991	20,31813	34,62022	29,82071	29,50258
14,30686	59,82638	22,90393	22,54463	47,29487	48,7351
46,41797	30,23762	59,50021	15,55257	30,99235	15,02624
46,52671	41,58803	60,17156	22,00916	46,67379	24,82741
44,17493	27,33542	23,07313	52,33789	71,18539	3,97231
18,39875	11,7678	64,97504	21,73567	80,47593	22,96865
2,74978	23,06565	64,88594	42,25086	41,52518	13,20168
53,52255	71,34856	57,98342	75,40471	41,75724	83,18144
17,77558	20,1854	39,43562	79,94724	69,21774	100,50761
37,32275	65,61406	120,54495	57,69613	88,82939	87,18895
50,19399	24,51997	133,76654	56,05179	88,29972	68,88329
58,97041	51,32237	75,39479	110,55161	62,05172	80,39204
35,49713	43,99286	64,45126	94,71124	88,23486	84,05875
26,70867	55,71724	126,71068	50,14898	63,27953	85,56498
28,03558	75,66441	59,69957	95,25151	59,2808	34,73394
48,86967	114,63036	97,08703	108,67955	94,01545	90,4925
30,28926	108,14664	106,505	107,4831	114,19505	119,17104
11,64863	109,9787	149,20866	115,42432	100,10179	117,35957
26,30467	51,63895	59,73072	141,14836	101,60594	114,09183
16,09259	103,14942	57,66867	106,76161	85,50799	93,7814
16,36972	109,99291	82,06734	104,70458	104,77045	100,68766
34,67159	91,72269	55,75266	113,67333	104,83102	117,78336
40,98471	78,05482	59,38658	124,34327	97,06819	121,38896
17,4228	92,89329	74,63921	69,31671	42,98216	116,98087
8,73255	89,17083	119,87002	56,92245	97,07682	138,88353
38,816	72,97583	56,3483	99,15518	95,90301	139,31517
49,33536	82,22046	68,0293	80,23925	68,5849	137,66342
63,33632	118,73774	71,67471	83,35794	83,39646	91,63309
12,74193	52,49173	67,41169	97,81846	113,29352	117,70446
33,05743	102,63017	52,04512	104,3291	85,44233	128,47473
54,67356	77,81774	82,06838	50,86351	130,71629	104,67744
11,84818	102,84848	70,55497	72,32584	169,61022	116,39267
27,26216	65,18023	70,51291	59,9735	147,59129	131,97269
80,52271	100,71826	60,32386	126,70072	212,44685	108,00889
44,89844	98,19382	110,64531	125,20703	248,51496	111,01872
33,84134	111,4197	98,82015	135,26525	283,83881	159,29975
31,78861	58,0072	76,55581	132,26156	301,97877	180,01209
37,45277	127,07133	80,34231	129,1088	273,28136	227,64042
2,85806	66,03486	146,88125	127,75233	276,58221	131,77528
35,38052	84,65066	56,96586	73,52855	345,92026	183,11531

44,80511	73,7613	119,52906	155,2299	228,153	164,32584
17,27911	88,19643	113,98694	91,69927	180,53848	143,94422
42,38388	127,2917	99,62102	102,52858	174,15284	176,10278
74,58767	69,6185	35,28018	97,05264	142,64135	88,57795
34,51604	97,21446	88,70501	120,47427	111,32837	128,18474
41,05692	80,90239	99,73644	74,00808	158,65961	130,48525
5,65086	124,86876	143,19328	82,68478	128,09738	116,1613
36,11867	69,80995	41,81974	107,03954	92,40387	133,61246
32,8978	67,15095	71,81938	150,1203	88,57072	130,05923
18,08439	83,66164	86,42252	69,8241	110,95274	107,59678
53,61422	32,91887	96,34257	108,98532	102,44324	124,10081
30,84717	62,19226	75,82215	140,10018	56,61126	144,30748
11,57002	60,76521	49,55926	81,22576	91,93098	64,61125
23,48457	52,4713	58,29211	93,65055	118,9493	96,70578
14,74695	16,87094	34,2504	100,71802	95,54074	93,37002
43,48108	28,10741	38,94907	66,27062	87,67611	111,88227
72,90733	58,16275	76,89209	83,87529	101,08048	60,72468
29,70711	68,13279	46,08876	26,36345	88,80663	84,00365
83,78281	4,06419	26,55988	73,46368	54,0244	133,14332
31,06398	73,50488	54,99387	65,59899	23,7844	87,28897
45,02074	21,29559	48,34754	23,20786	39,72472	47,57458
9,20956	13,21734	18,4651	32,29909	47,3844	67,61537
54,0879	24,91957	35,042	60,59758	39,98379	48,23982
26,51038	44,67303	31,84259	12,66543	35,06629	30,98582
38,46481	42,17087	39,70387	46,2622	12,5797	22,68751
31,1391	40,75779	15,77613	26,9473	29,09124	65,81822
31,19121	43,32297	59,23612	53,47199	27,63797	30,6374
31,39789	48,38516	42,95352	18,00267	23,16468	25,99202
34,97417	26,04828	44,40829	41,46475	52,86849	22,11831
45,16021	30,06836	32,35841	41,32789	40,55829	49,90994
41,36995	61,59496	43,1054	44,36138	96,10344	52,3384
12,89982	37,52633	55,80574	45,61752	9,90487	9,05104
G	H	I	J	K	L
7,32357	11,72339	35,69447	7,27766	60,37046	49,93291
29,47588	19,16446	36,78404	23,67437	19,69209	11,57493
70,9847	6,04774	19,10947	35,02675	51,60632	22,30093
47,02176	37,61408	24,97754	48,04042	68,69402	39,1457
27,81206	29,62666	54,01014	40,40799	45,3884	12,70511
30,86743	11,93958	34,51746	37,60725	50,12841	35,00142
18,77432	25,0919	56,99266	12,27307	35,73508	53,54151
4,23436	23,7723	4,77607	20,13532	40,31167	32,05409
61,46541	45,59501	14,0857	9,09546	23,99535	24,60403
37,31405	37,91322	11,01874	18,99712	46,12911	39,59276
62,33731	64,79113	32,76138	47,97385	19,08381	62,68511
102,79138	50,1266	39,01106	17,26346	17,01396	60,73917
65,20928	54,50039	4,88928	39,0867	13,82651	60,78957

62,58058	140,76323	73,58894	33,50308	22,10194	51,3169
103,54426	74,26118	117,43436	35,95604	20,62395	6,0758
134,80848	65,37588	101,03425	61,57266	18,82946	43,10801
65,54651	97,10643	59,97116	64,91304	37,46827	76,29405
73,79294	138,98058	95,31789	135,03774	35,7852	32,22657
85,70344	74,54643	101,50773	100,08701	51,54628	45,22431
90,39912	64,69086	109,52408	140,4771	25,31646	15,00509
106,98069	119,63923	89,5165	128,74261	101,49832	63,69885
110,13302	99,71941	142,77049	167,97413	129,54213	110,61553
106,31285	118,55499	125,62303	156,04759	218,77098	181,8347
101,5061	112,92392	158,24524	167,1903	231,64394	235,89028
97,46375	124,78543	122,21895	186,23005	209,84895	242,47641
138,81614	99,32805	169,75234	138,99462	194,1033	290,1118
185,44379	77,08917	159,6944	112,55856	226,92783	257,40472
123,25591	108,66315	65,20188	144,08655	164,03001	291,99396
76,83197	129,78781	86,41253	152,71167	154,57153	287,1256
159,72028	80,02523	149,28903	125,58719	154,04462	264,32908
186,61848	93,10519	131,48379	131,87435	141,28587	261,77313
86,77497	140,97518	90,4738	119,31315	166,36775	298,34024
143,13731	64,21666	92,81992	120,64693	113,42945	297,3916
205,41192	79,29451	115,81811	77,02662	147,61829	284,73699
233,73524	151,86769	89,18297	124,8102	137,1287	295,42221
188,91671	117,34648	100,52415	171,46747	191,131	302,78401
241,92566	133,30929	126,85023	156,00415	200,3191	253,83803
181,96827	113,3828	197,53294	155,65204	196,20728	249,88248
157,27071	108,15021	90,30811	174,51028	173,40485	215,33953
177,32407	101,07121	145,72065	144,63953	163,48647	192,79329
120,7122	106,33596	137,18389	153,6233	214,27025	79,96974
188,54832	126,77457	141,92075	130,65735	165,02244	110,18561
115,71899	104,98669	142,13241	132,4357	167,71997	99,83864
100,23662	108,07977	182,57377	126,17585	173,75568	47,42223
145,96996	111,04414	164,55727	79,23487	107,82816	37,02216
127,07577	111,50858	201,79741	147,88362	129,93442	41,6814
143,27752	145,10749	263,5218	127,55778	144,94653	64,76969
136,03219	120,49914	205,6435	119,27968	112,67609	12,49487
196,80824	149,46434	198,88352	120,45779	117,60558	5,10183
119,42624	169,58354	183,80564	105,3627	38,05482	14,65813
131,98167	189,04406	177,21082	153,78285	58,01792	39,50185
207,13539	168,22809	128,56525	81,59323	87,49362	52,54962
197,1125	157,53102	124,59426	74,80288	48,25914	15,82236
134,99464	99,10741	122,24896	74,82638	30,93131	88,49085
149,06378	160,64115	57,11365	28,05892	42,42759	27,62962
140,94505	140,19692	102,71287	45,37196	26,16707	5,27836
149,06192	119,21549	70,62947	40,15198	35,24837	21,719
90,38822	154,65026	38,20573	45,71325	26,87272	26,6125
116,72488	69,69693	16,48325	17,1038	36,90509	55,15585

101,96601	56,82022	51,21872	48,26938	35,15935	36,07501
39,42603	9,85752	8,27288	18,57402	63,19858	60,26566
81,10111	68,69408	35,91597	11,87251	55,55337	24,28372
65,83051	24,51911	29,47252	40,46825	75,36012	21,88219
45,38264	6,82186	57,79629	7,79615	79,63369	14,11533
24,62536	35,64885	23,51153	14,28131	47,93574	20,794
23,7983	46,31704	22,00488	2,95303	5,513	28,37101
39,33905	7,83742	21,158	13,05329	46,19381	51,83523
18,16213	37,53497	25,29595	19,47594	20,401	39,87799
22,31775	42,05366	51,16141	52,27763	22,90168	18,97674
45,47404	32,43874	9,15638	21,50724	74,03316	36,79372
66,39507	20,25826	66,33361	3,79986	30,48481	42,35097
15,68684	33,7923	64,22029	20,8473	29,60989	58,32487
30,65016	15,84893	40,10292	48,44351	6,78386	61,0641
28,98341	29,64568	24,13466	50,8255	58,27573	48,9996
M	N	O	P		
32,54812	88,2201	2,0795	50,49008		
4,28069	49,10269	45,97539	16,3273		
11,58608	42,66901	15,18432	51,68533		
20,91332	22,06281	4,52639	44,86852		
31,36906	57,40463	39,89769	27,31403		
25,37916	49,76328	39,48466	20,89225		
25,49264	54,9253	30,71116	55,55931		
37,90088	38,98899	25,93972	3,36895		
27,47578	40,01041	31,49543	47,28448		
12,8347	65,2398	64,85815	22,80176		
25,10397	13,96318	42,1037	18,03265		
49,08498	28,68137	37,40785	22,73921		
24,15116	6,77123	8,75511	4,82466		
4,03505	42,78209	16,23002	25,16483		
25,9176	27,90058	63,72624	44,00973		
11,762	16,30771	108,42985	31,10486		
35,54882	46,39572	23,91142	18,25062		
44,76678	34,84425	19,92267	34,35664		
6,24137	30,73391	48,86667	45,05415		
14,84409	35,00456	38,3159	41,89797		
58,39812	39,40924	21,28033	3,35066		
27,18444	30,81043	70,02861	6,15311		
41,18301	65,04684	91,16138	39,04229		
49,8237	40,91903	21,23335	55,77412		
69,43253	68,04419	14,82515	23,88896		
104,76162	48,64281	50,1647	6,19541		
165,30463	36,48143	60,65772	53,84651		
173,93809	90,7286	63,26712	24,56756		
296,18986	53,76887	20,64288	13,53045		
224,74347	26,24311	27,82599	31,50828		

187,9659	17,63576	28,96544	37,61572
206,2912	40,11848	59,66872	15,50154
201,72753	79,22777	53,78383	32,00149
208,02237	33,47149	81,85235	27,85364
117,89253	51,43633	58,97246	36,40156
126,21195	15,84873	10,43123	53,93513
107,33177	61,56586	60,66925	62,3722
89,71784	13,33727	64,33188	28,83893
44,51652	21,55247	27,47498	16,29599
73,77633	74,11592	12,36844	29,11207
55,48634	33,08942	82,84219	20,7916
39,96772	24,70744	57,38213	9,00198
40,59217	28,34054	34,17731	4,59037
65,63504	16,81527	36,4962	37,01484
69,41263	27,19901	50,41884	63,19949
29,18816	26,24596	58,7903	8,58374
13,45054	54,7456	24,38037	25,23654
71,44733	9,74156	83,59495	15,21807
26,08733	32,22122	66,25199	58,54094
40,40114	28,90088	61,66392	9,0645
57,53607	26,2296	53,65448	61,96368
43,10487	45,85939	48,90394	17,62863
56,52637	48,91753	62,45936	26,32481
55,85768	24,56423	55,6234	23,44793
47,09767	7,20888	34,19615	13,47026
46,75468	7,19273	30,86325	52,37339
27,45499	57,615	29,42015	27,98827
42,81973	38,76248	50,42325	30,08298
33,99677	28,70275	39,86913	17,2706
69,52938	26,9048	10,54267	47,10149
9,86463	76,55154	53,35809	51,12116
20,36363	39,96742	21,53523	46,13575
87,23413	101,9259	23,06183	54,73015
207,07754	61,86857	64,70408	27,89369
111,24231	131,32801	5,2563	32,60345
190,69477	58,8952	67,05147	53,85702
209,28374	53,28716	23,1739	46,02296
164,30914	77,53033	27,95168	36,45986
76,76839	79,41868	47,88781	11,77044
122,65093	3,83185	13,97467	48,50081
109,87825	38,95206	33,74015	46,42701
75,18973	49,06584	19,67221	29,27866
130,45558	56,16391	35,91267	56,4344
55,38538	44,3451	3,86843	25,6254

Anexo XI Datos obtenidos mediante SPMFA 2.0 Semilla harinosa a 650 nm

A	B	C	D	E	F
78,67387	48,39977	13,76646	11,72264	29,28733	79,754
1	96,75302	49,15354	60,01758	78,36046	101,74057
30,7171	20,83249	53,8261	181,24033	164,25476	167,17578
104,94263	52,87363	4,78186	158,89733	119,01754	161,63255
271,33574	62,82108	71,47299	179,93905	161,53847	131,33054
31,37187	31,48301	81,97998	151,28739	151,6044	147,56984
57,23506	4,76438	88,43808	181,26639	53,96313	144,08162
63,82895	28,40089	123,23603	148,46963	90,74271	122,16276
1898,20053	69,90075	154,70263	122,1611	111,06013	117,10463
20,78253	82,93599	177,79469	128,94834	115,54888	73,73868
51,51495	19,19544	159,57806	176,07652	62,66638	47,16744
106,06163	39,59146	218,36697	112,57022	105,8549	81,4004
65,88105	13,12061	227,1763	107,88383	72,64765	68,35249
68,78216	52,95963	205,42023	137,63955	93,60645	102,95348
103,56332	66,94348	279,29186	127,96626	35,04112	117,96646
64,89766	68,6719	248,24721	95,32854	87,9808	157,40008
96,31945	91,19515	208,68703	69,37428	95,70034	190,24843
55,79594	77,05727	206,9735	131,1784	82,45417	226,3093
101,43939	161,26392	118,41202	81,24009	141,87408	324,28863
61,46591	85,16984	135,95197	63,36587	145,03304	304,39569
74,68625	112,13023	174,12947	117,58817	192,48997	344,57368
99,3848	139,64593	137,43121	65,91029	245,55278	394,55527
83,23916	180,41161	83,93216	126,44825	306,23495	473,46421
98,78535	171,19599	101,01761	135,64415	265,32923	458,80036
67,67162	226,2808	85,85154	136,2598	291,5774	456,60496
83,26003	250,97199	103,90064	159,78064	342,83013	486,99568
108,1845	210,90553	106,48424	195,4028	306,41732	455,09461
129,03856	263,43514	94,68039	154,77735	291,90808	539,82232
27,27426	219,26852	104,11122	184,17998	346,22115	439,98809
54,68883	269,46664	44,84352	202,28712	389,32493	474,02264
54,24281	275,18155	62,02381	171,01823	371,88358	447,02778
57,74701	273,89199	163,46598	184,9434	371,01287	285,24222
65,89851	280,31732	106,6988	253,30329	414,61511	463,65017
72,3962	237,69043	127,93452	239,69738	372,31746	437,88223
42,20584	237,72094	97,76743	261,38555	424,43155	426,38683
41,36649	238,2803	125,00973	258,67244	452,03972	404,24125
30,14906	195,87446	121,03184	327,82245	423,01325	411,41573
21,74156	220,67884	60,79679	295,18126	427,15796	425,05532
22,29169	197,16922	155,26438	293,75826	381,28334	458,1901
41,43443	239,74114	106,89107	282,76572	420,33738	420,48123
59,72216	215,06201	139,15732	237,13698	439,64771	505,5897
23,48071	103,16409	136,07133	292,27941	421,10911	456,90775
17,57055	191,7614	143,67387	226,96785	387,16813	451,47553
29,82657	192,96311	71,90598	270,91854	382,9779	446,61205

40,35359	162,07955	143,45195	266,99935	397,31162	473,27471
26,9563	165,85803	137,2492	263,29497	351,90419	522,0357
47,33714	184,12066	150,7102	290,26006	367,64715	489,32712
52,639	168,98974	80,61567	266,21647	419,5816	551,26939
38,625	142,90524	49,88804	276,97802	365,96793	557,43848
28,2975	153,61319	68,9248	267,06	417,2826	520,97542
24,57186	159,8239	31,75933	200,74021	394,62621	432,04986
35,35892	194,1508	90,99632	221,35364	379,57391	448,66064
42,8448	165,12583	146,81208	199,31138	329,00461	489,01083
23,21645	124,08541	97,12859	195,30834	344,03719	455,82964
28,66381	187,00224	124,39605	218,55905	374,12238	491,3117
31,74618	48,69272	122,31589	171,67532	300,50051	469,94352
29,37862	152,8302	115,01904	185,78524	277,32568	479,92917
21,84754	94,82717	119,53675	170,39195	256,2734	412,31234
23,2741	157,61457	105,18809	205,49295	252,91573	459,19327
73,2127	85,94297	92,90227	150,18891	216,61428	437,85402
57,8884	118,57302	146,70228	145,52905	204,05802	425,41195
7,80913	77,17758	152,68177	117,07054	148,38241	437,78191
38,55209	128,43733	229,01211	119,65286	140,52576	354,30431
36,198	39,11851	192,24753	103,50299	92,00249	335,52089
47,92394	4,58562	197,28971	70,31126	168,21751	311,58465
19,51704	38,42499	215,61827	122,81667	136,31784	238,46763
29,48954	14,48719	224,7284	104,85037	114,62089	214,92627
80,43895	16,25679	241,52046	111,63959	102,15526	222,23875
40,93706	5,26431	184,39417	81,71996	121,20551	206,67039
30,15035	63,0016	183,45464	153,95473	102,5449	207,74432
49,35321	75,64734	175,68612	169,27046	141,29769	134,03498
34,73625	29,12768	144,18234	90,93315	166,30651	138,76486
55,32042	50,76323	98,31525	161,33898	175,87847	162,34556
6,05883	19,12667	45,14905	123,99623	116,36402	49,67251
27,97014	97,5799	119,7495	140,23285	145,6067	76,33226
21,42605	35,27921	81,65619	132,2389	123,87261	55,00886
42,2294	48,30254	35,0296	134,70877	117,82779	96,09994
33,74792	35,83821	19,54024	180,64709	135,06011	64,40737
48,01392	57,25024	53,54367	101,35972	124,26155	63,42837
44,14609	28,74775	33,7587	133,09957	105,4353	77,77103
36,67734	30,97197	13,0337	70,94291	57,56255	89,82499
G	H	I	J	K	L
17,84678	64,56256	51,02201	55,02426	19,38451	45,05159
111,19124	26,94088	59,09957	15,91932	56,06555	38,988
73,12824	103,06949	80,77358	35,50765	89,92939	30,93616
69,0157	62,92177	111,30314	28,08736	67,32161	71,5767
91,76594	72,77877	40,73489	59,1815	27,39928	80,23076
108,22926	94,7494	24,77461	41,55299	82,09363	41,70761
39,82188	103,51988	105,1423	56,75129	21,00498	50,64755
52,27131	20,06593	69,01446	36,64794	24,92177	51,34364

107,57185	56,2127	18,14982	30,41587	72,96472	61,812
35,18711	65,10451	58,6204	73,11834	60,79512	69,57709
42,4249	123,28325	72,67315	58,46198	59,25243	43,41906
47,48485	72,64388	80,08498	53,42551	70,93567	98,09148
78,42571	71,87479	70,17298	48,80974	97,71194	68,93313
121,56108	83,31789	104,9687	75,22978	66,72757	41,54431
173,36144	100,34824	108,21102	111,53621	71,96265	63,46571
260,06131	187,5974	119,44222	109,8294	96,72875	102,16621
369,50106	242,98825	207,01399	148,36512	136,64732	50,29687
449,36413	324,90198	247,63671	274,16799	183,58808	108,52391
465,39427	429,61282	365,9325	307,05372	214,22961	150,99104
474,61121	410,58233	347,3802	404,56079	214,41352	142,12626
485,14972	460,11776	406,43139	417,81099	328,11318	221,1017
576,78083	510,57434	431,17035	415,67894	401,02183	278,02716
536,26726	522,37934	440,35565	502,57081	426,6576	238,21771
555,99991	557,19721	538,61019	533,88081	472,68384	375,13999
517,48769	590,83704	606,65928	570,82496	487,0159	387,16412
572,82993	567,2059	594,85214	559,24884	493,96994	507,29935
549,74732	555,32527	606,59853	552,24115	534,33052	543,37944
575,58158	605,81771	599,82842	570,62865	540,1101	540,09605
518,30141	565,38513	636,51523	639,86448	568,80447	583,00943
564,55642	574,11806	613,74231	658,47525	605,818	582,85082
532,76995	575,44059	647,09386	655,25445	659,97783	662,2536
464,01322	628,75695	657,25248	697,00872	684,5906	703,15077
454,10602	559,60681	715,55162	815,1958	731,46312	752,63783
505,17253	634,75302	714,61645	781,91054	828,99363	792,51136
506,85146	588,67094	798,81696	793,28396	820,21918	799,59254
503,47054	608,18782	717,27442	762,18734	836,33418	791,11585
517,4978	607,60816	760,67011	776,12105	795,47508	764,7567
549,61274	629,49449	775,6766	821,21477	801,03633	763,70473
546,38174	671,1175	774,13521	854,57967	775,6813	689,52493
541,74852	740,1742	729,75623	807,11169	768,33594	739,90877
645,01502	830,05696	859,25923	935,92724	824,39414	681,66085
591,49733	972,91792	969,09574	979,91939	922,67352	663,7031
719,81364	1105,83979	1097,88175	1154,85998	898,77571	646,95641
770,77307	1217,50689	1157,26912	1117,54154	921,75021	701,79204
792,65327	1362,65751	1348,98155	1115,00937	882,9058	770,42919
942,89458	1508,20281	1397,55007	1110,20802	871,31818	702,53898
896,90128	1424,39665	1456,88224	1104,08881	840,99885	758,16978
916,23471	1491,847	1421,00004	1015,15812	883,84538	779,41801
919,33236	1379,10694	1373,0562	1067,67983	875,29634	811,44518
880,42105	1313,99858	1274,15486	964,47742	823,23329	823,33057
783,02987	1176,82332	1187,80861	987,17884	858,83373	821,36439
730,95268	1107,9127	1116,65144	902,62203	823,64153	925,14231
773,57121	984,17859	946,91018	905,23016	830,22256	937,5038
618,32569	917,28664	935,69712	907,22022	871,76099	870,27811

449,58508	830,55578	819,17244	900,78768	899,21686	960,3984
552,92788	755,48665	828,0429	884,51179	926,11299	980,62869
544,16707	695,38915	770,41916	892,08497	1036,39162	1114,50269
487,94587	620,83787	744,23656	584,10105	961,65184	1109,28002
493,74863	586,23907	733,90832	975,55955	1139,6351	988,39107
491,32322	546,96889	682,85362	886,21001	1106,8275	998,91993
508,74963	486,20906	648,79817	971,47503	1012,6307	877,92656
446,31058	510,35216	632,81594	895,6549	919,99651	888,42768
443,29316	502,22625	675,62318	867,89345	841,83972	779,7836
472,14335	568,00181	653,91084	826,40797	802,16332	682,80625
414,37118	525,85148	575,03958	746,60294	791,55955	557,34625
380,16318	475,87281	625,52926	649,16454	638,4339	450,54386
368,90423	433,46251	519,15016	611,92449	500,27013	425,77575
358,90179	413,41373	442,57143	509,2906	472,99523	309,65571
235,88242	365,10324	408,61079	463,53519	431,38803	285,67695
277,26263	263,2653	321,11724	381,2001	276,64598	262,92183
253,37238	272,71805	301,64948	340,69004	204,49788	246,08503
159,78506	262,16493	198,46189	245,65375	234,61715	167,2227
119,38329	197,07563	220,61482	216,26963	138,06426	137,16049
124,73343	175,49348	154,11302	160,41224	96,12912	145,10691
140,48642	169,33259	108,84107	129,52677	78,96385	75,36885
103,02661	153,99078	123,4018	147,2636	85,75118	66,02772
77,93586	83,90001	84,59943	118,28782	43,14476	88,83272
118,03437	82,06107	87,21357	60,35879	10,75963	58,20015
32,50125	68,78368	33,09319	20,4704	58,07149	54,228
35,18848	41,92127	38,93543	25,26196	43,31484	55,95071
59,57702	33,75449	24,05891	67,35689	59,70002	53,56863
M	N	O	P		
61,72657	43,83038	19,31573	65,67233		
15,02033	71,7492	77,23238	159,04679		
100,59068	75,40649	109,34306	191,19249		
56,14297	88,10252	116,36581	218,27659		
75,89287	56,476	108,73012	292,37514		
101,15586	75,44476	162,5471	323,00069		
68,78297	97,12892	112,91203	330,51109		
61,85697	93,29537	112,99393	301,02878		
66,86194	30,54091	115,62721	263,55991		
110,75191	70,98785	157,06329	240,91184		
72,24612	115,25492	112,65206	278,02489		
76,91332	73,3893	83,7689	215,99988		
56,51929	16,29525	96,56624	207,355		
48,09939	64,28683	110,05216	178,68791		
42,53015	110,12317	95,93252	134,0797		
62,09638	29,28666	89,4708	120,42426		
102,23413	50,15633	109,67128	122,97556		
67,16932	65,80195	51,39415	111,58005		

81,85634	107,97773	81,69593	131,88546
68,06284	53,75784	81,8643	120,14685
88,7522	48,93768	121,85118	74,77468
103,36123	49,356	64,20968	108,18666
185,44266	86,59389	86,20837	144,16822
241,92251	69,36902	114,0367	114,07187
319,82262	115,89139	87,41436	118,53907
319,65906	228,7182	78,87551	99,72399
429,74922	254,35151	139,05315	95,2792
493,14411	309,06367	98,9209	70,66901
525,99892	385,32882	233,19626	99,15447
581,00567	475,26375	212,2674	109,16261
596,74529	526,16443	298,21983	109,32046
735,34777	617,35574	380,05311	166,13047
764,14686	695,56512	478,06062	337,68941
749,55432	871,55996	696,51704	442,83966
816,67835	924,23791	752,77449	552,15571
834,86949	930,64867	978,12	756,457
778,8138	990,11037	1009,76332	828,73195
796,13064	962,44679	1085,74006	972,92317
789,78933	952,1872	1090,74618	1012,36229
731,09894	914,03428	1233,74572	1150,44295
699,27099	640,96005	1339,24718	1221,58405
734,9763	1000,99064	1388,10523	1193,63221
705,90102	986,83129	1358,43573	1292,44974
655,74308	1005,10276	1488,36346	1270,79789
679,03171	1064,07093	1453,51186	1315,46737
790,43106	1060,0848	1428,25304	1227,24761
750,47087	1001,02694	1365,4387	1223,26392
804,11169	1075,44556	1459,02656	1053,51342
830,77327	1131,53221	1327,19702	946,21404
865,722	1083,52532	1218,85817	856,36127
878,15734	1057,61502	1092,77191	796,80936
861,78798	1044,43215	1005,27972	734,04906
828,36951	1001,14289	877,41704	561,10405
915,3383	899,38053	763,84198	495,02512
862,78926	846,52838	689,01345	456,26
883,23406	782,44732	587,33602	367,51302
834,20947	760,80418	483,40051	286,1417
866,87096	705,93214	482,53384	256,60585
756,14429	620,4501	353,98122	228,53688
719,60302	554,15613	329,0893	185,48363
675,59949	373,47227	261,9315	130,19764
607,14669	421,52714	211,5767	148,32595
518,82019	352,73729	183,98094	143,79736
471,40515	232,95211	174,90195	109,6188

457,13058	241,47302	127,91605	122,90962
311,64916	175,84121	70,33934	162,25089
272,94634	171,76029	115,23535	124,626
253,43145	122,93661	141,90696	130,52845
243,85178	193,40999	147,14917	140,2327
163,10152	115,25046	154,11715	129,36826
92,03093	147,95961	137,60027	206,7066
145,11695	106,04593	156,93728	202,59286
133,43468	124,04689	111,14445	278,63276
91,64014	118,12732	200,39616	631,24335
96,64938	55,00105	320,1307	1168,2553
88,80626	70,50267	363,58421	1417,9224
63,12643	94,72667	440,92292	1321,22065
84,57014	137,2254	562,20376	1172,80682
74,56834	132,34505	509,24861	1221,99352
73,4852	106,92153	426,12058	1118,90987
70,25027	122,23496	392,72181	828,08388

Participación con prototipo Congreso internacional de ingeniería electromecánica y de sistemas Octubre 17-21 CDMX



Trabajo aceptado en “9th International Conference on Photoacoustic and Photothermal Phenomena” Julio 16-20, 2017 Bilbao España

The image shows a screenshot of the website for the 19th International Conference on Photoacoustic and Photothermal Phenomena (ICPPP19-BILBAO). The website has a light blue and white color scheme. On the left, there is a navigation menu with the following items: HOME, COMMITTEES, TOPICS (highlighted with a right-pointing arrow), PROGRAMME, LOCATION, GENERAL INFO & CONTACT, ABSTRACTS, REGISTRATION, ACCOMMODATION, and PAPER SUBMISSION. The main content area features a header image of a modern building and the text "19th International Conference on Photoacoustic and Photothermal Phenomena. Bilbao. July 16-20, 2017". Below this, the section "TOPICS ICPPP19-BILBAO" is displayed, followed by a list of five topics:

01. Thermophysical Properties and Characterization of Materials.
02. Photoacoustics and Photothermal Imaging, Tomography, Microscopy, and Depth Profiling in Materials Research.
03. Photoacoustics and Photothermal Imaging in Biomedical Applications; Photothermal Therapy using Nanoparticles.
04. Non-Destructive Evaluation and Industrial Applications.
05. Infrared Thermography Applications.

Cronograma de actividades

Actividad	Semestre 1	Semestre 2	Semestre 3	Semestre 4	Semestre 5	Semestre 6
Cursar materias	X	X	X			
Elaboración de Capítulo 1	X	X	X			
Elaboración Capítulo 2		X	X			
Elaboración Capítulo 3			X	X		
Elaboración Capítulo 4 y				X	X	X
Artículo				X	X	X
Examen Predoctoral				X		
Examen de grado						X