



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



PROGRAMA DE POSGRADO EN INGENIERÍA DE SISTEMAS

“Efectos de la irradiación láser sobre la calidad fisiológica y sanitaria de
semilla de cebada maltera: un enfoque de sistémico y
transdisciplinario”

TESIS

Que para obtener el grado de

DOCTOR EN INGENIERÍA DE SISTEMAS

Presenta

M. EN C. MARÍA CRISTINA JULIA PÉREZ REYES

Directores

DRA. CLAUDIA HERNÁNDEZ AGUILAR
DR. ERNESTO MORENO MARTÍNEZ

CIUDAD DE MÉXICO, 2016

Efectos de la irradiación láser sobre la calidad fisiológica y sanitaria de semilla de cebada maltera: un enfoque sistémico transdisciplinario

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue contribuir al conocimiento de un método sostenible como la luz láser, que nos permita mejorar la calidad fisiológica y sanitaria de cebada (*Hordeum vulgare* L.), bajo la visión sistémica-transdisciplinaria, siguiendo el proceso de investigación: de campo, documental y experimental. Realizando diferentes actividades experimentales. En la primera actividad se realizó una investigación de campo sobre la situación actual de 21 muestras de cebada, destinadas a la industria maltera, forrajera y alimentaria en México, determinando la calidad física, sanitaria y presencia de micotoxinas. Los resultados mostraron que la calidad física (50%) de las muestras analizadas están por debajo del mínimo requerido con respecto al peso hectolítrico (56 kg/hL) y el 19% sobrepasaron el límite máximo de contenido de humedad de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-043-SCFI-2003. Los resultados del análisis de la microbiota endógena de las 21 muestras presentaron hongos de campo principalmente (*Alternaria* spp., *Fusarium* spp. y *Helminthosporium* spp.) y de almacén (*Aspergillus* spp. y *Penicillium* spp.) en la microbiota exógena. Estos hongos encontrados además de afectar la calidad de cebada, potencialmente algunos pueden producir micotoxinas, siendo un riesgo la salud humana y animal. Los resultados del análisis de micotoxinas mostraron que el 100% de las muestras resultaron positivas para fumonisinas totales (FUM) (niveles de 0.59 a 6.53 ppm) encontrando que el 66.6% de las muestras analizadas sobrepasaron los límites máximos permitidos para consumo humano (1 ppm) y animal (5 ppm en caballos) de acuerdo con la Unión Europea. Para aflatoxinas totales (AFs) el 19% presentó niveles (1 a 12.66 ppb) por debajo de los límites máximos permitidos de 20 ppb de acuerdo con la NOM-188-SSAI-2002 para cereales y con respecto al deoxinivalenol (DON) el 24% presentaron niveles (0.025 a 0.20 ppm), por debajo de los límites permitidos para consumo humano y animal de acuerdo al CODEX Alimentarius. Los resultados mostraron que algunas muestras de cebada podrían representar riesgo para la salud humana y animal. Otras actividades experimentales fueron llevadas a cabo, determinando el coeficiente de absorción óptica β en semillas de cebada de la variedad Esperanza bajo dos condiciones: teñida y sin teñir con azul de metileno, por medio de espectroscopía fotoacústica (PAS), y el efecto de la luz láser diodo de baja potencia, en semillas de cebada. Las semillas de cebada fueron irradiadas con luz láser en el espectro de luz roja a una longitud de onda de 650 nm y 27.4 mW, con diferentes tiempos de exposición (60, 120, 240 y 480 s) y un control no irradiado. Evaluando el efecto sobre la microbiota asociada en forma natural, germinación, longitud de plúmula y peso seco. Los efectos de la bioestimulación mostraron que las semillas teñidas resultaron ópticamente opacas, obteniendo una mayor absorción óptica a 650 nm, causando un aumento en los efectos de la estimulación láser. Los resultados experimentales mostraron que la mayor reducción en la microbiota fue \cong 44% comparada con el control, correspondió a la semilla irradiada con láser por 120 s. Los resultados también mostraron que la semilla teñida presentó un efecto positivo en la preservación de la calidad fisiológica de la cebada, presentando una tendencia al aumentar la germinación (96%) con respecto al control (91%) en 240 y

480s, en la longitud de plúmula y peso seco, el mayor efecto se observó a los 240s de exposición. De acuerdo con estos resultados podemos concluir que la irradiación láser puede ser un método alternativo para conservar la calidad sanitaria y fisiológica en cebada maltera. En la última actividad experimental harina de cebada maltera de la var. Esmeralda y var. Perla fueron irradiadas con luz láser en el espectro de luz roja a una longitud de onda de 650 nm y 27.4 mW, con diferentes tiempos de exposición (0, 120, 240, 480, 960 y 1920 s) observando una reducción importante a el número de bacterias mesófilas, siendo *Pseudomonas atrofaciens* la que presentó el mejor efecto a los 160s. Los mejores tiempos de exposición que presentaron una disminución sobre las bacterias totales fueron a los 960 y 1960 s de irradiación. Los datos fueron analizados por ANOVA con el programa SAS (Sistema de Análisis Estadístico). Los resultados obtenidos mostraron que el láser diodo puede ser una herramienta sostenible efectiva para aumentar la calidad fisiológica y sanitaria en la cebada.

Palabras clave bioestimulación laser; semillas de cebada; hongos asociados a semilla

“EFFECTS OF LASER IRRADIATION ON FISIOLOGICAL AND SANITARY QUALITY IN MALTED BARLEY SEED: UNDER TRANSDICIPLINARY SISTEMIC VISION”

ABSTRACT

The aim of the present work was to obtain knowledge sustainable method as laser light, which allows us to improve the sanitary and physiological quality, in Mexican barley (*Hordeum vulgare* L.) under transdisciplinary systemic vision, follow the research process: field, documental, and experimental research. Different experimental activities were developed in this research. The first activity was investigated the actual situation of 21 barley samples, used for malted, foods and feeds industry, determining the physical quality and natural occurrence of micobiota and mycotoxins. The results showed that physic quality (50 %) samples tested are below the minimum required hectoliter weigh and 19% exceeded humidity content with respect the Mexican Official Norm NMX-FF-043-SCFI-2003. The results of analysis of the endogenous mycobiota of the 21 samples presented field fungi associated (*Alternaria* spp., *Fusarium* spp. and *Helminthosporium* spp.), and mycobiota exogenous stored fungi (*Aspergillus* spp. and *Penicillium* spp.). These fungi found may affect the barley quality and potentially some may produce mycotoxins. The mycotoxins analyses results of these samples showed that 100% of the samples were positive for total fumonisins (FUM) (0.59 a6.53 ppm), showing that 66.6% of the samples exceeded the maximum limit for human (1ppm) and animal (5ppm in horses), according to the EU. For total aflatoxins (AFs) the 19% have levels (1 – 12.6 ppm), below the maximum allowable limits of 20 ppb according NOM-188-SSAI-2002, and with respect deoxinivalenol (DON) the 24% have levels (0.025-0.20 ppm), below the maximum allowable limits permissible for human and animal consumption according CODEX, Alimentarius. The results showed that some barley samples, poses a mayor risk for human and animal health, as a consequence, causes economic losses. Other experimental activities were carried out, determining the optical absorption coefficient β for barley malt seeds, Esperanza variety, in two conditions: seeds in their natural color (undyed) and seeds dyed with methylene blue by means of the photoacoustic spectroscopy (PAS) and the effect of low intensity diode laser light in malting barley seeds. Barley seeds were irradiated with laser beam in the spectrum of red light at a wavelength of 650 nm and 27.4 mW, with different exposure times (60, 120, 240 and 480 s) and a non-irradiated control. Evaluate the effects mycobiota naturally associated, germination, plumule length and dry weight. The biostimulation effects showed that the seeds samples become optical opaque, producing greater optical absorption at 650 nm which causes an increase in the effect of laser stimulation. The experimental results show that de biggest micobiota reduction was \cong 40% compared to the control, correspond to dyed seed irradiated with laser for 120 s. Two seeds dyed irradiation times of 120 and 240 s showed the best preserved sanitary seed quality, compared to the undyed seeds where the best exposure time was 480 s. The results also showed that the seed dyed present a positive effect preserved physiological seed quality malting barley presenting a high germination (96%) at 240 and 480s, an a high plumule length, dry weight and rate of development of seedlings at 240 s. From these results we conclude that laser irradiation could be an alternative method to preserve sanitary and physiological seed quality malting barley. In the last experimental activity barley flour var, Esmeralda y var. Perla were irradiated with laser beam in the spectrum of red light at a wavelength of 650 nm and 27.4 mW, with different exposure times (0, 120, 480, 960 y 1920 s), observing a reduction in mesophilic bacteria and *Pseudomonas*

atrofaciens present the best effect at 160 s. The best times of exposure irradiation for total bacteria were at 960 and 1960 s. Data was analyzed by ANOVA with SAS program (Statistical Analysis System). The results obtained show that the low intensity diode laser, can be effective sustainably tool for increased sanitary and physiological quality in barley.

Keywords Laser biostimulation; barley seeds; associated seed f

ÍNDICE

ÍNDICE	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xvi
GLOSARIO	xxvii
LISTA DE ACRÓNIMOS	xxiv
INTRODUCCIÓN	1
i 1. Presentación del proyecto de tesis	2
ii 2. Estructura de la tesis	7
CAPÍTULO 1. CONTEXTO Y FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	
1.1 Contexto Físico	11
1.2 Contexto histórico de la sistémica	21
1.2.1 Transdisciplinariedad	14
1.2.2 Sistémicos en la historia	21
1.3 Contexto Histórico de la Cebada	21
1.4 Contexto histórico de la cerveza	31
1.4.1 Industria cervecera en México	33
1.4.2 Procesos de elaboración de cerveza	33
1.4.3 Propiedades de la cerveza	34
1.5 Usos de la cebada	36
1.6 Calidad de semilla	23
1.6.1 Calidad física	
1.6.2 Calidad fisiológica	23
1.6.3 Calidad genética	20
1.6.4 Calidad sanitaria	32
1.6.4.1 Hongos de campo	32
1.6.4.2 Hongos de almacén	33
1.6.4.3 Hongos de deterioro avanzado	34
1.6.5 Micotoxinas	42
1.6.5.1 Aflatoxinas	40
1.6.5.2 Ochratoxina A	43
1.6.5.3 Fumonisinias	44
1.6.5.4 Deoxinivalenol	45
1.6.5.5 Zearalenona	45
1.6.5.6 Alternariol y otras micotoxinas	45
1.7 Métodos de control	46
1.8 Aplicación del Láser en la Agricultura	50
1.8.1 Efecto del láser en la agricultura	52

1.9 Contexto social	54
1.9.1 Enfermedades no transmisibles	54
1.9.2 Micotoxinas y seguridad alimentaria	60
1.10 Justificación	63
1.11 Objetivo general	65
1.11.1 Objetivos particulares	65
1.12 Hipótesis	65
1.13 Tabla de congruencias	78
1.14 Originalidad del proyecto de investigación	79

CAPÍTULO 2. MARCO METODOLÓGICO Y TEÓRICO

2.1 Marco metodológico	78
2.2 Fase 1. Investigación de campo	80
2.3 Fase 2. Investigación del sujeto que investiga	81
2.4 Fase 3. Investigación experimental	84
2.5 Actividad 0	86
2.5.1 Actividad 0. Conocimiento de la situación actual de cebada	88
2.5.1.1 Caracterización física	88
2.5.1.2 Determinación de la calidad sanitaria	69
2.5.1.3 Determinación de micotoxinas	70
2.6 Actividad 1. Caracterización física y óptica de cebada Var. Esperanza	91
2.6.1 Caracterización física	91
2.6.2 Caracterización óptica	92
2.7 Actividad 2. Caracterización de cebada maltera Var. Esperanza Tratada con luz láser teñida y sin teñir y determinación de la calidad sanitaria	93
2.8 Actividad 3. Caracterización de cebada Var. Esperanza tratada con luz láser sin teñir y teñida con azul de metileno y determinación de la calidad fisiológica	94
2.9 Actividad 4. Caracterización microbiológica de harina de cebada var. Esmeralda y var. Perla tratada con luz láser	95
2.10 Fase 4. Investigación de impacto del el mundo real	96
2.10.1 Marco Teórico	96
2.10.2 Pensamiento sistémico	96
2.10.3 Transdisciplinariedad	96
2.10.4 Física	97
2.10.5 Luz láser	97
2.10.6 Biología	97
2.10.7 Micología	97
2.10.8 Fitopatología	98
2.10.9 Estadística	98
2.10.10 FODA	98

CAPÍTULO 3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

3.1 Fase I. Investigación de campo y focalización del problema	79
3.1.1 Conocimiento del problema a nivel mundial	79
3.1.2 Conocimiento del problema a nivel nacional	82
3.1.3 Actividad Experimental 0. Análisis de situación actual evaluando la micobiota y micotoxinas de 21 muestras de cebada	84
3.1.3.1 Introducción	
3.1.3.2 Objetivo	86
3.1.3.3 Hipótesis	86
3.1.3.4 Materiales y métodos	86
3.1.3.4.1 Determinación de características físicas	86
3.1.3.4.2 Determinación de la micobiota endógena	87
3.1.3.4.3 Determinación de la micobiota exógena	88
3.1.3.4.4 Determinación de micotoxinas	88
3.1.3.5 Resultados	90
3.1.3.5.1 Características físicas	90
3.1.3.5.2 Micobiota endógena	91
3.1.3.5.3 Micobiota exógena	94
3.1.3.5.4 Micotoxinas	
3.2 Fase 2. Sujeto que investiga	99
3.3 Fase 3. Investigación Experimental	100
3.3.1 Actividad Experimental 1. Efecto de la estimulación láser sobre la calidad sanitaria de cebada maltera variedad Esperanza	101
3.3.1.1 Introducción	101
3.3.1.2 Objetivo	101
3.3.1.3 Hipótesis	101
3.3.1.4 Materiales y Métodos	101
3.3.1.4.1 Calidad Física	102
3.3.1.4.2 Cribado y medición del grano	102
3.3.1.4.3 Peso hectolítrico	102
3.3.1.4.4 Contenido de humedad	102
3.3.1.4.5 Caracterización óptica	103
3.3.1.4.6 Tratamiento con luz láser cebada maltera sin teñir y teñida	103
3.3.1.4.7 Calidad sanitaria	103
3.3.1.5 Resultados	104
3.3.1.5.1 Caracterización física	105
3.3.1.5.2 Medición y caracterización óptica	106
3.3.1.5.3 Efecto de la luz láser sobre el desarrollo de hongos en cebada maltera sin teñir	107
3.3.1.5.4 Efecto de la luz láser sobre el desarrollo de hongos en cebada maltera teñida	109
3.3.1.5.5 Efecto de la luz láser sobre el desarrollo de hongos en cebada maltera sin teñir y teñida	111
3.3.2 Actividad Experimental 2. Efecto de la estimulación láser sobre la calidad fisiológica de cebada maltera variedad Esperanza	112
3.3.2.1 Introducción	112

3.3.2.2	Objetivo	113
3.3.2.3	Hipótesis	113
3.3.2.4	Materiales y Métodos	113
3.3.2.5	Prueba de vigor y germinación estándar	114
3.3.2.6	Prueba de peso seco	115
3.3.3	Resultados	114
3.3.3.1	Efecto de estimulación láser sobre la calidad fisiológica de cebada maltera natural	115
3.3.3.2	Efecto de estimulación láser sobre la calidad fisiológica de cebada maltera teñida	116
3.4	Fase 4. Investigación de impactos	119
3.4.1	Actividad Experimental 3. Efecto de estimulación láser sobre la calidad sanitaria de	119
3.4.1.1	Introducción	119
3.4.1.2	Objetivos	121
3.4.1.3	Hipótesis	121
3.4.1.4	Materiales y métodos	121
3.4.1.4.1	Tratamiento de harina Var. Esmeralda y Perla con luz láser	121
3.4.1.4.2	Determinación de microbiota en cebada Var. Esmeralda y Perla	121
3.4.1.5	Resultados	122
4.1.5.1	Experimento 1. Harina de cebada maltera Var. Esmeralda tratada con luz láser	123
4.1.5.2	Experimento 2. Experimento 1. Harina de cebada maltera Var. Esmeralda tratada con luz láser	123
4.1.3.3	Experimento 1. Harina de cebada Var. Perla tratada con luz láser	124
4.1.5.4	Experimento 2. Harina de cebada Var. Perla tratada con luz láser	125
CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y PERSPECTIVAS PARA FUTUROS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN		
4.1	Discusión	128
4.1.1	Investigación de campo	128
4.1.2	Efecto de la luz láser sobre la calidad sanitaria de cebada teñida y sin teñir	130
4.1.3	Efecto de la luz láser sobre la calidad de cebada maltera teñida y sin teñir	134
4.1.4	Efecto de la luz laser, sobre la calidad microbiológica de harina de cebada de la var. Esmeralda y var. Perla	
4.2	Conclusiones	136
4.2.1	Investigación de campo y caracterización del problema	136
4.2.2	Caracterización física y óptica del grano de cebada maltera de la variedad Esperanza teñida y sin teñir	137
4.2.3	Efecto de la luz láser sobre la calidad sanitaria de cebada maltera teñida y sin teñir	

4.2.4 Efecto de la luz láser sobre la calidad fisiológica de cebada maltera sin teñir y teñida.	137
4.2.5 Determinación del efecto de la luz láser sobre microbiota en harina de cebada var. Esmeralda y var. Perla	137
4.3 Perspectivas para futuros trabajos de investigación	140
4.4 Aportaciones científicas de la investigación	141
4.5 Referencias bibliográficas	142
4.6 Anexos	164

ÍNDICE DE FIGURAS

No.	Descripción	Pág.
	Introducción	
0.1	Cuatro fases generales del proceso de investigación	
0.2	Capitulado del trabajo de tesis	

	Capítulo 1. Contexto y fundamentos de la investigación	
1.1	Contexto físico de la ubicación de la investigación	
1.2	Sistémicos en la historia	
1.3	Domesticación de cereales	
1.4	Producción de cebada maltera	
1.5	Superficie sembrada de cebada maltera por Estado	
1.6	Valor de Producción y Rendimientos de Cebada	
1.7	Superficie, Volumen de Producción e Importaciones de Cebada en México	
1.8	Algunos de los intervalos de tiempos de diferentes láseres aplicados como tratamiento de semilla y plántulas	
1.9	Algunos de los intervalos de tiempos de diferentes láseres aplicados como tratamiento de semilla y plántulas	

	Capítulo 2. Marcos metodológico y teórico	
2.1	Metodología transdisciplinaria: Fases	
2.2	Focalización de la Problemática del Mundo Real	
2.3	Visión rica de investigación del sujeto que investiga	
2.4	Pasos fundamentales en el proceso de investigación transdisciplinaria	
2.5	Etapas importantes para el desarrollo de la fase experimental	
2.6	Actividades Experimentales empleadas para conocer la situación actual de cebada en México destinada a diferentes usos.	
2.7	Metodología empleada para el análisis de la situación actual de la microbiota de cebada en México destinada para alimentación humana y animal.	
2.8	Determinación de la calidad física de muestras de cebada maltera.	
2.9	Caracterización óptica de semilla de cebada Var. Esperanza teñida y sin teñir	

2.10	Determinación de Micobiota presente en cebada var. Esperanza taratada con luz láser.	
2.11	Tratamiento de semilla de cebada teñida y sin teñir tratada con luz láser y determinación de la calidad fisiológica.	
2.12	Disciplinas para dar soporte para dar soporte a la investigación sistémica transdisciplinaria	

	Capítulo 3. Aplicación de la Metodología	
3.1	Producción de Cebada en la República Mexicana de 1980-2014	
3.2	Situación en el tiempo de: a) Superficie Sembrada (SS); b) Superficie Cosechada; c) Valor de la Producción (VP) y Volumen de producción de 1980-2014	
3.3	Fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas del sujeto que investiga	
3.4	Espectro fotoacústico de cebada natural (sin teñir) y teñida con azul de metileno	
3.5	Coeficiente de absorción óptico (β) y longitud de penetración óptica (l_{β}) como función de la longitud de onda de las óptica como función de la longitud de onda de las muestras de: cebada natural y teñida.	
3.6	Porcentaje de la micobiota presente en el grano de cebada normalizada, tratada con cuatro tiempos de exposición con luz láser (0 control, 60, 120,240 y 480s) sin teñir y teñida	
3.7	Germinación y peso seco de cebada maltera irradiada con luz láser en forma natural y teñida	
3.8	Longitud media de plúmula e índice de evaluación de plántula de cebada maltera irradiada con luz láser en forma natural y teñida	
3.9		
3.10	Sistema jerárquico de producción de cebada maltera	
3.11	Sistema de producción cerveza a nivel industrial	

	Capítulo 4. Discusión, Conclusión y perspectivas para futuros trabajos	
	ANEXO A	

ÍNDICE DE TABLAS

No.	Descripción	Pág.
	Introducción	
0.1		xxv

	Capítulo 1. Contexto y fundamentos de la investigación	
1.1	Atributos de las cuatro cualidades de las semillas	
1.2	Métodos aplicados para control de fitopatógenos	
1.3	Tasa de morbilidad hospitalaria en población de 0 a 19 años por principales tumores malignos, según grupo quinquenal para cada sexo (INEGI, 2016).	
1.4	Tasa de mortalidad en población de 0 a 19 años por principales tumores malignos según sexo (INEGI, 2016).	
1.5	Tasa de morbilidad hospitalaria en población de 20 años y más por tumores malignos, según grupo de edad para cada tipo de cáncer y sexo (INEGI 2016).	
1.6	Tasa de mortalidad en población de 20 años y más por principales tumores malignos, según sexo (INEGI, 2016).	
1.7	Resumen de las evaluaciones realizadas por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) relacionadas con las principales micotoxinas	
1.8	Tabla de Congruencias	
1.9	Efectos de la luz láser en cereales	

	Capítulo 2. Marcos metodológico y teórico	
2.1	Características de 21 muestras de cebada empleadas para consumo humano, animal e industria cervecera.	
2.3		
2.4		
	Capítulo 3. Aplicación de la Metodología	
3.1	Caracterización del tamaño del grano de 21 muestras de cebada maltera	
3.2	Determinación de la microbiota endógena de hongos de campo en 21 muestras de cebada	
3.3	Micobiota exógena de muestras evaluadas de cebada hongos de	

	campo	
3.4	Micobiota exógenas de muestras evaluadas de cebada hongos de almacén	
3.5	Micobiota exógena de muestras evaluadas de cebada, hongos de deterioro avanzado	
3.6	Micotoxinas determinadas en 21 muestras de cebada destinadas para consumo humano y animal.	
3.7	Diferencias fundamentales entre el enfoque analítico y el enfoque sistémico	
3.8	Determinación de características físicas en cebada variedad Esperanza	
3.9	Comparación de medias de los parámetros físicos de semilla de cebada en dos condiciones (CN y CT),	
3.10	Cuadrados medios y probabilidad del efecto de la luz láser sobre la micobiota en cebada maltera sin teñir.	
3.11	Comparación de medias del efecto de la luz láser sobre la micobiota de cebada sin teñir.	
3.12	Cuadrados de medios, probabilidad y análisis de varianza del efecto de la luz sobre la micobiota de cebada maltera teñida.	
3.13	Comparación de medias del efecto de la luz láser sobre la micobiota de cebada maltera teñida.	
3.14	Cuadrados medios y probabilidad y análisis de varianza del efecto de la luz láser en cebada maltera natural.	
3.15	Comparación de medias del efecto de la luz láser sobre la calidad fisiológica en cebada maltera natural.	
3.16	Cuadrado de medias, probabilidad y análisis de varianza del efecto de luz láser en cebada maltera teñida	
3.17	Comparación de medias del efecto de la luz láser sobre la calidad fisiológica en cebada maltera teñida	
3.18	Experimento 1. Tratamiento de harina de la var. Esmeralda con luz láser	
3.19	Experimento 2: Harina de cebada maltera var. Esmeralda tratada con luz láser	
3.20	Efecto de la luz láser en harina de cebada maltera var. Perla	
3.21	Experimento 2: Efecto de la luz láser en harina de cebada maltera var. Perla	
	Capítulo 4. Discusión, Conclusión y perspectivas para futuros trabajos	
4.1	Cumplimiento de los objetivos de Investigación	

GLOSARIO

Glosario de Términos

1. **Actitud transdisciplinaria:** presupone “pensamiento y experiencia interior, ciencia y conciencia, efectividad y afectividad (Basarab, 1998).

2. **Antropometría:** Utilización de las medidas del cuerpo humano para obtener información acerca del estado nutricional (FAO, 2014).

3. **Cebada maltera de dos hileras:** son las variedades de cebada maltera *Hordeum distichum* L., a la que se refiere la norma nacional mexicana que tiene dos hileras de grano en la espiga (NMX-FF-043-SCFI-2003).

4. **Cebada maltera de seis hileras:** son las variedades de cebada maltera *Hordeum vulgare* L., a la que se refiere la norma nacional mexicana que tiene seis hileras de grano en la espiga (NMX-FF-043-SCFI-2003).

5. **Conocimiento sistémico:** es la comprensión de que todo es una unidad, que todas las disciplinas y conocimientos científicos que ha adquirido el ser humano, proceden de un sistema general y cuando se entrelazan ayudan a comprender el funcionamiento y objetivo de ese único sistema (O'Connor y Mc Dermott, 1998).

6. **Disciplinarietà:** El conocimiento humano está esencialmente estructurado alrededor de las disciplinas. Una disciplina puede ser descrita como un conjunto de conocimientos relativo a un campo de la actividad humana o fenómeno del mundo, con un núcleo organizador conocido como el objeto de estudio de la disciplina (Morin *et al.*, 1996).

7. **Epistemología:** Estudio del origen, naturaleza y validez del conocimiento. La epistemología es una rama de la filosofía que se ocupa del fundamento, los límites y la metodología del conocimiento (Morin *et al.*, 1996).

8. **Epistemología de la complejidad:** se orienta por el principio dialógico de orden/desorden/organización, como proceso fundamental en la emergencia del conocimiento como fenómeno (Morin *et al.*, 1996).
9. **Fungicida:** cualquier sustancia natural o sintética, capaz de matar o destruir hongos, como los químicos captán, maneb, tiabendazole y otros (Ulloa y Hanlin, 2006).
10. **Fúngico:** propio de hongos o relativo a ellos: por ejemplo especie fúngica (Ulloa y Hanlin, 2006).
11. **Fungistático:** cualquier sustancia natural o sintética que inhibe la esporulación o crecimiento de un hongo pero no lo mata (Ulloa y Hanlin, 2006).
12. **Grano dañado:** comprende a todos los granos que presentan alteraciones y que se detectan visiblemente, producidas por calor, insectos, microorganismos, inmaduros, germinados y dañados por factores meteorológicos (NMX-FF-043-SCFI-2003).
13. **Grano quebrado:** son pedazos de grano que habían quedado clasificados dentro del tamaño para uso maltero (NMX-FF-043-SCFI-2003).
14. **Germinación:** en cebada maltera es la aptitud del grano para iniciar el desarrollo de su embrión (NMX-FF-043-SCFI-2003).
15. **Humedad:** es el agua que contiene el grano expresada en porcentaje (NMX-FF-043-SCFI-2003).
16. **Impureza:** cualquier cuerpo o material extraño, distinto al grano de cebada (NMX-FF-043-SCFI-2003).
17. **Inseguridad alimentaria.** Situación que se da cuando las personas carecen de acceso seguro a una cantidad de alimentos inocuos y nutritivos suficiente para el crecimiento y desarrollo normales así como para llevar una vida activa y sana.

Las causas son múltiples: no disponibilidad de alimentos, poder adquisitivo insuficiente, distribución inapropiada o uso inadecuado de los alimentos en el interior del hogar. La inseguridad alimentaria, condiciones de salud y saneamiento deficientes así como prácticas de cuidados sanitarios y alimentación inadecuadas son las principales causas de un mal estado nutricional. La inseguridad alimentaria puede ser crónica, estacional o transitoria (FAO, 2014).

18. Interdisciplinariedad: según Basarab Nicolescu, tiene una meta distinta a la multidisciplinariedad. Tiene que ver con la transferencia de métodos de una disciplina a otra. También desborda las disciplinas, pero su meta todavía permanece dentro del marco de la investigación transdisciplinaria (Morin *et al.*, 1996).

19. Micobiota: vida fúngica; conjunto de hongos indígenas de un lugar o hábitat (Ulloa y Hanlin, 2006).

20. Micotoxicosis: intoxicación provocada por la ingestión de alimentos contaminados con la toxinas (micotoxinas), producidas por diversas especies de mohos, principalmente de los géneros *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium* (Ulloa y Hanlin, 2006).

21. Micotoxina: toxina producida por un hongo especialmente que afecta a humanos y animales superiores, en los que puede causar micotoxicosis (Ulloa y Hanlin, 2006).

22. Micronutrientes: vitaminas, minerales y determinadas otras sustancias que el organismo necesita en pequeñas cantidades. Se miden en miligramos o microgramos (FAO, 2014).

23. Multidisciplinariedad: según Basarab Nicolescu, concierne al estudio de un tópico de investigación, no solo mediante una disciplina individual, sino mediante el prisma de varias disciplinas al mismo tiempo (Morin *et al.*, 1996).

24. Mundo real: el concepto del mundo real, está sustentado en la creencia de que el mundo que creamos con los otros, es un mundo humano y, en ese sentido, un mundo real para los humanos. Un mundo preñado de incertidumbre

caracterizado por la triada orden-desorden-organización como proceso fundamental que hace posible la concepción de una realidad estructurada en niveles imbricados con diversos niveles de complejidad, donde el conocimiento que de él emerge está caracterizado por su incompletud fundamental (Morin *et al.*, 1996).

25. Pensamiento complejo: Es una forma de pensar lo humano, el conocimiento y el mundo en su unidad fundamental, a partir de la diversidad (Morin *et al.*, 1996).

26. Peso hectolítrico: es el peso de un hectolitro de grano expresado en kilogramos, de la muestra original libre de impurezas (NMX-FF-043-SCFI-2003).

27. Seguridad alimentaria: estado, con una duración de al menos un año, de incapacidad para adquirir alimentos suficientes, que se define como un nivel de ingesta de alimentos insuficiente para satisfacer las necesidades de energía alimentaria. A los efectos del presente informe el hambre se define como sinónimo de subalimentación crónica (FAO, 2014).

28. Transdisciplinariedad: aquello que se sitúa a la vez entre las disciplinas (interdisciplinariedad), a través de las disciplinas (pluridisciplinariedad) y más allá de las disciplinas (transdisciplinariedad) cuya finalidad es la comprensión del mundo presente a partir de la unidad del conocimiento (Basarab, 1993).

LISTA DE ACRÓNIMOS

ASERCA: Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria

ANOVA: Análisis de Varianza

CANICERM: Cámara Nacional de la Industria de la Cerveza y de la Malta

CINVESTAV: Centro de Investigación y Estudios Avanzados

CF: Celda Fotoacústica

CN: Cebada natutal

CT: Cebada teñida

D F: Distrito Federal

DMS: Diferencia Mínima Significativa

DON: Deoxinivalenol

ESIME: Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

FENALCE: Federación Nacional de Cultivadores de Cereales

FESC: Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

FIRA: Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura

FND: Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero

FODA: Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas

He-Ne: Helio-Neón

IASA: Impulsora Agrícola, S.A.

INIFAP: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

LSD: Diferencia Mínima Significativa

NMX-FF-043-SCFI-2003:

ODM: Objetivo de Desarrollo del Milenio

PDA: Papa Dextrosa Agar

PROCAMPO: Programa de Apoyos Directos al Campo

SAGARPA: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación

SIAP: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera

SIEM: Sistema de Información Empresarial Mexicano

SNICS: Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas

UNAM: Universidad Nacional Autónoma de México

UV: Ultravioleta

USDA: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos

Introducción

INTRODUCCIÓN

i.1 Presentación del Proyecto de Tesis

En la agricultura se requiere el uso racional de los recursos naturales, lo cual ha demandado a nivel mundial se implementen métodos sostenibles que aumenten la calidad y cualidades de las plantas (Podleśny y Podleśna, 2004). Actualmente se conocen métodos químicos, físicos y fisiológicos implementados para mejorar el establecimiento y crecimiento de cultivos, así como para el control de enfermedades. En el caso de semillas, el método más empleado es el uso de agroquímicos (Dehne y Oerke, 1998). Estos químicos, son eficientes sin embargo, pueden causar un impacto negativo al medio ambiente y el hombre, ya que presentan ingredientes activos que pueden causar efectos adversos en las semillas dejando residuos tóxicos, modificando composición química y también causar contaminación de suelo (Podleśny y Podleśna, 2004). Por lo que en años recientes se ha puesto mayor atención en métodos físicos que presentan efectos favorables en materiales de propagación y plantas cultivadas (Drozd, 1994; Olchowiak y Dziamba, 1994; Phirke *et al.*, 1996; Pietruszewski, 1993). Uno de los métodos físicos que ha sido probado para el tratamiento de material de propagación, como las semillas es la luz láser (Inyushin *et al.*, 1981; Podleśny *et al.*, 2012; Hernández *et al.*, 2011).

La luz juega un papel crítico en algunas funciones metabólicas de las plantas, como la fotosíntesis, fototropismo, fotomorfogénesis y fotosíntesis de carotenos (Musynski y Gladyszewska, 2008). Es claro, que las semillas también responden a la luz con una serie de reacciones complejas, dependiendo de la longitud de onda aplicada, la duración del tiempo de exposición, intensidad de la luz; así como la absorción de luz por las semillas (Shinomura *et al.*, 1996; Hartman y Mollwo, 2000).

Algunos autores han demostrado que el proceso de germinación es sensible a la irradiación a diferentes longitudes de onda en el rango de la luz visible, rojo e infrarrojo (Musynski y Gladyszewska, 2008). Durante la etapa de pre-siembra la exposición de semillas a luz láser se ha reportado el disparo de diversas reacciones biológicas, como cambios electroquímicos, bioquímicos y propiedades ópticas durante los procesos de

germinación y crecimiento de las plantas (Gladyszewska y Koper, 2000; Podlesny *et al.*, 2001; Han *et al.*, 2002; Rubinov, 2003; Salyaev *et al.*, 2003; Chen *et al.*, 2005; Samuilov and Garifullina, 2007; Wu, 2007). El rompimiento de latencia y estimulación de la germinación basada en pre-tratamientos con luz láser ha sido demostrado en granos de cereales y semillas vegetales, sugiriendo las evidencias científicas que existen efectos significativamente positivos mejorando las cualidades en productos cosechados, como semillas de mostaza (Anghel *et al.*, 2000), maíz (Hernández *et al.*, 2006), trigo (Ferdosizadeh *et al.*, 2013) frijol (Sánchez *et al.* 2014). Así mismo, la luz láser se ha aplicado para proteger a las plantas contra enfermedades causadas por hongos (Ouf y Hady, 1999; Wilczek *et al.*, 2004; Starzycki *et al.*, 2005).

En México y el mundo, uno de los cultivos de importancia es la cebada (*Hordeum vulgare* L.) es un cereal de grano pequeño, empleado principalmente como materia prima en la elaboración de cerveza y forraje y en menor proporción para humano (Galarza *et al.*, 2006). Durante su cultivo en campo, hasta su conversión en malta o bien hasta su consumo como alimento para humanos y animales, los granos de cebada se encuentran expuestos a la contaminación por una gran diversidad de microorganismos, entre éstos los hongos que les causan deterioro reduciendo su calidad sanitaria y biológica (Magan *et al.*, 2011). El grado de contaminación depende de las condiciones climáticas a nivel de campo y de las condiciones de almacenamiento y procesamiento poscosecha (Moreno, 1996). La pérdida en los cultivos debido a plagas y enfermedades en los años 90's a nivel mundial potencialmente era del 50% en cebada y más del 80% en algodón y remolacha. En los últimos años debido a la implementación de nuevas tecnologías en la agricultura, las pérdidas se estiman entre un 26 a 30% para los cultivos de remolacha, cebada, sorgo, trigo y algodón, y en un 35, 39 y 40% para maíz, papa y arroz respectivamente (Popp y Hantos, 2011). En orden de importancia las malas hierbas ocupan el primer lugar en cuanto a pérdidas causadas en el cultivo de cebada de un 23%, seguido por los hongos fitopatógenos en un 15%, las plagas en un 7% y los virus un 3% (Oerke y Dehne, 2004). La contaminación de la cebada por hongos, además de causar la pérdida de la calidad del producto, conlleva a importantes pérdidas económicas y a un riesgo sanitario para los consumidores ya sean humanos o animales, debido al potencial de algunas especies de hongos para producir micotoxinas y afectar la producción de cerveza provocando olores y sabores

desagradables y el fenómeno de gushing (Rabie *et al.*, 1997; Magan *et al.*, 2011). El fenómeno conocido como “gushing” se caracteriza por la formación de un gran número de burbujas en todo el líquido, causando una ascensión rápida de la espuma y el derramamiento de la cerveza, provocando importantes pérdidas económicas (Vaag, 1985; Haikara, 1983). Así mismo, el grano requerido por la industria maltera debe reunir una serie de características importantes para su comercialización como: alto volumen y peso del grano, el peso hectolítrico para cebada de dos hileras es de 56 kg/hl y para seis hileras 58 kg/hL, alta germinación (85%), contenido de humedad entre 11.5 y 13.5, buena calidad sanitaria, grano dañado (10%), granos desnudos y quebrados (5%), libre de impurezas (2%) (NMX-FF 043 SCFI-2003). Dichos estándares generalmente no son logrados por muchos productores, debido principalmente a la baja precipitación, que oscila entre los 250 a 450 mm durante del ciclo de cultivo, a la baja capacidad de retención de humedad de los suelos y a deficiencias en el manejo del cultivo (Medina *et al.*, 2003).

La implementación de un método físico como la luz láser es importante para la industria cervecera ya que se pretende obtener grano de cebada con mejor calidad sanitaria, reduciendo potencialmente la presencia de micotoxinas en el producto final “cerveza” y evitar el fenómeno de “gushing” y además al aumentar la germinación de la cebada, durante el proceso de malteado el embrión (o germen) de los granos brote de manera controlada, activando las enzimas que comienzan a convertir el almidón en azúcar, maximizando el rendimiento del extracto de malta y proceso de destilación. Para los productores agrícolas de cebada maltera, con este tipo de pre-tratamiento podrían asegurar que sus cosechas, cumplan con las exigencias del mercado nacional en cuanto a calidad de la cebada para la producción de malta. Obteniendo un grano que cumpla con los estándares mínimos de calidad física, fisiológica y sanitaria. Además, para la industria harinera y alimentaria el mejorar la calidad del grano podría reducir la contaminación con microbiota nociva y evitar alteraciones en las características organolépticas durante la manufactura de sus productos.

La cebada es un cultivo resistente a la sequía a diferencia de otros cereales como el trigo; sin embargo requiere de mayor cantidad de agua al principio de su desarrollo, en la etapa final ese requerimiento es menor. Su rendimiento tiene que ver con el tipo de

terreno: se puede desarrollar en suelos fértiles, pero también en suelos poco profundos y pedregosos; en terrenos arcillosos no se desarrolla adecuadamente. También hay otros factores que inciden en el rendimiento y en la cantidad de proteína, como el uso de fertilizantes, las horas luz y las variedades de semilla utilizadas (Aguado Santa Cruz, 2008; Galarza-Mercado *et al.*, 2006).

Las principales zonas productoras de cebada en México se encuentran en el centro del país, principalmente en los estados de Hidalgo, Tlaxcala, Guanajuato, Estado de México y Puebla que en conjunto aportaron el 92% del volumen y valor generado en el 2013. En el período 2003 al 2013 la superficie sembrada de este cultivo cayó en cerca de 14.9%, alcanzando en los últimos años 320,000 hectáreas. Debido a que la superficie es principalmente de temporal la siniestralidad llega a ser alta cuando existen condiciones climáticas adversas como se observó en el año 2009 y 2011 en donde la sequía ocasionó la pérdida del 28 al 35% de la superficie sembrada respectivamente. La producción presenta así gran variabilidad, mientras que en el 2003 se alcanzó una producción de 1.1 millones de toneladas con un valor de 1,787 mdp, en 2013 se alcanzó cerca de la mitad, 594 mil toneladas con un valor de 2,153 mdp (FND, 2014). Sin embargo, la producción de cebada no satisface las necesidades de la industria nacional, por lo que se ha tenido que importar grano y malta principalmente de Estados Unidos de Norteamérica y Canadá (Islas *et al.*, 2008). En el 2013 las importaciones llegaron a un 10% total del consumo aparente esto es 67 mil toneladas, con un valor de 25 mdd (FND, 2014). El incremento de la producción especialmente en zonas de temporal hace necesario la obtención de variedades con mayor rendimiento, tolerancia a las principales enfermedades, calidad maltera y cervecera (Zamora-Díaz *et al.*, 2008).

Por lo que es importante la obtención en México de semilla y grano de cebada con buena germinación, homogénea y de alta calidad. La calidad de semillas siempre ha sido un término empleado para decir que semilla es “buena” en toda la extensión de la palabra; y esta es medible cuando en el campo hay un buen establecimiento de plantas y abundantes cosechas y para garantizar lo anterior es recomendable estar conscientes de la calidad de la semilla que es expuesta al mercado; para ello se requiere determinar las condiciones físicas tales como contenido de humedad y pureza; y fisiológicas como porcentaje de germinación y vigor (Andrío y Cortez, 2000). En el caso de la cebada

maltera éstos atributos son indispensables para que pueda ser comercializada por los productores y aceptada por la industria cervecera, sin embargo, cuando el grano no cumple con un 85% de germinación de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-FF-O43-SCFI-2003 (Secretaría de Economía, 2003), este es rechazado por la industria cervecera y se utiliza para consumo animal, por lo que el precio comercial se reduce considerablemente y esto representa pérdidas importantes para los productores de cebada maltera. Diversos estudios han demostrado que el uso de tratamientos de pre-remojo con láser en las semillas, incrementa el porcentaje de germinación, uniformidad, vigor; además de impactar sobre los procesos de respiración, actividad fotosintética, contenido de clorofila y carotenoides en las plántulas (Hernández *et al.*, 2010). La influencia del tratamiento de pre-remojo fue evaluado por Szajsner y Drozd (2003) empleando luz Laser He Ne en cultivos de cebada cosechada durante el ciclo agrícola primavera, encontrando un aumento en la capacidad de germinación. En *Vicia faba*, también se ha observado que la irradiación láser aumenta la germinación así como el peso seco de las plantas (Podleśny, 2001).

Tomando en consideración los anteriores antecedentes de reportes científicos, se planteó el presente trabajo de investigación doctoral, donde se propone el empleo de métodos sostenibles como luz láser de baja intensidad como tratamiento pre-siembra de semilla, grano de cebada y harina, como una alternativa para mejorar su calidad fisiológica y sanitaria de este grano y calidad microbiológica de la harina, determinando de esta manera parámetros de irradiación láser que estimulen favorablemente los distintos atributos de calidad del grano y harina de cebada.

Para llevar a cabo el proyecto de investigación se distinguen cuatro fases generales del proceso de investigación: (a) Focalización del problema e investigación de campo y documental; (b) Auto-investigación; (c) Investigación experimental e (d) Investigación de impactos (Figura 0.1). Todas estas fases se consideran en un proceso de retroalimentación constante (proceso cibernético). De tal manera que la perspectiva empleada en la investigación es *Transdisciplinaria*.

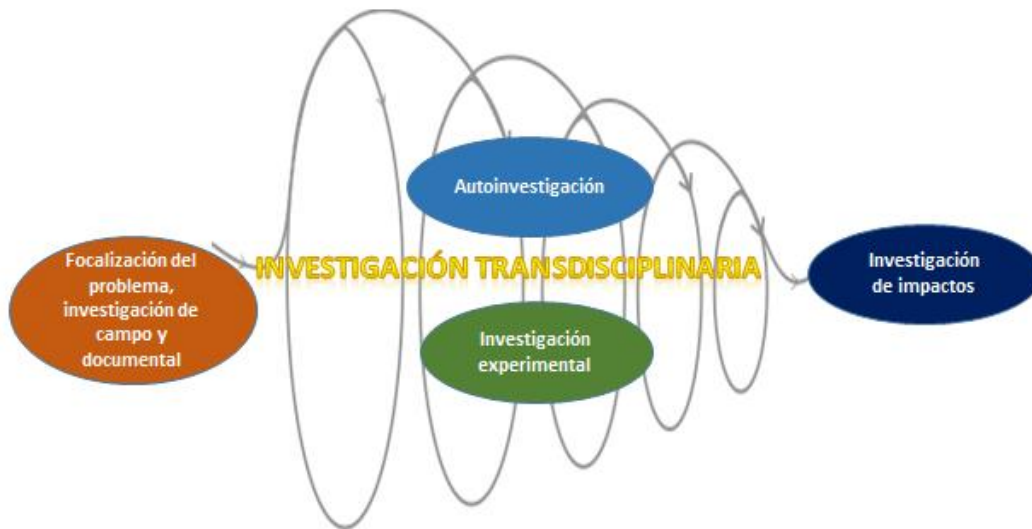


Figura 0.1 Cuatro fases generales del proceso de investigación (Elaboración Propia, 2015).

ii 2. Estructura de la Tesis

Para desarrollar este trabajo de investigación y cumplir con el objetivo general y particulares planteados, se han establecido cuatro capítulos como pueden verse en la Figura 0.2.

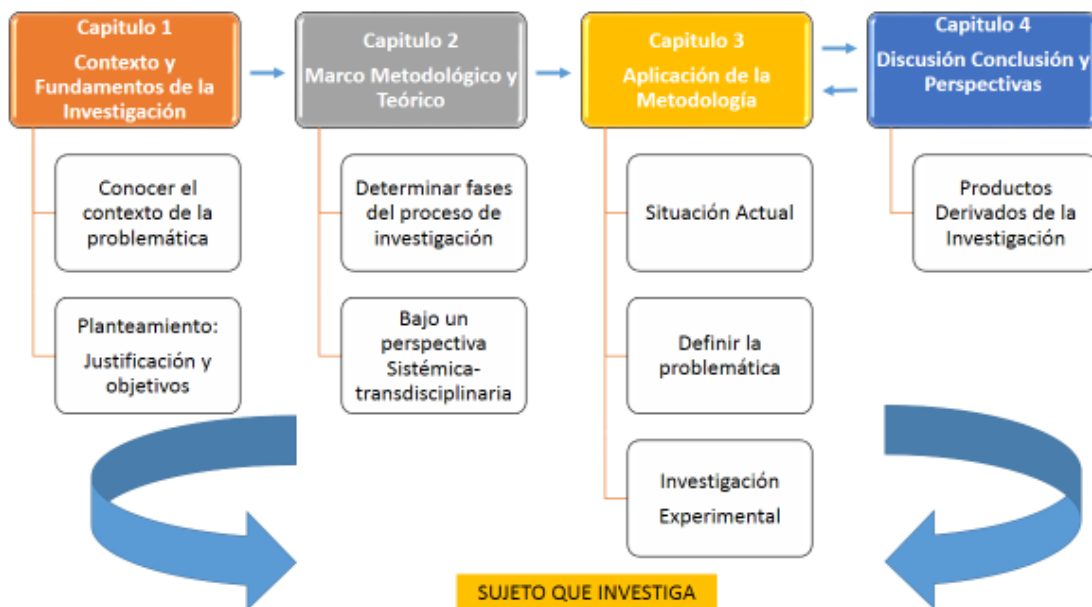


Figura 0.2 Capitulado del trabajo de tesis (Elaboración Propia, 2015).

En el **Capítulo 1**, se abordan el Contexto y los Fundamentos de la Investigación, a través de lo cual se permitirá conocer el contexto de la problemática que conduzca a la justificación del proyecto de tesis, así como el planteamiento de objetivos: general y particulares. Abarcando: A) Contexto Físico, apartado donde se mencionan las instituciones con las cuales se vincularon haciendo ejercicios interdisciplinarios y transdisciplinarios para el desarrollo de la investigación experimental. B) Contexto históricos, donde se realizó la investigación de literatura científica para ubicar la frontera del conocimiento relacionada a la aplicación de la luz láser de baja intensidad como elemento estimulador de semillas agrícolas en etapa pre-siembra. C) Contexto social se ubicó la necesidad de la propuesta en el mundo real, ubicando el problema a nivel global, regional y local en México. Se plantea al final del capítulo la tabla de congruencias del proceso de investigación.

En el **Capítulo 2**, se presenta Marco Teórico y Metodológico, bajo una perspectiva sistémica-transdisciplinaria primero se describen los conceptos y las metodologías sobre las diferentes ramas de la ciencia, que permitieron llegar al cumplimiento de los objetivos generales y particulares. Por otro lado, se plantea el marco metodológico para la realización de la investigación desde una visión Sistémica-Transdisciplinaria, se utilizó el concepto de investigación cibernético de retroalimentación constante y transdisciplinario, combinando el trabajo experimental de laboratorio con el mundo real, para no perder de vista las necesidades de la comunidad, planteando nuevas inquietudes y preguntas de investigación a ser solucionadas.

En el **Capítulo 3**, se aborda la Aplicación de la Metodología llevada a cabo en el proceso de investigación en cada una de sus fases. Donde se inició con la identificación del problema en el mundo real, al obtener evidencia del mismo y la respectiva revisión de literatura y conocimiento del sistema específico (problema) y entorno. En la fase de investigación experimental en este documento se presentan las actividades de investigación realizadas en Laboratorio: a) Caracterización física y óptica de la cebada maltera (*Hordeum vulgare* L.) Var. Esperanza; b) Análisis del efecto de irradiación láser sobre la calidad sanitaria en cebada maltera Var. Esperanza. c) Análisis del efecto de irradiación láser sobre la calidad fisiológica en cebada maltera Var. Esperanza. d) Análisis del efecto de irradiación láser sobre la calidad sanitaria de harina de cebada de la Var. Esmeralda y Var. Perla.

Finalmente en el **Capítulo 4**, se plantea la Discusión, Conclusiones y Perspectivas para Futuros Trabajos, donde se presentan las conclusiones generales y particulares de cada fase experimental, las perspectivas futuras así como las referencias bibliográficas y anexos.

Capítulo 1

Contexto de la Investigación

CAPÍTULO I. CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se describe el contexto y fundamento de la investigación, a quién beneficia y hacia qué sector va dirigido; ubicando el contexto físico de las instituciones que apoyaron en el desarrollo de la investigación y mediciones, así como, el contexto histórico y cultural de las distintas disciplinas a ocupar. En el contexto histórico se realizó una revisión de literatura científica para tratar de encontrar que se ha hecho sobre el trabajo experimental a desarrollar y que hace falta por hacer para mejorar el problema planteado, en relación a las diversas aplicaciones de la luz láser de acuerdo a la revisión de literatura científica realizada, y contexto cultural de la cebada (*Hordeum vulgare* L.). En cuanto al contexto social se ubicó la importancia del trabajo experimental desarrollado situando el problema a nivel global, así como en nuestro contexto social. Finalmente, se plantea la justificación, objetivos e hipótesis a comprobar así como la tabla de congruencia.

1.1 Contexto Físico

Es importante ubicar el lugar donde se llevó a cabo el presente trabajo de investigación desde el punto de vista macro. La tierra forma parte del universo en el supercúmulo de Galaxias Virgo, dentro este supercúmulo estamos en un grupo más pequeño de galaxias llamado Grupo Local, siendo la Tierra la segunda galaxia más grande llamada Vía Láctea. Nosotros somos parte del sistema solar de un grupo de nueve planetas así como de numerosos cometas y asteroides. El planeta tierra ocupa el tercer lugar desde el sol en el sistema solar. Dentro del planeta tierra existen cinco continentes, entre los cuales nosotros estamos ubicados en el Continente Americano y situados físicamente en la República Mexicana. Dentro de la República Mexicana el trabajo se llevó a cabo específicamente en el Distrito Federal, en las instalaciones de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (ESIME, Unidad Zacatenco) localizado en la delegación Gustavo A. Madero, en el Departamento de Física CINVESTAV-IPN Zacatenco delegación Gustavo A. Madero y en la Unidad de Investigación de Granos y Semillas en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán UNAM, localizada en Cuautitlán Izcalli, Estado de México (Figura 1.1).

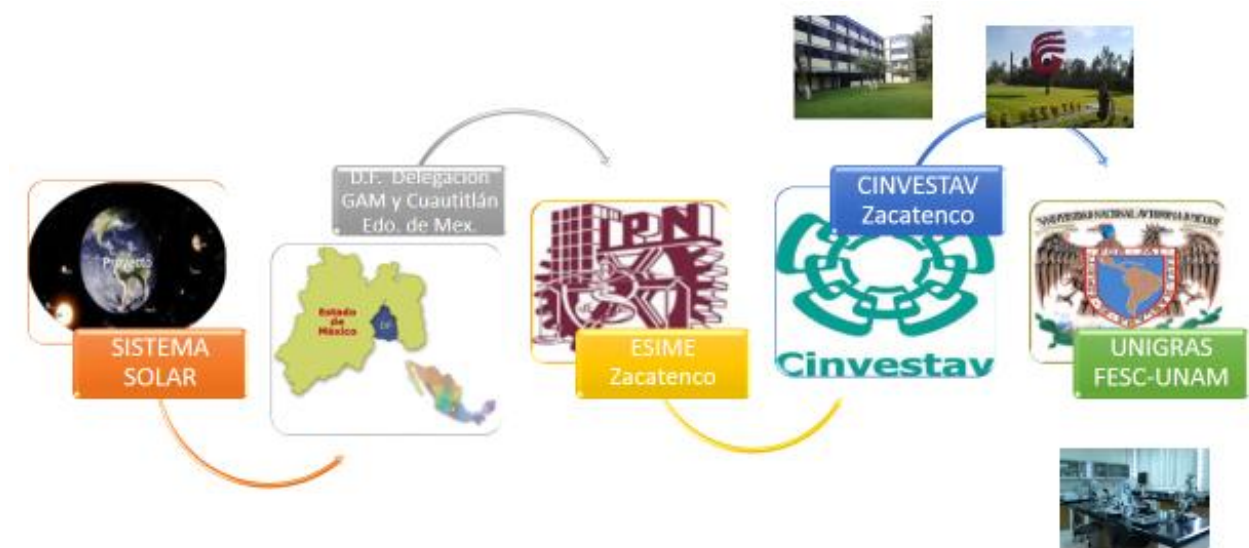


Figura 1.1 Contexto físico de la ubicación de la investigación (Elaboración propia, 2015).

1.2 Contexto histórico de la sistémica

En los últimos años se ha reabierto un nuevo frente de discusión en el que participan científicos e intelectuales sobre la necesidad de reformar el pensamiento y el conocimiento. Durante la segunda mitad del siglo XX y, más concretamente, desde los años 50 a los 70, la Teoría General de Sistemas propuesta por L. von Bertalanffy, nos legó herramientas conceptuales y metodológicas apropiadas para generar un conocimiento fidedigno (lo que no quiere decir exacto de la Realidad) como un todo organizado en funcionamiento compuesto de múltiples dimensiones y elementos interrelacionados. A raíz de la Teoría General de Sistemas, la vocación analítica de la ciencia paradigmática cede paso a la vocación sistémica de una nueva ciencia: la Sistémica (Romero-Pérez 2003). El conocimiento sistémico es la comprensión de que todo es una unidad, que todas las disciplinas y conocimientos científicos que ha adquirido el ser humano, proceden de un sistema general y cuando se entrelazan

ayudan a comprender el funcionamiento y objetivo de ese único sistema (O'Connor y Mc Dermott, 1998).

El pensamiento sistémico es integrador, tanto en el análisis de las situaciones como en las conclusiones que nacen a partir de allí, proponiendo soluciones en las cuales se tienen que considerar diversos elementos y relaciones que conforman la estructura de lo que se define como "sistema", así como también de todo aquello que conforma el entorno del sistema definido. La base filosófica que sustenta esta posición es el Holismo (del griego holos = entero) (IAS, 2015). El pensamiento sistémico compacto que en términos paradigmáticos se rotula bajo el nombre de *Paradigma de la Complejidad* aglutina a científicos de diversos campos de conocimiento que insisten en la conveniencia de adoptar nuevos modelos teóricos, metodológicos y por ende, una nueva epistemología, que permita a la comunidad científica elaborar teorías más ajustadas de la realidad, posibilitando, diseñar y poner en prácticas modelos de intervención más eficaces que ayuden a pilotar y regular las acciones individuales y colectivas (Romero-Pérez 2003).

Los valores epistémicos que motivan esta reforma del pensamiento son, entre otros los siguientes:

- a. Conocer para hacer; es decir, combinar los conocimientos teóricos con los de acción.
- b. Conocer para innovar, o lo que es igual, conocer para crear nuevos conocimientos, más allá del saber técnico-aplicacionista.
- c. Conocer para repensar lo conocido o lo pensado; es decir, epistemologizar el conocimiento, poner a prueba las categorías conceptuales con las que el científico o el tecnólogo trabajan para hacer inteligible o manipulable la realidad de la realidad que se desea estudiar o sobre lo que se desea intervenir.

Este nuevo espíritu reformista integra la vocación analítica de la ciencia positiva con la vocación transdisciplinaria y problematizada de la filosofía sustantiva. Conjuguar ambos

intereses es lo que pretenden las Ciencias de la Complejidad (De Rosnay, 1996), teoría unificada del conocimiento a partir de la teoría de la dinámica de los sistemas complejos y el Paradigma de la Complejidad o Pensamiento Sistémico; ley de la transdisciplinariedad y la metáfora sistémica (Morin, 1996).

1.2.1 Transdisciplinariedad

La teoría de la transdisciplinariedad es un producto reciente de la reflexión filosófica renovada por los descubrimientos de la física cuántica, casi desde los albores y a lo largo del siglo XX, así como, más recientemente, por el advenimiento de las nuevas ciencias de la información y el desarrollo de la teoría general de sistemas, a partir de la segunda mitad del mismo siglo. La transdisciplinariedad pone énfasis, de manera básica en la urgencia de un cambio de visión que parte del reconocimiento de que, a pesar de que es irrefutable el enorme beneficio de la ciencia y la tecnología modernas, es necesario caer en la cuenta de los excesos de la ciencia sin conciencia, que colocan al ser humano en la paradójica situación de poseer un potencial simultáneamente creativo y destructivo sin paralelo en la historia (Sarquis y Buganza, 2009).

Por transdisciplinariedad, se entiende aquello que se sitúa a la vez entre las disciplinas (interdisciplinariedad), a través de las disciplinas (pluridisciplinariedad) y más allá de las disciplinas (transdisciplinariedad) cuya finalidad es la comprensión del mundo presente a partir de la unidad del conocimiento. Unidad que no opera por reducción, como es lo propio de la ciencia positivista, si no integrando y dando cuenta de la pluralidad, de la diversidad, de las propiedades emergentes de la realidad (Basarab, 1993). La actitud transdisciplinaria presupone: “pensamiento y experiencia interior, ciencia y conciencia, efectividad y afectividad (Basarab, 1998).

Los tres pilares de la transdisciplinariedad son: 1) los niveles de realidad, 2) la lógica del tercero incluido y 3) la complejidad. Con base en estos ejes se estructura y determina la metodología de la investigación transdisciplinaria. El carácter complementario de disciplina, multi, inter y transdisciplinariedad es fácilmente constatable (Sarquis y Buganza, 2009). En la visión transdisciplinaria, la realidad no es sólo multidimensional sino que es también multireferencial. Esto significa que los diferentes niveles de realidad son accesibles al conocimiento humano

gracias a la existencia de diferentes niveles de percepción que, a su vez, incluye una zona de no-resistencia a la percepción. El conjunto de niveles de percepción y su zona complementaria de no resistencia constituyen al “sujeto transdisciplinario”. Las dos zonas de no-resistencia de Objeto y Sujeto transdisciplinario deben ser idénticas para la comunicación entre ambos. A la complejidad infinita del objeto transdisciplinario responde la simplicidad infinita del sujeto transdisciplinario, tal como sugiere Nicolescu en el *Manifiesto* (Basarab, 1993).

De acuerdo a la tesis de Nicolescu, se pueden distinguir tres etapas en cuanto a la visión de la naturaleza: la naturaleza mágica, la naturaleza máquina y la muerte de la naturaleza. En el modelo transdisciplinario de la realidad, la naturaleza es objetiva y está sometida a una objetividad subjetiva en la medida en que los niveles de realidad están unidos a los niveles de percepción. La naturaleza es también subjetiva y está sometida a una subjetividad objetiva en la medida en que los niveles de percepción están unidos a los niveles de realidad. La trans-naturaleza está unida a la comunidad de la naturaleza entre el objeto y sujeto transdisciplinario. Para la transdisciplinariedad, la naturaleza puede ser estudiada por el hombre mediante la ciencia, y no es concebible fuera de su relación con el ser humano. Estas tres cosas definen la naturaleza. Esto contribuye a una gnoseología donde el sujeto está implicado necesariamente con el objeto y viceversa (Sarquis y Buganza, 2009). De acuerdo con Espina-Prieto (2007), “el sujeto que conoce está implicado (emocional, racional y éticamente) en el contexto de lo que conoce, forma parte de un proceso común que incluye a ambos ejes de la relación de conocimiento, está relacionado con el objeto, lo modifica y se modifica a sí mismo en el proceso investigativo”. La transdisciplinariedad de acuerdo con Nicolescu pretende una visión global o amplificada de la realidad, que permita al sujeto un conocimiento más amplio de aquello que lo contiene. Es una visión que pretende ser integral y holística (Sarquis y Buganza, 2009).

1.2.2 Sistémicos en la historia

En los últimos 25 años la transdisciplinariedad ha desarrollado un modelo revolucionario de pensamiento, y una reconfiguración visionaria de la realidad, aplicando metodologías universales en diferentes campos del conocimiento, a continuación se mencionan algunos de los filósofos-científicos que han contribuido e implementado el pensamiento sistémico en varios campos del conocimiento e investigación (Figura 1.2).

Una de las primeras etapas en la evolución de las ideas sobre sistemas fue la del matemático Estadounidense Norbert Wiener en los años cuarenta cuando elaboró los principios de la cibernética, teoría interdisciplinar centrada en el estudio de las interrelaciones del ser humano y las máquinas, actualmente conocido como el padre de la Cibernética (Saéz-Vaca, 2009). Partiendo de trabajos de neurofisiología del investigador Arturo Rosenblueth creador en 1961 del Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados (CINVESTAV) del Instituto Politécnico Nacional, y del ingeniero Julian H. Bigelow, considerando el comportamiento inteligente que parecían exhibir ciertos mecanismos de control (inteligente porque las decisiones se basan en la experiencia y en las previsiones del futuro) llegó a la conclusión de que en el hombre se dan también estos mecanismos de realimentación que permiten controlar la acción y se dedicó a estudiar estos mecanismos de realimentación. En 1948 publicó “Cybernetics”, o Regulación y Comunicación en el Animal y en la Máquina (Rosnay 1975).

En los años cincuenta el neurólogo estadounidense Warren McCulloch en colaboración con Pitts impulsó el nacimiento de la Inteligencia Artificial. En 1942 publicó “Cálculo lógico de las ideas inmanentes en la actividad nerviosa” y en 1947 “Percepción de las formas visuales y auditivas”. Boletín de Biofísica Matemática. Con él se inicia el nacimiento de la Biónica, la Inteligencia Artificial y la Robótica (Rosnay, 1975).

En los años sesenta al biólogo y filósofo Ludwig von Bertalanffy se le considera fundador de la Teoría General de Sistemas, inicia con cuestionamientos sobre la investigación tradicional científica reduccionista y de su manera de pensar analítica, determinando que, estos modos de proceder, no permitían enfrentar y avanzar en la generación del conocimiento y solución de problemas en ciertas áreas, en particular en el contexto social. A partir de esto se reconoció la necesidad de impulsar una nueva ciencia, que respondiese a la función social de la Ciencia. En 1969 de su libro titulado, precisamente Teoría General de Sistemas, utilizó los principios allí expuestos para explorar y explicar temas científicos y filosóficos, incluyendo una concepción humanista

de la naturaleza humana, opuesta a la concepción mecanicista y robótica (Rosnay, 1975).



Figura 1.2 Sistémicos en la historia (Elaboración propia, 2015).

Otro biólogo americano, pionero de la ciencia de sistemas, fue James Grier Miller quien contribuyó sustancialmente al desarrollo de la ciencia del comportamiento y la integración de las disciplinas a través de la teoría general de sistemas, permaneciendo activamente en estas áreas a lo largo de su vida laboral. Originó el uso moderno del término “Ciencia de la Conducta”, presentó una teoría general sobre el funcionamiento de todos los sistemas vivos, acerca de cómo se mantienen así mismos y como se desarrollan y cambian. Durante 1978 impulsó constantemente la integración global de las ciencias, en los sistemas vivos, la cual sigue siendo el eje central para el estudio de los sistemas de vida y de muchos otros campos de la investigación y la práctica dentro de la comunidad sistémica (Rosnay, 1975).

En 1952 el ingeniero electrónico estadounidense Jay Wright Forrester se encarga de coordinar un sistema de alerta y defensa para las fuerzas aéreas con la misión de detectar y rechazar un posible ataque sobre territorio americano y durante este trabajo se da cuenta de la importancia del enfoque sistémico. En 1961 crea la Dinámica Industrial en la que las empresas se consideran como sistemas cibernéticos, en 1964 crea la Dinámica Urbana y en 1971 generaliza todos los trabajos en la Dinámica de Sistemas, siendo considerado el padre de la Dinámica de

Sistemas, una disciplina reciente que representa una extensión a toda clase de sistemas complejos de conceptos aplicados originalmente en ingeniería. La aportación personal de Forrester incluye la aplicación a problemas del campo de las ciencias sociales, inicialmente a través de la modelización de la organización empresarial. Es también el autor de una de las formalizaciones más empleadas en la formulación de modelos cibernéticos, el llamado diagrama de Forrester (Saéz-Vaca, 2009).

Otro aporte importante fue el del arquitecto estadounidense Russell L. Ackoff, con su posición filosófica paradigmática logró encontrar soluciones a los problemas de interacción hombre-máquina por medio de métodos de Investigación de Operaciones, (IO) y de administración humanista, mismos con los que realiza una integración entre la Ingeniería y la Investigación de Operaciones que caracteriza a la ciencia sistémica como el proceso de indagación para contestar preguntas, resolver problemas y desarrollar procedimientos más efectivos, por ello constituye así un sistema en el que se interrelacionan los aspectos sociales y tecnológicos. Hace referencia constante a los procesos de comunicación en el seno de los sistemas, sus objetivos teóricos, que se apoyan en sólidas formulaciones y herramientas metodológicas, se orientan preferentemente hacia el ámbito de las organizaciones empresariales (Ackoff, 1999).

El teórico y académico británico Anthony Stafford Beer conocido por su trabajo en los campos de la investigación operacional y cibernética organizacional y reconocido como creador del “Modelo de Sistemas Viables” ha desarrollado un conjunto de leyes las cuales permiten el establecimiento de los mecanismos necesarios para la creación, diagnóstico y diseño de estructuras eficaces para la participación de las personas, los equipos y los procedimientos desde el punto de vista de los procesos de organización y control (Stafford, 2002).

Otro científico británico profesor de Sistemas en la Universidad de Lancaster muy reconocido por ser creador de la Metodología de Sistemas Blandos o Suaves (MSB) es Peter Checkland. Metodología basada en una forma de pensamiento sistémico, la cual aporta de una manera

sistemática, la incorporación del entorno y el nivel cultural de los involucrados al utilizar “Welltanschauung” en la definición raíz y contribuye a la determinación del sistema principal y de los subsistemas al plasmar el listado logrado de actividades mínimas necesarias, a partir de las cuales, se obtiene el proceso principal (Checkland 1993). Determinó que su metodología satisfacía las características que Churchman, definió también que su método se relaciona con los trabajos sobre sistemas apreciativos con los que Sir Geoffrey Vickers desarrolló su teoría para describir y explicar los procesos que caracterizan los sistemas sociales. Inconforme en considerar al individuo y los grupos sociales como simples entes que buscan sólo alcanzar metas, actuando como máquinas (Checkland, 2000).

El astrofísico Austriaco Erich Jantsch que vivía en California, define la “Transdisciplinariedad” como una hiperdisciplina, en el marco de la disciplinariedad. Sin embargo, esto lo llevó a reconocer la necesidad de crear un enfoque axiomático para la transdisciplinariedad y también el de introducir valores en este campo del conocimiento (Fragoso, 2009). Escribe que la transdisciplinariedad es “la coordinación de todas las disciplinas e interdisciplinas del sistema de enseñanza e innovación, basada en una perspectiva axiomática común”. Sitúa claramente la transdisciplinariedad en el marco de la disciplinariedad. No obstante, el mérito histórico de Jantsch fue subrayar la necesidad de inventar un enfoque axiomático para la transdisciplinariedad y también el de introducir valores en este campo de conocimiento (Jantsch, 1972).

El sicólogo suizo Jean Piaget, es considerado el creador de la epistemología genética y famoso por sus aportes en el campo de la psicología evolutiva, sus estudios sobre la infancia y su teoría del desarrollo cognitivo. En 1970 introduce el término de la Transdisciplinariedad junto con Eric Jantsch y Lichnerowicz; conduce su disertación de un mundo de hechos empíricos hacia otro de relaciones inteligibles, y hace del estudio de las interacciones estructurales el centro de la actividad científica. Dicho pensamiento extiende el concepto de sistemas, emitió la hipótesis de que la objetividad no reside en los hechos, sino en las relaciones que se encuentran en la realidad, sobre la que se ha establecido la teoría de sistemas (Piaget, 1975).

De acuerdo con el matemático francés André Lichnerowicz, consideró la transdisciplinariedad como un juego transversal, al definir “la homogeneidad de la actividad teórica en diferentes ciencias y técnicas, independientemente del campo donde la actividad es efectuada”. Y, por supuesto, esta actividad teórica puede ser formulada para él sólo en lenguaje matemático. Lichnerowicz escribe: “El ser es puesto entre paréntesis y es precisamente este carácter no ontológico el que confiere a las matemáticas su poder, su fidelidad y su polivalencia.” El interés de Lichnerowicz por la transdisciplinariedad fue accidental, pero su énfasis acerca de un carácter no-ontológico debe ser recordado. Lichnerowicz estaba desilusionado del hecho de que su programa matemático en transdisciplinariedad no fuera llevado a cabo, un hecho que él mismo confirmó en 1992 en la Sesión Plenaria de la Pontificia Academia de Ciencias en el Vaticano (Berger *et al.*, 1999).

El filósofo y político francés Edgar Morín, con el surgimiento de la revolución biogénica, estudia el pensamiento de las tres teorías que llevan a la organización de nuevas ideas: la cibernética, la teoría de sistemas y la teoría de la información. También se complementa en la teoría del auto organización de Heinz von Förster. Para 1977, elabora el concepto del conocimiento enciclopedista, del cual liga los conocimientos dispersos, proponiendo la epistemología de la complejidad. En la teoría del Pensamiento Complejo ideada por Morin, se dice que la realidad se comprende y se explica simultáneamente desde todas las perspectivas posibles. Se entiende que en un fenómeno específico puede ser analizado por medio de las más diversas áreas del conocimiento, mediante el “Entendimiento Transdisciplinario”, evitando la habitual reducción del problema a una cuestión exclusiva de la ciencia que se profesa (Morin, 1977).

El principal promotor de la “Perspectiva Transdisciplinaria” es el físico teórico Basarab Eftimie Nicolescu, director del Centro Internacional de Estudios Transdisciplinarios (CIRET) e investigador del Centro Nacional de Investigación Científica de la Universidad de Paris, cofundador con René Berger del grupo de reflexión sobre

transdisciplinariedad en la UNESCO. En 1994 Organizador del primer Congreso Mundial de Transdisciplinariedad en Portugal, en donde se elaboró la Carta de la Transdisciplinariedad. Autor de una gran cantidad de libros y artículos en revistas científicas internacionales, ha hecho numerosas contribuciones a la ciencia antologías y participó en varias escenas de radio francés y documentales multimedia en la ciencia. También es un especialista en la teoría de partículas elementales (Sarquiz y Buganza, 2009).

El reconocido escritor estadounidense Ken Wilber, es considerado un importante representante de la psicología transpersonal, corriente que emerge hacia fines de los años sesenta a partir de la psicología humanista y que se relaciona fundamentalmente con la inclusión de la dimensión espiritual del ser humano. Establece una jerarquización de los distintos ámbitos de la realidad incluyendo sociedades, visiones del mundo, niveles de conciencia, modelos políticos, etc., despegándose en cuatro cuadrantes (el interior-individual, el interior colectivo, el exterior individual, y el exterior colectivo). En los últimos años ha relacionado su teoría general con el método de la dinámica espiral, que en un modelo transdisciplinario (bio-sico-socio-cultural) diseñado para la transformación cultural y la gestión integral basada en valores, que aborda desde las llamadas “teorías” de la complejidad del desarrollo de la humanidad, analizándolo a través de diferentes sistemas de valores, en tanto emergentes de configuraciones básicas (atractores) repetidas a lo largo de la historia, así como las “visiones de mundo” (Zeitgeist) asociadas a cada uno de ellos (Fragoso, 2009).

1.3 Contexto Histórico de la Cebada

La cebada es considerada como el más antiguo de los cereales que el hombre cultivó, se supone que procede de dos centros de origen situados en el sureste de Asia y África. En la China se utilizaba como alimento para el hombre y animales, con los mismos fines se cultivó también en Egipto (Arendt y Zannini, 2013).

Su gran adaptabilidad a diferentes terrenos ha permitido que sea un cultivo ampliamente extendido a regiones como las del Circulo Astral, algunas partes tropicales como la India, altas montañas de Etiopia y Oasis del Sahara, el bajo Delta del Nilo y suelos australianos de gran

alcalinidad. En lugares como Palestina Siria, Valle del Éufrates, Irán y Este de Afganistán, se encontraron formas de cebada que fueron usadas por antiquísimos pobladores antes de que se conocieran las variedades cultivadas (FENALCE, 2014). Granos de cebada fueron encontrados en restos arqueológicos de la zona fértil de Crescenta (Figura 1.3) hoy conocido como Iraq y regiones pequeñas de Irán, Kuwait, Turquía, Siria, Jordania, Israel y Líbano (Arendt y Zannini, 2013).



Figura 1.3. Domesticación de cereales. El área sombreada de verde en el mapa muestra la región conocida como la zona fértil de Crescenta donde los arqueólogos encontraron restos de cebada y trigo (Feuillet *et al.*, 2007)

Excavaciones realizadas en cercanías del Lago Moréis, conocido así en la antigüedad y localizado al suroeste de lo que hoy es El Cairo, dan a conocer el almacenamiento de cebada de por lo menos 5,000 a 10,000 años. En excavaciones arqueológicas realizadas en el valle del Nilo se descubrieron restos de cebada, de alrededor de 15,000 años de antigüedad, además los descubrimientos también indican el uso muy temprano del grano de cebada molido. La cebada es utilizada actualmente en países desarrollados en 75 a 80 por ciento para alimentación animal y entre 20 y 25 por ciento para la elaboración de malta, de alto consumo en la fabricación de cerveza (FENALCE, 2012).

1.3.1 Producción de Cebada

Los principales productores de cebada en el mundo (Figura 1.4) son países de la Unión Europea (54.4 M tn), incluyendo Alemania, Francia, Reino Unido y Polonia, seguidos por Rusia (13.9 M tn), Canadá (8.01 M tn), Australia (7.0 M tn), Ucrania (6.7 M tn) entre otros (USDA, 2014). En México en comparación con los diez cultivos básicos del país, la cebada ocupa el quinto lugar en importancia de acuerdo con el volumen de producción, detrás del maíz, sorgo, trigo y frijol. Con base en el uso final de la cebada, es preciso destacar que en México se cultivan dos tipos de cebada: la que destina a la alimentación de animales (31%) y la que se utiliza para la producción de malta (69%). Al parecer, no existe una orientación clara respecto al tipo de cebada que el productor primario tiene que producir en nuestro país. Se considera que la decisión se toma en función de la estructura de la cadena agroalimentaria prevaleciente; es decir, por un lado, la cebada forrajera se comercializa mediante intermediarios que ofrecen este tipo de grano a las plantas procesadoras de alimentos balanceados, mientras que la cebada maltera está sujeta a contratos o convenios con la empresa comercializadora del grano (Impulsora Agrícola, S.A.), quien la vende a las empresas cerveceras previo cumplimiento de una norma de calidad (Galarza-Mercado *et al*, 2006). Las exigencias del mercado nacional en cuanto a la calidad de la cebada para la producción de malta es muy estricta, el grano debe presentar buenas condiciones físicas y fisiológicas, sin plagas y enfermedades, con germinación mínima del 85 por ciento, con una humedad máxima de 14 por ciento, con buen tamaño de grano, con granos desnudos o quebrados menores al 5 por ciento, impurezas con máximo de 2 por ciento, granos dañados como máximo del 10 por ciento y hasta 10 por ciento de mezclas con otras variedades de cebada (Gómez *et al*, 2003).

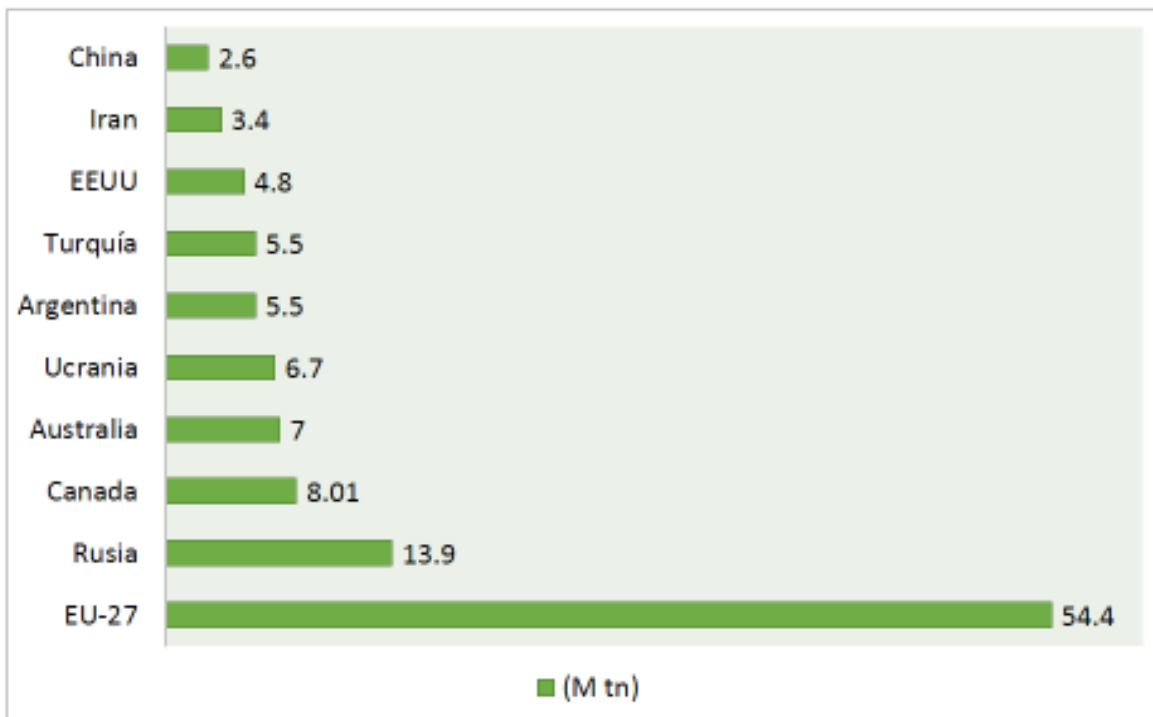


Figura 1.4 Producción de cebada maltera es de 129.8 millones de toneladas, países en orden de importancia: Unión Europea (Alemania, Francia, Reino Unido y Polonia) y Federación Rusa, seguidos de Ucrania y Canadá (Elaboración Propia, 2015 basada en USDA, 2014).

La producción de cebada maltera en México se concentra en el Altiplano Central (Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y el Estado de México) en donde se siembra cebada principalmente de temporal y en el Bajío por riego (Figura 1.5); la mayor parte de la producción se realiza a través de contratos o acuerdos entre los productores y la empresa comercializadora Impulsora Agrícola, S.A. (IASA) quien les provee de semillas y agroquímicos. Asimismo, existen varias dependencias del gobierno federal que participan activamente en los diferentes eslabones como, por ejemplo, la SAGARPA, la Secretaría de Economía, el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (INIFAP), el Sistema Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) y Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria (ASERCA) (Aguilar y Schwentesius, 2004).

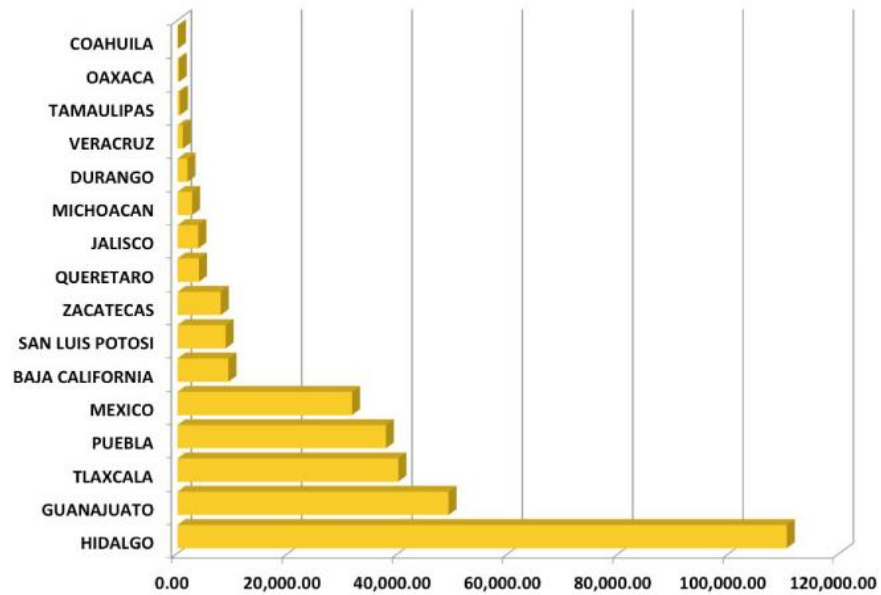


Figura 1.5 Superficie sembrada de cebada maltera por Estado (CANICERM, 2014).

La producción de cebada presenta gran variabilidad, mientras que en el 2003 se alcanzó una producción de 1.1 millones de toneladas con un valor de 1,787 mdd, en el 2013 se alcanzó cerca de la mitad, 594, mil toneladas con un valor de 2,153mdp (Fig. 1.6).

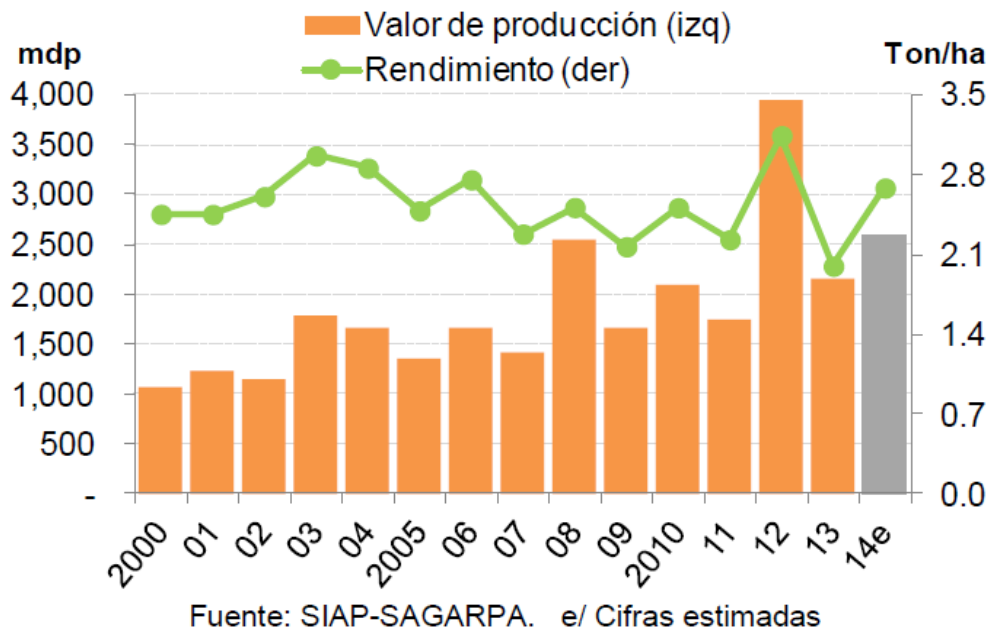


Figura 1.6 Valor de Producción y Rendimientos de Cebada (FND, 2014)

De acuerdo con la Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural Forestal (2014), la superficie sembrada de este cultivo ha caído en cerca de 14.0% desde el año 2003 al 2013, alcanzando actualmente 320,000 ha. En vista de que la superficie es principalmente de temporal la siniestralidad llega a ser alta cuando existen condiciones adversas como se puede observar en el año 2009 y 2011 en donde la sequía ocasionó la pérdida de 28 y 35% de la superficie sembrada respectivamente (Figura 1.7).

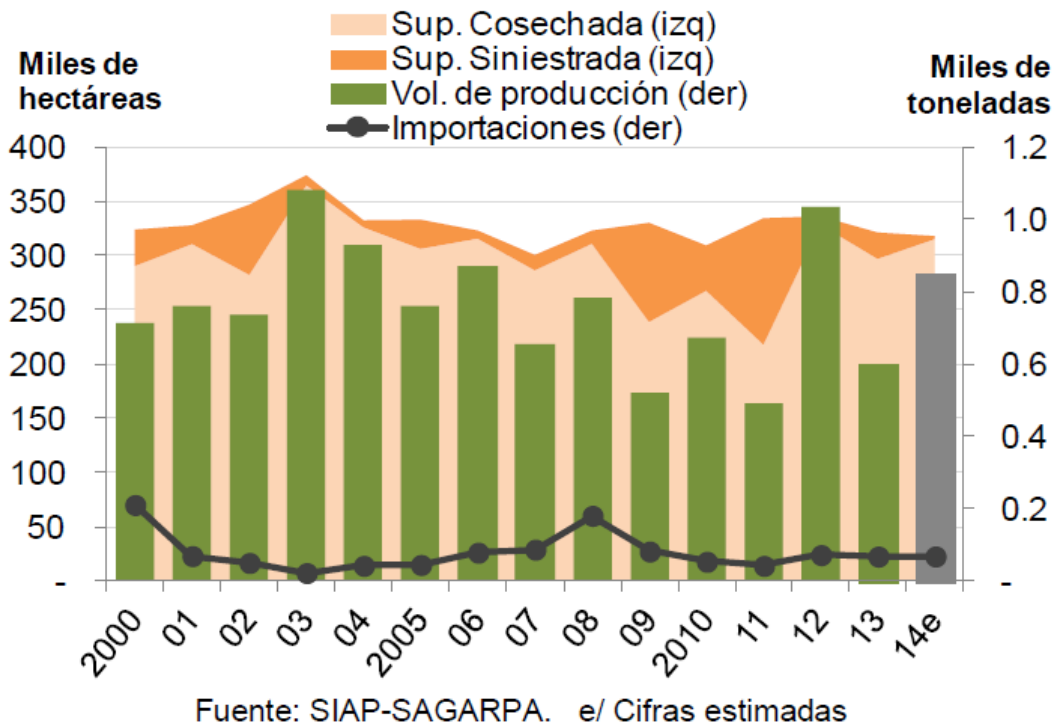


Figura 1.7 Superficie, Volumen de Producción e Importaciones de Cebada en México.

1.3.2 Variedades de cebada en México

El éxito del mejoramiento genético en cebada maltera se inició con la liberación de variedades desde 1960 generadas por el INIFAP, con adaptación a riego y temporal, las cuales constituyen la fuente a partir de las cuales es posible desarrollar nuevas variedades de éste cereal con características agronómicas mejoradas (Aguado-Santacruz, 2008).

Las variedades de cebada grano más importantes que se cultivan en nuestro país se mencionan a continuación:

- a) Adabella: Liberada en 2004, como resultado de la selección de líneas segregantes de cebada originadas de un cruzamiento simple realizado por el Programa Nacional de Cebada Maltera del INIFAP, en el campo experimental Valle de México. Esta variedad presenta tolerancias a las enfermedades más comunes que atacan a la cebada de los Valles Altos, así como un alto potencial de rendimiento y buena calidad industrial (Santoyo-Cuevas y Quiroz-Mercado, 2004).

- b) Centinela:** Liberada en 1975, se recomienda para siembras de invierno en Mexicali y norte de Sonora, como también para Valles Altos y el Bajío. El grano es de tamaño regular, uniforme, de forma ovoide y ligeramente arrugado en la parte ventral. El grano central y los granos laterales tienen un tamaño semejante, lo que constituye la principal característica de la variedad; la cascarilla se adhiere bien al grano. Las venas son regulares, lisas y en ocasiones pigmentadas; la raquilla mide casi la mitad del grano; sin vellos. El pliegue ventral cerrado en la base y abre en forma de V a la mitad del grano. La gluma mide la mitad del grano. La espiga es de seis hileras, de tamaño mediano. Su barba es de tamaño regular, aserrada. Se inclina ligeramente al madurar (SIAP, 2012). Tiene un ciclo en verano en los Valles Altos de 100 días y de 115 días en invierno en Roque, Guanajuato. Aunque el rendimiento de esta variedad no es muy elevado, el tamaño del grano hace que las pérdidas por aprovechamiento, sean menores, por lo tanto, al emplearse la semilla para la industria maltera, la ganancia por este concepto es mayor que la variedad Apizaco, además de ser más precoz (Riojas-Guadiana y Ramírez- Pérez, 1975).
- c) Cerro Prieto:** Es el resultado de la selección de líneas F4 sembradas en el Centro de Investigación Agrícolas del Noreste (CIANO) en el ciclo de invierno 1968-1969. Se recomienda para la región de Mexicali, norte de Sonora, Valles Altos y el Bajío (Riojas-Guadiana y Ramírez- Pérez, 1975). El grano es de tamaño regular y un poco alargado. La cascarilla está bien adherida al grano y es arrugada en la cara ventral; tiene venas laterales rugosas y lisas; la raquilla es larga, alcanza la mitad del grano, sin vellos; su pliegue ventral es longitudinal, abriéndose ligeramente de la mitad del grano hacia la punta. La gluma alcanza la mitad del tamaño del grano con un pelo que alcanza el doble del tamaño del grano. La espiga es de seis hileras de tamaño mediano. Su barba es regular y aserrada y se inclina ligeramente al llegar a la madurez (SIAP, 2012). Es resistente al acame y al desgrane produce grano de buen tamaño y la planta alcanza una altura de 90 a 120 cm. El ciclo de vida de la variedad Cerro Prieto es de 120 a 135 días y se recomienda sembrarla bajo condiciones de riego. Esta variedad es resistente a cenicilla y presenta tolerancia a escaldadura y roya de la hoja, el rendimiento es más precoz que la variedad Apizaco (Riojas-Guadiana y Ramírez- Pérez, 1975).

- d)** Doña Josefa: Liberada en 2008 como resultado conjunto entre el ICARDA, CIMMYT y el ICAMEX como respuesta a la demanda de variedades para áreas de temporal del altiplano. Es una variedad que alcanza a los 118-122 días lamadurez fisiológica, presenta tolerancia a las enfermedades más comunes que atacan a la cebada de los Valles Altos, presenta alto potencial de rendimiento (15 % superior a las variedades más utilizadas) y buena calidad industrial, sin embargo no ha sido aceptada por ésta. Por esta razón no ha sido adoptada en su totalidad por los productores, principalmente por la incertidumbre al momento de la comercialización (Santoyo-Cuevas y Quiroz-Mercado, 2004).
- e)** Esmeralda: Liberada en 1992. Es de ciclo intermedio, con 49 a 64 días de floración, dependiendo de la localidad y del ciclo de producción (Díaz- Zamora *et al.*, 1997). La planta mide de 86 a 105 cm, el grano es grande, de forma ovoide alargado ligeramente arrugado en la parte media dorsal acentuándose hacia el ápice. La cascarilla se adhiere fuertemente al grano. Las venas laterales son dentadas en el último tercio; la vena central prominente y poco rugosa. El pliegue ventral es longitudinal, cerrado en la base y se abre hasta 0.1 cm. en el cetro del grano. La gluma alcanza la mitad del tamaño del grano y el pelo de ella es unas cuatro veces más largo que la gluma; la raquilla es vellosa del tamaño de la mitad del grano. La espiga es de seis hileras, de tamaño mediano a largo y se inclina un poco al madurar. Su barba es larga y aserrada. Cuando hay vientos fuertes la barba se cae (Santoyo-Cuevas y Quiroz-Mercado, 2004). Es la primera variedad de cebada resistente a la roya amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*), presenta tolerancia a la mancha reticular (*Helminthosporium teres*) a escaldadura (*Rhinchosporium secalis* y también ha demostrado tolerancia a la roya de la hoja (*Puccinia hordei*). Es utilizada para la elaboración de malta para la industria cervecera (Díaz- Zamora *et al.*, 1997).
- f)** Esperanza: Liberada en 1988. Presenta en su genealogía genes de enanismo de la variedad Dwarf Good de origen de la India. El cruzamiento final se hizo en Campo Experimental del Bajío en Roque Guanajuato, es una variedad bien adaptado a las condiciones de clima y suelo del Bajío, donde es resistente al acame y al desgrane. Es resistente a la cenicilla causada por *Erisiphe graminis* y a la roya de la hoja *Puccinia hordei* y a la roya amarilla lineal *Puccinia striiformis* f. s. *hordei*. Se recomienda para

áreas de riego y regiones semejantes al Bajío, ya que debido a su altura no tiene posibilidades de cultivarse en regiones de temporal (Aguado-SantaCruz, 2008).

- g)** Gabyota: Liberada en 1993. El grano es grande, de forma ovoide, uniforme, venas prominentes no pigmentadas y lisas de la base a la mitad del grano y rugosas en la otra mitad. Raquilla vellosa, de vellos largos y de tamaño de un tercio a casi la mitad del grano con barba que se extiende a lo largo del grano, la cascarilla es adherida. El pliegue ventral es cerrado y profundo en la base y se abre en forma de V en el último tercio del grano. La espiga es de dos hileras, mediana. Se inclina al llegar a la madurez (Aguado-Santacruz, 2008).
- h)** Guanajuato: Liberada en 1984. El grano es de tamaño regular, de forma ovoide y uniforme; las venas son rugosas y en ocasiones pigmentadas; el pliegue ventral es uniforme y longitudinal, la raquilla es vellosa y del tamaño de un tercio a la mitad del grano, la gluma llega a la mitad del grano; y tiene pelos bien unidos y abundantes; la cascarilla es arrugada en la cara ventral y en la dorsal. La espiga es de dos hileras, se inclina al llegar a la madurez (Aguado-Santacruz, 2008).
- i)** Puebla: Liberada en 1974. El grano es grande, de forma ovoide, uniforme, venas prominentes no pigmentadas y lisas de la base a la mitad del grano y rugosas en la otra mitad. Raquilla vellosa, de vellos largos y de tamaño de un tercio a casi la mitad del grano. La gluma alcanza la mitad a casi tres cuartos del tamaño del grano, con barba que se extiende a lo largo del grano. La cascarilla es adherida. El pliegue ventral es cerrado y profundo en la base y se abre en forma de V en el último tercio del grano. La espiga es de seis hileras, de tamaño mediano y se inclina al llegar a la madurez. Su barba es larga y aserrada. Cuando hay vientos fuertes la barba se cae (SIAP, 2012).
- j)** Alina: Es el resultado de la selección de líneas segregantes de cebada, originadas de un cruzamiento doble realizado por el programa nacional de cebada maltera, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en el campo experimental del Bajío. Presenta tolerancia a las enfermedades comunes de la región (cenicilla causada por *Erisiphe graminis*, a la roya de la hoja *Puccinia hordei* y a la roya amarilla lineal *Puccinia striiformis* f. s. *hordei*) y

presenta un alto rendimiento, con muy buena calidad industrial. Tiene un hábito de crecimiento en primavera y su ciclo vegetativo es precoz (Solano-Hernández, 2009).

1.4 Contexto histórico de la cerveza

La historia de la cerveza está íntimamente ligada a los primeros pasos dados por el hombre en la agricultura y la consiguiente necesidad de almacenamiento de los granos (Fonseca, 2007). Se presume que su nombre proviene del latín clásico *cervisia* o *cerevisia*, por referencia a *Ceres*, diosa de la Agricultura. La cerveza es uno de los productos más antiguos de la civilización, se piensa que es la primera bebida fermentada que conoció el hombre y que probablemente fue producida de manera accidental (Brothwell y Brothwell, 1998). Los babilonios heredaron de los sumerios el arte del cultivo de la tierra y la elaboración de la cerveza. La elaboración tenía carácter religioso y era realizada solo por las sacerdotisas. Los babilonios preparaban la cerveza a partir de los panecillos de harina de cebada y la llamaban pan líquido (Fonseca, 2007).

En la antigüedad, los chinos también elaboraban cerveza llamada “Kiu” utilizando trigo hace más de 4,000 años (Fonseca, 2007). Mientras que las civilizaciones precolombinas de América, utilizaban maíz en lugar de cebada. De manera similar, en la antigua Britania se elaboraba cerveza a base de trigo malteado antes de que los romanos introdujeran la cebada. Los egipcios elaboraban la cerveza a partir de panes de cebada poco cocidos que dejaban fermentar en agua. La llamaban “zythum” que significaba vino de cebada (Fonseca 2007). En la Edad Media, fue en Bélgica, en donde los monjes refinaron el proceso prácticamente hasta la perfección e institucionalizaron el uso del lúpulo, que confiere a la cerveza su sabor amargo característico, a la vez que favorece la conservación. En los países nórdicos debido a las fuertes heladas como en Alemania o Inglaterra, afectaron el cultivo de vid, reemplazándolo por el de cebada aumentando la producción de cerveza frente a la del vino, convirtiéndose así éstas regiones, en grandes productoras de cervezas (Fonseca 2007). Entre los siglos XIV y XVI surgen las primeras grandes fábricas cerveceras, entre las que destacan las de

Hamburgo y Zirtau. A finales del siglo XV, el duque de Raviera Guillermo IV promulga la primera ley de pureza de la cerveza alemana, que prescribía el uso exclusivo de malta de cebada, agua, lúpulo y levadura en su fabricación que aún hoy en día se sigue utilizando (Fonseca, 2007).

En 1540 se elabora la primera solicitud para producir y vender cerveza en la Nueva España. La primera cervecería “Brazería” del continente americano fue construida en 1544 por don Alfonso de Herrera, cerca de Ciudad de México. La década de 1890 marca el inicio de un cambio en la estructura de producción cervecera en México, acreditándose la industrialización y fundación de la Cervecería Cuauhtémoc en Monterrey (CANICERM, 2014). A partir de estos años es que la elaboración casera y la importación de cerveza proveniente de Estados Unidos, Gran Bretaña y Alemania, dieron paso al establecimiento de fábricas “modernas” mexicanas y al paulatino desplazamiento de cerveza importada. Para 1899 cinco empresas dominaban el mercado mexicano la Compañía Cervecera de Chihuahua, S.A., la Compañía Cervecera de Toluca y México, S.A., la Cervecería Cuauhtémoc, S.A., la Cervecería Sonora, S.A. y la Cervecería Moctezuma, S.A. controlaban el 74.61% de la producción nacional.

En 1975 las nueve empresas más importantes, en términos de ventas, en México eran paraestatales o de propiedad netamente extranjera. Las empresas privadas con participación nacional comenzaban a destacar; como la Cervecería Cuauhtémoc que desde aquellos años ya se desempeñaba de manera exitosa al ocupar el doceavo lugar a nivel nacional y el grupo Modelo que también lograba ocupar importantes puestos en las primeras veinte posiciones. Hasta el 2009 los grupos mexicanos Modelo y FEMSA dominaban el mercado, en el 2010 FEMSA paso a manos de Heineken y en 2012 Modelo a AB inBev. En los últimos años, ambos grupos cerveceros no sólo han

buscado conquistar los paladares nacionales sino que la competencia entre ellas ha sobrepasado fronteras, al buscar ganar las preferencias de consumidores extranjeros (CANICERM, 2014).

1.4.1 Industria cervecera en México

La cebada es considerada como un producto estratégico y materia prima indispensable para la elaboración de cerveza. En la cadena agroalimentaria de la cebada maltera participan alrededor de 55,000 productores de cebada, dos grupos fabricantes de cerveza: Grupo Modelo que abarca alrededor del 56.4 % del mercado y en el 2011 hubo una alianza entre FEMSA y la cervecera Heineken quien abarca el 43.6 % del mercado consumidor de cerveza en México. La industria cuenta a la fecha con 17 plantas productoras de malta y cerveza en 11 estados del país. México está ubicado actualmente como el séptimo productor de cerveza a nivel mundial. La tasa de crecimiento promedio que la industria cervecera mostró en el periodo comprendido entre 1991 a 2003 fue del 12% anual. Este sector aportó en el año 2004 el 1.6 % del Producto Interno Bruto Nacional y el 3.8% de la recaudación fiscal total en México. La cadena productiva de esta industria genera unos 88,000 empleos directos y unos 800,000 empleos indirectos. Siendo el consumo per-cápita anual de alrededor de 50 litros (SAGARPA, 2005; INEGI, 2005).

Actualmente México es uno de los principales países productores y exportadores de cerveza, su reconocida calidad ha hecho que la Industria Cervecera Mexicana aporte a la economía mexicana cerca de dos mil millones de dólares por concepto de exportaciones de sus productos. Estados Unidos es el principal importador de cerveza mexicana (consume 86 por ciento del total de las exportaciones), el resto de las exportaciones las demandan Canadá, Bélgica y España con una participación de 4, 2 y 1 %, respectivamente (CANICERM, 2014).

1.4.2 Proceso de elaboración de cerveza

Durante la elaboración de la cerveza se llevan principalmente a cabo diferentes procesos como el malteo, cribado, molturación, maceración, enfriamiento, fermentación y pasteurización. Fundamentalmente, la industria cervecera busca que la cebada tenga dos características esenciales: por un lado, que la germinación sea homogénea y, por el otro, una buena calidad cervecera, es decir, bajo contenido de proteína.

Durante el proceso de malteado se producen las enzimas requeridas para la destilación y otros procesos, y hace a los almidones presentes en la cebada cruda más accesibles

a dichas enzimas. Los pasos clave en el proceso de malteado de acuerdo con la International Malting Co. U.S, son los siguientes:

- a) Remojado, el grano es remojado en tanques de agua para aumentar el contenido de humedad del mismo hasta un nivel uniforme, generalmente alrededor del 45%.
- b) Germinación, el grano remojado es esparcido y mantenido a temperatura constante para permitir que el embrión (o germen) de los granos brote de manera controlada, activando las enzimas que comienzan a convertir el almidón en azúcar.
- c) Secado, el grano germinado, a menudo llamado malta verde, es calentado con el fin de secarlo, detener la germinación e impartir color y sabor.

Durante la destilación, la cebada maltera es machacada o molida y luego calentada con agua en un proceso llamado molturación, esto permite que las enzimas producidas durante el malteado conviertan el almidón del grano en azúcares solubles, también denominadas extracto de malta. A continuación, el líquido dulce, llamado mosto, es separado del residuo del grano. El mosto, es luego hervido para purificarlo y agregar el lúpulo para impartir sabor adicional. Finalmente, se introduce levadura al mosto para comenzar la fermentación, durante la cual los azúcares son convertidos a alcohol y dióxido de carbono (USDA, 2004).

Para optimizar el rendimiento de la cebada en los procesos de malteado y destilación, las malteras buscan granos que germinen fácilmente y que tengan granos gordos y de tamaño uniforme. Los niveles proteicos también son clave, ya que están directamente relacionados con los niveles de almidón y enzimas. Un contenido proteico más alto corresponde a niveles enzimáticos más altos, pero a niveles de almidón más bajos. Por lo tanto, la cebada con niveles proteicos óptimos equilibra la cantidad de almidones y enzimas para maximizar el rendimiento del extracto de malta y destilación.

1.4.3 Propiedades de la cerveza

La cerveza es una bebida natural y con bajo contenido en calorías (aprox. 42 Kcal. por 100 ml), bajo grado de alcohol, no contiene grasas ni azúcares y sí una cantidad

importante de hidratos de carbono, vitaminas y proteínas; por lo que su “consumo con moderación” es benéfico para la salud humana y claramente recomendable para cualquier dieta equilibrada. El lúpulo es un ingrediente que solamente se encuentra en la cerveza; un sedante suave y al mismo tiempo de sabor amargo que estimula el apetito. La malta es un componente de la cerveza, que proporciona carbohidratos, minerales, elementos trazas, y los ácidos orgánicos y vitaminas importantes para la vida. El consumo de agua es muy benéfico para la salud del ser humano y el contenido de este líquido en la cerveza es muy alto. El contenido de calorías de una cerveza es menos que un vaso de jugo de manzana, leche o un refresco. Además de que funciona como diurético, porque es rica en potasio y baja en sodio, lo que ayuda a limpiar el organismo. Es un buen suplemento para una dieta de bajo contenido proteico, contiene más de 30 minerales, la mayoría de éstos se originan en la cebada malteada. Un litro de cerveza satisface casi la mitad de las necesidades diarias de magnesio de un adulto, y un 40% y 20% respectivamente de las necesidades diarias de fósforo y potasio. Al ser baja en calcio y rica en magnesio, tiene valores preventivos contra todo tipo de enfermedades del corazón y contra la formación de cálculos y piedras en las vías urinarias. La cerveza también contiene ácido fólico, auxiliar en la prevención de la anemia. Contiene todas las vitaminas importantes del grupo B, además de las vitaminas A, D y E. Por ejemplo, con un litro de cerveza se cubre el 35% de la necesidad diaria de Vitamina B6, el 20% de la de B2 y el 65% de la de niacina. La cerveza contiene aproximadamente 0,5 g de CO₂ por 100 g de cerveza. El gas carbónico favorece la circulación sanguínea de la membrana mucosa bucal, promueve la salivación, estimula la formación de ácido en el estómago y acelera el vaciado de estómago, todo ello favorable para una buena digestión. La ingesta de flavonoides presentes en buena cantidad en la cerveza, está relacionada con el incremento de la calcitonina. Estos evitan la pérdida de masa ósea tras la menopausia al aumentar la actividad de las células que construyen el hueso y disminuir la de las destructoras. La mejor forma de aprovechar los beneficios de la cerveza, es consumiéndola con moderación (Fonseca, 2009).

La cerveza sin alcohol según diversos estudios, es la bebida más ligera después del agua. Y entre sus principales propiedades es que contiene vitaminas como: B1, B2 y B6, así como glúcidos de asimilación lenta como el almidón y un apreciable aumento de las fibras alimenticias. Al igual que la cerveza tradicional, la que no contiene alcohol esta provista de ácido fólico que previene los riesgos de enfermedades cardiovasculares, previene la anemia, estimula el apetito, evita el estreñimiento y ayudan en los procesos de calcificación. La cerveza sin alcohol es recomendada para las personas que practican algún deportes, siguen una dieta, para las mujeres embarazadas o que están en la etapa de lactancia; así como quienes por prescripción médica, no pueden ingerir alcohol; de igual forma es muy adecuada para las personas que tienen que manejar pero desean probar el sabor de la cerveza (Fonseca, 2007).

1.5 Usos de la cebada

Además de la producción de cerveza, la cebada se utiliza para la alimentación de ganado, tanto en grano como en verde para forraje, específicamente en la alimentación de ganado vacuno de engorda, de porcino, en la avicultura, en la fabricación de harinas para la panificación, en la obtención de alcohol, como sustituto del café y en la fabricación de azúcares y productos alimenticios. Generalmente, las cebadas de ciclo largo suelen emplearse como forraje seco, aunque existen excepciones, mientras que la mayor parte de las de ciclo corto se utilizan para la elaboración de malta y producción de cerveza (Galarza-Mercado *et al.*, 2006). Existen tres tipos de cebada: de dos carreras o dísticas, de seis carreras o hexásticas y las irregulares. En Europa predomina el primer tipo, en tanto que en Estados Unidos se cultivan las de dos y seis carreras y en la zona del Mediterráneo la variedad irregular. Para la industria cervecera se utilizan tanto de dos como de seis carreras. Para las cebadas que se destinan como forraje, las de seis carreras (denominadas como “cebada caballar”) son de mejor calidad que las de dos carreras (cebada cervecera). Estas últimas poseen una gran homogeneidad en la germinación, bajo nivel de proteínas y alto poder diastásico.

La cebada es consumida por los humanos de las siguientes formas:

- a) Cebada perlada, es la forma más popular de cebada alimenticia. Las cáscaras externas no comestibles son removidas y los granos posteriormente son pulidos o perlados. Puede ser cocida y servida como guarnición o agregada a sopas, guisos, ensaladas, estofados y otros platillos.
- b) Harina de cebada, que tiene un contenido de gluten más bajo que la harina de trigo, puede ser usada para agregar fibra a productos de panadería o como espesante para sopas, guisos y salsas.
- c) Semolina de cebada, hecha a base de granos de cebada que han sido cortados en pequeños trozos, es usada para elaboración de alimentos comerciales como por ejemplo en cereales procesados, como aglutinante en embutidos o como suavizante o extensor en carnes molidas con bajo contenido de grasas.
- d) Malta de cebada, además de ser usada en la producción de cerveza, también puede aprovecharse en extractos y jarabes para agregar sabor, color y como edulcorante en alimentos comercialmente preparados tales como cereales, productos de panadería, confituras y bebidas.

Las investigaciones más recientes se han centrado en los beneficios potenciales de la cebada para la salud humana. Los resultados iniciales indican que la presencia de β -glucanos, una forma de fibra asimilable, disminuye el colesterol en la sangre, controlando enfermedades cardiovasculares (Keogh *et al.*, 2003; Shimizu *et al.*, 2008) ayuda a regular la respuesta de glucosa de la sangre y puede fortalecer el sistema inmunológico (Cavallero *et al.*, 2002; Caasiraghi *et al.*, 2006). En un estudio realizado por Mitsou *et al.*, (2010) encontraron los β -glucanos inducen un fuerte efecto bifidogénico en enfermos adultos mayores, sugiriendo un potencial efecto prebiótico.

1.6 Calidad de semilla

La calidad de la semilla (Tabla 1.1) es un concepto que se caracteriza por englobar una serie de cualidades básicas de tipo físico, fisiológico, genético y sanitario (Terenti, 2004).

1.6.1 Calidad física

La calidad física se asocia con el color, brillo, daños mecánicos, presencia o ausencia de cualquier contaminante distinto de la semilla deseable, como materiales inertes, semillas de malezas comunes y nocivas, formas reproductivas de plagas y enfermedades (Terenti, 2004). Lo primero que se considera en una muestra de cebada para comercializarse es el color, que debe ser amarillo pajizo con cierto brillo, lo cual es indicador de buenas condiciones sanitarias, maduración y cosecha. Los factores climáticos adversos pueden provocar la coloración negra en la base del grano, lo cual es un indicador de presencia de hongos que perjudican la germinación y la calidad del malteado. El brillo es un buen índice de las condiciones de maduración, cosecha y adecuado manejo de almacenamiento. El olor debe ser el propio de este cereal definido y sano, el olor a moho junto a la decoloración es indicio de que el lote ha sufrido condiciones desfavorables de almacenamiento y puede ser motivo de su rechazo (Arias, 1991).

1.6.2 Calidad fisiológica

La calidad fisiológica está determinada por la viabilidad y la capacidad de la semilla para germinar, emerger y dar origen a plantas uniformes y vigorosas (Aguado-Santacruz, 2008; Terenti, 2004). La germinación se define como la emergencia y desarrollo de aquellas estructuras esenciales que provienen del embrión, y que manifiestan la capacidad de la semilla para producir una planta normal bajo condiciones favorables (Moreno-Martínez, 1996). Cuando la semilla madura llega a la máxima vitalidad; a partir de ese momento comienza a envejecer o perder vigor, por ello el ambiente en donde se almacene debe ser seco y fresco (Terenti, 2004).

Tabla 1.1. Atributos de las cuatro cualidades de las semillas (Terenti, 2004).

Características Específicas	Cualidades
Productividad Adaptabilidad Resistencia a sequía, plagas y enfermedades	Calidad genética
Enfermedades transmisibles por semilla	Calidad sanitaria

Plagas y enfermedades típicas del almacenamiento, en bolsa, campo, silo etc.	
Nivel de madurez alcanzado Poder germinativo, vigor	Calidad fisiológica
Peso, humedad, tamaño Presencia/ ausencia de materia extrañas, malezas comunes y nocivas Uniformidad de formas, tamaños, color, brillo, vistosidad	Calidad física

El vigor de las semillas agrícolas se puede definir como la suma total de aquellas propiedades que determinan el nivel de actividad y comportamiento de la semilla o lote de semillas durante su germinación y emergencia de plántulas y depende de procesos y reacciones bioquímicas durante la respiración, velocidad y emergencia de las plántulas y la capacidad de emergencia de las plántulas bajo condiciones desfavorables del medio ambiente (Moreno-Martínez, 1996).

1.6.3 Calidad genética

La calidad genética se refiere a las características que el fitomejorador elige antes de liberar su nueva variedad (Castañeda-Saucedo, 2009). Se produce en la etapa de mejoramiento genético por medio de trabajos de cruzamiento, selección y las redes de verificación que desarrollan centros especializados en mejoramiento genético, orientados a obtener variedades e híbridos de mayor productividad, precocidad adaptabilidad, calidad del grano, mayor eficiencia en el uso de agua y nutrientes. Obtenidaa una nueva variedad e híbrido, comienza la etapa de multiplicación bajo normas estrictas de aislamiento, eliminación de plantas fuera de tipo y verificación permanentemente que permita asegurar la identidad y pureza genética evitando la degeneración del genotipo (Terenti, 2004).

En México el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), genera tecnologías, que permiten mejorar los niveles de productividad, rentabilidad, competitividad, y sostenibilidad de la producción nacional de campo en sus diversas regiones

agroecológicas. El éxito del mejoramiento genético de cebada maltera se inició desde la década de 1960, a la fecha se han liberado 18 cultivares con adaptación a riego y temporal. Bajo este contexto las variedades, Esperanza, Esmeralda, Adabella y Armida son variedades elite desarrolladas por el INIFAP, que constituyen la fuente a partir de la cual es posible desarrollar nuevas variedades de este cereal, con características agronómicas mejoradas (Aguado-Santacruz, 2008).

1.6.4 Calidad sanitaria

La sanidad de las semillas se refiere a la presencia o ausencia de organismos que causan enfermedades, tales como hongos, bacterias y virus, así como plagas animales, incluyendo nematodos e insectos. Asegurar la calidad de las semillas es importante, para determinar los microorganismos inicialmente presentes en la semilla, que pueden ocasionar el desarrollo progresivo de enfermedades en campo y reducir el valor comercial del cultivo; además de poder determinar si lotes procedentes de semillas importadas presentan algún tipo de organismo capaz de producir enfermedades o plagas dentro de regiones que no estaban presentes (FAO, 2011).

Las actividades de investigación y desarrollo de variedades o híbridos son capaces de incorporar características de resistencia y tolerancia a enfermedades. Estas actividades se deben complementar en la etapa de producción de semilla utilizando semilla original sana y los lotes de producción con una buena sanidad, rotación de cultivos, aislamiento, tratamiento de la semilla, acondicionamiento y almacenamiento adecuados (Terenti, 2004). Algunos hongos que invaden las semillas de cebada como *Helminthosporium sativum* (sin: *Bipolaris sorokiana*, *Helminthosporium sorokinianum*) agente causal de la mancha de la hoja y *Fusarium graminearum* (pudrición de corona, raíz y roña) son transmitidas a través de la semilla. La patología de semillas implica el estudio y manejo de las enfermedades que afectan a las semillas, el desarrollo de enfermedades en los cultivos se puede prevenir mediante la realización de pruebas de calidad sanitaria en el laboratorio, las cuales nos permitan cuantificar e identificar a los patógenos asociados a las semillas (González, 2016).

Todos los productos agrícolas son invadidos por diversos microorganismos durante su desarrollo en el campo, su transporte y almacenamiento, siendo los hongos los más abundantes y la principal causa de enfermedades, ocasionando pérdidas económicas al reducir

el potencial de producción de los cultivos que atacan. Durante su desarrollo, los granos y semillas pueden ser invadidos por diversos hongos en el campo, que además, pueden ser transmitidos de un ciclo a otro a través de las semillas. Así mismo, durante su transporte y almacenaje, los granos y semillas pueden ser invadidos por hongos cuyo hábitat natural generalmente son las bodegas, silos y trojes (Moreno-Martínez, 1988).

Christensen y Kauffman (1969) clasificaron, desde el punto de vista ecológico, a los hongos que crecen sobre productos agrícolas en especial los que invaden granos y semillas durante su desarrollo, cosecha o almacenamiento en tres grupos principales los cuales se describen a continuación:

1.6.4.1 Hongos de campo

Son aquellos hongos que invaden los granos y semillas antes de la cosecha y requieren de humedades relativas mayores de 90% para su crecimiento. Este grupo incluye especies de diversos géneros como: *Alternaria*, *Fusarium*, *Helminthosporium*, *Cladosporium*, entre otros, que se caracterizan por ocasionar diferentes enfermedades a las plantas y que son transmitidos de un ciclo a otro a través de las semillas.

1.6.4.2 Hongos de almacén

Son aquellos que invaden los granos y semillas después de la cosecha; principalmente incluyen especies de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*, los cuales pueden crecer en humedades relativas de 65-90%, condiciones de humedad muy frecuentes en el almacenamiento de granos y semillas. Se ha encontrado que algunas especies pueden invadir el grano desde el campo, especialmente cuando las condiciones ambientales favorecen su desarrollo.

1.6.4.3 Hongos de deterioro avanzado

Los hongos causantes de deterioro avanzado, como *Chaetomium*, *Rhizopus*, *Mucor* y algunas especies de *Aspergillus*, entre otros, son aquellos que pueden invadir los granos y semillas y otros productos que han estado bajo muy malas condiciones de almacenamiento, las que, en ocasiones, se inician en el campo. Estos hongos se

desarrollan en productos almacenados en altas humedades relativas, superiores al 90%.

Los principales daños ocasionados por estos hongos son: 1) reducción del poder germinativo; 2) ennegrecimiento total o parcial de los granos y semillas (particularmente de los embriones); 3) calentamiento y hedor; 4) diversos cambios bioquímicos; 5) producción de micotoxinas; y 6) pérdida de peso.

1.6.5 Micotoxinas

Los hongos filamentosos que se desarrollan en alimentos, granos y semillas pueden producir metabolitos secundarios tóxicos llamados micotoxinas que al ser ingeridos por el hombre o animales pueden poner en riesgo la salud del hombre y animales. Los géneros más comunes productores de micotoxinas son *Fusarium*, *Aspergillus* y *Penicillium*, principalmente son hongos ubicuos, con especies que causan graves daños en cultivos de cereales y materias primas, produciendo micotoxinas antes o inmediatamente después de ser cosechados; algunas especies de *Aspergillus* y *Penicillium* son más frecuentes en condiciones de sequía o durante el almacenamiento y secado de los cereales o materias primas (Pitt, 2000). Son muchos los factores que intervienen en la proliferación fúngica y contaminación con micotoxinas. Los principales factores son temperatura y humedad, tipo de suelo la susceptibilidad del cultivo, y la variedad de que se trate, la madurez de los granos en el momento de la cosecha, los daños mecánicos o los producidos por insectos y/o pájaros sobre el cereal y el tipo de almacenamiento (AFHSE, 2015).

En el hombre pueden causar enfermedades desde repuestas alérgicas por inmunosupresión hasta cáncer. Las micotoxinas más importantes son las Aflatoxinas, Ocratoxina A, Fumonisin, Tricotecenos y Zeralenonas y al resultado por la exposición de los animales o humanos al consumo de alimento contaminado con micotoxinas se le llama micotoxicosis (Wayne, 2007), las cuales pueden presentar principalmente cuatro formas básicas de toxicidad: aguda, crónica, mutagénica y teratogénica. Uno de los efectos agudos tóxicos descritos es el daño causado principalmente en el hígado y riñón, que en casos severos pueden causar la muerte. Algunas micotoxinas actúan principalmente inhibiendo la síntesis de proteínas causando alergia en la piel, necrosis y en casos extremos inmunodeficiencias. Otras son neurotóxicas y en bajas dosis pueden causar temblores continuos en animales y en dosis ligeramente altas pueden causar

daño en el cerebro e incluso la muerte. El primer efecto crónico de muchas micotoxinas es la producción de cáncer en el hígado, debido a que algunas micotoxinas como las aflatoxinas afectan la replicación de DNA, causando efectos mutagénicos o teratogénicos (Pitt, 2000).

1.6.5.1 Aflatoxinas

Las aflatoxinas son principalmente producidas por especies de *Aspergillus flavus*, *Aspergillus parasiticus* y *Aspergillus nomius*, las cuales se producen cuando en el almacén los niveles de humedad y temperatura son altos; por lo que es necesario después de la cosecha secar el grano o semilla a 13.5 % para cereales y 5.0 -6.0 % para oleaginosas (Moreno,1988). Las aflatoxinas han sido encontradas principalmente en cereales, oleaginosas, especias, higos, algodón entre otros (AFHSE, 2015; Pitt, 2000).

Las aflatoxinas tienen efectos agudos y crónicos en los animales, incluso el hombre provocando daños agudos como cirrosis, tumores y efectos teratógenos. Las cuatro principales tipos de aflatoxinas que se conocen por sus siglas en inglés son: B₁, B₂, G₁, G₂ y M₁ y M₂. “B y G” se refieren a que fluorescen azul y verde respectivamente en comatografía de capa fina y M a que fueron encontradas en la leche (Murphy, 2006). Cuando las aflatoxinas B y G son ingeridas por vacas lactando son hidroxiladas y pasan a la leche en forma de aflatoxinas M₁ y M₂ siendo menos tóxicas, sin embargo, representando un riesgo para los infantes (Pitt, 2000).

Desde el punto de vista físico-químicos las aflatoxinas son sustancias cristalinas que se disuelven fácilmente en solventes ligeramente polares como el cloroformo, metanol y el agua a razón de 10/20 mg por litro, presentan fluorescencia a la luz ultravioleta y son termoestables soportan temperaturas superiores a 100°C y son sensibles a la hidrólisis alcalina (AFHSE, 2015).

1.6.5.2 Ocratoxina A

La Ocratoxina A es una micotoxina nefrotóxica, inmunosupresiva y probablemente cancerígena, es soluble en grasas por lo que tiene efectos acumulativos, se ha encontrado en carne de cerdo y en pan elaborado con granos de trigo o cebada. En Europa ha sido encontrada en la sangre de humanos en niveles de 35 µg/kg y también en leche para consumo humano en las mismas concentraciones (Pitt, 2000). También son comunes en nueces, cacao, café verde, jugo de uva, vino, cerveza, especias y frutos secos (AFHSE, 2015) y en el norte de Europa se ha asociado a granos de trigo y cebada (Pitt, 2000).

Es sintetizada principalmente por algunas especies del género *Aspergillus* como *Aspergillus ochraceus*, *Aspergillus carbonarius*, en menor proporción por *Aspergillus niger*. La ocratoxina A también es producida por especies del género *Penicillium* como *Penicillium viridicatum* y *Penicillium verrucosum* esta última especie principalmente en granos de trigo y cebada de zonas templadas de Europa así como en carne procedente de Alemania y otras regiones de Europa (Pitt, 2000).

Se caracteriza por ser una sustancia cristalina incolora que presenta fluorescencia azulada bajo luz UV y debido a la presencia de un grupo ácido en su estructura química, es moderadamente soluble en solventes orgánicos polares como el cloroformo, metanol, acetonitrilo y se disuelve libremente en solución acuosa diluida de bicarbonato de sodio. Su sal sódica es soluble en agua. Es una molécula relativamente estable durante los procesos de manufactura como el malteado, elaboración de cerveza, elaboración de cereales para desayuno, producción de derivados del café, fabricación de piensos y puede transferirse a las carnes y otros alimentos de origen vegetal (AFHSE, 2015).

1.6.5.3 Fumonisinias

Fueron descubiertas a finales de los ochentas, causan la leucoencefalomacia en equinos y cerdos debido a que están formadas por una cadena alifática de 20 carbonos con dos esteres unidos a una cadena alifática, pareciéndose a la esfingosina, un fosfolípido esencial en la membrana celular. La acción tóxica de las fumonisinias se presenta debido a que compite por las esfingosinas en la vía metabólica de los esfingolípidos. El efecto de las fumonisinias, se ha asociado a la producción de cáncer de esófago, ya que en Transkei al sur de África debido consumo de maíz contaminado con fumonisinias, se ha encontrado una alta incidencia de cáncer de esófago. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer considera a la Fumonisina B₁ como una sustancia posiblemente cancerígena para el humano, pero no es considerada mutagénica y teratogénica. Solo altera la proliferación celular es decir causa una hiperplasia (Pitt, 2000). Produce leucoencefalomacia en caballos y edema pulmonar en cerdos, en México, Rosiles *et al.* (1998) reportaron un brote de (ELEM) en 100 burros en el Oaxaca.

1.6.5.4 Deoxinivalenol

El deoxinivalenol (DON) y nivalenol son toxinas producidas por especies de *Fusarium*. El DON también es conocido como vomitoxina por su efecto en animales principalmente cerdos, se ha encontrado que es causante de micotoxicosis en humanos en países como India, China, Japón y Korea. En los humanos produce anorexia, náuseas, vómito, dolor de cabeza, dolor de estómago, diarrea, escalofrío, mareo y convulsiones (Pitt, 2000). El DON y el nivalenol no son consideradas cancerígenas sin embargo producen efectos sinérgicos con las aflatoxinas. Una de las principales especies de tricotecenos es *Fusarium graminearum* especie endémica del trigo y otros cereales a nivel mundial (Pitt, 2000). Es común en trigo, cebada, avena, triticale, centeno, maíz, sorgo y en menor medida en arroz, como se trata de una micotoxina químicamente estable y soluble en agua se ha podido detectar en productos derivados de cereales como pan, noodles, alimentos infantiles, cereales para desayuno, malta y cerveza (AFHSE, 2015).

1.6.5.5 Zearalenona

La Zearalenona es una micotoxina que causa un síndrome estrogénico, produciendo problemas del aparato reproductor principalmente en cerdos, en las hembras causa infertilidad, abortos, cambios en la vulva y en los machos atrofia de los testículos, disminución del líbido, hipertrofia de las glándulas mamarias (Pitt, 2000). La zearalenona ha sido asociada a cambios precoces en la pubertad de niños (Kuiper-Goodman, *et al.*, 1987). Ha sido asociada a cultivos de trigo, cebada, maíz, arroz y otros cereales. Presenta sinergismo con otros hongos micotoxígenos y su efecto estrogénico se potencializa, puede de ser transferida a la carne y leche. Se caracteriza por ser una molécula que presenta fluorescencia azul verdosa bajo luz UV de 360 nm y verde más intenso cuando se expone a luz UV de 260 nm, su solubilidad en agua es de 0.002g/100ml (AFHSE, 2015).

1.6.5.6 Alternariol y otras micotoxinas

El género *Alternaria* está representado por diversas especies ubicuas patógenas y saprofitas de plantas que causan daño en los cultivos en el campo o en productos poscosecha, se calcula que el 20% de los cultivos pueden ser invadidos por especies de *Alternaria* (Garg y Singh 2016). Se ha demostrado que *Alternaria alternata*, causa manchado en las hojas de diferentes cultivos de cereales, frutales y verduras; semillas de cereales y oleaginosas, y además es productor de diferentes micotoxinas como el alternariol (AOH), monometil-eter de alternariol

(AME), altenueno (ALT), altertoxins (ATX) y ácido tenuazoico (TeA) (Scott, 2001). Algunos estudios realizados por Liu *et al.* (1992) sugieren que el AME y AOH en células epiteliales de esófago *in vitro* pueden inducir proliferación celular y ser una causa etiológica de cáncer de esófago.

La prevención de enfermedades en los cultivos y contaminación de los productos agrícolas como la cebada por hongos y otros patógenos, debe ser controlada por el uso de medidas de combate antes de la cosecha y después de la cosecha, con el fin de retardar o reducir las infecciones y en consecuencia la producción de micotoxinas (Gallo *et al.*, 2015).

1.7 Métodos de control

Las alternativas de manejo en los cultivos agrícolas para el control de enfermedades pueden ser aplicadas de manera independiente o integrada con el objetivo de desarrollar un control racional de las enfermedades que aseguren el rendimiento, la calidad y la inocuidad del producto final. Los métodos de control más empleados son: a) resistencia genética; b) prácticas culturales; c) control químico; d) control biológico y e) manejo integrado (Tabla 3.2).

La resistencia genética es la estrategia más económica, eficiente y ecológica de control. Según el mecanismo de resistencia que presente la planta hospedera, actuará sobre el patógeno (hongo) retrasando o impidiendo la etapa de infección, de incubación o latencia. Con relación a las prácticas culturales se incluyen medidas como rotación de cultivos, manejo del ratrojo, eliminación de hospedantes alternativos, uso de semilla limpia, y básicamente apuntan a prevenir que el patógeno entre en contacto con el hospedante (dispersión, sobrevivencia, inoculación). El control químico se basa en el uso de fungicidas erradicantes, de contacto (de amplio espectro, no específicos), y/o sistémicos (selectivos, específicos), que actúan sobre el patógeno en las etapas de inoculación, penetración, e incubación, respectivamente. El control biológico consiste en el uso de otros microorganismos que ejercen una acción antagónica contra los patógenos, a través de competencia, antibiosis, y/o parasitismo; actúa principalmente previniendo la etapa de inoculación (Pereyra y Altier 2011).

El 90 % de las enfermedades que afectan a los cultivos destinados a la producción de alimentos son transmitidos a través de las semillas. Antes de la cosecha, diversos patógenos pueden colonizar las semillas de cebada pudiendo ser causa de disminución de rendimiento y de la calidad. Dentro de los patógenos que están asociados a las semillas, los hongos representan el

mayor grupo, seguido por las bacterias y en menor proporción virus y nematodos (González, 2011; Moreno, 1996). Una de las medidas recomendadas para disminuir la presencia de enfermedades transmitidas por semilla, es el tratamiento químico, cuyo efecto consiste en inhibir o matar los patógenos que se encuentran asociados a la semilla, y combatir patógenos habitantes del suelo. Los hongos pueden ser controlados por fungicidas de contacto como Tiram, Captán, Azoxystrobin, Carbendazim, Mefenoxam entre otros y fungicidas sistémicos de amplio espectro pertenecientes al grupo químico de los triazoles (Difenoconazole, Tebuconazole, Triticonazole e Ipconazole) (González, 2011). El objetivo de las semillas con fungicidas es el de proteger su germinación, vigor y sanidad de la acción de los hongos que son acarreados dentro o sobre las simientes, así como de los que se encuentran en el suelo (Moreno, 1996).

Tabla 1.2. Métodos aplicados para control de fitopatógenos (Elaboración propia, 2016)

Cultivo/ alimento	Tipo de control	Ventaja	Desventaja	Resultados encontrados (hongo o bacteria controlada o no)	Referencia
<i>Triticum aestivum</i>	Resistencia genética	Incorporación de genes de resistencia en trigo a hongos causantes de royas	Temperaturas altas se puede perder la resistencia y causar un mayor daño. Especialmente en <i>Puccinia striiformis</i>	Control de royas <i>Puccinia recóndita</i> y <i>Puccinia striiformis</i>	Uauy <i>et al.</i> , (2005); Milus <i>et al.</i> , (2009)
<i>Hordeum vulgare</i>	Químico	Reducción de la enfermedad	Temperaturas altas (15 vs 10 °C), lluvia, velocidad del viento, radiación solar, reducen la eficacia del efecto fungicida .	Control de <i>Ustilago nuda</i>	Bedos <i>et al.</i> , (2002); Martin y Edgington (1980).
<i>Zea mays</i> , <i>Triticum aestivum</i> y otros cereales	Transgénicos (Genéticamente modificados)	Incorporación de genes resistencia a través de <i>Bacillus thermophilus</i> (BT), minimizando el daño causado por insectos.	La reducción de niveles de micotoxinas pueden no ser aceptables, para consumo animal y humano. Para <i>A. flavus</i> no se observó reducción de aflatoxinas.	Resistencia a insectos y reducción de pudrición de mazorca causada por <i>F. verticillioides</i> y <i>F. proliferatum</i>). Así como la reducción de niveles de micotoxinas en grano.	Murphy <i>et al.</i> , (2006)
<i>Hordeum vulgare</i>	Prácticas culturales (rotación de cultivos y manejo de rastrojo)	Rotación de uno o dos periodos durante el invierno sin el cultivo susceptible reduce significativamente la enfermedad	Puede resultar medianamente eficaz para el control de fusariosis, por presentar un amplio rango de hospederos.	<i>Fusarium graminearum</i> reducción de la fusariosis de la espiga.	Pereyra y Dillmacky, (2008)
Semillas cereales	Control biológico	No contaminan el suelo, no crea resistencia, bajo costo y mejoran la producción.	La aplicación puede ser afectada por condiciones ambientales, el efecto es a largo plazo	El tratamiento se semillas con <i>Bacillus subtilis</i> cepa A13, o <i>Streptomyces sp.</i> protegen a las plantas contra patógenos de raíz presentando un mejor crecimiento y desarrollo	Agrios, (2005)
<i>Phaseolus vulgaris</i>	Control biológico	No contaminan el suelo, no crea resistencia, bajo costo y mejoran la producción.	La aplicación puede ser afectada por condiciones ambientales, el efecto es a largo plazo	<i>Trichoderma viride</i> cepa (C66), presentó efecto sobre el desarrollo de hongos patógenos del frijol, 99% sobre <i>R. solani</i> y 97.4% sobre <i>M. phaseoli</i>	González Rodríguez <i>et al.</i> (2005)

Con respecto al control de bacterias fitopatógenas como *Xanthomonas axonopolis* pv. *citri* la aplicación de productos químicos es limitado, en el pasado se empleaban bactericidas como el tris-hidroclorhidrato y tris-sulfato, sin embargo, estos productos además de ser caros son

fitotóxicos y su uso ha sido restringido en algunos países. Otro producto empleado en algunos países como Sudan e India el mercurio de etileno clorado para el tratamiento de semillas de algodón, causando una catastrófica intoxicación en el hombre y animales. Actualmente se utilizan compuestos heterocíclicos con nitrógeno o sulfuro como los benzimidazoles. En el caso de invernaderos generalmente se emplean bactericidas como la cloropicrina u otros en menor escala como el thiram o el metam-amonio (Fucikovsky, 2002).

En poscosecha una de las medidas comúnmente empleadas para reducir el desarrollo de hongos durante el almacenamiento es disminuir el contenido de humedad en niveles inferiores al mínimo requerido para el desarrollo de hongos comunes en el almacenamiento. Para cereales por debajo del 13% ya que algunas especies xerófilas de *Aspergillus* pueden crecer y ocasionar deterioro entre 13 a 13.2% por debajo del 13.0%. Otras especies requieren un mínimo de contenido de humedad en el grano de 14% o más para ocasionar pérdidas económicas. También es conveniente conservar el grano en temperaturas bajas debido a que la mayoría de los hongos de almacén crecen con mayor rapidez a temperaturas entre los 30 y 55°C, se retrasa su desarrollo de 12 a 15 °C y se reduce considerablemente de 5 a 8 °C. Así mismo, las bajas temperaturas retrasan los procesos de respiración del grano y previenen el aumento de humedad en ellos. El uso de fumigantes previene la infestación del grano con insectos y ácaros vectores de los hongos. El grano almacenado no debe estar inmaduro o demasiado viejo, debe estar limpio, tener buen índice de germinación y no haber sufrido daño mecánico, así como estar libre de semillas rotas. Es conveniente tener un buen flujo de aire durante el almacenamiento, para reducir el calor y el exceso de humedad (Agris, 2002).

Debido a la dificultad que representa prevenir la contaminación de granos con micotoxinas se han desarrollado diversos métodos para la detoxificación y biodegradación de micotoxinas en alimento para animales, los cuales inactivan, destruyen o remueven las micotoxinas, conservando su valor nutrimental y su aceptación como alimento (Gallo, 2011). Los agentes secuestrantes de micotoxinas son capaces de adsorber las micotoxinas en alimentos contaminados sin que se presente una disociación entre el complejo secuestrante-micotoxina, pasando a través del tracto gastrointestinal y siendo la toxina eliminada por las heces fecales (CFP/EFSA/FEEDAP, 2009). Los adsorbentes pueden ser de origen inorgánico a base de sílica o carbón, (aluminosilicatos) u orgánico como bacterias (*Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Lactococcus*, *Streptococcus* entre otras, hongos (glucomanos de paredes de

Saccharomyces cerevisiae) y enzimas (epoxidasa, lactohidrosa entre otras) (Gallo *et al.*, 2015; CFP/EFSA/FEEDAP, 2009).

En los últimos años debido a los efectos adversos que tienen algunos agroquímicos sobre la salud humana, animal y ecológica se ha empleado el uso de luz láser de baja intensidad como un método físico de control de hongos en la agricultura, por tener efecto fungicida y fungistático. Encontrando que la luz láser de He-Ne, con potencia de 7.3 mW durante tiempos de exposición de 1, 3, 6 y 10 min en semilla de soya (*Glycine max* L.) teñida con azul de metileno, rojo de metilo y carmín, al ser colocada al momento de ser irradiada en un dispositivo con movimiento, observaron una reducción, en el número de hongos transmitidos por la semilla como *Rhizoctonia solani*, *Alternaria tenuissima*, *Cercospora kikueli* y *Colletotrichum truncatum*, a partir de los 3 minutos, siendo mejor el efecto a medida que el tiempo de exposición fue mayor y los hongos fueron completamente eliminados a los 10 minutos de exposición (Ouf y Abdel-Hady, 1999).

1.8 Aplicación del Láser en la Agricultura

El primer láser lo construyó Theodore H. Maiman en Malibú, California, con una barra de rubí aproximadamente de un centímetro de diámetro, rodeada de una lámpara de xenón en forma de hélice. Los extremos de la barra de rubí fueron recubiertos con unas películas reflectoras, a fin de que actuaran como espejos. El bombeo óptico de los átomos de cromo del rubí se efectuaba mediante una descarga luminosa muy intensa proporcionada por la lámpara de xenón. El láser entonces emitía una descarga muy rápida e intensa de luz roja. Este tipo de láser no era continuo sino pulsado o intermitente. Arthur Schawlow en 1960, construyó el primer láser de gas, el cual consta de un tubo de vidrio que tiene en su interior una mezcla de los gases helio y neón. Los átomos que producen la emisión láser son los del neón. El propósito de emplear el helio es producir colisiones entre los átomos de helio y los del neón, para que la energía del choque sea absorbida por los átomos del neón, produciendo así el bombeo óptico. A fin de provocar estas colisiones se establece una corriente eléctrica dentro del gas, por medio de dos electrodos, en los extremos del tubo se colocan los espejos para retroalimentar el láser (ILCE, 2012).

Los principales tipos de láseres que existen se pueden clasificar en continuos o pulsados, de baja potencia o de alta potencia, según el color de la luz que emiten, o según el material del que están hechos. A continuación se mencionarán brevemente algunos de los principales láseres, clasificándolos según el estado del material que se usa como medio amplificador:

- a) Láser de gas. Estos son los láseres más comunes y útiles, se construyen con un tubo de vidrio con dos electrodos internos para mantener una descarga eléctrica a través del gas.
- b) Láser sólido. Se entiende por láser sólido aquel en el que el medio activo es sólido. Esto incluye a los semiconductores, llamados también de estado sólido.

En la agricultura se han utilizado diferentes tipos de láseres desde el infrarrojo hasta el ultravioleta, cubriendo todo el intervalo visible. Existen diferentes tipos de láseres: sólidos, gaseosos, semiconductor. Entre los que se han aplicado en la agricultura principalmente son (Hernández *et al.*, 2010):

1. Láser de Rubí (694 nm)
2. Láser de He-Ne (632.8 nm)
3. Láser de Nitrógeno (337.1 nm)
4. Láser de Argón (514.5 nm)
5. Láser de CO₂ (10,060nm)

Estos láseres han sido utilizados solo o en forma combinada, con simple o diferentes regímenes de radiación (Figura 1.8). La longitud de luz láser frecuentemente utilizada en el proceso de bioestimulación es la roja, donde se presenta la absorción por el fitocromo.

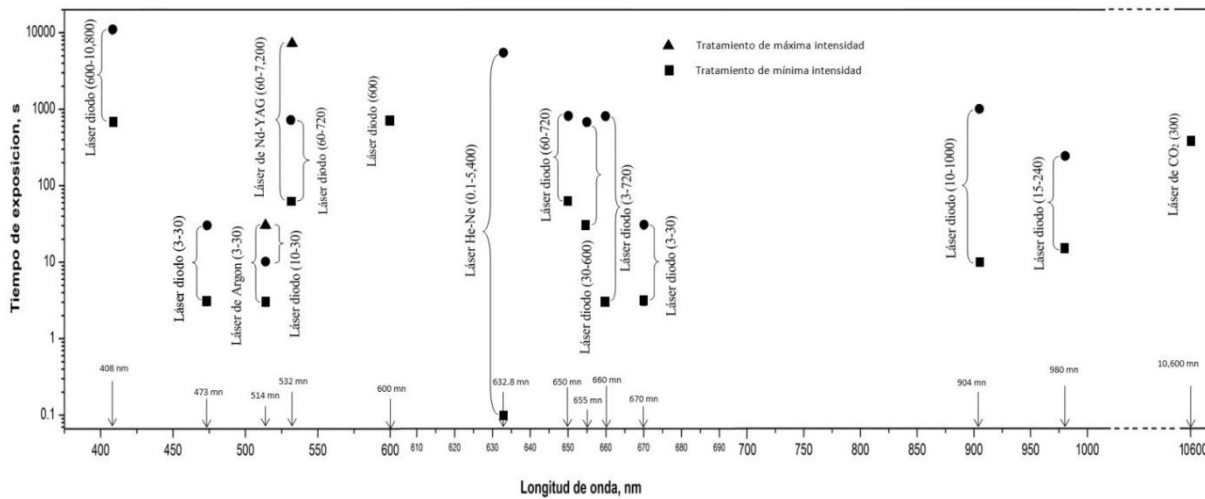


Figura 1.8 Algunos de los intervalos de tiempos de diferentes láseres aplicados como tratamiento de semilla y plántulas (Hernández *et al.*, 2016).

1.8.1 Efecto del láser en la Agricultura

Los estudios de investigación sobre el efecto de bioestimulación del rayo láser en diferentes sistemas biológicos probados como protección al medio ambiente se iniciaron a mediados de los 70s. La idea principal fue estimular procesos biológicos para poder adaptarse a cambios medio ambientales sin cambiar los genotipos de los organismos (Jakubiak y Gdowska 2013). Los trabajos de Dobrowolski *et al.*, 2001, probaron que la estimulación láser es un método exitoso ya que aumenta el estatus energético, así como las habilidades homeostáticas de los organismos para poder adaptarse mejor a condiciones desfavorables. La estimulación en las plantas también se ha encontrado que aumenta la resistencia a la contaminación y condiciones ambientales adversas. El efecto de la absorción de la radiación en las células puede aumentar la actividad enzimática, principalmente en los procesos de obtención de energía celular, de la misma forma la estimulación láser puede inducir cambios en el metabolismo celular (Jakubiak y Gdowska 2013). La luz láser también puede causar efectos de bioestimulación sobre diferentes microorganismos como bacterias, algas, protozoarios, hongos así como plantas y animales. Así mismo, se ha encontrado que la estimulación láser puede aumentar la acumulación de elementos trazas en los tejidos de las plantas (Dobrowolski *et al.*, 2006). En un trabajo realizado con *Salix viminalis* planta usada en bioremediación de suelos contaminados con químicos, fue irradiada con láser de argón, se encontró un aumento en la acumulación al doble de micronutrientes como Cu, Cr, Mn y Fe, mientras que la deposición de Zn y Pb fue 50% más alto

en comparación con las plantas no irradiadas. Estos mismos resultados se encontraron al irradiar plántulas de *Salix* con láseres de helio y diodo dando como resultado la estimulación de la rizogénesis, aumento de la biomasa y un más rápido crecimiento (Sliwka y Jakubiak 2007).

Los bioefectos debidos al uso de luz láser de baja intensidad (ILBI) en la agricultura, ha mostrado que puede ser un factor que causa efectos directamente en las cualidades de las semillas así como en sus fases tempranas de germinación y crecimiento de la planta. La aplicación de luz láser de baja intensidad es absorbida por las semillas y plántulas convirtiéndola en energía química, encontrando cambios fisiológicos que aceleran la germinación de las semillas, el crecimiento y desarrollo de la planta, siendo estas más resistentes a enfermedades y heladas (Jakubiak y Gdowska, 2013; Hernández *et al.*, 2010). La bioestimulación con luz láser y con pre-remojo ha tenido gran impacto en algunos cultivos vegetales como el pepino, tomate, lechuga, zanahoria, chícharo, rábano, semilla de girasol, en cereales como maíz, trigo, cebada y soya. Observándose una germinación sincrónica, una aceleración en la maduración y respuestas positivas en el campo obteniendo frutos de mayor calidad, aumento en el contenido de los nutrientes como resultado de la fotoestimulación (Jakubiak y Gdowska, 2013; Aladjadjian, 2007). En estudios realizados en Bulgaria con He-Ne láser se ha encontrado un aumento en la germinación de semillas de soya entre una 8 a 10%, en pimienta de un 3 a 14%, en zanahoria de un 5% y en remolacha azucarera del 12% (Aladjadjian, 2007). En semillas de cereales sometidas a un proceso de preremojo e irradiadas con luz láser se encontró un incremento la productividad de los cultivos, para el maíz de un 10 a 15%, en trigo de 20 a 30%, en cebada de 20 a 25%; en el grano de trigo de primavera irradiado con luz láser de He-Ne se encontró un aumento en el contenido proteico entre un 12 y 14% (Jakubiak y Gdowska 2013). La estimulación con luz láser provoca un aumento en la energía de las semillas, siendo absorbida la energía fotónica del láser por la clorofila afectando directamente la intensidad de la fotosíntesis. Por otro lado el efecto positivo que se ha observado durante el preremojo preliminar de las semillas irradiadas, se puede deber a la inhibición de agua por las células, lo cual contribuye para que la membrana celular se adelgace y se vuelva más hialina aumentando los efectos de irradiación al aplicar la luz láser (Aladjadjian, 2007). Así mismo, se ha reportado que la activación de plantas con láser, produce un incremento en el potencial bioenergético permitiendo el aumento de la activación del fitocromo y sistemas fermentativos, así como la estimulación de procesos bioquímicos y fisiológicos (Vasilevski *et al.*, 2001).

1.9 Contexto Social

En nuestro planeta tierra la industrialización indiscriminada, producción de contaminantes, deforestación, uso de combustibles fósiles entre otros, ha provocado un cambio climático importante a nivel mundial, el cual está causando daños irreversibles en nuestros recursos naturales de los cuales depende nuestra agricultura, llevando consigo a una mayor demanda de alimentos, semillas, granos y combustibles. Los fenómenos climáticos extremos (inundaciones y sequías) van en aumento y se calcula que su frecuencia y magnitud se incrementarán y que probablemente afecten de forma considerable a la producción forestal y agrícola provocando la escasez de alimentos y el hambre por un aumento en los precios. Existe un riesgo serio de conflictos futuros por tierras habitables y recursos naturales tales como el agua dulce. El cambio climático está afectando además la distribución de plantas, las especies invasivas, las plagas y los vectores de enfermedades; y es posible que aumenten la incidencia y la localización geográfica de muchas enfermedades del ser humano, los animales y las plantas (Leakey *et al.*, 2008). Los cereales representan el 67% de la producción mundial de granos, contribuyendo con las dos terceras partes de los alimentos primarios (Salgado-Vega y Miranda- González, 2010), los cuales pueden ser invadidos por hongos durante su formación en el campo y almacenamiento, pudiendo producir diversas micotoxinas poniendo en riesgo la salud humana y animal. La seguridad e inocuidad de los alimentos es un aspecto prioritario y de máxima importancia no sólo para las administraciones públicas, sino también y sobre todo, para la industria de alimentos (Sanchis, *et al.*, 2004).

La presencia de micotoxinas en granos de cereales como la cebada puede inducir efectos nocivos de tipo agudo como crónicos en el humano y animales. Dentro de los cuales se pueden presentar efectos hepatotóxicos, genotóxicos, inmunosupresivos, estrogénicos, nefrotóxicos, teratógenos y/o carcinógenos poniendo en riesgo la salud del hombre y animales, causando pérdidas económicas considerables. Generalmente este tipo de pérdidas son difíciles de estimar, sin embargo la FDA, basada en modelos matemáticos ha señalado que en Estados Unidos el costo potencial económico debido a cultivos contaminados con micotoxinas es de 932 millones de dólares anuales. La FAO estima que el 25% de los cultivos a nivel mundial son contaminados anualmente por micotoxinas, presentándose pérdidas anuales de 1 billón de toneladas de alimentos.

La presencia de varias micotoxinas al mismo tiempo de forma natural en los cereales se puede deber a tres factores principales: a) Hongos capaces de producir a la vez diferentes

micotoxinas. b) La contaminación de las materias primas de alimentos se puede presentar por varios hongos simultáneamente o por una rápida sucesión de éstos. c) En la dieta de alimentos para animales y humanos generalmente puede estar elaborada con diferentes tipos de granos como materia prima pudiendo estar contaminados con diversas micotoxinas (Smith *et al.*, 2016).

1.9.1 Enfermedad no transmisible

A nivel mundial, 63% de las muertes anuales son causa por enfermedades no transmisibles, que generalmente son crónicas, es decir de larga duración y lentas. Principalmente cardiovasculares, respiratorias, diabetes y cáncer, que juntas causan aproximadamente 38 millones de defunciones anuales, de las cuales el 75% se concentran en países de medianos y bajos ingresos (OMS, 2015). De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud el cáncer provoca anualmente ocho millones de muertes, siendo esta enfermedad la primera causa de muerte a nivel mundial. En el 2015 la OMS, menciona que los tipos de cánceres más comunes entre los varones son de pulmón, próstata, colonrectal, estómago e hígado; mientras que en las mujeres son el cáncer de mama, colonrectal, pulmón, cuello del útero y estómago. Si bien no hay una causa que origine su aparición el Centro Internacional sobre Investigaciones sobre el Cáncer (IARC), por sus siglas en inglés), clasifica los agentes cancerígenos en tres grandes grupos:

- a) Cancerígenos físicos: radiaciones ionizantes y ultravioleta.
- b) Cancerígenos químicos: tabaco, alcohol, asbestos, arsénico y aflatoxinas.
- c) Cancerígenos biológicos: infecciones causadas por ciertos virus, bacterias o parásitos.

La exposición a estos agentes en combinación con factores ambientales y genéticos, estilos de vida poco saludables que incluyen hábitos como el tabaquismo, la ingesta de alcohol y de alimentos ricos en grasas y carbohidratos, así como el sedentarismo, son las causas que más se asocian al desarrollo de esta enfermedad (INEGI, 2016).

En la infancia y adolescencia se considera que el cáncer es una enfermedad poco frecuente en comparación con los adultos; sin embargo, constituye una de las principales causas de morbilidad entre la población que aún no tiene 20 años de edad.

Se ha encontrado en este tipo de población, que los tipos de cáncer más comunes son la leucemia, tumores en el cerebro y sistema nerviosos central, linfomas, neuroblastoma, rabdomiosarcoma (cáncer en el músculo estriado), tumor de Wilms (en riñón), cáncer de hueso y en células germinativas gonadales (testículo y ovario). Aunque no se conoce la causa de la mayoría de este tipo de cánceres, apenas el 5% tiene origen por una mutación hereditaria, que puede estar no asociada a ciertos síndromes familiares, a mutaciones genéticas durante el desarrollo fetal, y a la exposición de radiación ionizante. Otra posible causa de cáncer infantil, es por la exposición de los padres a sustancias químicas reconocidas como cancerígenas (Instituto Nacional de Cáncer, 2015).

En le 2013 en los varones de 0 a 19 años (Tabla 1.3), la principal causa de morbilidad hospitalaria por tumores malignos se debe al cáncer en órganos hematopoyéticos (como la leucemia) y es el grupo de 5 a 9 años de edad, el que presenta la tasa más alta (75 de cada 100,000 niños). El cáncer de encéfalo y otras partes del sistema nerviosos central es la segunda causa de morbilidad hospitalaria por cáncer para los varones de 0 a 4 años de edad (5 por cada 100 mil niños), mientras para los grupos de 6 a 9 y de 10 a 14 años, el segundo lugar lo ocupa el cáncer linfático y afines; entre los varones de 15 a 19 años, el cáncer de células germinales (testículos) es el que se posiciona como segunda causa (12 de cada 100 mil). Para las mujeres, el cáncer hematopoyético también es la principal causa de morbilidad hospitalaria, principalmente entre las niñas de 5 a 9 años (72 de cada 100 mil niñas), observando un descenso a partir de los 10 años. En las mujeres de 0 a 9 años la segunda causa de cáncer se debe a tumores malignos en el encéfalo y otras partes del sistema nervioso central, en tanto que en las niñas de 0 a 14 años, la segunda causa la ocupan las neoplasias de hueso y de los cartílagos y en las de 15 a 19 años, el cáncer en el tejido linfático y afines (INEGI, 2016).

De acuerdo con estas estadísticas proporcionadas por el INEGI en México durante 2013, la morbilidad por tumores malignos (población que egresa de un hospital por dicha enfermedad) más alta tanto en hombres como en mujeres menores de 20 años, es por cáncer en órganos hematopoyéticos, siendo en las mujeres ligeramente superior (62% contra 58.7% en los hombres). Con excepción en este tipo de neoplasias y del cáncer de vías urinarias (2.5% en mujeres contra 1.6% en varones), la morbilidad hospitalaria por otros tipos de cáncer es superior en los varones para este grupo de edad. Los tratamientos contra cáncer en la infancia

tienden a ser exitosos; los niños más pequeños generalmente tienen mejores expectativas de sobrevivencia, lo que posiblemente se debe al oportuno diagnóstico y tratamiento.

Tabla 1.3. Tasa de morbilidad hospitalaria en población de 0 a 19 años por principales tumores malignos, según grupo quinquenal para cada sexo (INEGI, 2016).

Tumores malignos	Grupo de Edad*			
	0 a 4	5 a 9	10 a 14	15 a 19
Hombres				
Órganos hematopoyéticos	51.56	75.33	56.28	36.15
Tejido linfático y afines	4.44	10.03	10.11	9.34
Encéfalo y otras partes del sistema nervioso central	4.84	8.71	6.35	3.54
Huesos y de los cartílagos articulares	1.36	4.44	8.54	8.22
Células germinales (testículos)	2.38	0.4	0.87	12.09
Vías urinarias	3.73	1.45	0.42	0.41
Mujeres				
Órganos hematopoyéticos	45.89	71.76	47.95	24.44
Tejido linfático y afines	1.68	4.52	6.02	5.35
Encéfalo y otras partes del sistema nervioso central	4.01	6.38	4.90	1.51
Huesos y de los cartílagos articulares	0.94	2.26	8.20	4.98
Células germinales (testículos)	0.41	0.91	1.93	4.43
Vías urinarias	3.75	2.91	0.72	0.20

*Por cada 100 mil habitantes por cada grupo de Edad

SSA (2015). Base de egresos hospitalarios 2013; y CONAPO (2015). Proyecciones de la población 2010-2050. Proceso INEGI.

El cáncer de órganos hematopoyéticos en la población de 0 a 20 años, presenta la tasa más alta de mortalidad (tres por cada 100 mil personas); por sexo tres de cada cien mil en hombres, y dos de cada 100 mil mujeres de este grupo de edad, fallecen por esta causa (Tabla 1.4). En segundo lugar se encuentra el cáncer de encéfalo y otras partes del sistema nervioso central, con una tasa de mortalidad de 0.66 defunciones por cada 100 mil personas de 0 a 19 años, siendo ligeramente superior en los varones que en las mujeres (0.75 contra 0.57, respectivamente) (INEGI, 2016).

Tabla 1.4 Tasa de mortalidad en población de 0 a 19 años por principales tumores malignos según sexo (INEGI, 2016).

Principales tumores malignos	Total	Hombres*	Mujeres*
Órganos hematopoyéticos	2.57	2.87	2.26
Encéfalo y otras partes del sistema nervioso central	0.66	0.75	0.57
Huesos y de los cartílagos articulares	0.35	0.35	0.36
Tejido linfático y afines	0.31	0.4	0.22
Tumores de ovarios/testículos	0.17	0.23	0.11
Aparato digestivo	0.17	0.22	0.12

*Por cada 100 mil habitantes para cada sexo

Estadística de mortalidad. Cubos dinámicos; y CONAPO (2015). Proyecciones de la población 2010-2050. Proceso INEGI.

Entre las poblaciones de 20 años o más durante el 2013, se observaron diferencias por sexo en las principales causas de morbilidad hospitalaria por neoplasia. Entre los hombres la principal causa son: cáncer de órganos digestivos (25%), órganos genitales (11%) y de órganos hematopoyéticos (10.6%). Mientras que en las mujeres son el cáncer de mama (29.5%), el de órganos genitales (18.6%) y el de órganos digestivos (13.8%). Respecto a la relación total de egresos hospitalarios y la población total para cada grupo de edad, en el 2013 se reporta que la tasa de morbilidad por neoplasia en órganos digestivos es la más alta en varones a partir de los

40 años y se va incrementando con la edad (Tabla 1.5). Mientras que en los varones de 20 a 39 años, los tumores malignos de células germinales (testículos) presentan una tasa de morbilidad alta, y contrario a lo de los órganos digestivos disminuyen con la edad. En las mujeres de 20 a 29 años, la tasa de morbilidad por tumores malignos corresponde al cáncer de órganos genitales femeninos (10.76), para el grupo de mujeres entre 30 a 74 años, el cáncer de mama, el cual se va incrementando con la edad, aunque la tasa más alta se observa entre los 60 y 64 años (180.71), y a partir de los 75 años el cáncer de órganos digestivos es el que presenta la tasa más alta de morbilidad (INEGI, 2016).

Tabla 1.5. Tasa de morbilidad hospitalaria en población de 20 años y más por tumores malignos, según grupo de edad para cada tipo de cáncer y sexo (INEGI 2016).

Tumores malignos	Grupo de Edad*							
	20 a 29	30a 39	40 a 49	50 a 59	60 a 64	65 a 74	75 a 79	80 y más
Hombres								
Órganos digestivos	3.45	12.87	29.87	73.37	126.92	189.02	208.73	150.20
Genitales digestivos	0.79	0.91	3.42	21.21	57.12	113.51	154.88	145.21
Órganos hematopoyéticos	15.54	12.93	17.22	21.79	29.85	35.20	39.19	36.91
Tejido linfático y afines	9.18	10	14.72	26.46	41.33	44.87	47.46	32.87
Órganos respiratorios e intratorácicos	1.81	2.6	5.80	21.07	39.95	76.06	101.64	78.40
Células germinales (testículos)	22.25	14.17	4.96	3.15	2.39	3.36	2.81	3.37
Mujeres								
Mama	4.56	37.75	108.48	171.13	180.71	175.88	142.3	81.25
Órganos genitales femeninos	10.76	33.39	64.42	84.97	109.76	108.36	87.30	54.89
Órganos digestivos	4.16	11.57	28.59	66.23	95.55	128.72	159.57	115.00
Células germinales (ovarios)	5.14	8.93	23.54	34.11	36.34	39.55	34.42	16.35
Órganos hematopoyéticos	9.53	10.48	13.99	24.19	27.18	30.89	31.65	26.14
Tejido linfático y afines	6.69	7.90	9.93	21.46	29.01	39.43	43.65	28.85

*Por cada 100 mil habitantes para cada sexo

En México de acuerdo con el INEGI en el 2013, del total de defunciones de la población de 20 años o más, 13.6 % se debieron por causa de un tumor, y de estas 93.6% por tumores malignos. Por sexo del total de defunciones por cáncer, 48.8% ocurren en varones y 51.2%, en mujeres. Del total de tumores malignos presentes en este grupo de población, los órganos digestivos son los que ocupan el primer lugar (32.52 casos por cada 100 mil habitantes); en segundo los órganos respiratorios e intratorácicos (10.58 defunciones por cada 100 mil habitantes) y en tercer lugar los tumores del sistema reproductor masculino (8.44 defunciones por cada 100 mil habitantes) (Tabla 1.6).

Tabla 1.6. Tasa de mortalidad en población de 20 años y más por principales tumores malignos, según sexo (INEGI, 2016).

Principales tumores malignos	Total	Hombres*	Mujeres*
Órganos digestivos	32.52	33.89	31.2
Órganos respiratorios e intratorácicos	10.58	14.71	6.38
Sistema reproductor masculino	8.44	17.75	NA
Mama ¹	7.59	0.14	14.36
Órganos genitales femeninos	6.78	NA	12.93
Órganos hematopoyéticos ²	5.68	6.28	5.14
Vías urinarias ²	4.12	5.51	2.85
Células germinales (testículo u ovario) ¹	3.48	1.3	5.46

*Por cada 100 mil habitantes para cada sexo; ¹Para los hombres, el cáncer de mama y tumor de testículo no son una de las principales causas de muerte, pero se incluye el dato para fines de comparación; ²Para las mujeres, el cáncer en órganos hematopoyéticos y de vías urinarias no son de las principales causas de muerte, pero se incluye el dato para fines de comparación; NA no aplicable.

Estadística de Mortalidad. Cubos dinámicos; y CONAPO (2015). Proyecciones de la Población 2010-2050. Procesó INEGI.

1.9.2 Micotoxinas y seguridad alimentaria

Uno de los aspectos más importantes dentro del marco de la bioseguridad alimentaria es determinar qué peligros presentes en los alimentos pueden ocasionar problemas a los consumidores y qué riesgo suponen para su salud, y preparar un plan de acción dirigido para reducir al máximo el riesgo y no exponer a la población. Organizaciones como la FAO y la OMS proponen una línea de actuación en el análisis de riesgo que se basa en llevar a cabo: a) evaluación del riesgo; b) comunicación del riesgo; y c) gestión del riesgo. Uno de los peligros que se pueden encontrar en alimentos corrientes en nuestra dieta diaria son las micotoxinas. Su presencia se debe al desarrollo de diferentes especies fúngicas que forman parte de la microbiota normal de estos sustratos o en alimentos de origen animal, por la ingestión de alimentos o piensos contaminados. Las micotoxinas debido a sus propiedades nefrotóxicas, hepatotóxicas, neurotóxicas, teratogénicas, estrogénicas y cancerígenas, entre otras, han sido el principal punto de atención en la evaluación del peligro que ocasionan. Los problemas de salud derivados de su ingestión dependen de diversos factores, como su toxicidad, cantidad tóxigena ingerida, peso corporal y condiciones físicas de los individuos, presencia de otras micotoxinas, biodisponibilidad humana a los distintos metabolitos de las micotoxinas, y otros factores relacionados con la dieta (Sanchis *et al.*, 2004).

En cuanto a la caracterización del riesgo se pueden comparar datos de exposición y las dosis que pueden causar peligro, como la ingesta diaria tolerable (TDI). En términos generales la TDI, para un individuo en condiciones normales de salud y una dieta variada el riesgo es muy bajo, sin embargo el problema radica en los grupos de población llamados “grupos de riesgo” por sus deficientes condiciones de salud. Por otro lado por su complejidad no se dispone de estudios de los efectos de micotoxinas a largo plazo, pudiéndose potenciar su efecto por la presencia de otras sustancias en la dieta, incluidas otras micotoxinas (Sanchis *et al.*, 2004).

En 1970, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), inicio un programa de evaluación de riesgo carcinógeno en distintos compuestos en humanos, siendo las primeras micotoxinas evaluadas las aflatoxinas y la esterigmatocistina y posteriormente otras

micotoxinas, considerándose la aflatoxinas, las sustancias cancerígenas en humanos más potentes que se conocen, representando un riesgo de salud pública (Tabla 1.7).

Tabla 1.7. Resumen de las evaluaciones realizadas por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) relacionadas con las principales micotoxinas (Sanchis *et al.*, 2004).

Micotoxina	Evidencia de riesgo cancerígeno		Evaluación global
	Hombre	Animales	
A. penicílico	ADS	L	3
Aflatoxinas	S	S	1
Citrinina	I	S	2B
Griseofulvina	ADS	L	3
Ocratoxina A	ADS	S	2B
Patulina	I	S	2B
Esterigmatocistina	ADS	I	3
Zearalenona	ADS	S	2B
DON		L	
Nivalenol		I	
Toxinas derivadas de T-2		I	L
Fumonisina	I	S	2B
Fusarina C		L	

ADS: ausencia de datos suficientes; S: prueba suficiente; L: prueba limitada; I: prueba insuficiente. 1: cancerígeno; 2A: probablemente cancerígeno; 2B: posiblemente cancerígeno; 3: no clasificable cancerígeno para humanos.

A nivel internacional existen diversas autoridades sanitarias, quienes son las encargadas de comunicar y evaluar la gestión del riesgo de las micotoxinas, estableciendo una reglamentación que limita las concentraciones de algunas micotoxinas, como la Unión Europea (UE), Estados Unidos, la Comisión del Codex Alimentarius entre otras (Murphy *et al.*, 2006).

Por otro lado un aspecto importante que se considera actualmente de acuerdo con la FAO (2001), es la prevención e implantación del sistema del análisis de peligros y puntos de control crítico (APPCC/HACCP). Algunos aspectos importantes que considera este sistema es implementar medidas preventivas, como el uso de metodologías de análisis rápidos que sirvan como herramienta de vigilancia, así como el empleo de técnicas analíticas que permitan comprobar su presencia, y determinar si durante el proceso de industrialización de un alimento, existen etapas que puedan considerarse puntos de control crítico para reducir o eliminar la presencia de micotoxinas (Murphy *et al.*, 2006; Sanchis *et al.*, 2004). Los programas de precosecha empleando HACCP han sido documentados en el control de aflatoxinas en maíz y coco en el sureste de Asia, así como en cacahuates y productos derivados de los cacahuates en África y nueces en el oeste de África y patulina en jugo de manzana y pistaches en América del Sur (FAO, 2001).

1.10 Justificación

La cebada en México tiene gran importancia socioeconómica, es un producto estratégico y materia prima indispensable para la industria maltera (69%), forrajera (31%) y en menor proporción para la industria alimentaria (Santana-Robles *et al.*, 2014). El país cuenta con una superficie establecida de más de 300 mil hectáreas de cebada maltera y una producción aproximada de 700 mil toneladas. En la cadena agroalimentaria de la cebada maltera participan 55 mil productores que, en conjunto, generan una producción con valor anual de 2 mil millones de pesos. Cerca del 90 por ciento de la superficie del cultivo se concentra en los estados de Guanajuato, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y México (CANICERM, 2014). Muchos cultivos básicos como la cebada, durante su formación en campo y almacenamiento pueden ser invadidos por

diversos microorganismos como bacterias y hongos incidiendo en las características organolépticas y diversos atributos de la calidad de la cebada, empleada como materia prima en la industria maltera, forrajera y alimentaria, ocasionando pérdidas económicas.

La presencia de hongos en la cebada, representa, un riesgo potencial en la salud humana y animal, debido a que algunas especies de los géneros *Fusarium*, *Aspergillus* y *Penicillium* entre otras son productoras de micotoxinas (Magan *et al.*, 2011). Estos metabolitos secundarios producidos por hongos son de gran importancia, ya que se ha demostrado que tienen un impacto significativo en la salud pública y animal, representando pérdidas económicas (FAO, 2008). De acuerdo con la FAO se calcula que el 25% de los cultivos incluidos muchos alimentos básicos a nivel mundial, se ven afectados por hongos productores de micotoxinas, representando pérdidas anuales de 1000 millones de toneladas. Las pérdidas provocadas en el cultivo de cebada por plagas y enfermedades a nivel mundial, se calculan entre un 26 y 39%, representando los hongos fitopatógenos el 15% (Oerke y Dehne, 2004).

Otro problema con el que se enfrentan los agricultores mexicanos es que la cebada tiene que cumplir con altos estándares de calidad los cuales son muy estrictos, como presentar un porcentaje mínimo de germinación de 85%, y otros atributos como alto volumen y peso del grano (56 kg/hL), contenido de humedad bajo (menor o igual al 14%), grano quebrado (5%), libre de impurezas (2%), grano dañado o manchado (10%), mezclas con otras variedades (10%) y buena calidad sanitaria, cuando es destinada a la industria maltera y cervecera (González *et al.*, 2016), dichos estándares generalmente no son logrados por muchos productores provocando pérdidas importantes para los agricultores. Por lo que en este estudio de investigación se consideró importante realizar un análisis de la condición actual sanitaria y presencia de micotoxinas en muestras de cebada, así como probar un método sostenible como la luz láser, para determinar su efecto sobre la calidad sanitaria y fisiológica de cebada maltera y calidad microbiológica de harina de cebada destinada a la alimentación humana. Con el propósito de encontrar una tecnología, que sea viable y amigable con el medio ambiente, permitiendo cumplir con los estándares de calidad e inocuidad requeridos por el sector agrícola, industria maltera, forrajera y alimentaria.

1.11 Objetivo general

Contribuir al conocimiento de métodos sostenibles como el rayo láser, que nos permita mejorar la calidad fisiológica y sanitaria de cebada, bajo la visión sistémica-transdisciplinaria, siguiendo el proceso de investigación: de campo, documental y experimental.

1.11.1 Objetivos particulares

1. Realizar una revisión de Literatura científica relacionada al problema y los avances de la aplicación del láser en la agricultura.
2. Definir el marco contextual y los fundamentos de la investigación.
3. Establecer el marco metodológico y teórico de la investigación.
4. Realizar una investigación de campo para evaluar la situación actual de la calidad sanitaria de cebada y presencia de micotoxinas en 21 muestras para consumo humano y animal.
5. Caracterizar física y ópticamente la cebada maltera (*Hordeum vulgare* L.) variedad Esperanza procedente del Bajío teñida y sin teñir.
6. Determinar los efectos de estimulación láser sobre la calidad sanitaria de cebada maltera variedad Esperanza teñida y sin teñir.
7. Determinar los efectos de estimulación láser sobre la calidad fisiológica de cebada maltera variedad Esperanza teñida y sin teñir.
8. Determinar los efectos de estimulación láser sobre la calidad sanitaria de harina de cebada variedad Esmeralda y Perla.

1.12 Hipótesis

- ✓ **La calidad sanitaria de la cebada varía de acuerdo a la región geográfica de procedencia y su aplicación.**

- ✓ **El tratamiento de cebada maltera con luz láser mejorará la calidad fisiológica de ésta, dependiendo de la potencia, intensidad, tiempos de exposición y coeficiente de absorción óptico.**

- ✓ **El tratamiento de cebada maltera con luz láser mejorará la calidad sanitaria de ésta, dependiendo de la potencia, intensidad, tiempos de exposición y coeficiente de absorción óptico.**

- ✓ **El análisis de las características físicas de la cebada maltera cumplirá con los parámetros establecidos con la norma oficial.**

- ✓ **El tratamiento de cebada maltera con luz láser mejorará la calidad sanitaria de ésta, dependiendo de la potencia, intensidad, tiempos de exposición.**

1.13 Tabla de congruencias

En este apartado se describe la problemática de investigación, justificación, objetivo general y particulares con sus respectivas preguntas de investigación, hipótesis y características de la investigación (Tabla 1.8).

Tabla 1.8. Tabla de Congruencias (Elaboración propia, 2015)

<p>Problema de Investigación</p> <p>Focalizar la problemática del cultivo de la cebada en el mundo real, a través de la colección de muestras de distintas regiones productoras de cebada destinadas a consumo humano y animal evaluando su calidad sanitaria y presencia de micotoxinas para visualizar su situación actual y necesidades. Evaluar el efecto de pre-remojo y aplicación de rayo láser sobre la calidad física, fisiológica y sanitaria en muestras de grano cebada maltera de la variedad Esperanza, para mejorar la calidad sanitaria y fisiológica, ya que durante su producción en campo, transporte y almacenamiento la cebada está expuesta a la invasión de hongos, así como factores abióticos, los cuales producen diversos daños como pérdida de germinación, producción de micotoxinas, gushing entre otros, reduciendo la calidad del grano y afectando directamente producción y a los agricultores por no poder asegurar la comercialización del grano para la industria maltera, además de repercutir estos factores bióticos y abióticos directamente en la industria cervecera obteniendo malta de baja calidad. Evaluar el efecto de la luz láser en harina de cebada destinada a la alimentación humana para mejorar su calidad microbiológica. Otro problema que resolvería la utilización de este método, es evitar la importación de grano incrementada en los últimos años, ya que se podrían mejorar los estándares de calidad exigidos en México. Por lo que se considero necesario implementar un método que permita mejorar y asegurar la calidad de la cebada el cual sea viable e inocuo.</p>	
<p>Justificación</p> <p>La cebada en México tiene gran importancia socioeconómica, es un producto estratégico y materia prima indispensable para la industria maltera (69%), forrajera (31%) y en menor proporción para la industria alimentaria (Santana-Robles <i>et al.</i>, 2014). El país cuenta con una superficie establecida de más de 300 mil hectáreas de cebada maltera y una producción aproximada de 700 mil toneladas. En la cadena agroalimentaria de la cebada maltera participan 55 mil productores que, en conjunto, generan una producción con valor anual de 2 mil millones de pesos. Cerca del 90 por ciento de la superficie del cultivo se concentra en los estados de Guanajuato, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y México (CANICERM, 2014). Muchos cultivos básicos como la cebada, durante su formación en campo y almacenamiento pueden ser invadidos por diversos microorganismos como bacterias y hongos incidiendo en las características organolépticas y diversos atributos de la calidad de la cebada, empleada como materia prima en la industria maltera, forrajera y alimentaria, ocasionando pérdidas económicas. La presencia de hongos en la cebada, representa, un riesgo potencial en la salud humana y animal, debido a que algunas especies de los géneros <i>Fusarium</i>, <i>Aspergillus</i> y <i>Penicillium</i> entre otras son productoras de micotoxinas (Magan <i>et al.</i>, 2011). Estos metabolitos secundarios producidos por hongos son de gran importancia, ya que se ha demostrado que tienen un impacto significativo en la salud pública y animal, representando pérdidas económicas (FAO, 2008). De acuerdo con la FAO se calcula que el 25% de los cultivos incluidos muchos alimentos básicos a nivel mundial, se ven afectados por hongos productores de micotoxinas, representando pérdidas anuales de 1000 millones de toneladas. Las pérdidas provocadas en el cultivo de cebada por plagas y enfermedades a nivel mundial, se calculan entre un 26 y 39%, representando los hongos fitopatógenos el 15% (Oerke y Dehne, 2004). Otro problema con el que se enfrentan los agricultores mexicanos es que la cebada tiene que cumplir con altos estándares de calidad los cuales son muy estrictos, como presentar un porcentaje mínimo de germinación de 85%, y otros atributos como alto volumen y peso del grano (56 kg/hL), contenido de humedad bajo (menor o igual al 14%), grano quebrado (5%), libre de impurezas (2%), grano dañado o manchado (10%), mezclas con otras variedades (10%) y buena calidad sanitaria, cuando es destinada a la industria maltera y cervecera (González <i>et al.</i>, 2016), dichos estándares generalmente no son logrados por muchos productores provocando pérdidas importantes para los agricultores. Por lo que en este estudio de investigación se consideró importante realizar un análisis de la condición actual sanitaria y presencia de micotoxinas en muestras de cebada, así como probar un método sostenible como la luz láser, para determinar su efecto sobre la calidad sanitaria y fisiológica de cebada maltera y calidad microbiológica de harina de cebada destinada a la alimentación humana. Con el propósito de encontrar una tecnología, que sea viable y amigable con el medio ambiente, permitiendo cumplir con los estándares de calidad e inocuidad requeridos por el sector agrícola, industria maltera, forrajera y alimentaria.</p>	
<p>Objetivo General</p> <p>Contribuir al conocimiento de métodos sostenibles como el rayo láser, que nos permita mejorar la calidad fisiológica y sanitaria de cebada, bajo la visión sistémica-transdisciplinaria, siguiendo el proceso de investigación: de campo, documental y experimental.</p>	
<p>Objetivo Particular 1</p> <p>Realizar una revisión de Literatura científica relacionada al problema y los avances de la aplicación del láser en la agricultura.</p> <p>Preguntas de Investigación:</p> <p>¿Qué tipos de rayos láser se han utilizado? ¿En qué intensidad? ¿En qué intensidad y tiempos de exposición? ¿En qué semillas se han aplicado? ¿Se han obtenido resultados positivos o negativos? ¿Qué disciplinas se complementan en un proyecto de investigación?</p>	<p>Objetivo Particular 2</p> <p>Definir el marco contextual y los fundamentos de la investigación.</p> <p>Preguntas de Investigación:</p> <p>¿Desde cuándo se han hecho y cuáles son los avances de la aplicación del láser en la agricultura? ¿De dónde proviene la cebada maltera? ¿Dónde se produce en México? ¿Qué importancia tiene? ¿A qué problemas se enfrentan los productores?</p>
<p>Objetivo Particular 3</p> <p>Establecer el marco metodológico y teórico de la investigación.</p> <p>Preguntas de Investigación:</p> <p>¿Cuál es la metodología sistémica que se acopla mejor al desarrollo del presente trabajo de investigación? ¿Qué intensidades periodos de tiempo y distancia se utilizarán para la aplicación de láser? ¿Cuáles son los factores físico-químicos importantes para determinar la calidad fisiológica del grano? ¿Cuáles son los hongos que causan mayor problema en la cebada?</p>	<p>Objetivo Particular 4</p> <p>Realizar una investigación de campo para evaluar la situación actual de la calidad sanitaria de cebada y presencia de micotoxinas en 21 muestras para consumo humano y animal.</p> <p>Preguntas de investigación</p> <p>¿Cuáles es la situación sanitaria actual de cebada destinada al sector maltero, forrajero y alimentario? ¿Qué clase de hongos micotóxicos son más frecuentes y representan riesgo para la salud humana y animal? ¿Cuáles son las micotoxinas más frecuentes en cebada y que riesgo representan para la salud?</p>
<p>Objetivo Particular 5</p> <p>Caracterizar física y ópticamente la cebada maltera (<i>Hordeum vulgare</i> L.) variedad Esperanza procedente del Bajío teñida y sin teñir.</p> <p>Preguntas de Investigación:</p> <p>¿Cuál es la importancia de conocer la calidad física de la semilla de cebada para la aplicación de los tratamientos? ¿Cuál es la importancia de aplicar un método físico para caracterizar el grano de cebada? ¿Qué grano de cebada mostrará mejores atributos sin teñir o teñidos? ¿Qué importancia para la industria cervecera y productores de grano, las pruebas que se van a evaluar?</p>	<p>Objetivo Particular 6</p> <p>Determinar los efectos de estimulación láser sobre la calidad sanitaria de cebada maltera variedad Esperanza teñida y sin teñir.</p> <p>Preguntas de Investigación:</p> <p>¿Cuál es la importancia de aplicar un método biofísico sobre la calidad sanitaria de cebada? ¿Qué tratamientos mostrarán mejores atributos? ¿Qué importancia para el sector agrícola, maltero, cervecero y alimentario, las pruebas que se van a evaluar?</p>
<p>Objetivo Particular 7</p> <p>Determinar los efectos de estimulación láser sobre la calidad fisiológica de cebada maltera variedad Esperanza teñida y sin teñir.</p> <p>Preguntas de Investigación:</p> <p>¿Cuál es la importancia de aplicar un método biofísico sobre la calidad fisiológica de cebada? ¿Qué tratamientos mostrarán mejores</p>	<p>Objetivo Particular 8</p> <p>Determinar los efectos de estimulación láser sobre la calidad microbiológica de harina de la variedad Esmeralda y variedad Perla.</p> <p>Preguntas de Investigación:</p>

<p>atributos? ¿Qué importancia para la industria cervecera y productores de grano, las pruebas que se van a evaluar?</p>	<p>¿Cuál es la importancia de aplicar un método biofísico sobre la calidad microbiológica de harina de cebada? ¿Qué tratamientos mostraran mejores atributos? ¿Qué importancia para la industria harinera y sector alimentario, las pruebas que se van a evaluar?</p>
<p>Hipótesis El tratamiento de cebada maltera y harina con luz láser mejorará los atributos para cumplir con los estándares de calidad requeridos por la industria maltera y alimentaria, dependiendo de la potencia, intensidad y tiempos de exposición.</p>	
<p>Características de Investigación El trabajo de investigación se desarrollará bajo la perspectiva sistémica transdisciplinaria siguiendo tres etapas: investigación de campo, investigación documental e investigación experimental, sin olvidar al sujeto investigador en cada una de las etapas.</p>	

1.14. Originalidad del proyecto de investigación

Tabla 1.9. **Efectos de la luz láser en cereales (Adaptado de Hernández *et al.*, 2010)**

Tipo de semilla	Tipo de láser	Longitud de onda λ (nm)	Tiempo de exposición (min)	Poder densidad (mW)	Respuesta
<i>Zea mays</i> L.	N	337.1	4, 40	2.5 mJ	Cambios en el metabolismo de carbohidratos en la germinación (Toth <i>et al.</i> , 1993).
	Dye	510			
	He-Ne	632.8	210	0.232 mJ	
			18, 80 s	5.6 mW	
<i>Zea mays</i> , <i>Triticum aestivum</i> , <i>Hordeum vulgare</i> , <i>Beta vulgaris</i>	He-Ne	632.8	-	-	Mejoramiento de plántulas, resistencia al frío, maduración temprana de plántulas (Koper, 1994).
<i>Triticum aestivum</i>	He-Ne	632.8	-	4×10^{-3} mJ/cm ²	Efecto sobre las características morfológicas en campo: mayor densidad de grano (Drozd <i>et al.</i> , 1999).
<i>Hordeum vulgare</i> L.	He-Ne	632.8	30, 60, 90	1 mW cm ⁻²	Induce bioestimulación en algunos parámetros evaluados en campo (Rybiński, 2000).
<i>Triticale</i>					Aumenta los micronutrientes Sodio, Zinc y Hierro. Potasio, Calcio y el Magnesio disminuyó en semillas (Truchliński <i>et al.</i> , 2002).
<i>Triticum aestivum</i>	He-Ne	632.8	2	5mW/mm ²	Los sitios sensibles a las endonucleasas se reducen (Rong <i>et al.</i> , 2002).
<i>Triticale</i>	He-Ne	632	1,15	24	El número de callos obtenidos de 100 anteras de plantas presentaron actividad bioestimulante (Katańska <i>et al.</i> , 2003).
Trigo	As Al Ga Laser	650	60 sec	30	Disminuye la densidad de estomas, se modificó el crecimiento y morfología de las plántulas (Benavides-Mendoza <i>et al.</i> , 2002).
<i>Hordeum vulgare</i> L.	He-Ne	632	60, 180	-	Aumenta el área foliar de hojas superiores influyendo en la fotosíntesis, transpiración y coeficiente de agua (Garcyński, 2004).
Trigo (<i>Rysa</i> , <i>Mobela</i>) y Avena	He-Ne	632.8	0.1 s	4mW/cm ²	Aumenta la germinación y tasa de respiración (Makarska <i>et al.</i> , 2004).
		670	1,4 min	200	
Trigo y maíz	Diode laser	630		20	Disminuye la actividad de fotosíntesis (Dinoev <i>et al.</i> , 2004)
<i>Zea mays</i> L.	As Al Ga laser	660	30,60,120,180,300,600	30	Aumenta el vigor semilla (Hernández <i>et al.</i> , 2006).
<i>Triticum aestivum</i>	He-Ne	632.8	-	40	Se observó poco crecimiento en grano de trigo de

						invierno (Drozd y Szajsner, 2007).
<i>Triticum aestivum</i>	semiconductor	-	-	50 mW/ cm ²		Mostró cambios positivos en la germinación al 7th día (Dinoev, 2006).
<i>Zea mays L.</i>	As Al Ga	660	30,60,120,180,300,600	30		Incrementó significativamente el vigor de las semillas (Hernández <i>et al.</i> , 2006)
<i>Triticum aestivum L.</i>	CO ₂	10600	300 s	-		Puede incrementar la tolerancia a estrés por heladas (Chen <i>et al.</i> , 2010).
<i>Triticum aestivum L.</i>	Diodo	660,980,532	720 s	11 000		Modificó germinación y crecimiento, los efectos fueron mejores en solución salina (Ferdosizadeh <i>et al.</i> 2013).
<i>Triticum aestivum</i> y <i>Zea mays</i>	Diodo	904	10 a 1000 s	12		Plantas más largas y gruesa y mayores mazorcas en maíz (Milesa Sreckovic <i>et al.</i> 2014)

Capítulo 2

Marcos Metodológico y Teórico

CAPÍTULO 2. MARCO METODOLÓGICO Y TEÓRICO

2.1 Marco metodológico

Bajo un pensamiento sistémico compacto Ferrer (1998), propuso el Paradigma de la Complejidad que aglutina a científicos de diversos campos de conocimiento que insisten en la convivencia de adoptar nuevos modelos teóricos, metodológicos y, por ende, una nueva epistemología, que permita a la comunidad científica elaborar teorías más ajustadas de la realidad, que posibilite al mismo tiempo, diseñar y poner en práctica modelos de intervención social, sanitaria, educativa, política, económica, ambiental, cultural, etc., más eficaces que ayuden a pilotar y regular las acciones individuales y colectivas (Romero-Pérez 2003).

El Paradigma de la Complejidad postula la necesidad de organizar el conocimiento científico desde la transdisciplinariedad. La proyección transdisciplinaria de las ciencias persigue como objetivo, siguiendo a Edgar Morin (2001), un sistema complejo que forma un todo organizador que operan el restablecimiento de conjuntos constituidos a partir de interacciones, retroacciones, interretroacciones y constituyen complejos que se organizan de por sí. De acuerdo con el epistemólogo y físico cuántico Basarab Nicolescu, la transdisciplinariedad, entiende aquellos que se sitúan a la vez *entre* las disciplinas (interdisciplinariedad), a *través* de las disciplinas (pluridisciplinariedad) y *más allá* de las disciplinas (transdisciplinariedad) cuya finalidad es la comprensión del mundo presente a partir de la unidad de conocimiento (Romero-Pérez 2003).

Bajo este enfoque sistémico transdisciplinario para cumplir con los objetivos planteados en esta investigación se utilizaron diversas metodologías basadas en literatura científica y organismos internacionales, las cuales son fundamentales para el desarrollo del presente trabajo así como en las tres etapas básicas que constituyen el proceso de investigación sistémico transdisciplinario, trabajando en una actitud transdisciplinaria que permita integrar e integrarse a otras disciplinas iniciando con un trabajo interior (auto-observación constante del sujeto que investiga). De esta manera en el proceso de investigación se han distinguido cuatro fases para llevar a cabo el proceso de investigación bajo una perspectiva transdisciplinaria (Figura 2.1):

- Fase 1. Investigación de campo (focalización del mundo real y con especialistas), investigación bibliográfica, documental y evidencia del mundo real de la problemática (revisión de aportes científicos del tema).
- Fase 2. Investigación del sujeto que investiga, con el propósito de elevar conciencia, pensamiento y caminar hacia una actitud transdisciplinaria que conduzca a la integración de disciplinas, mediante su colaboración de éstas.
- Fase 3. Investigación experimental, (realización de pruebas, análisis y correlación de los datos encontrados, validación de los especialistas en el tema).
- Fase 4. Investigación de impactos, en el mundo real de las posibles soluciones en la etapa experimental, llevada a cabo en el laboratorio (Figura 2.1).

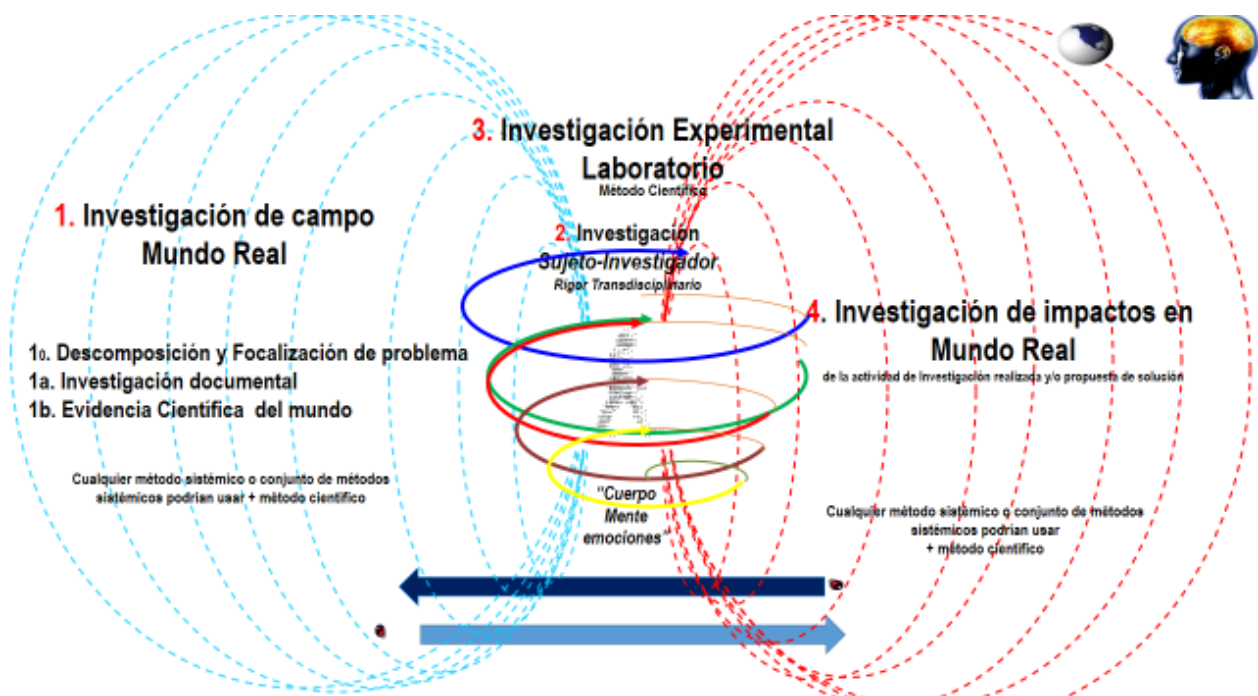


Figura 2.1. Metodología transdisciplinaria: Fases (Hernández, 2013 notas de clase).

2.2 Fase 1. Investigación de campo

A continuación, se comentarán algunos aspectos que deben considerarse durante la focalización del problema, y que ayudan a profundizar en el conocimiento de la problemática (Figura 2.2).

1. Conocimiento de la problemática a nivel global del mundo real.
2. Focalización del problema a abordar (reducción de la problemática y selección de la problemática donde se puede incidir).
3. Definición de los factores que impactan en la problemática observando el sistema por dentro y el suprasistema (entorno) para luego seleccionar uno de los factores específicos a abordar, así mismo, la zona de objeto de estudio. En esta fase el sujeto empieza a mostrar una manifestación de conciencia.
4. Con el análisis de la situación actual de la zona específica del objeto de estudio, se va cerrando más la observación hacia lo particular en el mundo real, identificando los diversos actores que están involucrados en esta problemática. Para ello es posible apoyarse, en entrevistas, visitas a malteras, cerveceras, agricultores etc. Así mismo, se definen las disciplinas participantes que podrían coadyuvar en el proceso de investigación.
5. Evaluación de la situación actual a través de pruebas de laboratorio de muestras recolectadas en la zona de estudio correspondiente al mundo real. Comprende la selección del tipo de pruebas que se van a llevar a cabo y los aspectos de planeación de las pruebas, donde se incluye la selección de materiales y métodos. Para esto es necesario integrar el conocimiento de las disciplinas correspondientes (se recomienda emplear pruebas reconocidas por las asociaciones científicas y organismos internacionales correspondientes, así como las metodologías sistémicas que fueran necesarias aplicar).
6. Conocimiento situación actual: caracterización física de cebada maltera y determinación de calidad sanitaria y fisiológica.
7. Investigación de los métodos empleados para resolver el problema en el mundo real (zona objeto de estudio) definiendo sus ventajas y desventajas. En esta fase de forma paralela, se realiza investigación documental de literatura científica buscando los métodos reconocidos para solucionar el problema.

De esta manera se pasaría a la siguientes fases: Investigación del sujeto investigador y la fase de investigación experimental, donde se va a desarrollar la Investigación de la propuesta planteada para la solución del problema considerando que sea factible su realización, en colaboración con algunos de los actores de la problemática; estos actores pueden ser disciplinarios y no disciplinarios (ejercicio transdisciplinario).



Figura 2.2 Focalización de la Problemática del Mundo Real (Elaboración propia, 2015 adaptado de Domínguez, 2010. Nota de clase Hernández, 2007).

2.3 Fase 2. Investigación del sujeto que investiga

El sujeto que conoce (el investigador) está implicado (emocional, racional y éticamente) en el contexto de lo que conoce, forma parte de un proceso común que incluye a ambos ejes de la relación de conocimiento, está relacionado con el objeto, lo modifica y pero también se modifica a sí mismo en el proceso de investigación. De esta manera durante el proceso de investigación bajo esta perspectiva sistémica transdisciplinaria, el sujeto se conocerá así mismo, despertará conciencia, trabajará en su actitud transdisciplinaria que implica apertura, rigor y muy importante

la tolerancia (Hernández, 2015: notas de case) (Figura 2.3). Para ello se realizaron ejercicios de observación hacia dentro y hacia fuera un seguimiento constante a la auto-observación (Figura 2.3.).



Figura 2.3 Visión rica de investigación del sujeto que investiga (Elaboración propia,2015).

Durante esta fase el sujeto que investiga interactúa con su par para poder experimentar la no-separabilidad, que se refiere a la unión indisoluble entre los fenómenos en la totalidad de lo que es, se debe silenciar el pensamiento habitual y regresar a la “teoría” (*teoría*), que etimológicamente quiere decir “contemplar”. Un nivel de realidad es un pliegue del conjunto de niveles de percepción y un nivel de percepción es un pliegue del conjunto de niveles de realidad. De pliegue en pliegue, el hombre se inventa a sí mismo y de ello resulta un nivel de comprensión. Siendo la realidad múltiple y compleja, los niveles de comprensión son múltiples y complejos. Pero como la Realidad es también una unidad abierta, los diferentes niveles de comprensión están unidos en un “Todo” abierto que incluye Sujeto y Objeto transdisciplinarios (Sarquis y Buganza, 2009).

Como se aprecia, la transdisciplina para Nicolescu pretende una visión global o amplificadora de la realidad, que permita al sujeto un conocimiento más amplio de aquello

que lo contiene. De esta manera, la transdisciplina promueve la transversalidad del conocimiento, donde su saber repercute en el todo. Es una visión que pretende ser integral y holística (Sarquís y Buganza, 2009). De acuerdo con Toledo (2006), afirma que la transdisciplina “cruza las diferentes especialidades y va más allá de cada una”; requiere por lo tanto un grado de integración más alto. Así mismo, menciona que la transdisciplina por lo tanto, está destinada a romper con nuestras tradiciones académicas que hoy separan a las ciencias naturales de las sociales e ir más allá: “Absorber conocimientos de la rica cantera de diversidad plasmada en los paisajes culturales modelados por el hombre”.

Los tres rasgos fundamentales de la actitud transdisciplinaria son el *rigor*, *apertura* y *tolerancia* (Basarab, 1996). El rigor de la transdisciplinariedad es de la misma naturaleza que el rigor científico, en la medida en que toma en cuenta no solamente las cosas sino también los seres y su relación con otros seres y otras cosas. Tomar en cuenta todos los datos presentes en una situación dada caracteriza este rigor.

La apertura comporta la aceptación de lo desconocido, de lo inesperado y de lo imprevisible. La apertura es de tres clases: la apertura de un nivel de realidad hacia otro nivel de realidad, la apertura de un nivel de percepción hacia otro nivel de percepción, y la apertura hacia la zona de resistencia absoluta que relija al sujeto con el objeto. La apertura de la transdisciplinariedad, implica por su propia naturaleza, el rechazo de cualquier dogma, de cualquier ideología y de cualquier sistema cerrado de pensamiento (Basarab, 1996).

La tolerancia resulta de la constatación de que existen ideas y verdades contrarias a los principios fundamentales de la transdisciplinariedad (Basarab, 1996). El rigor, la apertura y la tolerancia, deben estar presentes en la investigación y la práctica transdisciplinaria. El rigor, la apertura y la tolerancia implican una manera estructurada y controlada de planificar, desarrollar y analizar la investigación (Figura 2.4).

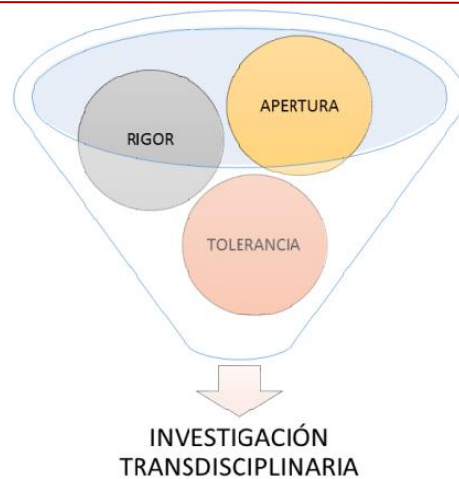


Figura 2.4. Pasos fundamentales en el proceso de investigación transdisciplinaria (Elaboración propia, 2015).

2.4 Fase 3. Investigación Experimental

En esta fase se plantean las preguntas de investigación que conducen al planteamiento de experimentos alcanzables para responderlas, considerando la infraestructura en donde se llevará a cabo el trabajo de investigación, los recursos humanos y físicos, contemplando los materiales y equipo necesarios para su desarrollo, llevado a cabo la planeación de actividades definiendo las variables a medir, considerando previamente el diseño experimental con su respectivo análisis estadístico, para poder establecer el experimento o los experimentos retroalimentados de experiencias previas, dar el seguimiento adecuado y hacer la obtención y registro de datos. Para finalmente realizar la interpretación y validación de los resultados obtenidos, para poder confirmar o refutar la hipótesis, concluir y difundir la información obtenida en foros académicos nacionales o internacionales y elaboración de publicaciones científicas, generando conocimientos, recomendaciones y planteamiento de nuevas preguntas de investigación (Figura 2.5).

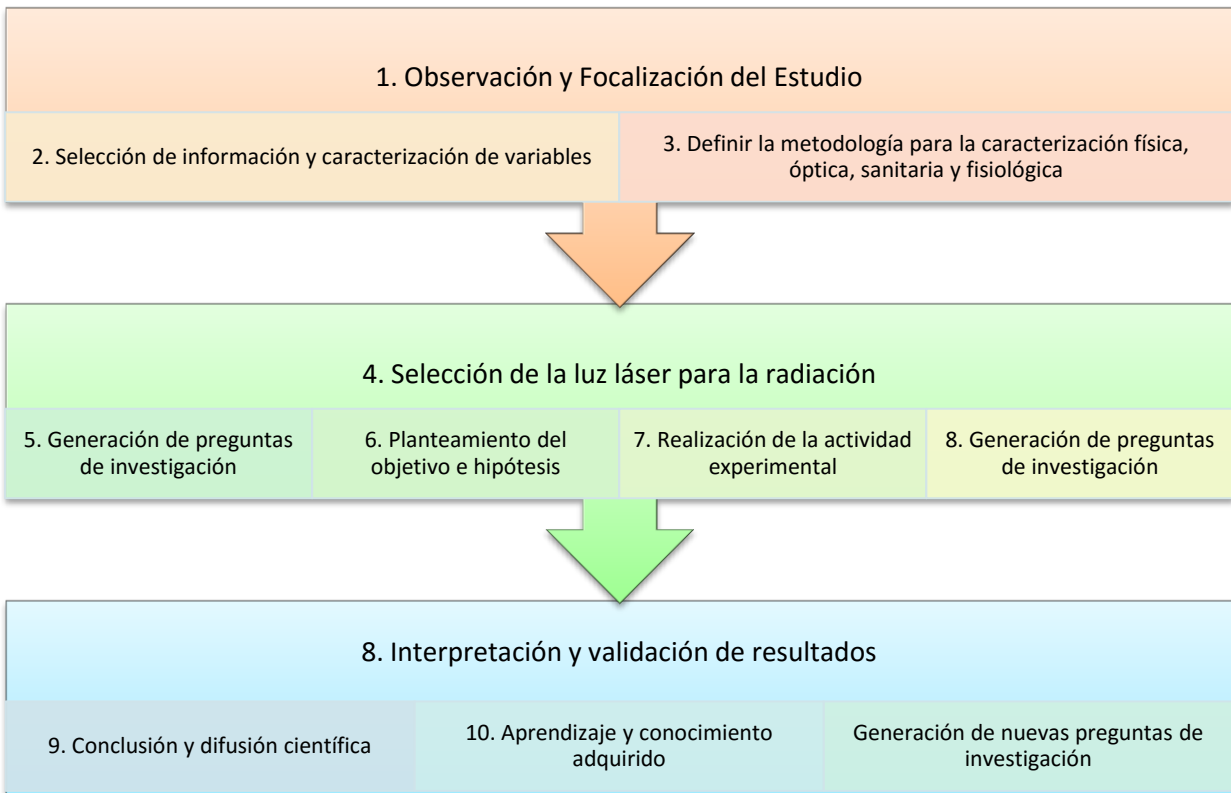


Figura 2.5 Etapas importantes para el desarrollo de la fase experimental (Elaboración Propia, 2015).

Partiendo del conocimiento del mundo real sobre la situación actual de cebada en zonas productoras en México y su problemática, se realizaron las siguientes actividades experimentales: **0.** Investigación de campo sobre la situación actual de la calidad sanitaria y presencia de micotoxinas en 21 muestras de cebada, determinando la caracterización física, microbiota y presencia de micotoxinas. **1.** Caracterización física y óptica de cebada maltera de la variedad Esperanza. **2.** Tratamiento de cebada maltera de la variedad Esperanza con luz láser sin teñir y teñida con azul metileno y determinación de la calidad sanitaria. **3.** Tratamiento de cebada maltera de la variedad Esperanza con luz láser sin teñir y teñida con azul de metileno y determinación de la calidad fisiológica. **4.** Tratamiento con luz láser de harinas de cebada de la variedad Esmeralda y Perla. Finalmente se analizaron e interpretaron los resultados y se realizó un informe con los resultados obtenidos (Figura 2.6).

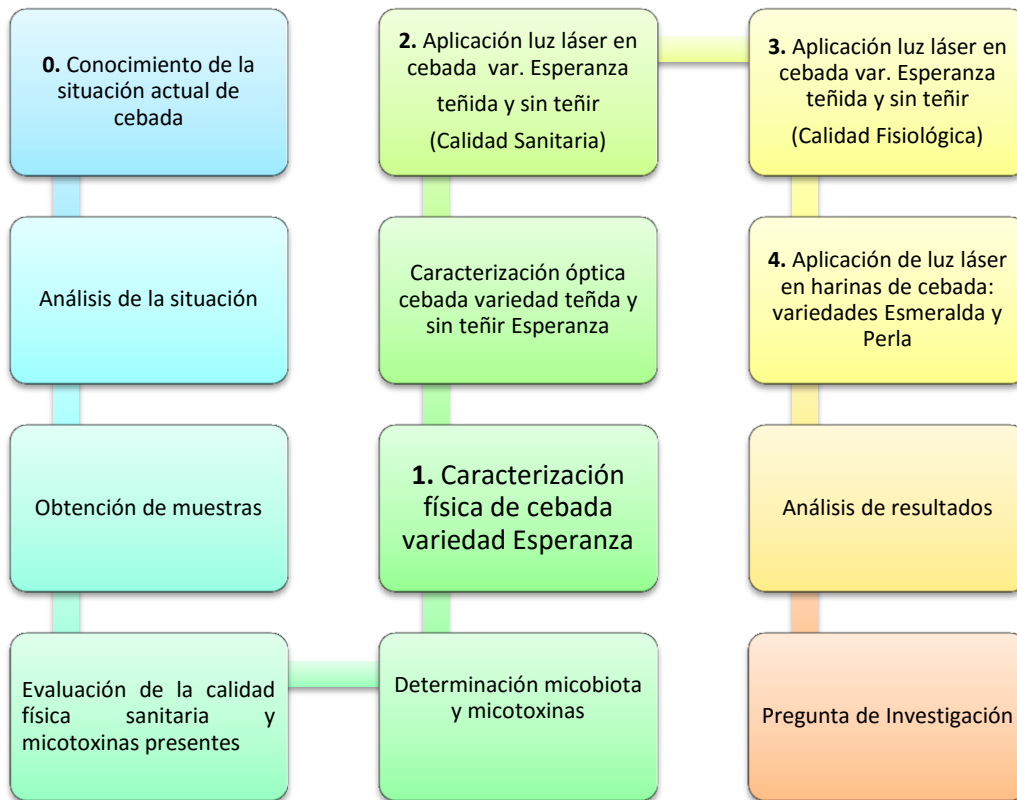


Figura 2.6 Actividades Experimentales empleadas para conocer la situación actual de cebada en México destinada a diferentes usos.

2.5 Actividad 0. Desde el punto de vista sistémico transdisciplinario es importante conocer la procedencia de las muestras biológicas con las cuales se va a trabajar. En el Tabla 2.1 se presentan las características correspondientes de 21 muestras de cebada analizadas de diferentes estados productores de la República Mexicana, considerando el número de muestra, procedencia, variedad, ciclo agrícola y uso.

Tabla 2.1 Características de 21 muestras de cebada empleadas para consumo humano, animal e industria cervecera.

Muestra	Variedad	Procedencia	Ciclo	Uso
M1	Esmeralda	Municipios Libres, Puebla	P-V temporal 2015	Forrajero
M2	Esmeralda	Municipios Libres, Puebla	P-V temporal 2015	Forrajera
M3	Esmeralda	Nanacantla, Tlaxcala	P-V temporal 2015	Forrajero
M4	Esmeralda	Valles Altos	P-V temporal 2012	Forrajera
M5	Malta Pilsen Weyermann	Alemania	2014	Cerveza artesanal
M6	Malta Pilsen Americana	Colorado E.U.	2014	Cerveza artesanal
M7	Malta Pilsen Americana	Colorado E.U.	2014	Cerveza artesanal
M8	Esmeralda	San Mateo, Puebla	P-V temporal 2015	Maltera
M9	Esmeralda	Apan, Hidalgo	P-V temporal 2015	Maltera
M10	Esperanza	Bajío	O- I Riego 2013	Maltera
M11	Esmeralda	Calpulalpan, Tlaxcala	P-V Temporal 2015	Maltera
M12	Alina	Apan, Hidalgo	P-V temporal 2015	Maltera
M13	Josefina	Apan, Hidalgo	P-V temporal 2015	Maltera
M14	Esmeralda	Apan, Hidalgo	P-V temporal 2015	Maltera
M15	Esmeralda	Apan, Hidalgo	P-V temporal 2015	Maltera
M16		INIFAP	2013	Maltera
M17	Perla	GN+Vida	2015	Grano envasado
M18	Perla	Celaya, Guanajuato	2015	Grano a granel
M19	Perla	Celaya, Guanajuato	2015	Grano a granel
M20	Perla	E W	2015	Grano envasado
M21	Perla	Escosa	2015	Grano envasado

En la Figura 2.7 se presenta la metodología para la determinación la caracterización física y de la calidad sanitaria empleando la prueba de micobiota en placa agar y cuantificación de micotoxinas por métodos analíticos en 21 muestras, ambas pruebas fueron realizadas en la Unidad de Investigación de Granos y Semillas FESC-UNAM. Con los resultados obtenidos se realizó un análisis de la situación actual de la calidad sanitaria de la cebada en México y se plantearon preguntas de investigación.

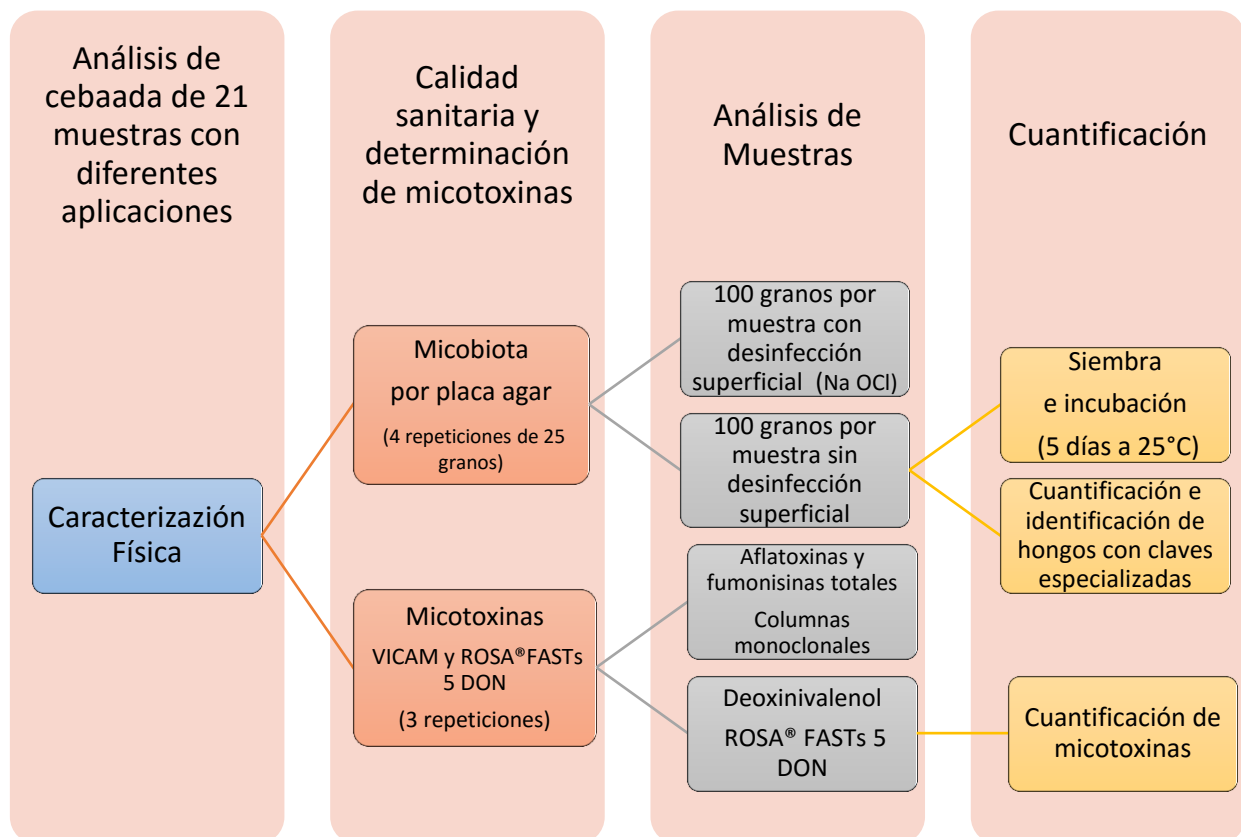


Figura 2.7 Metodología empleada para el análisis de la situación actual de la micobiota de cebada en México destinada para alimentación humana y animal.

2.5.1 Actividad 0. Conocimiento de la situación actual de la cebada

2.5.1.1 Caracterización física

La calidad física de los granos y semillas es importante en la cebada (Figura 2.9); y ésta se puede medir cuando en el campo hay un buen establecimiento de las plantas y buenas cosechas y para asegurar la calidad es importante determinar las condiciones físicas tales como contenido de humedad, pureza, tamaño, brillantez, peso hectolítrico, ausencia de semillas de malezas comunes y nocivas y de otros cultivos (Castañeda-Saucedo, 2009). En la Figura 2.8 se presenta la metodología empleada para la caracterización física de 21 muestras destinadas a la industria alimentaria, cervecera y como alimento para animales.

1. Limpieza y cribado del grano

La limpieza y cribado del grano es importante para la eliminación de impurezas como paja, terrones, insectos muertos, semillas rotas o dañadas etc. Se recomienda pasar la muestra a través de una criba con orificios oblongos de 1.79 mm x 13 mm (4,5/64 in x ½ in) (NMX-FF-043-SCFI-2003).



Figura 2.8. Determinación de la calidad física de muestras de cebada maltera.

2. Tamaño del grano

La clasificación de los granos de cebada por tamaño es importante para el proceso de malteado y se clasifican por mallaje de acuerdo a las normas de cada país, clasificando la cebada en diferentes calidades. La cebada de primera calidad el grano tiene que medir 2.5 mm o ser de mayor tamaño hasta 2.8, y la de menor tamaño de 2.2. mm tiene muy poco almidón y mayor proteína y siempre es vendida como forraje (Arias, 1991).

3. Peso hectolítico

El peso volumétrico ha sido un parámetro que se forma en función del peso de la semilla ocupando un volumen y que varía según las especies, sin embargo en el contexto semillero dicho peso refleja en cierto modo la calidad de un lote de semillas y puede ser apreciado aunque de una manera muy subjetiva el manejo agronómico que le fue dado al lote de producción. En la cebada maltera el peso hectolitrico está relacionado con la calidad ya que el almidón tiene un peso específico más alto que las cáscaras, y por lo tanto, indican un menor porcentaje de ellas y más harina. En la Norma Mexicana NMX-FF-043-SCFI-2003 se establece que cebadas de seis hileras como mínimo para su comercialización deben presentar 56 Kg hL y en cebadas de dos hileras esta debe tener como mínimo 59 Kg hL.

4. Contenido de Humedad

Se le llama contenido de humedad, a la cantidad de agua que contiene la semilla o grano, se expresa en porcentaje, con base en el peso húmedo o seco de la muestra. En la comercialización de granos y semillas normalmente se usa el calculado con base en el peso húmedo, y en investigación frecuentemente se usa el contenido con base en el peso seco (Moreno, 1996).

En México para la cebada se establece, según la Norma Mexicana NMX-FF-O43-SCFI-2003, un contenido de humedad entre el 11.5 y 13.5 %, para la comercialización de la cebada utilizada para la obtención de malta (SE, 2003). Mientras que en países como Estados Unidos el porcentaje de humedad establecido es de 12 con un máximo de 13 % (USDA, 2004).

2.5.1.2 Determinación de la calidad sanitaria

La calidad sanitaria es un atributo que merece especial atención debido a que gran proporción de fitopatógenos pueden ser transportados por semillas y sobrevivir en ellas por largos periodos de tiempo y de acuerdo con Neergaard (1997) el 90% de las enfermedades que afectan a los cultivos destinados a la alimentación a nivel mundial son causados por patógenos transmitidos a través de las semillas. Antes de las cosechas diversas patógenos invaden y colonizan las semillas de cebada pudiendo causar disminución en el rendimiento y calidad, dentro de esos patógenos asociados a las semillas los hongos representan el mayor grupo, seguido de las bacterias virus y nematodos. Estos patógenos pueden transportarse adheridos a la superficie o asociarse en su interior o como parte del material inerte (fragmentos vegetales, semillas de plantas invasoras, partículas de suelo). Las semillas infectadas son el medio principal de

sobrevivencia del patógeno y sirven como inóculo inicial de infección para el nuevo cultivo (González, 2011).

Conocer la condición sanitaria de los granos o semillas es de gran utilidad ya que aislando e identificando los hongos de interés nosotros podremos determinar el manejo que se le ha dado; es decir si se trata de un grano de recién cosecha o fue almacenado bajo malas condiciones de humedad y temperatura permitiendo principalmente el desarrollo de hongos de almacén y/o deterioro avanzado, así como la determinación de hongos que además de producir deterioro potencialmente pueden ser productoras de micotoxinas pudiendo causar riesgo para la salud humana y animal.

Para el análisis de la micobiota por el método de placa agar se emplearon 25 semillas desinfectadas superficialmente con hipoclorito de sodio y otras 25 semillas sin desinfectar, realizando 4 repeticiones por muestra (100 granos en total para cada condición). Para la cuantificación e identificación morfológica de los géneros y/o especies de hongos aislados se utilizaron claves especializadas.

2.5.1.3 Determinación de micotoxinas

Dentro de esta misma actividad de calidad sanitaria se determinaron por métodos analíticos la concentración de micotoxinas presentes de forma natural en los granos de las 21 muestras de cebada por el método de cromatografía de inmunoafinidad de anticuerpos monoclonales (VICAM, 1999) para las aflatoxinas y fumonisinas totales, mientras que el deoxinivalenol (DON) se determinó por el método ROSA® FASTs 5 DON Quantitative Test Flow Chart.

2.6 Actividad 1. Caracterización física y óptica de cebada Var. Esperanza

2.6.1 Caracterización física

Para determinar la calidad física de la cebada maltera de la variedad Esperanza se determinó siguiendo la misma metodología descrita para la Actividad 0, se cribó y eliminaron impurezas como paja, terrones, insectos muertos, semillas rotas o dañadas etc. de acuerdo a la norma Oficial Mexicana (NMX-FF-043-SCFI-2003).

1. Tamaño del grano

Se midió el tamaño del grano con la misma finalidad que en la Actividad 0 ya que la clasificación de los granos de cebada por tamaño es importante para el proceso de

malteado y se clasificó por mallaje de acuerdo a las normas con la Norma Oficial Mexicana para cebada maltera.

2. Peso hectolitrico

El peso hectolítrico se utilizó como un parámetro para determinar la calidad de la muestra de la cebada maltera de la variedad Esperanza con base a su volumen y determinar si cumple con la calidad establecida por la Norma Mexicana NMX-FF-043-SCFI-2003 en cebada de seis hileras como mínimo para su comercialización de 56 Kg hL y en cebadas de dos hileras esta debe tener como mínimo 59 Kg hL.

3. Contenido de Humedad

Se determinó el contenido de humedad, con base en el peso húmedo para determinar la cantidad de agua que contiene la semilla o grano las muestras analuizadas, y se expresó en porcentaje, En la comercialización de granos y semillas es muy importante (Moreno, 1996).

En México como ya se mencionó para la cebada se establece, según la Norma Mexicana NMX-FF-O43-SCFI-2003, un contenido de humedad entre el 11.5 y 13.5 %, para la comercialización de la cebada utilizada para la obtención de malta (SE, 2003).

2.6.2 Caracterización óptica

La caracterización óptica de la cebada maltera teñida y sin teñir con azul de metileno se realizó por espectroscopía fotoacústica (Figura 2.9) ya que esta metodología ha sido empleada para la caracterización de cereales (Hernández- Aguilar *et al.*, 2011; Hernández-Aguilar *et al.*, 2009), permitiendo determinar si una semilla es ópticamente opaca o transparente, lo cual tiene gran relevancia en la bioestimulación de procesos fisiológicos en semillas irradiadas con luz láser (Pérez- Reyes *et al.*, 2015). Semillas de cereales como el maíz de diferentes genotipos y diferentes pigmentos naturales (blanco, azul y amarillo) han sido caracterizados por su coeficiente de absorción óptico (β) obtenido por una señal fotoacústica de acuerdo con la metodología propuesta por Poulet *et al.*(1980). Así mismo, la señal fotoacústica por espectroscopía ha sido analizada matemáticamente, permitiendo distinguir los picos máximos de absorción en granos de maíz con diferente pigmentos (Rico-Molina *et al.*, 2014). Otro trabajo indica que empleando la espectroscopía fotoacústica es posible obtener el coeficiente de absorción óptico en semillas de frijol (Sánchez-Hernández *et al.*, 2015).



Figura 2.9 Caracterización óptica de semilla de cebada Var. Esperanza teñida y sin teñir (Elaboración Propia 2016).

2.7 Actividad 2. Caracterización de cebada maltera de la variedad Esperanza tratada con luz láser teñida y sin teñir y determinación de la calidad sanitaria

La cebada maltera teñida y sin teñir con azul de metileno fue tratado con luz láser a una longitud de onda de 650nm y cuatro tiempos de exposición 0, 60, 120 240 y 480s, ya que se ha demostrado que la irradiación de semillas con luz láser reduce o inhibe el desarrollo de microorganismos como los hongos (Dobrowolski *et al.*, 1997; Bel' skii *et al.*, 1984). Para determinar el efecto de la luz láser sobre la calidad sanitaria de semillas de cebada teñidas y teñir se utilizó el método de la placa agar (Figura 2.10) el cual nos permite determinar que inóculo es portado por la semilla y puede dar lugar al desarrollo progresivo de enfermedades de campo y reducir el valor comercial del cultivo; los lotes de semillas importados pueden introducir enfermedades en nuevas regiones y también sirve para evaluar las plántulas y las causas de una germinación deficiente (Moreno 1996).



Figura 2.10. Determinación de Micobiota presente en cebada var. Esperanza taratada con luz láser.

2.8. Actividad 3. Caracterización de cebada var. Esperanza tratada con luz láser sin teñir y teñida con azul de metileno y determinación de la calidad fisiológica

La cebada maltera fue tratado con luz láser a una longitud de onda de 650nm y cuatro tiempos de exposición 0, 60, 120 240 y 480s (Figura 2.11), debido a que se tienen trabajos de investigación en donde se ha encontrado que acelera la maduración de las plantas, activa la latencia y aumenta la tasa de germinación y vigor (Zare *et al.*, 2013; Junlin *et al.*, 2007). Para la evaluación de las semilla tratadas se empleo la prueba fría de vigor la cual consiste la cual consiste en predecir el comportamiento de las semillas bajo condiciones adversas del cultivo, a bajas temperaturas y alta humedad (Moreno, 1996).



Figura 2.11. Tratamiento de semilla de cebada teñida y sin teñir tratada con luz láser y determinación de la calidad fisiológica.

2.9. Actividad 4. Caracterización microbiológica de harina de cebada de la var. Esmeralda y var. Perla tratada con luz láser.

Con los resultados obtenidos de la calidad microbiológica de las 21 muestras de cebada, se seleccionaron dos muestras una de cebada maltera correspondiente a la variedad Esmeralda y otra de cebada Perla, las cuales fueron molidas en un molino hasta obtener harina con partículas de 5μ y posteriormente fueron tratadas con luz láser a una longitud de onda de 650nm y cuatro tiempos de exposición 0, 120, 240, 480 y 960s. Las cuales fueron analizadas microbiológicamente por el método de diluciones en serie de acuerdo a NOM-111-SSA1-1994, para cuantificar microorganismo mesófilos (bacterias, levaduras y hongos) en UFC.

2.10 Fase 4. Investigación del impacto en el mundo real

2.10.1 Marco Teórico

Para dar soporte a la investigación sistémica transdisciplinaria se vincularon diferentes disciplinas como son la sistémica-transdisciplinaria, física, agronomía, biología, fisiología, estadística, entre otras que puedan enriquecer el trabajo de investigación (Figura 2.7).



Figura 2.12. Disciplinas para dar soporte para dar soporte a la investigación sistémica transdisciplinaria (Elaboración Propia 2015).

2.10.2 Pensamiento sistémico. Es una respuesta epistemológica a la complejidad del mundo que nos rodea y sus fenómenos, que se basa en el principio de reciprocidad, conectividad, holismo, indeterminismos, incertidumbre, casualidad mutua, etc. (Vargas- Montoya, 2010).

2.10.3 Transdisciplinariedad. Concierno lo que está a la vez entre las disciplinas, a través de las diferentes disciplinas y más allá de toda disciplina. Los tres pilares de la transdisciplinariedad son: los niveles de la realidad, la lógica del tercero incluido y la

complejidad. Con base en estos ejes se estructura y determina la metodología de la investigación transdisciplinaria (Sarquis y Buganza, 2009)

2.10.4 Física. En general la palabra física proviene del vocablo griego *physis*, el cual significa *naturaleza* y fue introducido por Aristóteles hace poco más de 2,300 años. En la antigua Grecia, la física reunía todos los conocimientos acerca de la *Naturaleza* (DRAE, 2011).

2.10.5 Luz láser. El término láser es acrónimo de las iniciales inglesas que significan amplificación de luz por emisión estimulada de radiación (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Es una fuente de luz con unas características de monocromaticidad, coherencia y direccionalidad que la hacen completamente diferente de otras fuentes luminosas (el Sol, las bombillas incandescentes, tubos fluorescentes., etc.) (Benavides- Mendoza *et al.*, 2007). Un láser es un dispositivo que produce un haz coherente de radiación óptica por medio a la transición energética de electrones, iones o moléculas hacia estados metaestables utilizando luz, descargas eléctricas u otros estímulos. La transición del estado metaestable hacia el estado basal normal es acompañada por la emisión de fotones que forman un haz coherente. La aplicación de láser de alta intensidad es común en la electrónica, comunicaciones y cirugía y actualmente en agricultura (Benavides-Mendoza, 2007).

2.10.6 Biología. La Biología es una disciplina que pertenece a las Ciencias Naturales. Su principal objetivo es el estudio del origen, de la evolución y de las propiedades que poseen todos los seres vivos. La palabra biología deriva del griego y significa “estudio de la vida, de los seres vivos” (bios = vida y logia = estudio, ciencia, tratado).

La Biología es una ciencia que incluye diversas disciplinas que en ocasiones se tratan de manera independiente. La biología molecular y la bioquímica estudian la vida a partir de las moléculas, mientras que la biología celular o citología lo hacen a partir de las células. La anatomía, la histología y la fisiología realizan el estudio desde un aspecto pluricelular. Es por ello que la Biología debe considerarse como un conjunto de ciencias, puesto que los seres vivos pueden ser estudiados a partir de diferentes enfoques. Ese conjunto de ciencias forma parte de las Ciencias Biológicas, donde se incluyen la morfología, la fisiología, la microbiología, la genética, la patología, la taxonomía y muchas disciplinas más, para esta tesis se hizo necesario conocimiento sobre la fitopatología y la fotobiología (Buican, 1995).

2.10.7 Micología. Ciencia que estudia a los hongos, los cuales son organismos que tienen gran importancia ecológica, algunos son patógenos de plantas, animales y del hombre, o como

agentes de deterioro. Sin embargo algunos son benéficos para el hombre y han sido ampliamente investigados y utilizados en la industria alimentaria, farmacéutica y en biotecnología (Carlile, *et al.*, 2001).

2.10.8 Fitopatología. La fitopatología es la ciencia que estudia los organismos y las condiciones medioambientales que provocan la enfermedad, proceso de la enfermedad, la interacción entre el agente patógeno y planta infectada y los métodos de prevención, métodos para disminuir el daño de la enfermedad y los métodos para controlar las enfermedades (Agrios, 2002).

Según la Sociedad Americana de Fitopatología: estudia los agentes que ocasionan enfermedades en la planta, los procesos, interacciones y métodos para su prevención, reducción y control antes o después de que se desarrollen estas. En función de su naturaleza, ¿Qué es enfermedad?: disfunción de un proceso, causada por una acción continuada, con efectos nocivos para el sistema viviente y resulta de la manifestación de síntomas.

2.10.9 Estadística: Es una ciencia cuyo objetivo es reunir una información cuantitativa, concerniente a individuos, grupos, series de hechos, etc. Y deducir de ello gracias al análisis de estos datos unos significados precisos a unas previsiones para el futuro. La estadística en general, trata de la recopilación, organización, presentación, análisis e interpretación de datos numéricos con el fin de realizar una toma de decisión más efectiva. La estadística se ha dividido en dos grandes ramas la descriptiva y la inferencial. La estadística descriptiva consiste en la presentación de datos en forma de tablas y gráficas, comprende cualquier actividad relacionada con los datos y está diseñada para resumir o describir los mismos sin factores pertinentes adicionales; esto es, sin intentar inferir nada que vaya más allá de los datos, como tales. La estadística inferencial se deriva de muestras, de observaciones hechas sólo acerca de una parte de un conjunto numerosos de elementos y esto implica que su análisis requiere de generalizaciones que van más allá de los datos y analiza o investiga una población partiendo de una muestra tomada (Ruiz, 2004).

2.10.10 FODA. El análisis FODA consiste en realizar una evaluación de los factores fuertes y débiles que en su conjunto diagnostican la situación interna de una organización, así como su evaluación externa, es decir, las oportunidades y amenazas. También es una herramienta que puede considerarse sencilla y permite obtener una perspectiva general de la situación estratégica de una organización determinada (Talancon, 2006).

La matriz FODA relaciona cuatro variables fundamentales, las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas. Las *Ventajas Competitivas* (Fortalezas y amenazas) surgen cuando gracias a las fortalezas adquiridas fundamentalmente con el esfuerzo personal, se pueden potenciar o aprovechar mejor que los demás competidores las oportunidades que presenta el mercado. Esta es la clave por la cual difícilmente dos personas o empresas puedan presentar iguales ventajas competitivas ante el mercado, ya que si bien se basan en las mismas variables del entorno, si cada una de ellas aprende a reconocer cuáles son sus verdaderas fortalezas, determinará una ventaja competitiva diferente a la de los demás y cuyo valor comparativo dependerá de la forma en que se potencien las oportunidades que brinda el mercado (Otero y Gache, 2015). *Desventaja competitiva (Debilidades – Amenazas)* en este caso ocurre algo muy parecido a lo expresado en el párrafo anterior, sólo que las variables externas son las amenazas, que si bien afectan a todos los competidores, en cada caso se van a ver potenciadas en diferentes medidas de acuerdo con las debilidades que cada persona o firma posea. Nuevamente se vuelve a establecer una variable que si bien está compuesta por una magnitud que es común a todos pero ni afecta a todos, ni representa el mismo peligro para todos los que comparten el entorno (Otero y Gache, 2015).

Variables NO controladas (Oportunidades – Amenazas) la combinación de estas variables permite tanto al futuro empresario, evaluar la condición de agresividad del entorno y si bien en principio no puede hacer nada para modificarlas en forma directa, indirectamente le permiten establecer estrategias que basadas en las variables controladas tiendan a aumentar las oportunidades y a disminuir las amenazas (Otero y Gache, 2015).

Capítulo 3

Aplicación de la Metodología

CAPITULO 3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

Este capítulo hace referencia a la aplicación de la metodología planteada en el capítulo dos en donde se describen cada una de las fases propuestas para el desarrollo del proceso de investigación. Considerando y focalizando la problemática del cultivo de cebada maltera en el mundo real hasta visualizar su situación actual y necesidades. Así mismo, en la Fase II el sujeto que investiga (investigador) se relaciona con el objeto de conocimiento “aquello que se conoce” (Martínez, 2011). En la Fase III Investigación Experimental se desarrollaron tres actividades experimentales siguiendo el método científico respondiendo a las preguntas ¿Por qué se hace?, ¿Para qué se hace? ¿Qué se hace? ¿Cómo se hace? ¿Qué se espera obtener? ¿En qué se basa para obtener lo que dice?, etc. (Hernández, 2007, notas de clase).

3.1 Fase 1. Investigación de Campo y Focalización del Problema

En esta fase de investigación se visualiza el problema a nivel mundial y nacional, para llegar finalmente a la obtención de evidencia del problema en el mundo real a través de la colección de muestras de distintas regiones productoras de cebada destinadas al consumo humano y animal para evaluar su calidad sanitaria y presencia de micotoxinas de las mismas.

¿La microbiota y presencia de micotoxinas en muestras de cebada para consumo humano y animal nacional dependerá de las condiciones ambientales que se presenta en el ciclo agrícola que fueron colectadas, su procedencia y uso?

¿Cuál ha sido el problema de la producción de cebada maltera a nivel mundial y nacional?

3.1.1 Conocimiento del problema a nivel mundial

Es importante reflexionar la problemática que se está viviendo actualmente a nivel mundial con respecto a la inseguridad alimentaria, en donde las últimas estimaciones de la FAO indican que uno de cada ocho habitantes sigue careciendo de alimentación. especialmente en los países en desarrollo como África Subsahariana (países que no

limitan con el mar Mediterráneo y en su mayoría son de raza negra), Asia occidental y meridional en donde han sido insuficientes los esfuerzos en el cumplimiento de las

metas propuestas por diferentes países desarrollados a nivel internacional para reducir el hambre. Con respecto en América Latina este problema ha mejorado ya que algunos países han destacado como exportadores de productos agrícolas, no obstante ese crecimiento económico no ha sido suficientemente integrador para garantizar a la población tener acceso a los alimentos, lo cual corrobora que el crecimiento económico no basta por sí solo para garantizar la seguridad alimentaria y la nutrición sostenible (FAO, 2014). Para el 2020 se calcula que la población a nivel mundial tendrá una tasa de crecimiento de 80 millones por año, este aumento en la densidad de población, provocará cambios en los hábitos de alimentación, presentándose una mayor demanda del uso de granos para la alimentación, proyectándose que esta demanda de granos será más del doble (Oerke y Dehne 2004). Así mismo, se estima que 500 millones de personas pobres en África Subsahariana, Latino América y Asia estarán expuestos a niveles altos de concentraciones de micotoxinas aumentando la morbilidad y mortalidad en estos países (Pitt *et al.*, 2012).

Desde los inicios de la agricultura aproximadamente hace 10 000 años los cereales han representado una fuente importante de calorías para la humanidad por su alto valor nutrimental, ser fáciles de transportar y almacenar (Feuillet, *et al.* 2007). Dentro de los cereales de grano pequeño la cebada es uno de los cultivos ampliamente distribuidos en todo el planeta, por su gran adaptación, incluso en condiciones extremas; alrededor de 89 países cultivan este cereal, desde regiones subtropicales como África y Brasil, hasta zonas frías como Noruega y Alaska, sin embargo la Unión Europea ocupa el primer lugar como productor de cebada con el 46.1% y en conjunto con Rusia, Canadá, Australia y Ucrania representan el 73% de la producción mundial de cebada (González *et al.*, 2016).

Se estima que la producción de cebada a nivel mundial es afectada en un 50% o menos por plagas y enfermedades, siendo las malas hierbas la principal causa de pérdidas (23%) en este cultivo, seguido de los hongos fitopatógenos en un 15%, especialmente

por especies de *Pyrenophora teres*, *Rhynchosporium secalis*, *Puccinia hordei*, *B. graminis* f.sp. *hordei* y *C. sativus*, las plagas con el 7% y los virus en un 3%. Para es necesario el manejo de un control integrado, especialmente en países subdesarrollados en donde las pérdidas por plagas y enfermedades son mayores debido a que no cuentan con métodos de producción y una agricultura tecnificada (Oerke y Dehne, 2004).

3.1.2 Conocimiento del problema a nivel Nacional

En México 67% de la producción total de cebada corresponde a siembras de temporal (primavera-verano) y 33% restante corresponde a la modalidad de riego (otoño invierno) (Zamora-Díaz *et al.*, 2010). Las principales zonas en donde se cultiva la cebada maltera de temporal son los Valles Altos del estado de Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y el estado de México, además se siembra en otras regiones como son: norte de Guanajuato, sur de San Luis Potosí, noreste de Jalisco y Durango y Norte de Zacatecas. La región donde se cultiva bajo condiciones de riego es el Bajío, que corresponde a los estados de Querétaro, Guanajuato, Michoacán y Jalisco (Zamora-Díaz *et al.*, 2010). Siendo los estados de Guanajuato, Hidalgo y Tlaxcala los que presentan una mayor producción en la línea del tiempo (Figura 3.1).

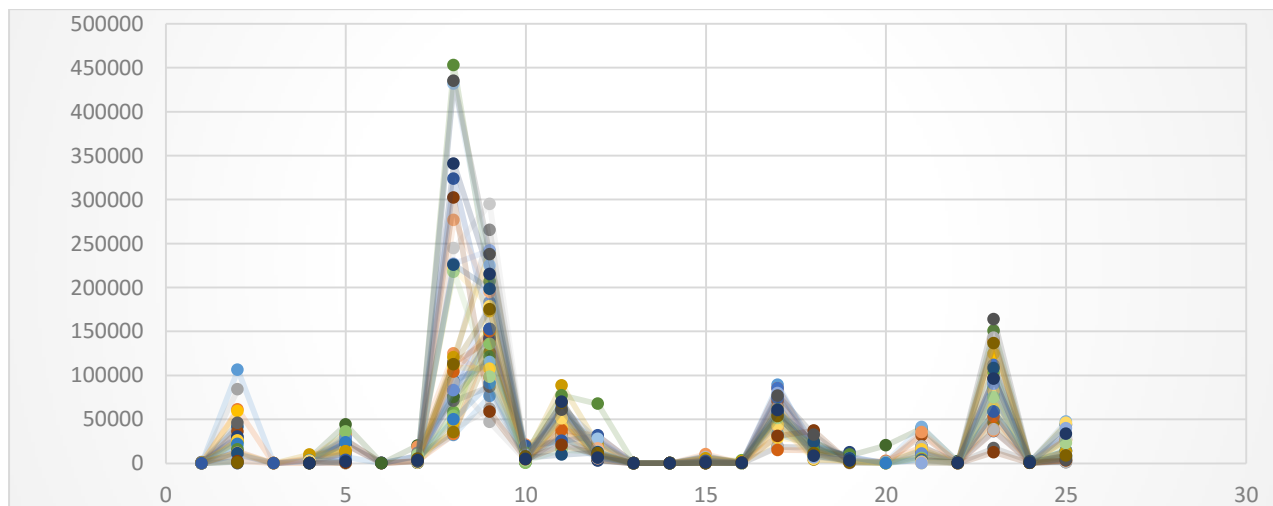
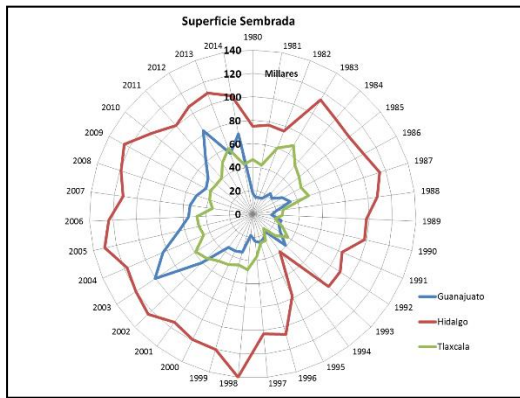


Figura 3.1 Producción de Cebada en la República Mexicana de 1980-2014: 1. Aguascalientes, 2) BC, 3), BCS 4), Coahuila 5) Chihuahua , 6) CDMX_DF, 7) Durango, 8) Guanajuato, 9) Hidalgo, 10) Jalisco, 11) Edo Mex,

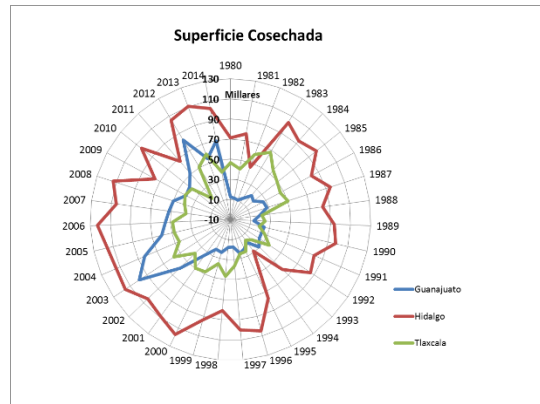
12) Michoacan, 13) Morelos, 14) Nayarit, 15) Nuevo León, 16) Oaxaca, 17) Puebla, 18) Querétaro, 19) San Luis Potosi, 20) Sinaloa, 21) Sonora, 22) Tamaulipas, 23) Tlaxcala, 24) Veracruz, 25) Zacatecas

De acuerdo con el SIAP, en México durante el ciclo agrícola 2013, fueron sembrados 355 782 ha de cebada de las cuales 320 946 correspondieron a cebada maltera, 33 491 ha a cebada forrajera y 1 345 ha destinada para producción de semillas. De la superficie sembrada con cebada maltera, fueron cosechados 296 912 ha obteniéndose 594 a 437 t y un rendimiento medio de 2 t ha⁻¹ (González *et al.*, 2011). En la Figura 3.1 se muestra la situación del cultivo de la cebada a lo largo del tiempo (1980-1914), de los tres principales estados productores de cebada Hidalgo, Tlaxcala que corresponden a la zona de Valles Altos y Guanajuato situado en la zona del Bajío, en relación a la superficie sembrada, superficie cosechada y volumen de producción, mostrando que el estado de Hidalgo presenta mayor superficie sembrada y cosechada, sin embargo, el estado de Guanajuato obtiene un mayor volumen de producción y valor de producción esto se debe a que el estado de Hidalgo presenta mayor número de siniestros, causados por agetes de origen biótico y abiótico, debido a que el cultivo de cebada en esa zona es principalmente de temporal y en Guanajuato es de riego.

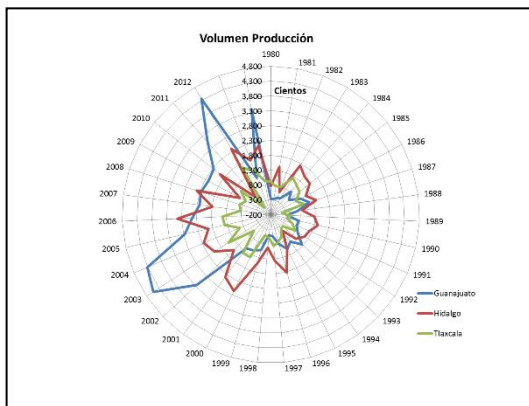
Particularmente en México, aproximadamente el 69% de la cebada que se produce es específica para ser utilizada por la industria maltera, que a su vez se utiliza para la elaboración de cerveza y el 31% restante corresponde a variedades que se utilizan fundamentalmente para alimentación de ganado y en menor proporción para alimento humano (Santana-Robles *et al.*, 2014). La diferencia entre la cebada que se utiliza para la industria cervecera y como forraje para los animales, reside principalmente en el contenido de proteína. Para la alimentación de los animales se busca un porcentaje por arriba del 12% y para la producción de cerveza debe ser menor. La acumulación de proteína en el grano depende muchos factores, como la fertilización, la calidad de la tierra, las horas luz, la variedad, etcétera. Por lo que en algunas ocasiones, la cebada maltera sembrada para fines de la industria cervecera no reúne los criterios de calidad requeridos y tiene que ser destinada como alimento para ganado (Aguilar y Schwentesius 2004).



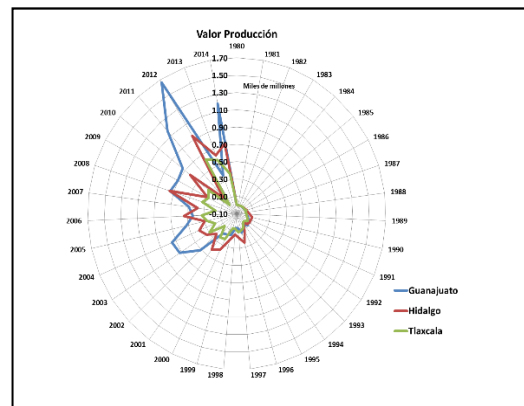
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3.2 Situación en el tiempo de: a) Superficie Sembrada (SS); b) Superficie Cosechada; c) Valor de la Producción (VP) y Volumen de producción de 1980-2014 (Elaboración propia, 2016; datos obtenidos de SAGARPA, 2016)

Las exigencias principales del mercado nacional en cuanto a calidad de la cebada para producción de malta consisten en presentar buenas condiciones físicas y fisiológicas, sin plagas, con una germinación mínima de 85%, humedad igual o menor al 14% (11.5-13.5 %), buen tamaño de grano (grano retenido en una criba de $5.5/64$ “X $3/4$ ”), porcentajes de grano desnudo o quebrados menores del 5%, menos de 2% de impurezas, un máximo del 10% de grano dañado y hasta 10% de mezclas con otras variedades de cebada, peso hectolitrico en cebadas de seis hileras mínimo de 56 kg hL en de dos hileras debe tener como valor mínimo 58

kg hL (González *et al.*, 2016; Galarza *et al.*, 2006); además las características organolépticas del grano deben ser las adecuadas cuidando que el grano no esté sucio, dañado, manchado, pintado o contaminado, que no tenga un olor a putrefacto, rancio, alcoholizado, de algún químico, entre otras (González *et al.*, 2016).

Estas exigencias son fundamentales para que el productor de malta pueda obtener el máximo rendimiento de extracto de malta por tonelada de cebada, materia prima en la elaboración de cerveza, principalmente. Para cumplir con las exigencias anteriores, los productores deben utilizar parcelas que no impliquen riesgo de contaminación con otros granos, el adecuado control de malezas y plagas, así como el adecuado manejo del producto durante la cosecha y arrastre, para satisfacer las exigencias del industrializador (Claridades Agropecuarias, 2003).

Por lo que la mayor preocupación de los comercializadores de grano de cebada para malteo está relacionada con la obtención de los estándares de calidad requeridos por la industria. Para ello, el grano recibido de los agricultores pasa a través de un beneficio en el cual se busca reducir las impurezas que pudieran afectar el proceso de malteado del grano. Esta fase de beneficio, representa el principal cuello de botella de la comercializadora, ya que la cosecha de grano se concentra en una reducida época del año, y la capacidad instalada para el beneficio es limitada. Este problema disminuiría si logran obtener del productor primario un producto con mejores características de calidad. Actualmente las comercializadoras de cebada se han acercado a centros de investigación, como el INIFAP y el CINVESTAV, con la intención de que atiendan la problemática tecnológica que se presenta con los agricultores con quienes contratan la siembra de cebada. De aquí la importancia de que el agricultor pueda generar desde la cosecha un producto que requiera un menor beneficio, lo que le podrá repercutir en un mejor precio, como consecuencia de la disminución de costos de proceso poscosecha (Espinosa *et al.*, 2003).

La cadena agroindustrial cebada- malta- cerveza es la base de una de las actividades más importantes en México. De acuerdo con los datos del Consejo Nacional de Productores de Cebada, existen 50,313 productores agremiados, que representan el 89% del total nacional y 97% del volumen de producción, con base en el Sistema de Información Empresarial Mexicano (SIEM), la actividad cervecera genera poco más de 130 mil empresas, entre las que se

encuentran la elaboración de malta, levadura, fabricación de envase de madera, cartón, vidrio, hojalata, lámina, maquinaria y equipo para alimentos y bebidas, así como diversos establecimientos comerciales que dan empleo directo a casi 25 mil personas e indirecto a unas 800 mil (Galarza *et al.*, 2006).

3.1.3 Actividad 0. Análisis de situación actual evaluando la microbiota y presencia de micotoxinas de 21 muestras de cebada.

3.1.3.1 Introducción

El cambio climático se suma a los desafíos a los que se enfrentan los sistemas alimentarios y agrícolas. Representa una amenaza fundamental para la seguridad alimentaria a nivel mundial, el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza (FAO, 2015). A nivel mundial el cambio climático potencialmente puede impactar los cultivos agrícolas básicos destinados a la alimentación humana y animal durante la pre y poscosecha. En algunas regiones geográficas, modelos climáticos han proyectado una marcada disminución de la precipitación en verano y un aumento de temperatura y

elevación en la concentración CO₂, lo que podría dar como resultado, episodios de estrés y sequía en los cultivos, aumentando el riesgo de migración de organismos patógenos (Magan *et al.*, 2011); así como el desarrollo de especies de hongos micotoxígenos y la contaminación de cultivos con metabolitos secundarios llamados micotoxinas. Estudios recientes sugieren que la producción de metabolitos secundarios jugarán un papel importante en la interacción competitiva entre los hongos xerofílicos en condiciones extremas de sequía (Leong *et al.*, 2010).

El cambio climático debido al aumento en la temperatura y concentración de CO₂, también influirá en la calidad y deterioro de los granos destinados al consumo humano y animal, reduciendo su valor proteico y micronutrientes, favoreciendo el desarrollo de hongos y la producción de micotoxinas afectando su calidad durante su transporte y almacenamiento (Chakraborty y Newton, 2011).

La fusariosis es una de las enfermedades más destructivas y causante a nivel mundial de las mayores pérdidas económicas en trigo cebada y otros granos y en los últimos años se han presentado brotes de esta enfermedad en Asia Europa y América del Sur (Ward *et al.*, 2008), lo cual puede representar una amenaza para el suministro mundial de alimentos de acuerdo con Goswani y Kistler (2004). Esta enfermedad puede ser causada por diversas especies de *Fusarium* como *Fusarium culmorum*, *F. avenaceum*, *F. pseudograminearum*, *F. croockwellense*, *F. poae*, *F. acuminatum*, *F. sporotrichioides* y *F. graminearum*, (Demeke *et al.*, 2005). Esta última especie es principal patógeno a nivel mundial. Estos hongos son capaces de establecerse en el grano a nivel de campo y en algunas ocasiones en el almacén poniendo en riesgo la salud del hombre y animales ya que son productores de micotoxinas como la zearalenona y tricotecenos como el deoxinivalenol (DON) (Umpiérrez *et al.*, 2011).

La presencia de altas concentraciones de Deoxinivalenol (DON) y otras micotoxinas son un problema global en granos dañados por condiciones ambientales o cosechados con altos contenidos de humedad (Blaney *et al.*, 1979). En la industria maltera, cervecera y alimentaria se ha encontrado la presencia de DON en diferentes fases de la producción, poniendo en riesgo la salud humana (Shwartz, 2003; Desjardins, 2006; Scudamore *et al.*, 2008). En algunos países Latinoamericanos se exceden los límites máximos permitidos de DON (Miller, 2008). Por lo que se considera importante implementar medidas para mitigar el impacto del cambio climático sobre la alimentación humana y obtener productos con una buena calidad e inocuidad.

Para México se ha reportado en las regiones que cultivan cebada, enfermedades causadas por hongos como la mancha reticular producida por *Helminthosporium teres* la mancha moteada causada por *Helminthosporium sativum*, la roya amarilla y la roya de la hoja enfermedades originadas por *Puccinia striiformis* y *Puccinia hordei* respectivamente, y el carbón cubierto causado por *Ustilago hordei* y descubierto o volador cuyo agente causal es *Ustilago nuda*. La Fusariosis o roña de la espiga es otra de las enfermedades reportadas en cebada en México, se presenta en regiones cálidas húmedas, y se ha observado desde 1977 en el área del Altiplano del estado de Jalisco, y en los últimos años esta enfermedad también se ha reportado en los Valles Altos de México, que corresponden a los estados de Tlaxcala, Puebla, Hidalgo y el Estado de México (Tapia-Naranjo, 2010).

3.1.3.2 Objetivo

Determinar la calidad sanitaria y presencia de micotoxinas en 21 muestras de cebada empleada para la alimentación humana y animal.

3.1.3.3 Hipótesis

La determinación de hongos micotoxigénicos no implica necesariamente la presencia o ausencia de hongos micotoxinas en los granos de cebada analizados.

3.1.3.4 Materiales y métodos

3.1.3.4.1 Determinación de características físicas

a) Tamaño del grano

Las muestras 21 muestras de cebada maltera fueron cribadas en una criba de orificios oblongos de dimensiones de 2.18 x 19.0mm, eliminando grano quebrado, impurezas, etc., posteriormente se midió con un Vernier el largo ancho y grosor de 20 granos de cada una de las muestras.

b) Contenido de humedad

De las 21 muestras se determinó el contenido de humedad por el método de secado en estufa, el cual consiste en pesar la materia seca y por diferencia de peso se calculó el contenido de humedad expresado en porcentaje, donde se elimina el agua del grano mediante el calor (130°C, por 20 horas) aplicado a la muestra (Moreno, 1996). El cual fue expresado con base en el peso húmedo del promedio de cuatro repeticiones para cada una de las muestras analizadas, mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ CH} = A/B \times 100$$

Dónde: % CH = Porcentaje del contenido de humedad

A = Pérdida de peso en gramos

B = Peso original de la muestra

c) Peso hectolítrico

Para la medición del peso hectolítrico se utilizó una balanza de peso específica marca OHAUS. Se define como el peso del grano contenido en una unidad de volumen. Esta medida está directamente relacionada con las características de calidad del grano. El peso hectolítrico fue el porcentaje promedio de tres repeticiones.

3.1.3.4.2 Determinación de microbiota endógena

Para determinar la microbiota endógena presente en 21 muestras de cebada, 25 granos fueron desinfectados superficialmente con hipoclorito de sodio (NA OCL) al 3% durante un minuto y lavados con agua destilada estéril para determinar la microbiota interna sembrándolos en cajas de Petri con medio de cultivo de papa dextrosa agar (PDA) adicionado con tergitol (200 µl por cada 500 ml de PDA) en condiciones de asepsia en una campana de flujo laminar (VECO ®) de cada una de las muestras se realizaron cuatro repeticiones para cada condición (desinfectadas y sin desinfectar). Las cajas se incubaron a 25°C (Precision Scientific Inc.) durante 5 días. Después de los cuales se cuantificaron y aislaron los hongos presentes en la cebada por medio de claves especializadas.

3.1.3.4.3 Determinación de microbiota exógena

Para determinar la microbiota exógena presente en 21 muestras de cebada, 25 granos fueron sembrados directamente (sin desinfección superficial) en cajas de Petri con medio de cultivo de papa dextrosa agar (PDA) adicionado con tergitol (200 µl por cada 500 ml de PDA) en condiciones de asepsia en una campana de flujo laminar (VECO ®) de cada una de las muestras se realizaron cuatro repeticiones para cada condición (desinfectadas y sin desinfectar). Las cajas se incubaron a 25°C (Precision Scientific Inc.) durante 5 días. Después de los cuales se cuantificaron y aislaron los hongos presentes en la cebada por medio de claves especializadas.

3.1.3.4.4 Determinación de micotoxinas

a) Determinación de aflatoxinas totales

Para la determinación de aflatoxinas totales en las 21 muestras de cebada, se utilizó el método analítico de anticuerpos monoclonales AflaTest® VICAM L. P. (de acuerdo al método 991.31 de la AOAC, 1995). Para la extracción de las aflatoxinas totales se utilizaron 50 g de cada una de las muestras de cebada, las cuales fueron colocadas en un vaso de licuadora y molidas con 10g de cloruro de sodio y 100 ml de metanol al 80% (metanol/agua 80/20) a máxima velocidad durante 60 s. El extracto puro obtenido se hizo pasar a través de un embudo con papel filtro aflautado Whatman No. 1, y el filtrado obtenido se colectó en una probeta de 100 ml. Del extracto filtrado se colectaron 10 ml y se colocaron en un matraz Erlenmeyer de 100ml con 40

ml de agua destilada. Posteriormente se pasaron 10 ml del filtrado diluido a través de la columna de afinidad Afla Test-P con anticuerpos monoclonales en una velocidad de 1-2 gotas por segundo. A continuación se pasaron 20 ml de agua destilada repartida en dos fracciones iguales, a través de la columna a una velocidad de 2 gotas por segundo, con la finalidad de realizar lavados de la columna. Se eluyó en la columna de afinidad pasando 1 ml de metanol grado HPLC a través de la columna a una velocidad de 1-2 gotas por segundo, esta última fracción se colectó en un vial de vidrio, al cual se le agregó 1 ml del revelador AflaTest, el vial se colocó en un Vortex por aproximadamente 5 segundos con la finalidad de homogenizar la mezcla. Por último se procedió a introducir el vial en el fluorómetro VICAM serie 4, el cual fue calibrado previamente con un estándar utilizado para la lectura de concentración de aflatoxinas. El vial con el filtrado se introdujo en un fluorómetro durante 60 s, después de los cuales se tomó la lectura de la concentración de aflatoxinas totales las cuales se expresan en $\mu\text{g kg}^{-1}$.

b) Determinación de fumonisinas totales

Para la determinación de Fumonisinias totales en las 21 muestras de cebada, se utilizó el método analítico de anticuerpos monoclonales FumoniTest® VICAM L. P. (de acuerdo al método 991.31 de la AOAC, 1995). Para la extracción de las fumonisinas totales se utilizaron 50 g de cada una de las muestras de cebada, las cuales fueron colocadas en un vaso de licuadora y molidas con 5g de cloruro de sodio y 100 ml de metanol al 80% (metanol/agua 80/20) a máxima velocidad durante 60 s. El extracto puro obtenido se hizo pasar a través de un embudo con papel filtro aflautado Whatman No. 1, y el filtrado obtenido se colectó en una probeta de 100 ml. Del extracto filtrado se colectaron 10 ml y se colocaron en una matraz Erlenmeyer con 40 ml de un Buffer de lavado PBS/0.1% Tween-20. Se homogenizó la mezcla y posteriormente el extracto diluido, se pasó por un embudo con papel filtro con una microfibras de 1.0 μm directamente a través de la columna de inmunoafinidad FumoniTest-P con anticuerpos monoclonales en una velocidad de 1-2 gotas por segundo. después se pasaron 10 ml de PBS, a través de la columna a una velocidad de 1-2 gotas por segundo y se colectó la muestra eluida (1.0 mL) en un vial de vidrio. A esta última fracción se le adicionó 1.0 mL de mezcla de los reveladores A y B (1 mL de metanol + 1ml de reveladores A y B) previamente preparados, el vial se colocó en un Vortex por aproximadamente 5 segundos con la finalidad de homogenizar la mezcla. Por último se procedió a introducir el vial con el extracto en el fluorómetro VICAM serie 4, el cual fue calibrado previamente con un estándar utilizado para la lectura de concentración de fumonisinas. El vial con el filtrado se introdujo en un fluorómetro durante 240

s, después de los cuales se tomó la lectura de la concentración de fumonisinas totales las cuales se expresan en ppm.

c) Determinación de deoxinivalenol

La determinación de deoxinivalenol en las muestras de cebada se realizó por el método de tiras ROSA® FAST5 DON Quantitative Test Flow Chart, aprobado por la USDA GIPSA (Inspección de Granos, Empacadores y Corrales Administración). Para la extracción del Deoxinivalenol se pesaron 50g de la muestra se colocaron en un frasco de plástico y se le adicionaron 50 mL de agua destilada desionizada, se tapó y se agitó el recipiente vigorosamente por 30s y se ajustó el pH del extracto a 6.5-7.5 con K OH al 30%, posteriormente el extracto se clarificó colocándolo en un tubo ependorf y se centrifugó, el extracto clarificado se pasó a través de un filtro GF/CA, se tomaron 300 µl del extracto y se adicionó 1.0 mL del buffer de dilución DONQ-FASTS. Finalmente se colocó la tira de flujo lateral ROSA para DON en una incubadora Charm EZ® -M system, se jaló la película y se pipetearon 300µl del extracto diluido, se volvió a sellar la tira y se incubó por 5 minutos, y se cuantificó la muestra en el lector ROSA M y la lectura se obtuvo en ppm.

3.1.3.5 Resultados

3.1.3.5.1 Caracterización física

Con relación a la calidad física de las muestras de cebada se encontró que con respecto al tamaño las variables evaluadas con respecto al largo ancho y grosor variaron con respecto a la aplicación de la cebada siendo la variedad Perla la que presentó el valor más pequeño con respecto a lo largo y ancho, con respecto al ancho y al grosor hubo una gran variación siendo las muestras M5, M6 y M7 las que mostraron una medida mayor en cuanto al ancho (3.45, 3.81 y 3.84 respectivamente). Las muestras que presentaron un mayor grosor fueron las M5, M9 y M14 Como se muestra en la Tabla 3.1 con respecto al peso hectolítrico casi el 50% de las muestras no cumplen con el mínimo requerido de 56 kg/hl y con relación al contenido de humedad únicamente 5 muestras sobrepasaron el límite máximo de 11.5-13.5% de acuerdo con la norma oficial NMX-FF-043-SCFI-2003.

Tabla 3.1. Caracterización del tamaño del grano de 21 muestras de cebada maltera (Elaboración propia 2016).

Muestra	Largo (mm)	Ancho (mm)	Grosor (mm)	Peso Hectolítrico Kg/hl	Contenido de humedad (%)
M1	9.55ba	3.30dc	2.79ebdacf	53.36	14.291
M2	9.87a	3.30dc	2.57ef	56.58	16.672
M3	9.60ba	3.31dc	2.74ebdcf	53.04	13.222
M4	9.58ba	3.45bdc	2.88ebdac	66.20	11.321
M5	9.02ba	3.81a	3.04ba	55.0	9.056
M6	8.66ba	3.85a	2.97bdac	57.58	10.122
M7	9.06ba	3.84a	2.84ebdacf	57.78	8.447
M8	9.71ba	3.57bdac	2.88ebdac	55.63	9.006
M9	9.52ba	3.75ba	3.11a	56.00	12.238
M10	9.21ba	3.45bdc	2.87ebdac	56.82	9.873
M11	9.10ba	3.32dc	2.72ebdcf	53.24	13.913
M12	9.29ba	3.34dc	2.83ebdacf	51.38	12.850
M13	9.85a	3.29dc	2.71ebdcf	54.24	15.066
M14	9.86a	3.60bac	3.13a	54.76	14.410
M15	8.51b	3.35dc	2.68edcf	56.70	12.788
M16	9.16ba	3.51bdac	3.001bac	69.70	10.968
M17	5.98c	3.24d	2.63edf	50.58	12.093
M18	6.25c	3.36dc	2.73ebdcf	56.59	12.202
M19	6.48c	3.37dc	2.63edf	50.08	12.106
M20	6.60c	3.40dc	2.82ebdacf	59.50	12.112
M21	6.14c	3.43bdc	2.52f	52.40	12.270
	1.29	0.34	0.34		
Media	8.62	3.47	2.81		
Significancia	0.0001	0.0001	0.0001		
C.V.	9.23	6.09	7.51		
R ²	0.77	0.48	0.43		

3.1.3.5.2 Micobiota endógena

En la Tabla 3.2 se muestran los resultados de la determinación de micobiota presente en 21 muestras de cebada maltera destinada para alimentación humana, industria cervecera y alimentación animal, en donde se observa que las muestras analizadas de cebada para forraje (M1, M2, M3 y M4) y maltera (M9 a la M15) fueron las que presentaron mayor incidencia de hongos de campo encontrando en la mayoría de ellas una alta incidencia del género *Alternaria*, seguido por *Fusarium* y *Helminthosporium*, con menor presencia se aislaron e identificaron otros hongos como *Cladosporium*, *Epiccocum* y *Nigrospora*. Siendo la muestra (M4) de cebada destinada a forraje la que presentó mayor incidencia de hongos de campo (97 hongos aislados) y de las muestras de cebada maltera, la que presentó el mayor número de aislamientos fue la muestra M12 con 94 aislamientos.

En la muestra 16 cebada maltera destinada a semilla el número de hongos aislados fue muy bajo, mientras que en las muestras destinadas a alimento humano (M17 a M21) el hongo más frecuente fue *Alternaria* observándose una menor incidencia que en las muestras de cebada forrajera y maltera, siendo la muestra M 21 la que presentó mayor número de hongos aislados. Con respecto a los hongos de almacén y de deterioro avanzado hubo una muy baja incidencia.

Tabla 3.2 Determinación de la micobiota endógena de hongos de campo en 21 muestras de cebada (Elaboración propia 2016).

<i>Muestra</i>	<i>Procedencia</i>	<i>Alternaria</i>	<i>Fusarium</i>	<i>Helminthosporium</i>	<i>Cladosporium</i>	<i>Epicoccum</i>	<i>Nigrospora</i>	<i>Total Campo</i>
1	Puebla	39 dc	18 bc	21 a	0a	0 b	0 b	78 bac
2	Puebla	30 dc	13 dc	5 bcd	0a	23 a	0 b	71 c
3	Nanacamtla Tlax	22 dce	0 e	20 a	0a	0 b	0 b	42 d
4	Valles Altos INIFAP	88 a	4 de	5 bcd	0a	0 b	0 b	97 a
5	Alemania	9 gfe	0 e	13 ba	0a	4 b	0 b	26 edf
6	E.U.	1gf	0e	0d	0a	0b	0b	1hg
7	Colorado, E U.	0 g	0 e	0 d	0a	0 b	0 b	0 h
8	San Mateo Puebla	10 gfe	3 de	3 cd	0a	0 b	0 b	16 hgf
9	Valles Altos, Apan Hidalgo	21 dce	2 de	3cd	0a	0 b	0 b	26 edf
10	Bajío	20 dfe	0 e	0 d	0a	0 b	0 b	20 egf
11	Calpulalpan Tlaxcala	20 dfe	0 e	20 a	1 ^a	0 b	0 b	41 d
12	Valles Altos, Apan Hidalgo	68 b	26 ba	0 d	0a	0 b	0 b	94 ba
13	Valles Altos, Apan Hidalgo	40 c	26 ba	0 d	0a	0 b	0 b	70 c
14	Valles Altos, Apan Hidalgo	31 dc	36 a	10 bc	0a	0 b	0 b	77 c

15	Apan Hidalgo	23 dce	6 de	2 cd	1 ^a	0 b	0 b	32 ed
16	INIFAP	0 g	1 e	0 d	0a	0 b	0 b	1 hg
17	GN+VIDA	4 gfe	0 e	0 d	0a	0 b	0 b	4 hg
18	Celaya, Guanajuato	4 gfe	1 e	0 d	0a	0 b	0 b	5 hg
19	Celaya Guanajuato	4 gfe	0 e	1 cd	2 ^a	0 b	0 b	7 hgf
20	EW	8 gfe	0 e	0 d	1 ^a	0 b	0 b	9 hgf
21	Escosa	22 dce	0 e	20 a	0a	0 b	0 b	42 d
	LSD (0.05%)	19.23	11.44	9.73	2.4	6.64	3.25	19.57

3.1.3.5.3 Micobiota exógena

En las muestras analizadas sin desinfección superficial e encontró que el hongo presente con mayor incidencia fue el género *Alternaria*, seguido por *Fusarium* y *Helminthosporium*, *Cladosporium* y *Nigrospora*. Las muestras forrajeras M1 y M4 fueron las que presentaron el mayor número de aislamientos de *Alternaria* (72 y 97 respectivamente). Sin embargo, la muestra M3 también forrajera y la M6 destinada a la elaboración de cebada cervecera, así como las muestras de cebada maltera M9, M10, M11, M15 y la M21 destinada a alimentación humana no presentaron este género. Con respecto al género *Helminthosporium* las muestras que mostraron mayor número de aislamientos (13 colonias) fueron la M2 empleada como forraje, y las muestras de cebada maltera M8 y M13. *Cladosporium* se presentó en varias muestras de cebada M2

Tabla 3.3 Micobiota exógena de muestras evaluadas de cebada hongos de campo (Elaboración propia, 2016)

	Procedencia	Helminthosporium Cladosporium Nigrospora Total Campo					
		Alternaria	Fusarium				
1	Puebla	72 b	12 b	9 ba	0 b	0 b	93 a
2	Puebla	14 edf	0 c	13 a	2 ba	8 a	37 c
3	Nanacamilta Tlax	0 f	0 c	2 b	0 b	0 b	2 e
4	Valles Altos INIFAP	97 a	3 cb	0 b	0 b	0 b	100 a
5	Alemania	10 ef	3 cb	1 b	1 b	0 b	15 de
6	EU	0 f	0 c	0 b	0 b	0 b	0 e
7	Colorado, E U.	2 ef	0 c	0 b	1 b	0 b	3 e
8	Valles Altos, Apan Hidalgo	15 ed	3 cb	13 a	1 b	0 b	32 dc
9	Valles Altos, Apan Hidalgo	0 f	0 c	0 b	0 b	0 b	0 e
10	Bajío	0 f	0 c	0 b	0 b	0 b	0 e
11	Calpulalpan Tlaxcala	0 f	0 c	1 b	0 b	0 b	1 e
12	Valles Altos, Apan Hidalgo	40 c	30 a	0 b	2 ba	0 b	72 b
13	Valles Altos, Apan Hidalgo	25 d	23 a	5 ba	5 ba	0 b	58 b
14	Valles Altos, Apan Hidalgo	51 c	31 a	13 a	0 b	0 b	95 a
15	San Mateo Puebla	0 f	0 c	0 b	0 b	0 b	0 e
16	INIFAP	5 ef	6 cb	0 b	0 b	0 b	11 e
17	GN+VIDA	5 ef	0 c	0 b	6 ba	0 b	11 e
18	Celaya, Guanajuato	6 ef	4 cb	0 b	2 ba	0 b	12 de
19	Celaya Guanajuato	6 ef	5 cb	0 b	1 b	0 b	12 de
20	EW	2 ef	0 c	0 b	8 a	0 b	10 e
21	Escosa	0 f	0 c	1.3 b	0 b	0 b	1.3 e
	LSD (0.05%)	14.16	10.3	10.11	6.58	1.91	20.57

M5, M7, M8, M12, M13, M17, M18, M19 y M20 aunque con menor número de aislamientos pero con una mayor frecuencia, como se observa en la Tabla 3.3. De todas las muestras analizadas las que presentaron el mayor número de aislamientos totales de hongos de campo fueron la M1 y M4 (forrajeras) y la M14 (maltera).

En los resultados obtenidos de los hongos de almacén (Tabla 3.4) los hongos que se encontrar con mayor incidencia fueron la especie *Aspergillus flavus* y el género *Penicillium*. *Aspergillus flavus* fue determinado en las muestras forrajeras M2 y M3, en las muestras de malta para cerveza artesanal M5 y M6, en la cebada maltera M8, M9, M10, M11, M12, M15 y M16 presentando las muestras M9 y M15 el mayor número de aislamientos de micobiota exógena (32 y 21 respectivamente) de todas las muestras analizadas. Las muestras de M19 y M21 también se aislaron colonias de *A. flavus* con menor incidencia.

Tabla 3.4 Micobiota exógenas de muestras evaluadas de cebada hongos de almacén (Elaboración propia, 2016)

	Procedencia	<i>A. flavus</i>	<i>E. nidulans</i>	<i>A. terreus</i>	<i>Penicillium</i> spp.	Total almacén
1	Puebla	0 c	0 b	0 a	3 d	3 e
2	Puebla	2 c	0 b	0 a	38 b	40 cb
3	Nanacamtla Tlax	2 c	0 b	0 a	100 a	102 a
4	Valles Altos INIFAP	0 c	0 b	0 a	11 cd	11 ced
5	Alemania	3 c	0 b	0 a	0 d	3 e
6	EU	3 c	0 b	1 a	31 cb	35 cbd
7	Colorado, E U.	0 c	0 b	0 a	6 d	6 ed
8	Valles Altos, Apan Hidalgo	6 bc	0 b	0 a	6 d	12 ced
9	Valles Altos, Apan Hidalgo	32 a	0 b	0 a	13 cd	0 e
10	Bajío	9 bc	25 a	0 a	0 d	34 cbd
11	Calpulalpan Tlaxcala	8 bc	0 b	0 a	86 a	94 a
12	Valles Altos, Apan Hidalgo	10 bc	0 b	0 a	0 d	10 ced
13	Valles Altos, Apan Hidalgo	0 c	0 b	0 a	0 d	94 a
14	Valles Altos, Apan Hidalgo	0 c	0 b	0 a	0 d	0 e
15	San Mateo Puebla	21 ba	0 b	0 a	0 d	21 cebd
16	INIFAP	1 c	0 b	0 a	0 d	1 e
17	GN+VIDA	0 c	0 b	0 a	0 d	0 e
18	Celaya, Guanajuato	0 c	0 b	0 a	2 d	2 e
19	Celaya Guanajuato	1 c	0 b	0 a	0 d	1 e
20	EW	0 c	0 b	0 a	1 d	1 e
21	Escosa	4 bc	0 b	0 a	100 a	104 a
	LSD (0.05%)	17.2	1.15	1.15	23.98	30.65

Del género *Penicillium* la muestra forrajera M3 y maltera M11 presentaron un gran número de aislamientos 100 y 86 respectivamente. Otra especie que se presentó únicamente en la muestra M10 de cebada maltera fue *Emericella nidulans*. De las 21 muestras analizadas las que presentaron un mayor número de aislamientos de hongos de almacén fueron la muestra destinada para forraje M3, la muestras de cebada maltera M11 y M13 y la muestra M21 para alimentación humana.

En el caso de los hongos de deterioro avanzado el género *Mucor* fue el que se presentó con mayor frecuencia también en la muestra M10, otros hongos aislados fueron *Aspergillus niger* y *Rhizopus*, observándose que la muestra 10 fue la que mostró el mayor número de colonias de hongos de deterioro avanzado.

Tabla 3.5 Micobiota exogena de muestras evaluadas de cebada, hongos de deterioro avanzado (Elaboración propia, 2016).

	Procedencia	<i>A. niger</i>	<i>Rhizopus</i>	<i>Mucor</i>	Total Deterioro
1	Puebla	1 b	0 a	0 c	1 cb
2	Puebla	2 ba	0 a	0 c	2 cb
3	Nanacamtla Tlax	0 b	3 a	0 c	3 cb
4	Valles Altos INIFAP	1 b	1 a	0 c	2 cb
5	Alemania	0 b	0 a	10 b	10 cb
6	EU	0 b	1 a	13 b	14 b
7	Colorado, E U.	0 b	8 a	0 c	8 cb
8	Valles Altos, Apan Hidalgo	0 b	1 a	8 cb	9 cb
9	Valles Altos, Apan Hidalgo	1 b	4 a	0 c	5 cb
10	Bajío	7 a	0 a	34 a	41 a
11	Calpulalpan Tlaxcala	3 ba	5 a	0 c	8 cb
12	Valles Altos, Apan Hidalgo	0 b	0 a	0 c	0 c
13	Valles Altos, Apan Hidalgo	2 ba	0 a	0 c	2 cb
14	Valles Altos, Apan Hidalgo	0 b	0 a	0 c	0 c
15	San Mateo Puebla	0 b	6 a	0 c	6 cb
16	INIFAP	4 ba	4 a	0 c	8 cb
17	GN+VIDA	0 b	0 a	0 c	0 c
18	Celaya, Guanajuato	0 b	2 a	0 c	2 cb
19	Celaya Guanajuato	1 b	0 a	0 c	1 cb
20	EW	1 b	0 a	0 c	1 cb
21	Escosa	0 b	3 a	0 c	3 cb
	LSD (0.05%)	5.91	9.35	9.07	13.98

3.1.3.5.4 Micotoxinas

Los resultados de la determinación de micotoxinas en la 21 muestras analizadas, se encontró que todas las muestras presentaron fumonisinas siendo las muestras de cebada forrajera y maltera las que presentaron los valores más altos como se puede observar en la Tabla 3.6. La muestra M8 y M15 de cebada forrajera y maltera fueron las que presentaron los niveles de contaminación más altos de 6.53 y 5.9 ppm respectivamente, sin embargo todas las muestras forrajeras presentan una alta concentración de esta micotoxina. Las muestras de malta para cerveza artesanal (M5, M6, M7) también presentaron niveles relativamente altos, mientras que la muestra de semilla de cebada (M16) y las muestras destinadas para consumo humano de la variedad Perla (de la M17 a la M21) fueron las que presentaron menores concentraciones de fumonisinas. En el análisis cuantitativo de las aflatoxinas totales solo las muestras M7, M9, M16 y M19, correspondiendo respectivamente a malta para cerveza artesana, semilla de cebada y cebada envasada a granel para consumo humano resultaron positivas, siendo la muestra M9 la que presentó mayores niveles de contaminación (12.66 ppb). En el análisis para DON las muestras que presentaron contaminación fueron la M4 (forrajera), M5 (malta para cerveza artesanal), M9 (maltera), M15 (maltera) y M21 (consumo humano), observando nuevamente la M9 con la mayor concentración (0.20 ppm) de esta micotoxina. El análisis de micotoxinas, nos indicó la presencia de una o más micotoxinas presentes (fumonisinas, aflatoxinas y deoxinivalenol) en las muestras analizadas, por lo que se considera importante conocer el efecto sinérgico que pudieran causar en el hombre y animales.

Tabla 3.6 Micotoxinas determinadas en 21 muestras de cebada destinadas para consumo humano y animal.

Muestra	Procedencia	Fum (ppm)	Aflas (ppb)	DON (ppm)
1	Puebla	4.36bdac	0 b	0 c
2	Puebla	4.7bdac	0 b	0 c
3	Nanacantla Tlax	5.23bac	0b	0 c
4	Valles Altos INIFAP	6.53 a	0 b	0.15 ba
5	Alemania	1.35ef	0 b	0.10 b
6	E.U.	1.73edf	0 b	0 c
7	Colorado, E.U.	2.8ebdfc	1 b	0 c
8	San Mateo Puebla	6.36a	0b	0 c
9	Valles Altos, Apan Hidalgo	2.7edfc	12.66 a	0.20 a
10	Bajío	2.86ebdfc	0 b	0 c
11	Calpulalpan Tlaxcala	2.2edfc	0 b	0 c
12	Valles Altos, Apan Hidalgo	1.36ef	0 b	0 c
13	Valles Altos, Apan Hidalgo	2.26edfc	0 b	0 c
14	Valles Altos, Apan Hidalgo	1.93edf	0 b	0 c
15	Apan Hidalgo	5.9ba	0 b	0.025 c
16	INIFAP	0.59f	0.5 b	0 c
17	GN+VIDA	0.59f	0 b	0 c
18	Celaya, Guanajuato	0.60f	0 b	0 c
19	Celaya Guanajuato	1.94edf	0.66 b	0 c
20	EW	0.80f	0 b	0 c
21	Escosa	0.79f	0 b	0.10b
	LSD (0.05%)	3.23	7.96	0.06
	Media	2.74	0.706	0.027
	Significancia	0.001	0.0004	0.001
	C.V.	37.78	361.94	70
	R ²	0.84	0.64	0.93

Medias con la misma letra en una columna son estadísticamente iguales (LSD, $p \leq 0.05$). DMS: Diferencias mínimas significativas; C.V.: Coeficiente de Variación; Fum: Fumonisinias; Aflas: Aflatoxinas; DON: Deoxinivalenol.

3.2 Fase 2. El sujeto que investiga

Una de las características que diferencian la investigación disciplinaria a la transdisciplinaria es la atención en el sujeto que investiga. De esta manera, en esta fase se aplicó el análisis FODA en busca de la auto-observación y auto-investigación.

Con base en la matriz FODA que permite observar soluciones, identificar los problemas para cumplir los objetivos y, visualizar los puntos débiles de un sistema, ahora se establece el análisis para el investigador detectando las fortalezas y oportunidades, para potenciar los puntos fuertes y transformar los débiles para el desarrollo del proceso de investigación de la investigación que define el FODA del sujeto que investiga (Figura 3.3).



Figura 3.3. Fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas del sujeto que investiga

(Elaboración propia, 2015).

En el FODA presentado en la Figura 3.3, se observan algunas debilidades, en donde al aplicar la metodología que sugiere la práctica del pensamiento sistémico se ha tenido que hacer ejercicios para complementar la formación analítica y especializada, que pretende desmenuzar la totalidad para estudiar los elementos por separado, aislando interacciones y componentes del resto del todo que forman

(Saez-Vaca 2009). En este trabajo de investigación se dio un enfoque sistémico intentando englobar la totalidad de los elementos del sistema estudiado “cebada”, así como las interacciones e interdependencias entre ellos (Tabla 3.7).

Tabla 3.7 Diferencias fundamentales entre el enfoque analítico y el enfoque sistémico (Saéz-Vaca 2009, basado en Rosnay, 1975).

Enfoque Analítico	Enfoque sistémico
Aislado: se centra en los elementos	Relacionado: se centra en las interacciones entre elementos
Considera la naturaleza de las interacciones	Considera los efectos de las interacciones
Se preocupa por la precisión de detalle	Se preocupa por la precisión global
Modifica una variable cada vez	Modifica grupos de variables simultáneamente
Independiente de la duración: los fenómenos considerados son reversibles	Integra la duración y la irreversibilidad
La validación de hechos se realiza por prueba experimental dentro del marco de una teoría	La validación de hechos se realiza por comparación del funcionamiento del modelo con la realidad
Modelos precisos y detallados, pero difícilmente utilizables para la acción	Modelos insuficientemente rigurosos para servir de base al conocimiento, pero utilizables en la decisión y la acción.
Enfoque eficaz cuando las interacciones son lineales y débiles	Enfoque eficaz cuando las interacciones son no lineales y fuertes
Conduce a una enseñanza por disciplinas	Conduce a una enseñanza pluridisciplinar
Conduce a una acción programada en detalle	Conduce a una acción por objetivos
Conocimiento de los detalles, metas mal definidas	Conocimiento de metas, detalles borrosos

Desde el punto de vista de la ingeniería, el enfoque sistémico, como “software mental”, es muy útil para percibir la riqueza y la complejidad de los diseños y los desarrollos y, al mismo tiempo, nos proporciona una serie de herramientas básicas para tratar esa complejidad y crear nuestra propia metodología de sistemas (Saéz-Vera 2009).

3.3 Fase 3. Investigación Experimental

En esta fase se realiza la Investigación de la propuesta de solución del problema considerando que sea factible su realización, en colaboración con algunas otras disciplinas e instituciones (ejercicio transdisciplinario). En esta fase el sujeto que investiga propone alguna alternativa de solución o mejora, va al laboratorio en

busca de demostrar si podría ser realmente una solución o pudiera coadyuvar en la solución del problema en el mundo real.

➤ **Pregunta de Investigación**

¿La estimulación mediante diodo laser de 650 nm modifica la calidad sanitaria de cebada maltera bajo distintos tiempos de exposición y condición óptica del grano?

3.3.1 Actividad 1. Efecto de estimulación láser sobre la calidad sanitaria de cebada maltera variedad Esperanza

3.3.1.1 Introducción

El fenómeno del calentamiento global ha provocado cambios abióticos y bióticos a nivel ambiental; los cuales han impactado los cultivos vegetales de diferentes regiones a nivel mundial alterando la producción agrícola. Dentro de los factores bióticos los hongos son la principal causa de pérdidas en los cultivos (Oerke, 2006). Los hongos pueden invadir los granos y semillas durante su formación en el campo y almacén provocando diversos daños, como enfermedades, pérdida de germinación, vigor y peso, decoloración, calentamiento, cambios bioquímicos y producción de micotoxinas (Moreno, 1996).

Una de las aplicaciones de la luz láser en la agricultura, es el uso de la radiación láser para proteger a las plantas contra enfermedades causadas por hongos (Bel'skii y Mazulenko 1984; Mathiassen *et al.*, 2006). Las evidencias científicas presentadas por diferentes autores a nivel mundial han encontrado que la luz láser acelera la maduración de las plantas y aumenta la resistencia de enfermedades, influenciado por la actividad α -amilasa y concentración de radicales libres en las semillas de muchas plantas, pudiendo desactivar el estado de latencia, promoviendo el porcentaje y tasa de germinación (Hernández-Aguilar 2011).

3.3.1.2 Objetivo

Determinar los efectos de estimulación láser sobre la calidad sanitaria del grano de cebada maltera (*Hordeum vulgare* L.) procedente del Bajío, México.

3.3.1.3 Hipótesis

La estimulación láser a 650 nm modifica la calidad sanitaria de cebada maltera.

3.3.1.4 Materiales y Métodos

3.3.1.4.1 Caracterización Física

Para la caracterización física en este trabajo se utilizó cebada maltera de la variedad Esperanza procedente del Bajío, de riego ciclo agrícola 2013, proporcionada por la compañía Extractos y Maltas, S.A. la cual fue cribada y se le determinaron las dimensiones físicas del grano. Peso hectolítrico, contenidos de humedad y características ópticas antes de ser tratadas con luz láser de baja intensidad.

3.3.1.4.2 Cribado, medición del grano

El grano de cebada maltera fue cribado en una criba de orificios oblongos de dimensiones de 2.18 x 19.0mm, eliminando grano quebrado, impurezas, etc., posteriormente se midió con un Vernier el largo ancho y grosor de 20 granos.

3.3.1.4.3 Peso hectolítrico

Para la medición del peso hectolítrico se utilizó una balanza de peso específica marca OHAUS. Se define como el peso del grano contenido en una unidad de volumen. Esta medida está directamente relacionada con las características de calidad del grano. El peso hectolítrico fue el porcentaje promedio de tres repeticiones.

3.3.1.4.4 Contenido de humedad

Se determinó el contenido de humedad por el método de secado en estufa (Tabla 3.1), el cual consiste en pesar la materia seca y por diferencia de peso se calculó el contenido de humedad expresado en porcentaje, donde se elimina el agua del grano mediante el calor (130°C, por 20 horas) aplicado a la muestra (Moreno, 1996). El cual fue expresado con base en el peso húmedo del promedio de cuatro repeticiones para cada una de las muestras analizadas, mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ CH} = A/B \times 100$$

Dónde: % CH = Porcentaje del contenido de humedad

A = Pérdida de peso en gramos

B = Peso original de la muestra

3.3.1.4.5 Caracterización óptica

Para la caracterización óptica del grano de cebada maltera por espectroscopía fotoacústica se utilizó una lámpara de xenón como fuente de excitación, un monocromador, para obtener un haz de luz monocromático, un chopper mecánico para modular la luz a una frecuencia fija de $f= 17$ Hz. El haz modulado fue focalizado en una fibra óptica, de tal manera de guiarlo a una celda fotoacústica (FA). La señal acústica generada en la celda FA fue detectada por medio de un micrófono eléctrico a través de un canal (1 mm de diámetro) entre la celda FA y la entrada del micrófono. Después la señal FA fue amplificada, utilizando un amplificador lock in (E & C, 5210) interconectado a una computadora personal. La señal FA fue obtenida en un rango de longitud de onda de 400 a 700 nm; de estas señales fotoacústicas obtenidas y después de comprobar que la muestra es térmicamente gruesa se determinó el coeficiente de absorción óptico a partir de la amplitud de la señal fotoacústica, empleando la fórmula de Paulet and Chambron (1979):

$$\beta = \frac{a_s \{q^2 + q(2 - q^2)^{1/2}\}}{(1 - q^2)}$$

3.3.1.4.6 Tratamiento con luz láser cebada maltera sin teñir y teñida

Las muestras de cebada maltera de riego variedad Esperanza fueron sometidas a irradiación utilizando luz láser de diodo con una potencia de 27.4 mW, una longitud de onda de 655 nm (λ); en condiciones de grano de cebada en forma natural (sin teñir) sin pre-remojo, y a otras muestras se les aplicó un pre-remojo de una hora y una tinción con azul de metileno, previo a la irradiación y posteriormente se probó una intensidad de luz láser y cuatro tiempos de irradiación (Hernández *et al.*, 2011) y por el método de placa agar se determinó la micobiota del grano de cebada para obtener su calidad sanitaria.

3.3.1.4.7 Calidad sanitaria

Para la cuantificación e identificación de los hongos presentes en el grano de cebada a nivel de género se utilizó la técnica de siembra en placa de agar (Mathur y Kongsdal, 2003), empleando el medio de cultivo papa-dextrosa-agar (PDA)

adicionado con tergitol. Se sembraron 25 granos por caja de Petri (15 x 1.5 cm), las cajas fueron incubadas a una temperatura de 25°C en oscuridad por un periodo de 5 a 7 días, después de los cuales se aislarán e identificaron basados en criterios morfológicos a nivel de género y/o especie utilizando claves especializadas.

3.3.1.5 RESULTADOS

3.3.1.5.1 Caracterización física

Los resultados iniciales del contenido de humedad y peso hectolítrico mostraron que la cebada maltera variedad Esperanza empleada en este estudio cumplió con la Norma Oficial Mexicana considerándose grado México (Tabla 3.8).

Tabla 3.8. Determinación de características físicas en cebada variedad Esperanza (Elaboración Propia 2015).

Características	Cebada maltera	Parámetro de Referencia
		NMX-FF-043-SCFI-2003
Contenido humedad (%)	9.06	11.5-13.5
Peso hectolítrico (kg/hL)	70	56

3.3.1.5.2 Medición y caracterización óptica

En la cebada maltera en forma natural y teñida con azul de metileno se observó, que el promedio de los valores de su tamaño fueron: 2.87 ± 0.182 y 2.66 ± 0.282 mm respectivamente para ambas condiciones, encontrando diferencias estadísticamente significativas entre el largo y el ancho, el grosor no mostró diferencias (Tabla 3.9). En esta misma tabla se observa la señal fotoacústica obtenida de las muestras de cebada a 650 nm, que fue la longitud de onda de la luz láser aplicada en el grano de cebada. Asimismo, el grano de cebada en forma natural (CN) fue mayor en tamaño (largo y ancho) con respecto al grano teñido (CT).

Tabla 3.9 Comparación de medias de los parámetros físicos de semilla de cebada en dos condiciones (CN y CT), (Elaboración Propia, 2014).

Variedad	Longitud	Ancho	Grosor (l_s)	Señal FA	$a_s l_s$ $\gg 1$	β_{650} (cm^{-1})	l_β (mm)	l_β (650nm) $< l_s$
	Mm	Mm	Mm	650 nm				
1 (CN)	9.63±0.168a	3.53±0.186a	2.87±0.182 a	0.02b	314	3.21	3.11	Ópticamente transparente
2 (CT)	9.03 ±0.353b	3.21± 0.297b	2.66±0.282a	0.16a	291	29.12	0.34	Ópticamente opaca

FA: Fotoacústica, β : Coeficiente de absorción óptico, l_β longitud de penetración óptica, l_s : Grosor del grano.

Por otro lado se encontró, que la señal de la amplitud fotoacústica en la cebada teñida fue mayor que la amplitud de la señal fotoacústica de la cebada en su condición natural, siendo el coeficiente de absorción óptico calculado directamente proporcional a la señal fotoacústica, obtenida mediante espectroscopía fotoacústica, obteniéndose un valor mayor de β para la semilla teñida en un 88% con respecto al grano en forma natural (sin teñir) (Figura 3.10).

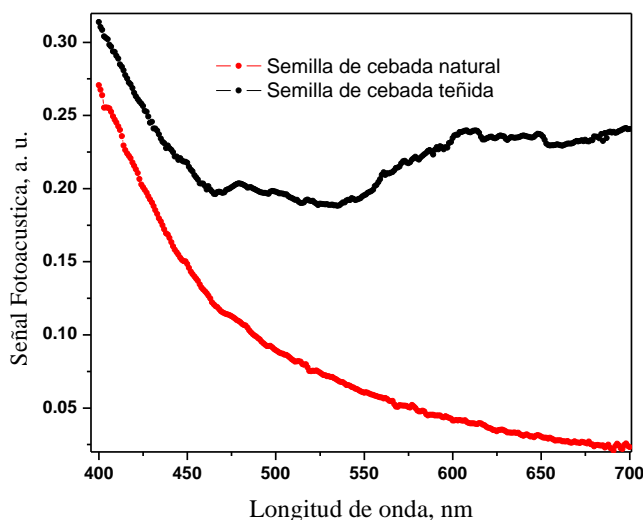


Figura 3.4. Espectro fotoacústico de cebada natural (sin teñir) y teñida con azul metileno (Elaboración Propia 2015).

En la Figura 3.11 se observa el coeficiente de absorción β y la longitud de penetración de longitud óptica, en función de la longitud de onda. El promedio de

grosor de las muestra l_s , para cada condición de semilla también se observa en ésta misma figura, representada por las líneas horizontales. Asimismo, es posible observar que en las semillas teñidas en rangos de 400, 460, y de 560 a 700 nm, las muestras son ópticamente opacas, lo que significa que $l_\beta < l_s$. Para las longitudes de 461 a 559 nm las semillas teñidas son ópticamente transparentes. Para los granos de cebada en forma natural se observó que de 400 a 420 nm fueron ópticamente opacas, lo cual significa que $l_\beta < l_s$. Para la longitud de onda de 421 a 700 nm los granos de cebada en condiciones naturales fueron ópticamente transparentes. Asimismo, la longitud de penetración térmica ($\mu_s = a_s^{-1}$) fue más corta que la longitud de penetración óptica para ambas condiciones (CN CT), i.e.: $\mu_s = (\frac{\alpha}{\pi f})^{1/2} < l_\beta$.

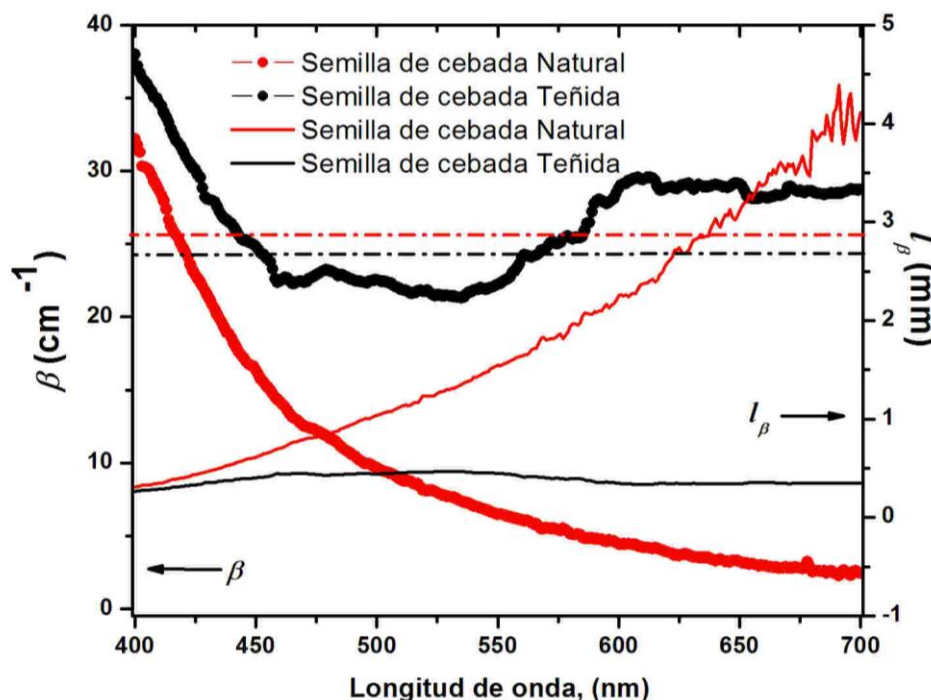


Figura 3.5. Coeficiente de absorción óptico (β) y longitud de penetración óptica (l_β) como función de la longitud de onda de las muestras de: sin teñir y teñida. Las líneas punteadas son las medias del grosor (l_β) (Elaboración Propia 2015).

3.3.1.5.3 Efecto de la luz láser sobre el desarrollo de hongos en cebada maltera sin teñir

El análisis de varianza del efecto de la luz láser sobre la micobiota presente en cebada maltera natural (Tabla 3.3) mostró que los tiempos de exposición probados resultaron estadísticamente significativos reduciendo el desarrollo de hongos de campo y de deterioro avanzado. Para los hongos de almacén no se observaron diferencias entre los tratamientos probados. Sin embargo, para el total de los hongos aislados en este estudio sí se observó un efecto fungistático de los tiempos de exposición láser probados en comparación con el testigo.

En la micobiota presente en el grano de cebada tratado con luz láser sin teñir (Tabla 3.10) se observó que en el género *Alternaria* presentó un efecto fungistático de 59.37 % a partir del tiempo de exposición de 240 s, este mismo efecto se encontró para el total de los aislamientos de hongos de campo observándose una reducción del 56.76 %. Para los hongos de almacén no se encontró ningún efecto sobre su desarrollo. En el caso de los hongos de deterioro avanzado el género *Mucor* fue el que presentó un mayor efecto en la reducción del crecimiento a partir de los 60s de exposición. Para el total de hongos de deterioro avanzado aislados el efecto fungistático se presentó a partir de los 60 s de exposición, siendo el tiempo de exposición de 480 s el que presentó una mayor reducción del 100% en el crecimiento de este hongo. Para el total de los aislamientos de hongos se encontró que a partir de los 60 s de exposición se presentó una tendencia en la reducción fúngica, observándose que el tiempo de exposición de 480 s fue el que mostró un mayor efecto fungistático del 41.67% en el desarrollo de los hongos asociados al grano de cebada maltera sin teñir.

Tabla 3.10. Cuadrados medios y probabilidad del efecto de la luz láser sobre la micobiota en cebada sin teñir.

Dónde: F.V.= fuente de variación; G.L. grados de libertad; CV coeficiente de variación; R² coeficiente de variación; Al *Alternaria*; He *Helminthosporium*; Pe *Penicillium*; Fv *Fusarium verticillioides*; CL *Cladosporium*; HC Hongos de campo; A f *Aspergillus flavus*; Em *Emericella nidulans*; At *Aspergillus terreus*; HA Hongos de almacén; An *Aspergillus niger*; Rh *Rhizopus*; Mu *Mucor*; HD Hongos de Deterioro avanzado; HT Total de Hongos Aislados; * significativo (p≤0.05); ns no significativo

F. V.	Hongos de Campo						Hongos de almacén				Hongos de deterioro					
	G.L.	Al	He	Fv	Cl	HC	A f	Em	At	Pe	HA	An	Rh	Mu	HD	HT
Repeticiones	3	60.8ns	1.06ns	28.8ns	0.8ns	118.13ns	70.40ns	26.66ns	9.60ns	15.73ns	182.13ns	23.20ns	20.0ns	26.40ns	103.20ns	222.66ns
Tratamientos	4	385.20*	3.20ns	10.0ns	0.8ns	414.80*	26.80ns	9.20ns	10.80ns	6.80ns	51.20ns	30.93ns	18.0ns	90.80*	160.00*	728.80*
Error	12	50.8	1.06	6.8	0.8	52.13	49.73	48.66	7.6	8.4	138.13	26.93	12.66	12.4	43.2	230.66
Media general		23.6	0.4	2.0	0.2	26.2	11.2	8.4	1.2	1.8	22.6	8.4	3.0	6.2	17.0	65.8
C V		30.2	258.2	130.4	447.2	27.55	62.96	83.04	229.73	161.01	52.0	61.78	118.63	56.79	38.66	23.08
R²		0.73	0.55	0.6	0.36	0.76	0.34	0.16	0.44	0.42	0.31	0.36	0.46	0.74	0.64	0.56

Tabla 3.11. Comparación de medias del efecto de la luz láser sobre la micobiota de cebada sin teñir.

Tratamiento de Irradiación (s)	<i>Al</i>	<i>He</i>	<i>Fv</i>	<i>Cl</i>	<i>HC</i>	<i>Af</i>	<i>Em</i>	<i>At</i>	<i>Pe</i>	<i>HA</i>	<i>An</i>	<i>Rh</i>	<i>Mu</i>	<i>HD</i>	<i>HT</i>
Testigo	32.0a	0.0a	4.0a	1.0a	37.0a	11.0a	8.0a	0.0a	1.0a	20.0a	10.0a	4.0a	13 ^a	27 ^a	84a
60	32.0a	0.0a	2.0a	0.0a	34.0a	8.0a	10.0a	4.0a	0.0a	22.0a	7.0a	6.0a	5bc	18ab	74ab
120	28.0a	0.0a	1.0a	0.0a	29.0a	10.0a	6.0a	0.0a	3.0a	19.0a	11.0a	1.0a	5bc	14b	62abc
240	13.0b	0.0a	3.0a	0.0a	16.0b	15.0a	9.0a	1.0a	3.0a	28.0a	5.0a	3.0a	8ab	16b	60bc
480	13.0b	2.0a	0.0a	0.0a	15.0b	12.a	9.0a	1.0a	2.0a	24.0a	9.0a	1.0a	0.0c	10b	49c
DMS	10.98	1.6	4	1.4	11.12	10.86	10.74	4.24	4.5	18.1	7.9	5.5	5.4	10.12	23.4

DMS: diferencia mínima significativa ($p \leq 0.05$) medias con la misma letra no presentan diferencias significativas; Em *Emericella nidulans*; At *Aspergillus terreus*; Pe *Penicillium*; HA Hongos de Almacén; An *Aspergillus niger*; Rh *Rhizopus*; Mu *Mucor*; HD Hongos de Deterioro Avanzado; HT Total de Hongos Aislados.

3.3.1.5.4 Efecto de la luz láser sobre el desarrollo de hongos en cebada maltera teñida

En la Tabla 3.5 se muestran los resultados encontrados de la aplicación de luz láser sobre el desarrollo de hongos en cebada maltera teñida con azul de metileno, los cuales mostraron que hubo diferencias significativas entre los tratamientos probados para los hongos de campo y de deterioro avanzado, no observándose diferencias para los hongos de almacén en comparación con el testigo (control-sin tratamiento de luz láser).

Los resultados de la comparación de medias en los hongos de campo encontrados es posible observar en la Tabla 3.6, una disminución importante del género *Alternaria* a partir de los 60 s siendo los mejores tiempos de reducción del desarrollo a los 120 y 240s presentando una inhibición del 90%. En el caso de los hongos de almacén se observó que la especie *Aspergillus flavus* presentó un efecto fungistático a los 480 s de exposición del 40%. La comparación de medias del total de hongos de almacén identificados, presentaron diferencias significativas en comparación con el control, observándose un efecto fungistático para los tiempos de exposición con luz láser de 240 y 480 s siendo este último tiempo el que presento el mayor porcentaje de reducción del 33.34%. Para los hongos de deterioro avanzado se encontró que el género *Mucor* presentó una reducción en su desarrollo en los periodos de exposición de 60, 120 y 480 s encontrándose una reducción del 87.5% y para el total de hongos de deterioro avanzaso los mejores tiempos fueron el de 60 y 120 presentando un porcentaje de reducción de 55.56 y 61.12% respectivamente. Los resultados de los aislamientos de hongos totales mostraron que la mayor reducción de hongos se presentó a los 120 y 240 s de exposición observándose una reducción mayor del 42.6 % para el tiempo de exposición de 120s.

Tabla 3.12. Cuadrados de medios, probabilidad y análisis de varianza del efecto de la luz sobre la micobiota de cebada maltera teñida (Elaboración Propia, 2015).

F.V.	Hongos de campo				Hongos de almacén				Hongos de deterioro					
	G.L.	<i>Al</i>	<i>Fu</i>	HC	<i>Af</i>	<i>Em</i>	<i>At</i>	<i>Pe</i>	HA	<i>An</i>	<i>Rh</i>	<i>Mu</i>	HD	HT
Repeticiones	3	20.00ns	0.80ns	28.8ns	62.80ns	6.40ns	6.0ns	1.06ns	73.33ns	30.93ns	1.06ns	5.06ns	54.40ns	142.93ns
Tratamientos	4	216.80*	1.20ns	195.2*	60.80ns	5.20ns	0.80ns	1.20ns	108.80ns	18.80ns	2.0ns	58.80*	93.20*	494.0*
Error	12	25.33	2.8	26.13	25.46	19.06	2.8	1.73	48.000	23.6	5.73	7.06	27.06	175.6
Media general		7.8	0.6	8.4	10.8	5.6	1	0.4	17.8	6.8	2.0	3.8	12.4	36.00
Cof Var		64.52	278.88	60.85	46.72	77.97	167.33	329.14	38.92	71.44	119.72	69.95	41.95	36.8
R²		0.75	0.17	0.73	0.58	0.14	0.44	0.27	0.53	0.37	0.14	0.74	0.62	0.53

Dónde: F.V.= fuente de variación; G.L. grados de libertad; CV coeficiente de variación; R² coeficiente de variación; *Al Alternaria*; *Fv Fusarium verticillioides*; HC Hongos de Campo; *Af Aspergillus flavus*; *Em Emericella nidulans*; *At Aspergillus terreus*; *Pe Penicillium*; HA Hongos de Almacén; *An Aspergillus niger*; *Rh Rhizopus*; *Mu Mucor*; HD Hongos de Deterioro Avanzado; HT Total de Hongos aislados; * significativo (p≤0.05); ns no significativo.

Tabla 3.13. Comparación de medias del efecto de la luz láser sobre la micobiota de cebada maltera teñida (Elaboración Propia, 2015).

Tratamiento de Irradiación (s)	<i>Al</i>	<i>Fv</i>	HC	<i>Af</i>	<i>Em</i>	<i>At</i>	<i>Pe</i>	HA	<i>An</i>	<i>Rh</i>	<i>Mu</i>	HD	HT
Testigo	20a	0a	20a	10ab	7.0a	0b	1.0a	18ab	9a	2a	8a	18 ^a	54 ^a
60	8b	1a	9.0b	17a	6.0a	3.0a	0.0a	26 ^a	6a	2a	1b	8bc	36ab
120	2b	1a	3.0b	10ab	6.0a	1.0ab	10a	18ab	4a	2a	1b	7c	24b
240	2b	1a	3.0b	11ab	4.0a	0b	0.0a	15b	6a	2a	8a	16ab	31b
480	7b	0a	7.0b	6b	5.0a	1.0ab	0.0a	12b	9a	3a	1b	13abc	35ab
DMS	7.8	0	7.9	7.8	6.7	2.6	2	10.67	7.5	3.7	4.1	8.01	20.41

DMS: diferencia mínima significativa ($p \leq 0.05$) medias con la misma letra no presentan diferencias significativas; *Al Alternaria*; *Fv Fusarium verticillioides*; HC Hongos de Campo; *Af Aspergillus flavus*; *Em Emericella, nidulans*; *Mu Mucor*; *At Aspergillus terreus*; *Pe Penicillium*; HA Hongos de Almacén; *An Aspergillus niger*; *Rh Rhizopus*; HD Hongos de Deterioro Avanzado; HT Total de Hongos Aislados.

3.3.1.5.5 Efecto de la luz láser, sobre la calidad sanitaria de cebada maltera sin teñir y teñida

Los resultados de la micobiota asociada a la semilla de cebada maltera en forma natural y teñida mostraron que para ambas condiciones, al ser irradiadas con luz láser presentaron una reducción. Sin embargo las semillas teñidas presentaron un mayor porcentaje de reducción de la micobiota, que las tratadas con luz láser en forma natural con los diferentes tiempos de exposición (60, 120, 240 y 480 s). La mayor reducción de los hongos en la cebada natural se observó a los 480 s (42%), para la semilla teñida el mayor efecto fungistático se observó a los 120 s (52%) (Figura 3.6).

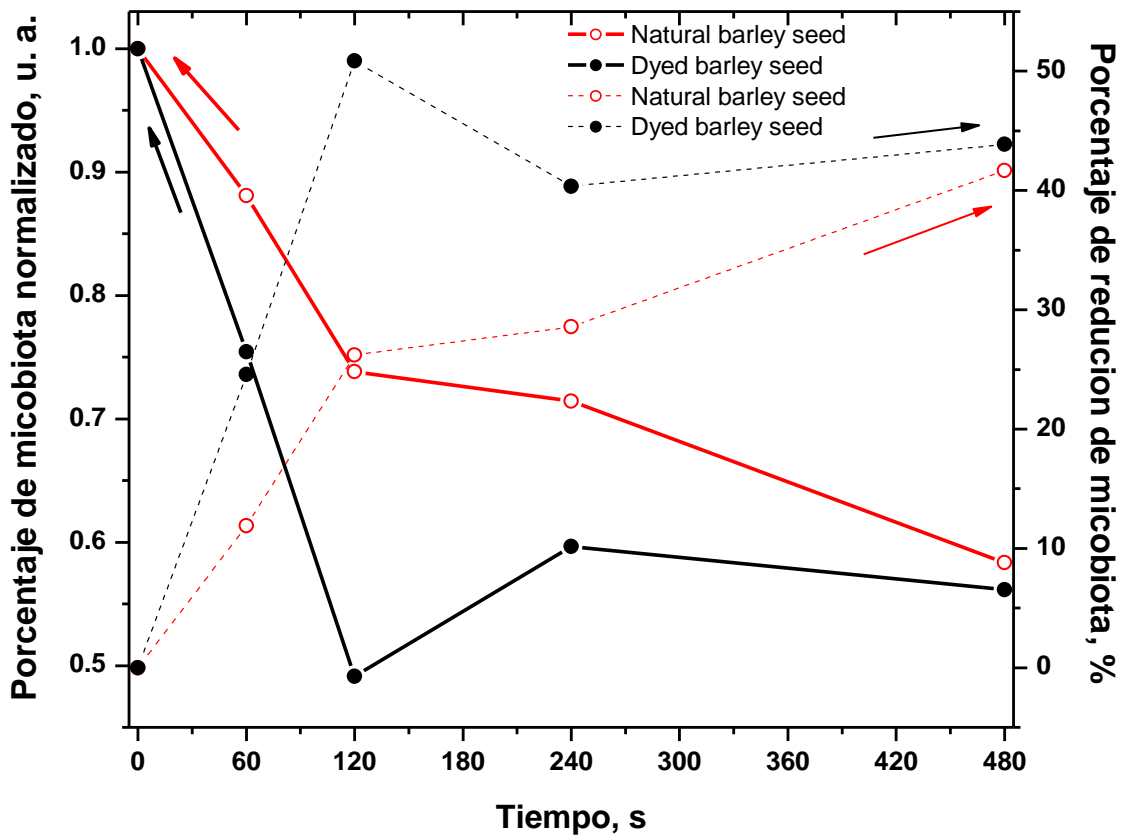


Figura 3.6. Porcentaje de la micobiota presente en el grano de cebada Normalizada, tratada con cuatro tiempos de exposición con luz láser (0 control, 60,120, 240 y 480 s) sin teñir y teñida (Elaboración Propia, 2015).

3.3.2 Actividad Experimental 2. Efecto de estimulación láser sobre la calidad fisiológica de cebada maltera variedad Esperanza

3.3.2.1 Introducción

Diversos métodos físicos han sido empleados en la agricultura para el tratamiento de semillas como: los campos eléctricos, campos electromagnéticos, luz ultravioleta y luz láser de baja intensidad. En el caso del láser la luz es aplicada en la agricultura para procesos de bioestimulación de semillas en etapas presiembra, donde esta bioestimulación puede ser dependiendo de los parámetros de irradiación positiva, negativa o nula en algunas variables evaluadas en diferentes estados fenológicos de las plantas. Las evidencias científicas encontradas por diversos autores mencionan la posibilidad de acelerar la

maduración de las plántulas haciéndolas precoces, aumentar la resistencia a enfermedades, influencia sobre la actividad alfa-amilasa y la concentración de radicales libres en las semillas de muchas plantas, pudiendo inactivar el estado de latencia, aumentando el porcentaje y tasa de germinación, por lo que el nivel de producción, la cantidad y cualidades de los cultivos puede ser mejorada (Hernández-Aguilar *et al.*, 2011).

La luz láser induce cambios en las propiedades electroquímicas, bioquímicas y ópticas de las semillas. De acuerdo con Muszynski y Gladyszewska (2008) el rompimiento de la latencia y la germinación por pre-tratamiento láser ha sido estudiado en granos de cereales y semillas vegetales y las evidencias experimentales sugieren efectos positivos significativos como los encontrados en semilla de mostaza (Anghel *et al.*, 2000) y en maíz (Hernández *et al.*, 2006).

Estudios interdisciplinarios han señalado que el uso de luz láser de baja intensidad sobre diferentes materiales biológicos, presenta efectos de fotobioestimulación al incrementar la germinación, producción de biomasa en campo, así como resistencia a la contaminación y condiciones ambientales desfavorables (Jukubiak y Gdowska 2013).

Muchos trabajos experimentales han demostrado que el uso de métodos físicos usados en óptimas dosis, pueden tener un impacto positivo en la viabilidad de las semillas (Stefa y Pozeliene, 2003).

3.3.2.2 Objetivo

Determinar los efectos de estimulación laser sobre la calidad fisiológica del grano de cebada maltera (*Hordeum vulgare* L.) procedente del Bajío, México.

3.3.2.3 Hipótesis

La estimulación láser modifica la calidad fisiológica de cebada maltera variedad Esperanza.

3.3.2.4 Materiales y Métodos

A las semillas de cebada tratadas con luz láser se les determinó el contenido de humedad y fueron sometidas a las pruebas fría de vigor, en donde se evaluó germinación, longitud de la plúmula, coeficiente de vigor, peso seco para determinar el efecto de los tratamientos

sobre la calidad fisiológica y sanitaria del grano y determinar si se presentaron algunas modificaciones.

3.3.2.5 Prueba de vigor y germinación estándar

La determinación del vigor y germinación se realizó por la prueba en frío (AOSA, 1993) con 25 granos de cebada maltera procediendo de la siguiente manera: Como sustrato para la prueba se utilizó una mezcla no estéril de arena y suelo (dos partes de suelo y una de arena). El suelo utilizado se colectó en el estado de Hidalgo, de un terreno donde se cultivó cebada maltera, con el fin de que lleve micobiota asociada a este cultivo, el cual se homogenizó y se cernió en una criba de $\frac{1}{4}$ de pulgada para eliminar, restos de plantas, piedras, etcétera. Posteriormente se almacenó a temperatura ambiente en el laboratorio hasta su uso posterior para mezclarlo con la arena. Una vez realizada la mezcla de suelo/ arena se calculó el contenido de humedad colocando en una caja de aluminio previamente pesada, el suelo con la arena y se determinó el peso de la lata más el suelo y posteriormente se secó en una estufa a 105°C durante 24 horas, para luego obtener la diferencia de peso y calcular el porcentaje de humedad (AOSA 1993). Para determinar la capacidad de retención del agua del suelo se tomó una muestra de la mezcla suelo arena y se colocó en una lata de lámina con agujeros en los lados y en la base que previamente se pesó, después se llenó con una capa de suelo casi hasta el borde, enseguida se adicionó agua hasta inundar abundantemente la lata y hasta que el agua se drenó por los agujeros laterales y de la base. La lata se cubrió con un papel húmedo para evitar la evaporación de la superficie del suelo y se colocó en una cámara húmeda permitiendo que el agua se percolara durante 16 a 24 horas. Después de este periodo de drenado, la lata se pesó y se secó en una estufa a 105 °C durante 24 horas. Se realizó el cálculo el porcentaje de la capacidad de retención del suelo.

3.3.2.6 Prueba de peso seco

La prueba de peso seco se determinó utilizando las plántulas obtenidas en la prueba fría de vigor, la cual consiste en separar la plúmula de la radícula para posteriormente introducir las en bolsas de papel estraza previamente perforadas para después proceder al secado de

las plántulas en una estufa a una temperatura de 80°C por un periodo de 24 horas, posteriormente se calculó el peso seco de las muestras por diferencia de peso.

3.3.3 Resultados

3.3.3.1 Efecto de estimulación láser sobre la calidad fisiológica de cebada maltera natural

El análisis de varianza para las variables de germinación, longitud de plúmula y peso seco de las semillas irradiadas con luz láser en el espectro de luz roja a una λ 650 nm y 27.4 mW con diferentes tiempos de exposición en semilla de cebada maltera sin teñir (Tabla 3.7), no mostraron diferencias significativas para tratamientos. Sin embargo, en el análisis de comparación de medias, se observó que la semilla irradiada por 480 s presentó una alta germinación de 93% similar al control (95%), mientras que las semillas expuesta a 60 y 120 y 240 s presentaron diferencias con el control a disminuir su germinación 92, 90 y 81 % respectivamente, no obstante, los tiempos de exposición de 60, 120 y 480 s mantuvieron alta la germinación por arriba del límite mínimo permitido de 85% de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-O43-SCFI-2003 para cebada maltera (Tabla 3.8).

Tabla 3.14. Cuadrados medios y probabilidad y análisis de varianza del efecto de la luz láser en cebada maltera natural (Elaboración propia, 2015).

Fuente de variación	Grados de Libertad	Germinación (%)	Long Plúmula (cm)	Peso Seco (g)
Repeticiones	3	122.4ns	1.72ns	0.62 ns
Tratamientos	4	118.8 ns	5.31 ns	2.34 ns
Error	12	51.06	1.99	1.18
Media general		90.2	15.39	11.05
Coef Variación		7.92	9.16	9.86
R²		0.57	0.52	0.44

En la longitud de plúmula se observó que los tratamientos de 120 y 480 s de exposición presentaron 16.05 y 15.90 cm respectivamente, no presentando diferencia significativa con el control (16.54cm). Para la irradiación de 60s la longitud de plúmula fue de 14.80p cm, mientras que las semillas de cebada maltera que presentaron menor porcentaje de germinación y longitud de plúmula fueron la irradiadas por 240 s observando un porcentaje de germinación del 81% inferior al mínimo permitido de 85% y una longitud de plúmula también menor de 13.67 en comparación al control y los otros tratamientos (Tabla 3.8). En el peso seco todos los tratamientos fueron menores al testigo siendo el tratamiento de 240 s el que presentó un menor peso seco (10.11%).

Tabla 3.15. Comparación de medias del efecto de la luz láser sobre la calidad fisiológica en cebada maltera natural

Tratamiento de Irradiación	Germinación (%)	Longitud de Plúmula (cm)	Peso seco (g)
Testigo	95 ^a	16.54 ^a	12.17 ^a
60	92 ^{ab}	14.80 ^{ab}	10.67 ^{ab}
120	90 ^{ab}	16.03 ^a	11.30 ^{ab}
240	81 ^{ab}	13.66 ^b	10.11 ^b
480	93 ^a	15.90 ^a	11.30 ^{ab}
DHS	11.01	2.17	1.68

Letras iguales en la columna no son significativamente diferentes (LSD $\alpha=0.05$)

3.3.3.2 Efecto de estimulación láser sobre la calidad fisiológica de cebada maltera teñida

En el análisis de varianza se encontró que los parámetros evaluados sobre el efecto de la luz láser en el espectro de luz roja a una $\lambda = 650$ nm y potencia de 27.4 mW en diferentes tiempos de exposición en cebada maltera teñida con azul de metileno, el único que presentó diferencias significativas fue la longitud de plúmula (Tabla 3.9).

Tabla 3.16. Cuadrado de medias, probabilidad y análisis de varianza del efecto de luz láser en cebada maltera teñida (Elaboración Propia, 2015).

Fuente de variación	Grados de Libertad	Germinación (%)	Long Plúmula (cm)	Peso Seco (g)
Repeticiones	3	13.60ns	0.32ns	0.91ns
Tratamientos	4	20.80ns	4.96*	0.77ns
Error	12	25.6	0.81	0.51
Media general		93.8	18.47	11.22
Cof. Variación		5.39	4.89	6.4
R ²		0.28	0.67	0.48

Al realizar la comparación de medias se encontró que en la longitud de plúmula y peso seco el tratamiento de 240 s de exposición fue el que presentó la mayor estimulación encontrando un desarrollo de 19.91 cm y un peso seco de 11.69 respectivamente en comparación con el testigo no irradiado. La germinación no presentó diferencias con relación al testigo, sin embargo se observa una tendencia en todos los tiempos de exposición la estimulación de la germinación, siendo los tiempos de exposición de 240 y 480s los que presentaron el mayor porcentaje de 96 con respecto al testigo que fue del 91% (Tabla 3.10).

Tabla 3.17. Comparación de medias del efecto de la luz láser sobre la calidad fisiológica en cebada maltera teñida (Elaboración Propia, 2015).

Tratamiento de Irradiación	Germinación (%)	Longitud de Plúmula (cm)	Peso seco (g)
Testigo	91 ^a	18.06bc	11.16ab
60	94 ^a	18.29bc	11.51ab
120	92 ^a	17.97c	10.54ab
240	96 ^a	19.91 ^a	11.69 ^a
480	96 ^a	19.15ab	11.21ab
DHS	7.79	1.39	1.1

Letras iguales en la columna no son significativamente diferentes LSD $\alpha=0.05$

Las pruebas de la calidad fisiológica de la semilla de cebada maltera en forma natural y teñida, irradiada con luz láser permitió obtener información sobre el comportamiento de estas semillas bajo las diferentes condiciones y tiempos de exposición empleados en este estudio, encontrando que las semillas teñida expuestas a la luz láser presentaron una mejor respuesta a la bioestimulación con luz láser formando plántulas normales y vigorosas ya que a pesar de ser irradiadas y ser sometidas a condiciones desfavorables para su desarrollo conservaron su capacidad de emergencia (Figuras 3.7 y 3.8).

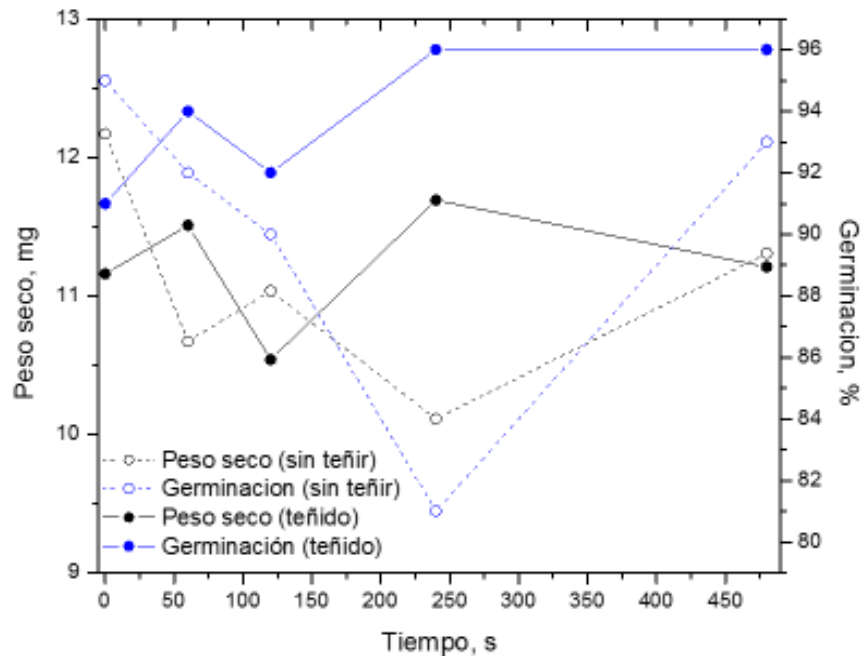


Figura 3.7. Germinación y peso seco de cebada maltera irradiada con luz láser en forma natural y teñida (Elaboración Propia, 2015).

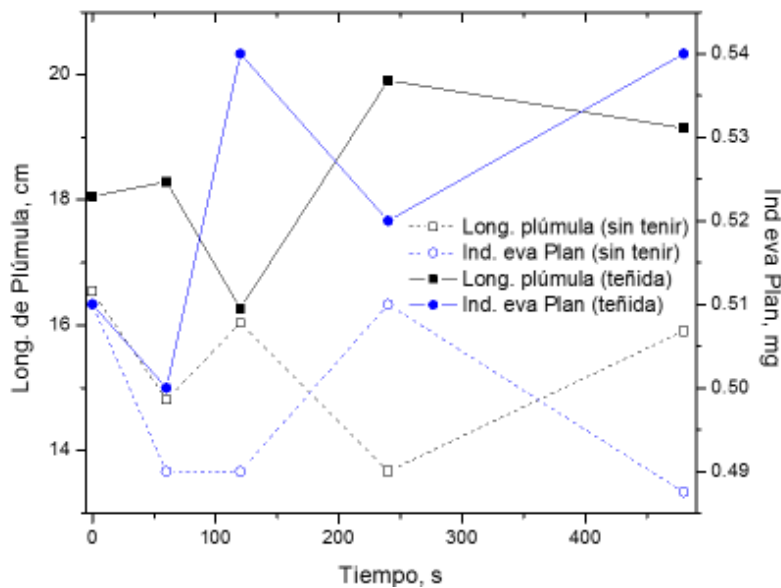


Figura 3.8. Longitud media de plúmula e índice de evaluación de plántula de cebada maltera irradiada con luz láser en forma natural y teñida (Elaboración Propia, 2015).

3.4 FASE 4 Investigación de Impactos

3.4.1 Actividad Experimental 3. Efecto de estimulación láser sobre la calidad microbiológica de harina de cebada

3.4.1.1 Introducción

El grano de cebada ha sido utilizado a nivel mundial como grano entero, grano perlado y harina, para la preparación de diversos alimentos. El grano perlado es empleado como sustituto del arroz para la producción de pasta de soya y salsa de soya el Korea (Bahatty, 1993). Así mismo, la harina de cebada se ha encontrado que se puede incorporar en productos elaborados con harina de trigo como base, para la elaboración de panes, pasteles, galletas, fideos, tortillas y botanas. Encontrando que cuando se realiza esta mezcla (con no más del 30% de harina de cebada) hay un aumento en el contenido de la fibra dietética y particularmente de β -glucanos, además de no observarse efectos negativos en cuanto al volumen del pan y propiedades de textura (Sullivan *et al.*, 2011). El aumento de los niveles de fibra dietética, especialmente la soluble como (1-3,1-4)- β -D-glucanos y la porción total de arabinosilano tiene un efecto positivo en la reducción de colesterol y azúcar en la sangre (Trogh *et al.*, 2004). Así mismo, se ha encontrado que la adición de harina de cebada para la elaboración de pan de trigo, confiere propiedades antioxidantes, aumentando la presencia de compuestos fenólicos, esto dependerá de la variedad de cebada que se utilice (Holtekjølen *et al.*, 2008).

Una de las desventajas que se han reportado con la adición de harina de cebada a las mezclas para preparar alimentos como el pan, es que hay un cambio de decolor del pan, posiblemente a reacciones enzimáticas y no enzimáticas. En las reacciones no enzimáticas la decoloración de pan se debe a la polimerización de compuestos endógenos fenólicos. La decoloración enzimática es el resultado de la reacción de compuestos como los fenoles y aminoácidos, que reaccionan con otros compuestos fenólicos que han sido sometidos a una reacción oxidativa de polifenoles, y son transformados en o -quinonas (Sapers, 1993). Se han propuesto realizar investigaciones para determinar los polifenoles específicos que tienen propiedades antioxidantes y el desarrollo de genotipos que no presenten polifenoles

que causen la decoloración, pero sí presente polifenoles con un efecto antioxidante alto (Quinde-Axtell y Baik, 2006).

En los últimos años también se ha utilizado la harina de cebada perlada combinada con harina de trigo para la elaboración de pastas, que aunque presentan un color más oscuro que la harina de trigo duro, presentan mejores propiedades en cuanto a el contenido de fibra dietética (13.1-16.1% w/w) y β -glucanos (4.3-5.0%), además de presentar mejores cualidades durante su cocimiento, en cuanto a firmeza, elasticidad y volumen (Marconi *et al.*, 2000).

Ames *et al.* (2006), emplearon harina de cebada para la elaboración de tortillas encontrando que el contenido nutrimental y la textura se conservaron durante 29 días almacenadas en refrigeración y el 90 % de los panelistas entrevistados comentaron que la tortilla de cebada presentó una mejor textura y sabor que la tortilla elaborada con harina de trigo.

3.4.1.2 Objetivo

Analizar el efecto de la luz láser sobre la calidad microbiológica de harina de cebada maltera y cebada para alimentación del hombre.

3.4.1.3 Hipótesis

La harina de cebada perlada presentará menor incidencia de microorganismos mesófilos por carecer de cascarilla externa en comparación a la harina de cebada maltera al ser tratada con luz láser.

3.4.1.4 Materiales y métodos

3.4.1.4.1 Tratamiento de harina de cebada var. Esmeralda y Perla con luz láser

Las muestras de harina de cebada maltera variedad Esmeralda y cebada Perla para consumo humano, fueron sometidas a irradiación utilizando luz láser de diodo con una potencia de 27.4 mW, una longitud de onda de 655 nm (λ) y seis tiempos de exposición 0, 120, 240, 480, 960 y 1920 s y por el método de diluciones seriadas se determinó la microbiota de la harina de cebada para obtener su calidad sanitaria.

3.4.1.4.2 Determinación de microbiota en cebada var. Esmeralda y Perla

Para la determinación de la microbiota de harina de cebada se analizó por el método de dilución en serie tomando como referencia la norma oficial mexicana NOM-111-SSA1-1994 con algunas modificaciones.

Las muestras de cebada maltera de la variedad Esperanza y Perla envasada para alimento humano, se molieron en un molino pasando el grano por una malla de 5 μ hasta obtener una harina fina. De cada una de las harinas se pesaron 10g y se colocaron en matraces conteniendo 90 ml de agua peptonada al 2% previamente esterilizada, se dejar reposar por 30 minutos homogenizando las muestras manualmente con frecuencia. y de esta dilución inicial 10^{-1} , se tomó 1 mL y se transfirió a un tubo de ensayo con 9 mL de agua destilada esterilizada para obtener una dilución de 10^{-2} , y así sucesivamente hasta obtener una dilución de 10^{-4} . De cada una de las diluciones se tomó 1 mL y se sembraron en cajas de Petri con Papa Dextrosa Agar (PDA) adicionado con tergitto por tripilacdoado. Las placas sembradas se incubaron por 72 h a 25°C en una incubadora (Precision scientific Inc.). Posteriormente se cuantificaron los microorganismos mesófilos, realizando un conteo del número de unidades formadoras de colonias y se multiplicaron por el factor de dilución (Figura 2.11). La Fase experimental para la determinación de microorganismos mesófilos (microbiota) en ambas harinas de cebada se realizó por duplicado.

3.1.1.5 Resultados

3.1.1.5.1 Experimento 1: Harina de cebada maltera var. Esmeralda tratada con luz láser

Los resultados obtenidos en el primer experimento realizado con harina de cebada maltera de la variedad Esmeralda se encontró que no se presentó ningún efecto inhibitorio con los tratamientos aplicados con luz láser sobre el desarrollo de las bacterias de *Pseudomonas* sp. y *Xanthomonas translucens*. Con respecto a la bacteria identificada como *Pseudomonas atrofaciens* se observó que a partir de los 120 s de irradiación con luz láser, se presentó un menor desarrollo de unidades formadoras de colonias (UFC), siendo los tiempos exposición en donde se observó un efecto bactericida, a los 960 y 1920 s como se muestra en la Tabla 4.1. Así mismo, se encontró que para el total de bacterias aisladas se observaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos probados, siendo también los mejores los tratamientos de 960 y 1920 s con respecto al control.

Tabla 3.18 Experimento 1. Tratamiento de harina de la var. Esmeralda con luz láser (Elaboración Propia, 2016).

	Tiempo de exposición (s)	<i>Pseudomonas sp.</i>	<i>Pseudomonas atrofaciens</i>	<i>Xanthomonas translucens</i>	Bacterias totales
0	0	3200 a	5533.3 a	1633.3 a	103667 a
1	120	3666.7 a	3400 b	1266.7 a	8333.3 ba
2	240	3600 a	2700 cb	1233.3 a	7533.3 bc
3	480	2600 a	2533.3 b	1466.7 a	6 600 bcd
4	960	3100 a	866.7 c	1300 a	5266.7 d
5	1920	3100 a	900 c	1333.3 a	5333.3 cd
	DMS (0.05%)	1414.8	1905	650.14	2223.2
	Media	3211.11	2655	1372.2	7238
	Significancia	0.1955	0.0001	0.336	0.0002
	C.V.	15.52	25.2	16.70	10.82
	R ²	0.54	0.91	0.43	0.90

Medias con la misma letra en una columna son estadísticamente iguales (LSD, $p \leq 0.05$). DMS: Diferencias mínimas significativas T:Tukey; C.V.: Coeficiente de Variación;

3.1.1.5.2 Experimento 2: Harina de cebada maltera var. Esmeralda tratada con luz láser

En el experimento dos de harina de cebada maltera de la variedad Esmeralda se encontró que el mejor tiempo de exposición que presentó efecto bactericida sobre el desarrollo de *Pseudomonas sp.* fue a los 1920 s de exposición, para la especie *Xanthomonas translucens* a los 240 y 1920 s; con respecto a la bacteria *Pseudomonas atrofaciens* el mayor efecto inhibitorio se encontró a los 120 s, siendo los tratamientos con luz láser de

480, 960 y 1920 s los que presentaron la mayor inhibición de UFC. En el número total de bacterias aisladas se puede observar que los tiempos de exposición de 960 y 1960s fueron los que presentaron una reducción mayor en comparación al testigo (Tabla 4.2).

Tabla 3.19. Experimento 2: Harina de cebada maltera var. Esmeralda tratada con luz láser (Elaboración Propia 2016).

	Tiempo de exposición (s)	<i>Pseudomonas sp.</i>	<i>Pseudomonas atrofaciens</i>	<i>Xanthomonas translucens</i>	Bacterias totales
0	0	3800 ba	6133.3 a	2466.7 a	12 400 a
1	120	4433.3 a	4100 b	2000 ba	10533.3 b
2	240	3466.7 ba	3400 b	1433.3 b	8300 c
3	480	4333.3 a	1166.7 c	1666.7 ba	7 166.7dc
4	960	3533.3 ba	1333.3 c	1300 ba	6166.7 d
5	1920	3100 a	1233.3 c	1466.7 b	5566.7 d
	DMS (0.05%)	1078.2.8	756.85	885.78	1605.6
	Media	3738.88	2894.4	1722.2	8355.55
	Significancia	0.004	0.0001	0.336	0.0001
	C.V.	10.16	9.22	18.13	6.77
	R ²	0.84	0.98	0.76	0.97

Medias con la misma letra en una columna son estadísticamente iguales (LSD, $p \leq 0.05$). DMS: Diferencias mínimas significativas T:Tukey; C.V.: Coeficiente de Variación.

3.1.1.5.3 Experimento 1: Harina de cebada var. Perla tratada con luz láser

En el experimento uno de harina de cebada de la variedad Perla destinada para consumo humano no se pudieron cuantificar el número de UFC en el control, sin embargo, se observa en la Tabla 4.3, que el tiempo de exposición de la luz láser de 1920 s fue el que presentó una mayor reducción en el desarrollo de UFC de *Pseudomonas sp.* sin embargo,

para las bacterias *Xanthomonas translucens* se encontró que los tiempos de exposición que presentaron mejor efecto de inhibición sobre su crecimiento fueron 240, 480 y 960 s, con respecto al total de bacterias determinadas no se observaron diferencias entre los tratamiento probados, pero si se observó una tendencia a la reducción de UFC a partir de los 480 s de exposición a la luz láser.

Tabla 20. Experimento 1: Efecto de la luz láser en harina de cebada maltera var. Perla (Elaboración Propia, 2016).

	Tiempo de exposición (s)	<i>Pseudomonas</i> sp.	<i>Xanthomonas translucens</i>	Bacterias totales
1	0	Incontable	Incontable	Incontable
2	120	766.7 ba	233.33 ba	1000 a
3	240	1033.3 a	66.67 b	1100 a
4	480	700 ba	66.67 b	766.7 a
5	960	633.33 ba	133.33 b	766.7 a
6	1920	366.7 b	433.33 ba	766.7 a
	DMS (0.05%)	402.23	218.5	476.2
	Media	700	186.66	880
	Significancia	0.005	0.0019	0.110
	C.V.	20.37	41.49	19.18
	R ²	0.83	0.85	0.676

Medias con la misma letra en una columna son estadísticamente iguales (LSD, $p \leq 0.05$). DMS: Diferencias mínimas significativas T: Tukey; C.V.: Coeficiente de Variación.

3.1.1.5.4 Experimento 2: Harina de cebada maltera var. Perla tratada con luz láser

En el segundo experimento de la cebada var. Perla se encontró que para la bacteria *Pseudomonas* sp. a partir de los 120 s de irradiación láser se observa una reducción en el crecimiento del número

de colonias bacterianas, lo mismo se observa para la especie *Xanthomonas translucens*. Con respecto al total de bacterias también se encontró que a partir de los 120 s también se observa una la reducción de la formación de unidades formadoras de colonias de bacterias (Tabla 4.4).

Tabla 4.21. Experimento 2: Efecto de la luz láser en harina de cebada maltera var. Perla (Elaboración Propia, 2016)

	Tiempo de exposición (s)	<i>Pseudomonas</i> sp.	<i>Xanthomonas translucens</i>	Bacterias totales
1	0	3133.3 a	766.67a	3900a
2	120	733.3 b	233.33 b	966.7 b
3	240	933.3 b	133.33 b	1066.7 b
4	480	900 b	133.33 b	1033.3 b
5	960	733.33 b	100 b	833.33 b
6	1920	566.7 b	233.33 b	800 b
	DMS (0.05%)	1180.7	258.89	1433.3
	Media	1166.7	266.66	880
	Significancia	0.0002	0.0001	0.0001
	C.V.	35.6	34.23	33.72
	R ²	0.89	0.92	0.90

Medias con la misma letra en una columna son estadísticamente iguales (LSD, $p \leq 0.05$). DMS: Diferencias mínimas significativas T Tukey; C.V.: Coeficiente de Variación.

CAPÍTULO 4

DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y PERSPECTIVAS PARA FUTUROS TRABAJOS

CAPÍTULO 4

DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y PERSPECTIVAS PARA FUTUROS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN

En el presente capítulo, se describe y analiza la discusión, conclusiones y perspectivas para trabajos futuros de investigación. La Discusión se centra básicamente en cada una de las actividades experimentales desarrolladas en el Capítulo 3, de acuerdo al proceso de evolución propuesto en la metodología sistémica transdisciplinaria. Las conclusiones se centran en cada uno de los objetivos propuestos para la realización de este trabajo de investigación.

4.1 Discusión

4.1.1 Investigación de campo

Con respecto al análisis de la investigación de campo de las 21 muestras de cebada maltera destinadas para la industria cervecera (artesanal e industrial), alimentación para humanos y animales. Los resultados obtenidos sobre la calidad física mostraron que las muestras de cebada forrajera M1 y M2, así como la cebada maltera M13 no cumplen con los estándares de calidad de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-043-SCFI-2003, presentando un contenido de humedad de por arriba de los límites máximos permitidos de 14.0% y con respecto al peso hectolitrico aproximadamente el 52% tampoco cumple con los estándares establecidos por la norma oficial mexicana mínimo de 56 kg/HL, lo cual indica que no tendrán un buen rendimiento (Zambrano, 2012).

De acuerdo con los resultados de la micobiota endógena y exógena presente en cebada forrajera, maltera y de uso para consumo humano, se presentó en general una mayor incidencia de los géneros *Alternaria*, *Fusarium* y *Helminthosporium*. Se ha encontrado que algunas especies de *Alternaria* y *Fusarium* son patógenas de plantas, mientras que otras pueden sobrevivir como hongos saprófitos sobre las superficies de los granos y cuando se presentan condiciones de humedad alta, las esporas de los hongos en la superficie de los granos pueden germinar e infectar al grano causando diversos daños como el manchado del grano y producir la llamada punta negra. En cultivos de cebada da Danesa se ha reportado *Alternaria infectoria* como la especie dominante (Andersen y Thrane 1996).

La infección de los cultivos agrícolas causadas por hongos en campo además, de reducir la producción y calidad del grano disminuye su valor nutrimental, causa decoloración e incluso cambios en el sabor (Kosiak *et al.*, 204). Las especies de *Fusarium* y *Alternaria* tienen gran importancia porque además de causar daño a la cebada, se ha reportado que son productoras de micotoxinas, siendo detectadas de forma natural en granos contaminados. En el caso del género *Alternaria* se ha asociado a la producción de altenueno, alternarioles y ácido tenuazonico, mientras que *Fusarium* produce tricotecenos, fumonisinas, zeralenona, entre otras (Logrieco *et al.*, 2003).

Las fumonisinas son producidas principalmente por especies de *Fusarium verticillioides* (*Fusarium moniliforme*) y *Fusarium proliferatum* comúnmente en maíz y productos elaborados a base de maíz (IARC, 2015), en sorgo también fueron determinadas por Burdel *et al* (2010), sin embargo, han sido detectadas en niveles bajos en tomates con pudrición de ennegrecida de tallos (Chen, 1992), espárragos y en ajos sintetizadas por especies de *Alternaria* (Seefelder, 2002).

En un estudio realizado en España en 187 granos de cebada desinfectado superficialmente con hipoclorito de sodio al 2% fueron encontrados especies de *Alternaria*, *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium* con un porcentaje de 93, 82.3, 57.8 y 27.8 en las muestras respectivamente (Medina *et al.*, 2005). En este trabajo de investigación además de *Alternaria* y *Fusarium* también se encontraron los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*, sin embargo, fueron más predominantes en la microbiota exógena analizada. Estos mismos autores analizaron las cepas micotoxígenas, encontrando que el 26.7% de los aislamientos principalmente de *Alternaria alternata*, fueron cepas productoras de alternariol y monometil éter de alternariol. El 83% de los aislamientos de *F. verticillioides* produjeron fumonisina B₁ y fumonisina B₂ por un 77.8% de los aislamientos de *F. proliferatum*. Mientras que el 20% de *A. flavus* y *A. parasiticus* fueron capaces de sintetizar aflatoxinas B₁ y B₂ y 30 de los 34 aislamientos de *Fusarium graminearum* produjeron deoxinivalenol y zearalenona, mientras que los otros cuatro nivalenol. Otra micotoxina detectada fue la ocratoxina A, sintetizada por un 75 y 15% de los aislamientos de hongos de la sección *Nigri* y *A. ochraceus* respectivamente.

La determinación de la micobiota presente en las 21 muestras analizadas nos permitió conocer la calidad sanitaria de la cebada, empleada para la industria maltera, cervecera y como alimento para humano y animal. Con los resultados obtenidos podemos concluir que los hongos asociados a la cebada endógenamente corresponden a hongos de campo, presentando una alta incidencia el género *Alternaria*, seguido de *Fusarium*, *Helminthosporium*, entre otros; agentes causales de enfermedades en el cultivo de cebada, reducción de la calidad del grano y y riesgo potencial de la presencia de micotoxinas, pudiendo afectar la salud humana y animal.

En los hongos asociados exógenamente al grano de cebada, se encontró una alta incidencia del género *Alternaria*, *Fusarium* y *Helminthosporium* además, de hongos de almacén principalmente *A. flavus* y *Penicillium* spp. Estos últimos hongos, si el grano no es almacenado en condiciones adecuadas (contenido de humedad y temperatura bajos) pueden desarrollarse y reducir la calidad del grano, además de potencialmente producir micotoxinas. La micobiota asociada a las muestras analizadas de cebada nos permitió conocer los géneros potencialmente micotoxígenos, así como el riesgo de presentar las muestras de cebada maltera el fenómeno de “Gushing” durante la producción de cerveza.

En este trabajo de investigación se determinaron fumonisinas totales en el 100% de las muestras analizadas, cuyos niveles se presentaron entre 0.6 y 6.53 ppm de las cuales 13 (62%), 11 destinadas a la industria maltera y cervecera, 1 muestra a la industria alimentaria, y 1 a la forrajera presentando niveles (2.2 a 6.36 ppm), que sobrepasaron los máximos permitidos de 1 ppm de acuerdo con la Unión Europea y de 5 ppm si es destinado como alimento para caballos según la FDA (USDA, 2006).

Para el caso del Deoxinivalenol solo se determinó en 4 muestras (19.04%). Las cuales correspondieron a la cebada maltera M9 y M15 con niveles de 0.20 y 0.025 ppm respectivamente, por debajo de los límites permitidos para cereales crudos de acuerdo al CODEX Alimentarius. En el caso de cebada forrajera los niveles aceptados por la FDA para animales varían de 20 a 30 ppm para rumiantes, para pollos 10 ppm y en cerdos es de 5

ppm (Voss, *et al.*, 2006), por lo que la muestra forrajera M4 (0.15 ppm) si cumple con los niveles máximos permitidos para consumo animal.

Con respecto a la aflatoxinas totas las muestras (en niveles de 0.66 a 12.66 ppb) se encuentran por debajo de los límites máximos permitidos por la NOM-188-SSAI-2002 para cereales de 20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (ppb). Cuando estos niveles se exceden, el cereal sólo puede ser utilizado para consumo animal, siendo en este caso los límites máximos permitidos de aflatoxinas totales de 100 $\mu\text{g}/\text{kg}$ para aves de corral; de 100 a 200 $\mu\text{g}/\text{kg}$ para cerdos y de 100-300 $\mu\text{g}/\text{kg}$ para ganado (García y Heredia, 2006).

4.1.2 Efecto de la luz láser, sobre la calidad sanitaria de cebada maltera natural y teñida

Los cereales difieren en sus propiedades físicas, estas variaciones hacen que los cereales se seleccionen en base a estas propiedades porque se relacionan con sus diferentes segmentos industriales. Las propiedades físicas de los granos se relacionan con su composición química y las propiedades funcionales. La caracterización de la clase y el grado de calidad de los cereales juega un papel fundamental y crítico en el mercadeo y movimiento de granos en el mundo (Camacho *et al.*, 2001). En la comercialización de granos generalmente se consideran los atributos y pruebas de calidad establecidos en normas en México la comercialización de la cebada para consumo humano está regida por la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-043-SCFI-2003.

La cebada maltera variedad Esperanza cumplió con los estándares de calidad de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-043-SCFI-2003, presentando un contenido de humedad de 9.06 y un peso hectolítrico de 70 por arriba del límite mínimo (56 kg/HL), lo cual indica que tendrá un mayor rendimiento. Estos resultados concuerdan con los encontrados por Zambrano, (2012) en donde la variedad Esperanza mostró la mejor característica física, en comparación con otras variedades como Esmeralda y Armida.

Los resultados encontrados en este trabajo demostraron que la condición de la semilla de cebada maltera teñida con azul de metileno presentaron un mayor coeficiente de absorción, una penetración óptica más corta, y a 650 nm la muestra fue ópticamente más opaca,

presentando un mayor efecto de bioestimulación comparando con la semilla sin teñir. Es evidente que un mayor coeficiente de absorción óptico, presenta un efecto de bioestimulación mayor, disminuyendo el porcentaje de hongos asociados a las semillas en un menor tiempo de exposición a luz láser. Por lo que se considera importante conocer los parámetros óptico de las semillas en los procesos de bioestimulación, cuando es necesarios aplicar tratamientos láser con pre-remojo con actividad fungicida (Pérez-Reyes *et al.*, 2015). El principio de esta respuesta de actividad puede deberse a la presencia de fitocromos, no sólo presentes en las plantas y semillas sino también en microorganismos como virus, bacterias y hongos (Hernández *et al.*, 2011; Levzkaya *et al.*, 2005; Levzkaya *et al.*, 2009). Se ha encontrado que el espectro de absorción de estos fotoreceptores es en la luz roja e infrarojo lejano (Kneissl *et al.*, 2008). De esta manera, los hongos asociados de forma natural a las semillas de cebada pudieron ser afectados por la luz láser roja utilizada en este trabajo. Así mismo, el espectro de absorción de las semillas de cebada se modificó cuando fueron teñidas aumentando la bioestimulación observándose un efecto fungistático. Bel'skii y Mazulenko (1984) encontraron que el tratamiento de semillas de cebada con pre-remojo e irradiadas con luz láser aumenta la resistencia de las plantas a hongos. Ouf y Abdel-Haddy (1999) reportaron en un estudio de semilla de soya una reducción en los hongos asociados después de pre-remojar y radiar la semilla con He-Ne láser. En otro trabajo se encontró que en semillas de soya teñidas con azul de metileno, rojo de metileno y carmín, e irradiadas con luz láser de He-Ne a una longitud de onda de 632.8 nm y 7.3 mW por un minuto aumentó el desarrollo de hongos, sin embargo cuando la semilla de soya fue irradiada por 3 min bajo las mismas condiciones, los hongos asociados a la semillas disminuyeron y a los 10 minutos las especies *Rhizoctonia solani*, *Alternaria tenuissima*, *Cercospora kikuchii* y *Colletotrichum truncatum* fueron completamente eliminados. En este trabajo además, se teñeron las semillas de cebada con azul de metileno y se irradiaron con luz láser de Diodo a 27.4 mW y una longitud de 650 nm. El efecto de luz láser de Diodo (27.4 mW y 650 nm) en semilla de maíz también se ha estudiado, encontrando que a 5 minutos de exposición en dos niveles de intensidad 16.3 y 4.6 mW/cm² se encontró una reducción del 61.11% del género *Fusarium* en comparación con el control (Hernández *et al.*, 2011).

En la cebada maltera tratada con luz láser en este trabajo se observó una reducción del género *Alternaria* para ambas condiciones del grano tratado (sin teñir y teñido), mostrando un mayor efecto fungistático para el grano teñido con azul de metileno a partir de los 60s de exposición. *Alternaria* es un hongo de campo común en la cebada que se presenta debido al exceso de lluvia al final de la maduración del cultivo, provoca decoloración y el desarrollo de la enfermedad conocida como punta negra en la base del grano, pudiendo afectar la germinación y la calidad del proceso de malteado. Una mayor decoloración y alta incidencia de la punta negra puede motivar el rechazo del lote. En Australia en el estado de Queensland un porcentaje del 5% de punta negra es motivo de descalificación aunque en los otros estados aceptan un porcentaje del 12% (Arias 1991). Las especies de *Alternaria* asociadas a los granos de cereales han sido asociadas a la producción de micotoxinas como: altenueno, alternarioles, altertoxinas y ácido tenuazónico (Medina *et al.*, 2006; Lacey y Magan 1991).

Otro hongo en donde se observó una reducción en su desarrollo como efecto del tratamiento con luz láser en la cebada teñida con azul de metileno en el tiempo de exposición a 480s fue la especie de *Aspergillus flavus* el cual es un hongo que se desarrolla generalmente en el almacén, sin embargo, en condiciones de sequía y estrés es capaz de desarrollarse a nivel de campo en algunos cereales (Moreno, 1996). Este hongo es causante de calentamiento durante condiciones de un mal almacenamiento y es productor de aflatoxinas siendo la de mayor importancia la aflatoxina B1 (AFB1), potencialmente relacionada con el desarrollo de carcinoma hepatocelular en poblaciones que consumen alimentos contaminados. El carcinoma hepatocelular es una de las causas de muerte por cáncer en especial en regiones de Asia y África, esta micotoxina tiene efectos mutagénicos, cancerígenos, teratogénicos e inmunodepresivos (Duarte-Vogel y Villamil-Jiménez, 2006). En un estudio en donde probaron la combinación de láseres de Nd-YAG (532 nm) y de diodos (660 nm) con potencias de 100 y 120 mW respectivamente, con el propósito de determinar el efecto fungicida sobre la especie *Aspergillus flavus* inoculada en pistaches en condiciones secas y húmedas, recibiendo una exposición de 0.5 J/cm² durante 7 días; mostraron que la combinación de ambos láseres, eliminaron a esta especie (Saghafi *et al.* 2010).

El género que también presentó una reducción importante en su desarrollo fue *Mucor* en ambas condiciones de grano, el cual es considerado un hongo causante de deterioro avanzado y

generalmente se desarrolla cuando el grano está almacenado en pésimas condiciones de almacenamiento (Moreno, 1996). Por otro lado algunos de los hongos aislados de campo como *Fusarium*, *Alternaria* y *Cladosporium* y de almacén como *Aspergillus*, *Penicillium* y *Rhizopus*, son capaces de inducir el fenómeno de gushing (Munar y Sebree, 1997; Hippeli y Elstner, 2001; Young, 2001; Sarlin *et al.*, 2005a; Sarlin *et al.*, 2005b) por lo que el efecto fugistático mostrado en este trabajo para ambas condiciones de semilla (natural y teñida) podría reducir la presencia de los hongos asociados a la cebada maltera, evitando el riesgo de este fenómeno, además de impedir la presencia de hongos potencialmente productores de micotoxinas.

El desarrollo de nuevos enfoques de irradiación que puedan eliminar hongos dañinos de las semillas, cereales, granos y alimentos en general son de utilidad sobre todo como en el caso del método de irradiación laser, el cual a diferencia de métodos como el empleo de radiación gamma o UV, la luz láser no provoca cambios de textura, contenido nutricional y cambios en la apariencia física. De esta manera, encontrar los parámetros de irradiación laser adecuados para eliminar microorganismos de semillas y alimentos podría beneficiar la salud de la población y la prevención de enfermedades de nuestros tiempos (Hernández *et al.*, 2015).

4.1.3 Efecto de la luz láser, sobre la calidad fisiológica de cebada maltera sin teñir y teñida

Las pruebas de la calidad fisiológica de la semilla de cebada maltera irradiada con luz láser nos permitió obtener información sobre el comportamiento de esta semilla bajo los diferentes tiempos de exposición empleados en este estudio. Encontrando que las semillas en forma natural expuestas a la luz láser durante 480s formaron plántulas normales y vigorosas y conservaron su capacidad de germinación similar al control, observando una respuesta nula a la exposición con luz láser. Con respecto al peso seco todos los tiempos de exposición presentaron diferencias con el testigo, lo cual nos indica que su rendimiento en el campo podría ser menor.

Con respecto a la cebada teñida se observó una tendencia a la estimulación de la longitud de plúmula y peso seco especialmente en el régimen de exposición de 240 s, esto

posiblemente se debió a que la cebada maltera teñida con azul de metileno presentó un coeficiente de absorción óptico más alto, una penetración óptica más corta y la muestra a 650 nm resultó ópticamente más opaca, presentando una bioestimulación mayor en comparación a la muestra de cebada no teñida y por tanto una mayor capacidad de absorber la luz y transformarla, pudiéndola utilizar posteriormente en los procesos fisiológicos para la germinación.

Por otro lado se ha demostrado que la estimulación láser con pre-remojo, puede ser un factor que aumenta las cualidades de las semillas y acelera las fases tempranas de crecimiento de las plántulas. Las semillas y plántulas estimuladas con luz láser de baja intensidad absorben la energía de luz y la convierten en energía química la cual es usada para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Jakubiak y Gdowska, 2013). También se ha reportado que las semillas radiadas con luz láser además de tener la capacidad de absorber la luz y transformarla en energía química, la almacenan y la usan para su posterior crecimiento, pudiéndola posteriormente emplear en los procesos fisiológicos como la germinación (Gladyszewska, 2011; Szyrmer y Klimont, 1999). Como resultados de estos procesos se ha observado que en las células irradiadas hay un aumento en su potencial bioenergético, influyendo en la actividad meristemática debido al aumento del índice de mitosis celular (Kobrzynski y Ronowski 2000), una mejor energía y habilidad de la semilla para germinar, un crecimiento temprano y elongación del coleóptilo, mejoramiento de la tasa de crecimiento de las plántulas y maduración temprana de plantas (Rybinski y Garczynski, 2004).

Así mismo, se ha encontrado que los posibles efectos de absorción de energía por las semillas, además de impactar en una más rápida y mejor germinación, acelera la maduración y hay un aumento en las defensas y resistencia a heladas (Gladyszewska *et al.*, 1998). Estos resultados posiblemente se debieron a que las semillas teñidas con azul de metileno presentaron un mayor coeficiente de absorción óptica y por tanto capacidad de absorber la luz y transformarla, pudiéndola utilizar posteriormente en los procesos fisiológicos para la germinación.

4.1.4 Efecto de la luz laser, sobre la calidad microbiológica de harina de cebada de la var. Esmeralda y var. Perla

Las bacterias aisladas en las harinas de cebada var. Esmeralda y Perla son fitopatógenas en el cultivo de cebada la especie *Xanthomonas translucens*, agente causal de la enfermedad conocida como rayado y pajilla negra en la cebada, distribuida a nivel mundial y además ataca otros cultivos como el trigo, centeno, triticale y muchos pastos. Cuando infecta las hojas y tallos produce la sintomatología característica del rayado y cuando infecta las espigas y sus bases, las enfermedad se conoce como pajilla negra. Bajo condiciones severas los granos pueden mancharse y arrugarse. La especie *Pseudomonas atrofaciens*, además de la cebada se presenta también en trigo, centeno y triticale. Esta ampliamente distribuida pero es de menor importancia económica, la enfermedad que produce afecta las brácteas florales y el grano. Las infecciones tempranas de pudrición basal de la gluma causan el arrugado y decoloración de los granos.

Los resultados obtenidos de la fase experimentales 1 y 2 de harina de cebada maltera Var. Esmeralda tratada con luz láser diodo de baja intensidad con una potencia de 27.4 mW, a una longitud de onda de 655 nm (λ), los tiempos de exposición que mostraron un mayor efecto sobre el total de bacterias aisladas, fueron el de 960 y 1920s, siendo la bacteria del género *Pseudomonas atrofaciens* la que presentó una mayor reducción en la formación de unidades formadoras de colonias (UFC) en la harina de la Var. Esmeralda. La harina de cebada Var. Perla el efecto bactericida de la luz láser se observó a partir de 120s de exposición. Las bacterias mesófilas aisladas son agentes causales de enfermedades en el cultivo de cebada afectando principalmente hojas, tallos y las glumas, reduciendo su producción y valor económico.

4.2 CONCLUSIONES

4.2.1 Investigación de campo y caracterización del problema

- El análisis de campo de las 21 muestras de cebada destinadas a la industria maltera, forrajera y alimnarraria mostraron que el 50% de las muestras analizadas están por debajo del mínimo requerido con respecto al peso hectolítrico (56 kg/hL) y 4 muestras (19%)

sobrepasaron el límite máximo de contenido de humedad de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-043-SCFI-2003.

- Con el análisis de la microbiota endógena en 21 muestras de cebada maltera fue posible determinar una incidencia mayor de hongos de campo principalmente de los géneros *Alternaria*, *Fusarium* y *Helminthosporium*, lo cual implica que puede presentar riesgo de deterioro, cambios organolépticos, el fenómeno de gushing para la industria cervecera y potencialmente la presencia de cepas micotóxicas.
- En los resultados mostrados en la microbiota exógena los hongos predominantes fueron *A. flavus* y *Penicillium* spp., frecuentes en el almacén, pudiendo representar un riesgo de deterioro si no se almacenan las muestras bajo condiciones adecuadas y producir micotoxinas.

4.2.2 Caracterización física y óptica del grano de cebada maltera de la variedad Esperanza.

- Con el uso de la espectroscopía fotoacústica fue posible obtener el coeficiente de absorción óptica de la semilla de cebada bajo diferentes condiciones natural (sin teñir) y teñida con azul de metileno. También fue posible definir el rango óptico donde las muestras fueron ópticamente opacas y transparentes.
- Las semillas de cebada teñida con azul de metileno estudiada fue ópticamente opaca en 650 nm, la longitud de luz empleada en la bioestimulación con pre-remojo. Las semillas sin teñir a 650 nm resultaron ópticamente transparentes.

4.2.3 Efecto de la luz láser sobre la calidad sanitaria de cebada maltera natural y teñida

- Las semillas en forma natural y teñidas presentaron una tendencia en la disminución de la calidad sanitaria, al ser comparadas con el control (sin tratamiento con luz láser).
- La mayor reducción de la microbiota presente en la cebada maltera natural se observó a los 480s.
- La semilla teñida presentó una mayor penetración de longitud óptica, observándose una tendencia positiva en la reducción de la microbiota a los 120 y 240 s.
- Fue posible observar que en todos los tiempos de exposición de la semilla de cebada a la luz láser, la microbiota asociada disminuyó para ambas condiciones.

4.2.4 Efecto de la luz láser, sobre la calidad fisiológica de cebada maltera sin teñir y teñida

- Las muestras de cebada maltera teñidas presentaron una mayor penetración de longitud óptica, observándose una tendencia positiva en la bioestimulación, de la calidad fisiológica.
- Los tratamientos de luz láser roja por 240 y 480 s de exposición fueron los que conservaron mejor la calidad fisiológica de la semilla de cebada teñida.
- En la cebada natural no se observó un efecto positivo en la bioestimulación de la calidad fisiológica, sin embargo conservaron su capacidad germinativa por arriba de los estándares de calidad establecidos por la norma oficial mexicana para cebada maltera de 85%.

4.2.5 Determinación del efecto de la luz láser sobre microbiota en harina de cebada var. Esmeralda y var. Perla

- Las harinas de cebada de las variedades Esmeralda y Perla presentaron una tendencia en la disminución en la formación del número de colonias de bacterias en los diferentes

tiempos de irradiación con luz láser, al ser comparadas con el control (sin tratamiento con luz láser).

- La mayor reducción de la microbiota presente en la cebada maltera se observó a los 480s.
- Fue posible observar que en todos los tiempos de exposición de la semilla de cebada a la luz láser, la micobiota asociada disminuyó considerablemente la formación de UFC para ambas harinas (Esmerarla y Perla). Para la bacteria *Pseudomonas atrofaciens* se observó un mayor efecto bactericida con la luz láser a partir de 160s de irradiación. Siendo, los tiempos de exposición de 960 y 1960 s fueron los que presentaron mejor efecto en la reducción de la microbiota total presente en ambas harinas.

Tabla 4.1. Conclusiones de avances de objetivos

Propuesta de solución a la problemática planteada en esta investigación	
<p>Se planteó como mejorar la calidad sanitaria y fisiológica de cebada destinada a la alimentación humana y animal en México, empleando un método sostenible como la luz láser de acuerdo a la investigación experimental: 0. Análisis de situación actual evaluando la micobiota y presencia de micotoxinas de 21 muestras de cebada. 1. Efecto de la luz láser sobre la calidad sanitaria de cebada maltera natural y teñida. 2. Efecto de la luz láser sobre la calidad fisiológica de cebada maltera natural y teñida. 3. Efecto de la luz láser sobre la calidad microbiológica de harina de cebada var. Esperanza y var. Maltera.</p>	
Objetivo General	
<p>Contribuir al conocimiento de métodos sostenibles como el rayo láser, que nos permita mejorar la calidad fisiológica y sanitaria de cebada, bajo la visión sistémica-transdisciplinaria, siguiendo el proceso de investigación: de campo, documental y experimental. Se obtuvo un análisis de la calidad sanitaria y micotoxinas asociados en forma natural principalmente <i>Alternaria</i> spp. <i>Fusarium</i> spp. <i>Helminthosporium</i> spp. <i>Aspergillus</i> spp. y <i>Penicillium</i> spp. en cebada para alimentación humana y animal, evidenciando que algunas muestras no cumplen con los estándares de calidad y potencialmente representan riesgo por la presencia de una o más micotoxinas. Se demostró un efecto positivo en la bioestimulación de cebada maltera var. Esperanza, sobre su calidad sanitaria disminuyendo el número de hongos totales especialmente en la cebada teñida. Se demostró los efectos positivos sobre la calidad fisiológica en la germinación, vigor y peso seco principalmente en la cebada teñida. La harina tratada con luz láser de la var. Esperanza y Perla también presentaron efectos positivos en la reducción de bacterias totales especialmente en <i>Pseudomonas atrofaciens</i>.</p>	
Objetivo Particular 1	Objetivo Particular 2
<p>Realizar una revisión de literatura científica relacionada al problema y los avances de la aplicación del láser en la agricultura. Se realizó una investigación bibliográfica, documental y evidencia del mundo real de la problemática. Para lograr comprender la situación de la cebada en el mundo real a partir de la unidad del conocimiento y poder aportar soluciones a la problemática planteada en este estudio de investigación con relación a la cebada.</p>	<p>Definir el marco contextual y los fundamentos de la investigación. Se establecieron en el Capítulo 2 bajo una metodología transdisciplinaria, realizando una investigación del sujeto que investiga, con el propósito de elevar conciencia, pensamiento y caminar a una actitud transdisciplinaria que conduzca a la integración de disciplinas.</p>
Objetivo Particular 3	Objetivo Particular 4
<p>Establecer el marco metodológico y teórico de la investigación. Se definió la metodología sistémica que se acopla mejor al desarrollo del presente trabajo de investigación, apoyándose en distintas disciplinas bajo los tres rasgos fundamentales de la actitud transdisciplinaria, rigor, apertura y tolerancia.</p>	<p>Realizar una investigación de campo para evaluar la situación actual de la calidad sanitaria de cebada y presencia de micotoxinas en 21 muestras para consumo humano y animal. Se determinó durante esta fase experimental conocer la situación actual de la cebada con la que se trabajó, realizado un análisis de la situación actual de la cebada en México, destinada a diferentes sectores de la industria maltera y alimentaria humana y animal, en donde se obtuvieron datos importantes sobre la calidad sanitaria y micotoxinas presentes que afectan la calidad de la cebada y pudieran producir efectos adversos durante su industrialización o consumo.</p>
Objetivo Particular 5	Objetivo Particular 6
<p>Caracterizar física y ópticamente la cebada maltera (<i>Hordeum vulgare</i> L.) var. Esperanza procedente del Bajío teñida y sin teñir. Conociendo las características físicas pudimos determinar que la var. Esperanza cumplió con los estándares de calidad requeridos por la industria maltera. La caracterización por espectroscopía fotoacústica de la cebada maltera sin teñir y teñida, nos permitió comprender y sustentar los efectos de bioestimulación y actividad fungicida o fungistática de la aplicación de la luz láser en cebada teñida y sin teñir.</p>	<p>Determinar los efectos de estimulación láser sobre la calidad sanitaria de cebada maltera variedad Esperanza teñida y sin teñir. Se mostró que la luz láser de baja intensidad puede ser un método físico que presenta efectos positivos fungicistáticos sobre la micobiota asociada de forma natural en la cebada, reduciendo la presencia de hongos causantes de deterioro, el fenómeno de gushing y productores de micotoxinas.</p>
Objetivo Particular 7	Objetivo Particular 8
<p>Determinar los efectos de estimulación láser sobre la calidad fisiológica de cebada maltera variedad Esperanza teñida y sin teñir. Durante esta actividad experimental se mostró que la luz láser de baja intensidad puede ser un método físico que presenta efectos positivos de bioestimulación durante el proceso fisiológico la de la germinación de las plántulas de cebada.</p>	<p>Determinar los efectos de estimulación láser sobre la calidad fisiológica de cebada maltera variedad Esperanza teñida y sin teñir. Los efectos mostrados en esta fase experimental conducen a la utilización de la luz láser para mejorar la calidad microbiológica de la harina de cebada empleada en la industria alimentaria como materia prima de diversos alimentos.</p>
Hipótesis	
<p>El tratamiento de cebada con luz láser diodo de baja intensidad mejoró la calidad fisiológica y sanitaria, y aumentó la calidad microbiológica en harina de cebada, con la potencia, intensidad y tiempos de exposición probados en este trabajo de investigación.</p>	
Características de Investigación	
<p>El trabajo de investigación se desarrollará bajo la perspectiva sistémica transdisciplinaria siguiendo tres etapas: investigación de campo, investigación documental e investigación experimental, sin olvidar al sujeto investigador en cada una de las etapas.</p>	

4.3 Perspectivas para futuros trabajos de investigación

Con el propósito de continuar desarrollando trabajos de investigación bajo una perspectiva transdisciplinaria en donde se focalice la problemática con la cual se tienen que enfrentar los agricultores de cebada, la industria maltera y forrajera a continuación se proponen las siguientes perspectivas de investigación para realizar trabajos futuros:

1. Determinar la presencia de micotoxinas producidas por algunas especies del género *Alternaria Aspergillus* y *Penicillium*, no analizadas en este estudio y que han sido reportadas en cebada como el alternariol, monometil-eter de alternariol, ácido tenuazonico, ocratoxinas, entre otras.
2. Seleccionar regímenes de radiación que presenten un mejor efecto fungicida y bioestimulación de las características fisiológicas de la semilla de cebada maltera.
3. Determinar el efecto de la luz láser directamente sobre el desarrollo de los hongos asociados a cebada maltera.
4. Determinar el efecto de la luz láser sobre la síntesis de micotoxinas producidas por algunas especies aisladas de cebada maltera.
5. Probar el efecto de la luz láser en otras variedades de cebada maltera y forrajeras.
6. Diseñar un prototipo que permita la aplicación de la luz láser para el tratamiento de la cebada a nivel de campo y almacenamiento.
7. Diseñar un prototipo para ser utilizado en la industria maltera.
8. Desarrollar un modelo matemático para predecir los tiempos de exposición, intensidad y longitud de onda óptimos para futuros trabajos.
9. Continuar realizando estudio del efecto de la luz láser bajo un enfoque sistémico-transdisciplinario.

4.4 Aportaciones científicas derivadas de la investigación

En la Tabla 2 se presentan las aportaciones derivadas de esta investigación sobre el efecto de un método sostenible como luz láser sobre la calidad sanitaria y fisiológica de semilla de cebada empleada principalmente en la industria maltera, como forraje y en menor proporción como alimento para humano, bajo un enfoque sistémico transdisciplinario, aportando conocimientos para su aplicación en semilla de cebada.

No.	APORTACIÓN CIENTÍFICA	PUBLICACIÓN: CONGRESO O REVISTA	ESTADO DE LA APORTACIÓN
1	The Optical Absorption Coefficient of Barley Seeds Investigated by Photoacoustic Spectroscopy and their Effects of Biostimulation Laser	The 2Th Conference Photoacoustic and photothermal theory and applications	Participación con poster Warsava, Polonia Septiembre 23-26, 2014
2	The Non-Radiative Relaxation Time of Barley Seeds (Hordeum vulgare) Investigated by Photoacoustic Spectroscopy	Nineteenth Symposium on Thermophysical Properties	Participación con poster Boulder Colorado, USA Junio 21-26, 2015
3	Optical Absorption Coefficient of Barley Seeds Investigated by Photoacoustic Spectroscopy and their Effects of Biostimulation Laser	International Journal of Thermophysics	Publicado

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ames N., Rhymer C., Rossnagel B., Therrien M., Ryland D., Dua S. y Ross, K., 2006. Utilization of diverse hulles barley properties to maximize food products quality. *Cereal Foods World*, 51, 23-28.

Andersen D.G. y Thrane, U., 1996. Secondary metabolites produced by *Alternaria infectoria*. *Mycotoxin Res.* 12, pp. 54-60.

Andrio-Enríquez E. y Cortez-Baheza E., 2000. Taller de análisis de semillas. XVIII Congreso Nacional de SOMEFI, Irapuato, Guanajuato.

Anghel S., Stanescu C.S., Giosanu D., Flenacu M., and Iorga-Siman I., 2000. Laser effects on the growth and photosynthesis process in mustard plants (*Sinapsis Alba*). *Proc. 6th Conf. Optics – ROMOPTO, SPIE*, 4430, pp.667-673.

Arendt E. and Zannini E., 2013. *Cereal grains for the food and beverage industries*. Woodhead Publishing Limited. Philadelphia, USA, pp.155-200.

Arias G., 1991. *Calidad industrial de la cebada cervecera*. INIA. Serie Técnica 18. Montevideo Uruguay.

Basarab N., 1993. *Una nueva aproximación científica, cultural y espiritual – la transdisciplinariedad*. Passerelles, (7).

Basarab N., 1998. (Recibido el 12/IX/00) *La Transdisciplinariedad, una Nueva Visión del Mundo*. Manifiesto. Centro Internacional para la Investigación Transdisciplinaria (CIRET). Ediciones Du Rocher. Francia, p.125.

Basarab N., 1996. *La transdisciplinariedad Manifiesto*. Primera edición. Multiversidad Mundo Real Edgar Morin, A.C. Hermosillo Sonora, México, p.102.

Batty R.S., 1993. Nonmalting uses of Barley. In: macgregor A.W. and Bhatti R.S. (eds) *Barley: Chemistry and Technology*. St Paul, MN: AACC International. Inc., 355-417.

Bedos C., Cellier., Calver R., Barriuso E., Gabrielle B., 2002. Mass transfer of pesticides into the atmosphere by volatilization from soils and plants: overview. *Agronomie* 22, 21-33.

Bel'skii AI, Mazulenko NN. 1984. Effects of presowing treatment of barley seeds on the incidence of fungal diseases on the plants. *Mikologiya i Fitopatologiya*, 18: 312-316.

Benavides M.A., Garnica S.J., Michtchenko A., Hernández Aguilar C., Ramírez R.H. Hernández D.J. and Robledo T.V., 2003. Stress response and grow in seedlings developed from seeds irradiated with low intensity laser (in Spanish). *Agrofaz*, 3, 269-272.

Benavides-Mendoza A., Garnica-Serna J., Hernández-Aguilar C., Fuentes-Lara, L.O. y Ramírez H., 2012. Irradiación láser de semillas de trigo para modificar la calidad nutricional. *Tecnología Química*. Edición especial pp:102-104. Disponible en <http://abenmen.com/a/laser.pdf> (Consultado 19-6-2012).

Berger P., Weigel G., Martin, D., Sacks J., Davie G., Weiming Tu., and An-Na'im A.A., 1999. The desecularization of the world. Resurgent religion and world politics. The Ethics and Public Policy Center. Washington, D.C.

Bishaw Z. Niane A A., Gan Y. 2007. Quality seed production in Yadav S S., McNail D L., Stevenson P C. (Eds). *Lentil An Ancient Crop for Modern Times*. Springer. Holanda. Pp349-383.

Blaney B.J. Moore C.J., Tyler A.L., 1987. The mycotoxins 4 deoxinivalenol, zearalenone and aflatoxin in weather damaged wheat harvested 1983-1985 in south eastern Queensland [head scab; *Fusarium graminearum*; survey]. *Australian Journal of Agricultural Research* 38, 993-1000.

Brothwell D.R. and Brothwell P., 1998. *Food in Antiquity: A survey of the diet of early peoples*. Baltimore MD: John Hopkins University Press, pp.164-165.

Buican D., 1995. Historia de la Biología, Madrid, Acento Editorial. Campbell, N 2000. Biology: Concepts and conceptions 3° ed.

CANICERM. Cámara nacional de la industria cervecera y de la malta. Disponible en canicerm.org.mx 2014. (Consultado 14-6-2014).

Carlile J.M., Watkinson C. S. and Graham W. G., 2001. Second edition. Academic Press. San Diego, California USA, p.588p.

Casiraghi M C., Garsetti M., Testolin G. and Brighenti F. 2006. Postprandial responses to cereal products enriched with barley beta-glucan. Journal of the American College of Nutrition, 25, 313-320.

Castañeda-Saucedo M.C, López-Castañeda C., Colinas-deLeón M.T., Molina-Moreno J.C. y Hernández-Livera A., 2009. Rendimiento y calidad de semilla de cebada y trigo en campo e invernadero. Interciencia, (34) 4, 286-292.

Cavallero A., Empilli S. Brighenti F. and Staca A.M., 2002. High (1-> 3,1 -> 4)-beta-glucan barley fractions in bread making and their effects on human glycoemic response. Journal of Cereal Science, 36, 59-66.

CFP/EFSA/FEEDAP. 2009. Review of mycotoxin-detoxifying agents used as feed additives: Mode of action, efficacy and feed/food safety. Disponible en <http://www.efsa.europa.eu/it/supporting/doc/22e.pdf> (Consultado en 19-05-2016)

Claridades Agropecuarias. 2003. Procampo la cebada. Editorial Abriendo Surcos. Disponible en <http://www.infoacerca.gob.mx>. (Consultado en 14-6-2014).

Comisión del Codex Alimentarius, 2012. Anteproyecto de niveles máximos para el deoxinivalenol (DON) en los cereales y productos a base de cereales y planes de muestreo asociados. Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias. Comité del Codex sobre contaminantes de los alimentos. Disponible en www.codexalimentarius.net. Consultado 08-05-2016.

Chakraborty S. and Newton A.C., 2011. Climate change, plant diseases and food security: an overview. Plant Pathology, 60, 2-14.

Chen Y.P., Jia J.f., and Yue M., 2010. Effect of CO2 laser radiation on physiological tolerance of wheat seedlings exposed to chilling stress. Photochem. Protobiol., 86, 600-605.

Chen J. Mirocha C.J., Xie W. Hogge L., Olson D. 1992. Production of the micotoxin fumonisin B1 by *Alternaria alternate* f. sp. *Lycopersici*. Appl Environ Microbiol 58:3928-3.

Chen Y.P., Liu Y.J., Wang X.L., Ren Z.Y., and Yue M., 2005. Effect of microwave and He-Ne laser on enzyme activity and biophoton emission of *Isatis indigotica* Fort. J. Integrat. Plan Biol., 47 (7), 849-855.

Christensen C H y Kaufmann. 1969. Grain Storage. The role of fungi in quality loss. University of Minnesota Press, Minneapolis. 153p.

De Rosnay J., 1996. El hombre simbiótico. Miradas sobre el tercer milenio. Madrid, España.

Dehne H.W., and Oerke E.C., 1998. Impact of diseases and disease control on crop production. Pp:1-21. In Hutson D and Miyamoto J (eds). Fungicidal Activity. Chemical and Biological Approaches to Plant Protection. Wiley and Sons. London, England. 254p.

Demeke T., Clear R.M., 2005. Species specific PCR based assays for the detection of Fusarium species and a comparison with the whole seed agar plate method and trichothecene analysis. International Journal of Food Microbiology, 103: 271-284.

Desjardins A. E., 2006. Fusarium Mycotoxins: Chemistry, Genetics, and Biology. St Paul, M.N. USA: APS Press.

Dinoev S., 2006. Laser-a controlled assistant in agricylure. Problem Eng. Cybernetics Robotics, 56, 86-91.

Dinoev S., Antonov M., and Stoyanov., 2004 Spectral impact of low-power laser radiation on wheat and maize parameters. Problems Eng. Cybernetics Robotics, 54, 74-85.

Dobrowolski J.W., 2001. Perspectives of application of laser botechnology in management of the natural environment. Polish Journal of Environmental Studies, Vol 10 Sup I Hard Olsytyn.

Dobrowolski J.W., Gowin K., Jakubiak M., Mazur R., Sliwka M., Zielinska-Loek, A., 2006. New Perspectives of application of laser biostimulation and sensitive methods of biological monitoring for improvement of environmental condition and biomass production in rural regions, University of Benevento.

Dogliotti S., 2007. Introducción al enfoque de sistemas en agricultura y su aplicación para el desarrollo de sistemas de producción sostenible. Disponible en www.fing.edu.uy. (Consultado en 13-03-2015).

Drozd D., 1994. The effect of laser radiation on spring wheat proprties. Int. Agrophysics, 8, 209-2019.

Drozd D. and Szajsner H., 1999. Influence of pre-sowing laser radiation on spring wheat characters. Int Agrophysics, 13, 79-85.

Drozd D. and Szajsner H., 2007. Effect of application of pre-sowing laser stimulation on bare-grained oat genotypes (in Polish) Acta Agrophysica, 148, 583-589.

Duarte-Vogel S., y Villamil-Jiménez L. C., 2006. Micotoxinas en la Salud Pública. Revista de Salud Pública, pp. 129-135.

Espina Prieto M., 2007. Complejidad, transdisciplina y metodología de la investigación social. Utopía y praxis latinoamericana. 12(38).

Espinosa P. M., Nieto B. A., Cervantes Mac, S. González M. C., 2003. Plan estratégico de investigación y transferencia de tecnología. Cadena Agroalimentaria de Cebada. Fundación Guanajuato Produce, p.163.

FAO. 2008. Climate Change: Implications for food safety. Disponible en www.fao.org. (Consultado 28-05-2016).

FAO. 2015. La agenda de desarrollo Post-2015 y los objetivos de desarrollo del milenio. Cambio Climático. Disponible en www.fao.org. (Consultado 26-06-2015).

FAO. 2011. Semillas en emergencia. Manual Técnico. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal, 2. Roma, p 83.

FAO, FIDA y PMA, 2014. El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2014. Fortalecimiento de un entorno favorable para la seguridad alimentaria y nutrición. Roma, FAO.

FAO. 2001. Manual on the application of the HACCP system in mycotoxin prevention and control. FAO Food and Nutrition Paper 73, Rome: Food and Agriculture Organization/International Atomic energy Agency.

FENALCE, Federación Nacional de Cultivadores de cereales y Leguminosas. 2012. La cebada. Disponible en www.fenalce.org (Consultado 15 junio 2012).

FND. 2014. Panorama de la cebada. Dirección general adjunta de planeación estratégica, análisis sectorial y tecnologías de información. Disponible en www.fnd.gob.mx (Consultado 15 de octubre del 2015).

Ferdosizadeh L., Sadat-Noori S.A. Zare N. and Saghafi S., 2013. Assessment laser pretreatments on germination and yield of wheat *Triticum aestivum* under salinity stress. World Journal of Agricultural Research. 1 (1), 5-9.

Ferrer F. L. 1998. Del paradigma mecanicista de la ciencia al paradigma sistémico. Valencia, Ayuntamiento de Valencia, Universidad de Valencia.

Fucikovskiy L. 2002. Disease of some tropical and subtropical plants caused by bacteria, phytoplasmas and spiroplasmas. Colegio de Postgraduados. Carretera México Texcoco km 36.5. Montecillo Texcoco, Estado de México. 175p.

Feuillet C., Landgridge P. and Waugh R. 2007. Cereal breeding takes a walk on the wild side. *TRENDS in Genetics*, 24 (1), 24-32.

Fonseca F. 2007, Breve Historia de la Cerveza. No 64. [www. Revistavirtual pro.com](http://www.Revistavirtualpro.com). consultado 15 junio 2012.

Fragoso S O. 2009. El giro del diseño: transdisciplina y complejidad. *Revista del Centro de Investigación de la Universidad la Salle*, 8 (31), 97-107.

Galarza-Mercado M., Ulises-Miramontes P., Muñoz-Pérez D., Hernández-Rivera G., Montiel Sánchez Fidel., 2006. La Cebada. Situación actual y perspectivas de producción 1995-2007. SAGARPA, SIAP.

Gallo A., Giuberti G., Frisvad C. J., Bertuzzi y Nielsen F. Kristian. 2015. Review of Micotoxin Issues in Ruminants: Occurrence in forage, effects of micotoxin ingestión on health status and animal performance and practical strategies to counteract their negative effects. *Toxins*, 7, 3057-3111.

García S. y Heredia N., 2006. Mycotoxins in Mexico: Epidemiology, management, and control strategies. *Mycopathologia.*, 162, 255-264.

Garg A., y Singh S. 2016. *Alternaria* species in aerospora of vegetable and fruit market at agra and their mycotoxigenic potential. *Asian Journal of Agriculture & Life Sciences*, 1, 4-7.

González G M., Zamora Díaz M., Solana Hernández S. 2016. Evaluación agronómica y física en líneas avanzadas de cebada maltera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7 (1), 159-171.

González R M., Castellanos G L., Ramos F. M. y Pérez G. G. 2005. Efectividad de *Trichoderma* spp. para el control de hongos patógenos de la semilla y el suelo en cultivo de frijol. *Fitosanidad*, 9 (1), 37-41.

Gladyszewska B. 2011. Estimation of a laser biostimulation dose. *Int. Agrophys.*, 25, 403-405.

Gładyszewska B. and Koper R., 2000. Determination of free radical concentration in tomato seeds biostimulated by laser irradiation (in Polish). *Inżynieria Rolnicza*, 4 (4), 35-42.

Gładyszewska B., Kornas-Czucwar B., Koper R., Lipski S., 1998. Theoretical and practical aspects of pre-sowing laser bio-stimulation of the seeds. *Inżynieria Rolnicza* Nr 2 (3).

González S. 2011. Patología de semillas en trigo y cebada 63-74. In: Pereira S., Díaz de Ackermann M., Germán S., Cabrera K (eds.). *Manejo de enfermedades en trigo y cebada. Serie Técnica 189. Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). Montevideo, Uruguay 200p.*

Gómez-Cruz M. A. y Schwentesius R. R. 2003. "Impacto del TLCAN en el sector agroalimentario: Evaluación a 10 años".

Goswani R.S. y Kistler H.C., 2004. Heading for disaster: *Fusarium graminearum* from cereal crops. *Molecular Plant Pathology*, 5: 515-552.

Haikara A. Mäkinen V. and Hakulinen R. 1997. On the microflora of barley after harvesting, during storage and in malting. *Proc. Eur. Brew. Conv.* 16:35-46.

Hartmann K.M. and Mollwo A., 2000. The action spectrum for maximal photosensitivity of germination. *Naturwissen-schaften*, 87, 398-403.

Han R., Wang, X.L., and Yue, M., 2002. Influence of He-Ne laser irradiation on the excision repair of cyclobutyl pyrimidine dimers in the wheat DNA. *Chin. Sci. Bull.*, 47 (10), 818-821.

Hernández A.C., Carballo C.A., Artola A. and Michtchenko A., 2006. Laser irradiation effects on maize seed field performance. *Seed Sci. Technol.*, 193-197.

Hernández A. C., Domínguez O.A. Cruz Ivanov R., Carballo C.A., and Zepeda B.R. 2010. Laser in Agriculture. *Int Agrophys.*, 24, 407-422.

Hernández-Aguilar C., Domínguez-Pacheco A., Cruz-Orea A. Podleśna A., Ivanov, R. , Pérez-Reyes M.C., Sánchez-Hernández G. Zepeda-Bautista R., López-Bonilla J.L., 2015. Bioefectos láser en semillas y plantas. (Aceptado en revisión).

Hernández A.C., Rodríguez P. C. L., Domínguez P. F.A., Hernández A. A., Cruz O.A. y Carballo C. A., 2011. Laser Light on the Mycoflora Content in Maize Seeds. *African Journal of Biotechnology*. Vol 10 (46), 9280-9288.

Holtekølen A.K. Olsen H.H.R., Faergestad E.M., Uhlen A.K. y Knutsen S.H. 2008. Variation in water absorption capacity and baking performance of barley varieties with different polysaccharide content and composition. *Lwt-Food Science and Technology*, 41, 2085-2091.

IAS. ¿Qué es el pensamiento sistémico?. Disponible en <http://www.iasvirtual.net>. (Consultado 14-03-2015).

ILCE. Historia del láser. Disponible en www.biblioteca.digital.ilce.edu.mx.2012. (Consultado 23-02-2012).

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2005. Cuadernos Estadísticos.

Islas G. J.; Zamora D. M. y Ayala F. S. I., 2008. Costos de producción y rentabilidad de cebada en los Valles Altos de la mesa central. In: Recorrido de campo sobre el cultivo de cebada maltera. SAGARPA-CEVAMEX-INIFAP. Texcoco, Estado de México.

Inyushin W. M., Iljasov G.U. and Fedorova N.N., 1981. Laser light and crop (in Russian. Kainar Publ., Alma-Ata, 1-185.

Ivanova R. 1998. Influence of pre-sowing laser irradiation of seeds of introduced flax varieties of linseed oil on yield quality. *Bulgarian J. Agric. Sci.*, 4, 49-53.

Jantsch E.A. 1972. La interdisciplinariedad y la transdisciplinariedad en la enseñanza y la innovación in Leo Apostel et al., vease Erich Jantsch, a. La interdisciplinariedad y la transdisciplinariedad en la enseñanza y la innovación.

Jukubiak M. y Gdowska K., 2013 Innovative environmental technology applications of laser light stimulation. *Ehepzemuka i aemomamuka*, 3, pp 14-21.

Junlin W.G., Xuchong G., Sheqi Z., 2007. Effect of laser pretreatment on germination and membrane lipid peroxidation of Chinese pine seeds under drought stress. *Front Biol. China* 2, 314-317.

Katanska A., Rybinski W., and Broda Z., 2003. Influence of He-Ne laser on androgenesis in some chosen varieties of winter triticale (in Polish). *Acta Agrophysica*, 97, 559-566.

Keogh G.F., Cooper G.J.S., Mulvey T.B. Mcardle B.H. Coles G.D. Monro J.A. and Poppitt S.D., 2003. Randomized controlled crossover study of the effect of a highly beta-glucan-enriched barley on cardiovascular disease risk factors in mildly hypercholesterolemic men. *American Journal of Clinical Nutrition*, 78, 711-718.

Kneissl J., Shinomura T., Furuya M., Bolle C., 2008. A rice phytochrome A in Arabidopsis : the role of the N-terminus under red and fire red light. *Mol. Plant*, 1, 84-102.

Kobrzynski y Rónowski B. 2000. Influence of heavy metal (cadmium and lead), He-Ne and AR laser light on mitotic activity of merystem cells of rye roots (*Secale cereale* L.) (in Polish). *Proc. 14th Cong. Agrolaser, Lublin*, 26-28 (9), 279-280.

Kosiak B., Torp M., Skjerve E. y Andersen B. 2004. *Alternaria* and *Fusarium* in Norwegian grains of reduced quality-a matched pair sample study. *International Journal of Fod Microbiology*, 93 (1), 51-62.

Kuiper-Goodman T., Scott P.M., Watanabe, H. Risk assessment of the micotoxin zearalenone. *Regul Toxic Farmacol*, 7, 253-306.

Leakey R., Biggs S. y Jiggins J., 2008. Evaluación Internacional de las Ciencias y Tecnologías Agrícolas para el Desarrollo (IAASTD). Green Facts., pp.18-20.

Levskaya, A. A. Chevalier, J. J. Tabor, B. Z. Simpson, L. A. Lavery, M. Levy, E.A. Davidson, A. Scouras, A. D. Ellington, E. M. Marcotte, C. A. Voigt, 2005. Nature, 438, 441.

Levskaya A., Chevalier A.A., Tabor J.J., Simpson Z.B., Lavery L.A., Levy M., Davidson E.A., Scouras A., Ellington, Levskaya A.D., Weiner O.D., Lim W.A., Voigt C.A., 2009. Nature, 461, 997.

Leong S., Petterson O.V. Rice T., Hocking A.D. Schnurer J., 2011. The extreme xerophilic mould *Xeromyces bisporus* growth and competition at various water activities. International Journal of Food Microbiology, 145, pp 57-63.

Liu G.T., Qian Y.Z., Zhang P., Dong W.H. and Guo H.T. 1992. Etiological role of *Alternaria alternate* in human esophageal cancer. China Med. J., 105 (5): 394-400.

Logrieco A., Bottalico A., Mulé G., Moretti A., Perrone G., 2003. Epidemiology of toxigenic fungi and their associated mycotoxins for some Mediterranean crops. European Journal of Plant Pathology, 109, 645-667.

Lynikiene S. and Pozeliene A., 2003. Effect of electrical field done barley seed germination stimulation. Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development. Manuscript FP 03 007.

Mathiassen S. K., Bak T., Christensen S., and Kudsk P., 2006. The effect of laser treatment as a weed control method. Biosys. Eng., 94 (4), 497-505.

Magan N. and Aldred D. 2007. Post-harvest control strategies: Minimizing mycotoxins in the food chain. International Journal of Food Microbiology, 119, 131-139.

Magan N., Medina A., and Aldred, D., 2011. Possible climate-change effects on mycotoxin contamination of food crops pre-and postharvest. *Plant Pathology*, 60, 150-163.

Makarska E., Michalak M., and Wesolowska-Trojanowska M., 2004. Influence of laser irradiation on the seed quality and antioxidant contents on chosen varieties of winter wheat (in Polish). *Acta Agrophysics*, 111, 407-417.

Marconi E., Graziano M., y Cubbada R. 2000. Composition and utilization of barley pearling by-products for making functional pastas rich in dietary fiber and beta-glucans. *Cereal Chemistry*, 77, 133-139.

Martin R.A., Edgington L.V. 1980 Effect of temperature on the efficacy of treadimenol, and fenapanil to control loose smut of barley. *Canadian Journal of Plant Pathology* 2, 201-204.

Mathur S.B. y Kongsdal O. 2003. Common Laboratory seed health testing methods for detecting fungi. First edition. International Seed Testing Association. Copenhagen, Denmark., pp. 425.

Medina A., Valle-Algarra M.F., Mateo R., Gimeno-Adelantado V.J., Mateo F., y Jiménez M., 2005. Survey of the mycobiota of Spanish malting barley and evaluation of the mycotoxin producing potential of species *Alternaria*, *Aspergillus* and *Fusarium*. *International Journal of Food Microbiology*, 108, (2), 196-203.

Miller J.D. 2008. Mycotoxins in small grains and maize: old problems, new challenges. *Food Additives and Contaminants: Part A Chemistry, Analysis Control, Exposure and Risk Assessment* 25, 219-230.

Milus E. A., Kristensen K., Hovmøller M.S. 2009. Evidence for increased aggressiveness in a recent widespread strain of *Puccinia striiformis* F. sp. *Tritici causans* stripe rust of wheat. *Phytopathology*, 99, 89-94.

Mitsou E K., Panopoulou N., Turen K., Spiliotis V. and Kyriacou A. 2010. Prebiotic potential of barley derived β -glucan at low intake levels: A randomized double-blinded, placebo-controlled clinical study. *Food Research International*, 43, 253-273.

Moreno M. E., 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 393 pp.

Moreno M E. 1988. Manual para la identificación de hongos en granos y sus derivados. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D:F:109 pp.

Morin E., 1997. Introducción al pensamiento complejo. Editorial Gedisa: España. ISBN 978-84-7762-765-4. Valladolid.

Morin E., 2001. La mente bien ordenada. Barcelona, Seix Barra II.

Morin E., Reynaga R., Enríquez J. y Delgado C., 1996. Modelo Educativo. Una aproximación axiológica de transdisciplina y pensamiento complejo. Multiversidad Mundo Real "Edgar Morin", Hermosillo, Sonora México.

Munar M.J. and Sebree B., 1997. Gushing A Maltese's View. Journal American Society of Brewing Chemists, Inc. 55(3); 119-122.

Murphy A.P., Hendrich S., Landgren C., and Bryant M.C. 2006. Food Mycotoxins: An Update. Journal of Food Science, 71, (5); 51-65.

Muszynski S. and Gladyszewska., 2008. Representation of He-Ne laser irradiation effect on radish seeds with selected germination indices. Int. Agrophysics, 22, 151-157.

Neergaard P., 1977. Seed pathology. 2 v. London. Macmillam Press., 1187 p.

Nenadic K., Franjo J., Stjepan P., 2008. Automatika 49, 127.

Norma Oficial Mexicana NMX-FF-O43-SCFI-2003, Disponible en [www. sagarpa.gob.mx](http://www.sagarpa.gob.mx) (29 agosto, 2014).

O'Connor J., Mcdermott I., 1998. Introducción al pensamiento sistémico.

Barcelona, URANO.

Oerke E.C. 2006. Centenary review, crop losses to pests. *J. Agric. Sci.*, 144:31-43.

Oerke E.-C. and H. –W. Dehne., 2004. Safeguarding production –losses in mayor crops and the role of crop protection. *Crop Protection* 23, 275-285.

Olchowiak G. and Dziambra, S., 1994. The influence of microwave radiation on the elements of buckwheat yields structure. *ART, Olsztyn-Kortowo*, 283-287.

Ouf S. A. and Abdel-Hady N.F., 1999. Influence of He-Ne Laser Irradiation of Soybean seeds on seed Mycoflora, growth, nodulation, and resistance to *Fusarium solani*. *Folia Microbiol.* 44 (4), 388-396.

Phirke P.S. Kudbe A.B. and Umbarkar S.P., 1996. The influence of magnetic field on plant grow. *Seed Sci. Technol.*, 24, 375-392.

Piaget J., 1975. La epistemología de las relaciones interdisciplinarias. En *Interdisciplinarietà, de Apóstel. L. y otros. Biblioteca de la Educación Superior ANUIES. México.*

Piet ruszewski S., 1993. Effect of magnetic seed treatment on yield of wheat. *Seed Sci. Technol.*, 21, 621-626.

Pitt J.I., 2000. Toxigenic Fungi and Micotoxins. *British Medical Bulletin.*, 56 (1), 184-192.

Pérez-Reyes M.C., Hernández-Aguilar F.A., Domínguez-Pacheco A., Cruz-Orea and Moreno-Martínez, E., 2015. The optical absorption coefficient of barley seeds investigated by photoacoustic spectroscopy and their effects of biostimulation laser. *International Journal Thermophysics*. FALTA

Pereyra S. y Alter N. 2011. Desarrollo de epidemias en cultivos: Análisis de sus componentes para un manejo integrado FALTA pag.----- In: Pereyra S., Díaz de Ackermann M., Germán S., Cabrera K. (eds).

Menejo de enfermedad trigo y cebada. Serie Técnica 189. Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). Montevideo, Uruguay 200p.

Pereyra S. A., y Dill-macky R. 2008. Colonization of the residues of diverse plant species by *Gibberella zeae* and their contribution to *Fusarium* head blight inoculum. *Plant Dis.*, 92:800-807.

Popp J., Hantos K. 2011. The impact of crop protection on agricultural production. *Studies in Agricultural Economics.*, 113, 47-66.

Podleśny J., Misiak L., and Koper R., 2001. Concentration of free radicals in faba bean seeds after the pre-sowing treatment of the seeds with laser light. *Int Agrophysics*, 15, 185-189.

Podleśny J., and Podlesna., 2004. Morphological changes and yield of selected species of leguminous plants under the influence of seed treatment with laser light. *International Agrophysics*, 18, 253-260.

Podlesný J., Sthochmal A. Podlesna and Misiak L.E., 2012. Effect of laser light treatment on some biochemical and physiological processes in seeds and seedlings of white lupine and faba bean. *Plant growth regulation*. 67 (39), 227-233.

Rabie C.J., Lübben G.J., Marais and Jansen van Vuuren. 1997. Enumeration of fungi in barley. *Revista Virtualpro. Procesos Industriales*. 2007. Cerveza. Grupo INGCO. Polifonía Editores. 64. 34.

Riojas Guadiana E., Ramírez-Pérez F. 1975. Cebada Instituto de Investigaciones Agrícolas, SAG. Cerro Prieto y Centinela Nuevas Variedades Mexicanas, Folleto de Divulgación. INIFAP-Fundación Produce, México, D.F.

Rodríguez-Martínez J., 2011. Métodos de Investigación Cualitativa. Silogismo de Investigación. 8 (1), ISSN 1909-955X. Bogotá Colombia.

Rodríguez-Páez C.L., 2012. Método sostenible para mejorar la calidad sanitaria del grano de maíz (*Zea mays* L.) empleado para elaborar tortilla: Perspectiva sistémica transdisciplinaria. Programa de Posgrado en Ingeniería en Sistemas. ESIME, Zacatenco, Instituto Politécnico Nacional. México, D.F.

Romero-Pérez C., 2003. Paradigma de la complejidad, modelos científicos y conocimiento educativo.

Rong H., Xunling W., and Min Y., 2002. Influence of He-Ne laser irradiation on the excision repair of cyclobutyl pyrimidine dimers in the wheat DNA. *Chinese Sci. Bull.*, 47, 818-821.

Rosiles M R., Bautista J., Fuentes V O., Ross F. 1998. An outbreak of equine leukoencephalomalacia al Oaxaca Mexico. Associated with fumonisin B1. *Zentralbl. Veternarmed A*, 45: 299-302.

Rosney J. 1975. *El Macroscopio*. Editorial, A.C. Madrid (Traducción de Saénz-Vaca, F.)

Ruiz-Muñoz David. 2004. Manual de estadística. Editado por Eumed.net. 91p.

Ruvinov A. N., 2003. Physical grounds for biological effect of laser irradiation. *J. Physics*, 36, 2317-2330.

Rybiński W., 2000. Influence of laser beam on the variability of traits in spring barley. *Int. Agrophysics*, 14, 227-232.

Rybiński, W. and Garczyński., 2004. Influence of laser light on leaf area and parameters of photosynthetic activity in DH lines of spring barley (*Hordeum vulgare* L.). *Int. Agrophysics*, 18, 261-267.

Saéz-Vaca F., 2009. Complejidad y tecnologías de la información. Fundetel. Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Telecomunicaciones. Madrid España. 398p.

Scalone E. M., 2012. El enfoque de sistemas. Sistemas de producción agropecuarios. *Sistemas Agrarios Regionales*. Capítulo 4, 35p.

Salgado-Vega y Miranda- González., 2010. Panorama para la Agricultura en México. *Economía Actual*. 3, (2). Disponible en www.uaemex.mx (Consultado 14-6-2012).

Salyaev R.K. Dudareva L.V. Lankevich S.V. Ekimova E. G., and Sumtsova V.M., 2003. Effect of low-intensity laser radiation on the lipid peroxidation in wheat callus culture. *Russian J. Plant Physiol.*, 50 (4), 498-500.

Samuilov F.D. and Garifullina R.L., 2007. Effect of laser irradiation on microviscosity of aqueous medium in imbibing maize seeds as studied with a spin probe method. *Russian J. Plant Physiol.*, 54 (1), 128-131.

Sanchez-Hernandez G., C. Hernandez-Aguilar, Dominguez-Pacheco A. Cruz-Orea, Perez-Reyes M.C.J., and Martinez E.M., 2014. The Optical Absorption Coefficient of Bean Seeds Investigated Using Photoacoustic Spectroscopy. *International Journal of Thermophysics*. 1-9.

Sanchis A.S., Sillue M. y Ramos G., 2004. Micotoxinas y seguridad alimentaria. *Alim. Nutri. Salud.*, 11 (1), 17-23.

Santoyo-Cuevas E., Quiroz-Mercado J. 2004. Guía para el cultivo de cereales en el Estado de México. Fundación Produce-ICAMEX. Estado de México.

Sarlin T., Laitila A., Pekkarinen A. and Haikara A., 2005a. Effects of Three Fusarium Species on the Quality on Barley and Malt. *Journal American Society of Brewing Chemists, Inc.* 63(2); 43-49.

Sarlin Satâlâ, N., Linder M.M., Penttilâ, M., 2005b. Fungal Hydrophobins as Predictors of the Gushing Activity of Malt. *Journal The Institute on Brewing & Distilling.* 111(2); 105-111.

Sarquis J. y Buganza J., 2009. La teoría del conocimiento transdisciplinar a partir del Manifiesto de Basarab Nicolescu. *Fundamentos en Humanidades*, 19, (1), pp.43-55.

Schwartz P.B., 2003. Impact of Fusarium head blight on malting and brewing quality barley. In Leonard, K.J., Bushnell, W.R., eds. *Fusarium head blight of wheat an barley.* ST. Paul, MN, USA: APS Press, 395-419.

Scott P.M. 2001. Analysis of agricultural commodities and foods for Alternaria mycotoxins. *J.A.O.A.C.* 6: 1809-1817.

Scudamore K.A., Guy R. C.E., Kelleher B., Mac Donald S.J., 2008. Fate of the Fusarium mycotoxins, deoxynivalenol, nivalenol and zearalenone, during extrusión of wholemeal wheat grain. *Food Additives & Contaminants: Part A Chemistry, Analysis Control, Exposure & Risk Assessment* 25, 331-7.

Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. 2005. *Coordinación General de Comunicación Social.* México, D.F. 416 (2).

Secretaría de Economía. 2003. Dirección General de Normas. Norma Mexicana: NMX-FF-SCFI-2003. *Productos Alimenticios no Industrializados para Consumo Humano Cereal-Cebada Maltera- (Hordeum vulgare L. y Hordeum distichum L.)- Especificaciones y Métodos de Prueba.*, 27 pp.

Shimizu C., Kihara M., AOE S., Araki S., Ito K., Hayashi K., Watari J., Sakata Y., and Ikegami S. 2008. Effect of high beta-glucan barley on serum colesterol concentrations and visceral fat área in Japanese men -A randomized, doublé-blinded, placebo-controlled trial. *Plant Foods for Human Nutrition*, 63, 21-25.

Shinomura T., Nagatani A., Hanzawa H., Kubota M., Watanabe M., and Furuya M. 1996. Action spectra for phytochrome A- and B- specific photoinduction of seed germination in Arabidopsis thaliana. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 93, 8129-8133.

SIAP. 2012. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en www.siap.gob.mx . (Consultado 15-6-2012).

Smith M.C., Madec S., Coton Emmanuel and Hymery Nolwenn. 2016. Review Natural co-occurrence of mycotoxins in foods and feeds and their in vitro combined toxicological effects. *Toxins* 8 (94), 1-36.

Sliwka M. Jakubiak M., 2007. The influence of laser light on increase of biomass and bioremediation abilities of hydrophytes in wastewater treatment plants. *Ochrona Srodowiska i Zasobow Naturalnych. Instytut Ochrony Srodowiska. Warszawa.*

Solano-Hernández S., Zamora-Díaz M., Gámez-Vázquez F.P., García-Rodríguez J.J., Sánchez de la Cruz R., Ireta-Moreno J., Díaz-Espino F. y Garza-García R. 2009. Alina nueva variedad de cebada maltera para riego en el Bajío. *Agricultura Técnica en México*, 5 (4),

Starzycki M., Rybinski W., Starzycka E. and Pszczola J., 2005. Laser light as a physical factor enhancing rapeseed resistance to blackleg disease. *Acta Agrophysica*, 5 (2), 441-446.

Sttaford B. 2002. "What is cybernetics?", *Kybernetes*, 31 (2), 209-219.

Szajsner H. and Drozd D., 2003. Feasibility of the pre-sowing biostimulation to increase the sowing value of spring barleys cultivars (in Polish). *Acta Agrophysica*, 98, 851-856.

Talancon P.H., 2006. La matriz FODA: una alternativa para realizar diagnósticos y determinar estrategias de intervención en las organizaciones productivas y sociales. *Contribuciones a la Economía*. Disponible en <http://www.eumed.net/ce/>. (consultado 22-01-2015).

Tapia-Naranjo C.A., 2010. Diagnóstico de Fusarium en el cultivo de cebada maltera en el estado de Hidalgo. *INIFAP*, p.9.

Terenti O. 2004. Calidad de semilla, qué implica y cómo evaluarla. E.E.A. INTA San Luis, Informativo Rural 1 (2). Disponible en www.produccion-animal.com.ar. (consultado 03-02-2016).

Toth M., Kerpert I., Kozma L., 1993. Influence of different wavelength laser light on the carbohydrate metabolism in germination maize seed. *Acta Botanica Hungarica*, 38, 421-430.

Trough I., Cortin C.M., Andersson A.A.M., Aman P., Sørensen J.F. and Delcour J.A. 2004. The combined use of hull-less barley flour and xylanase as a strategy for wheat/hull-less barley flour breads with increased arabynolilan and (1-3,1-4)- β -D-glucan levels. *Journal of Cereal Science*, 40, 257-267.

Truchliński J., Koper R., and Starczynowska B., 2002. Influence of pre-sowing red light radiation and nitragine dressing of chickling vetch seeds on the chemical composition of their yield. *Int. Agrophysics*, 16, 147-150.

Uauy C., Brevis J.C., Chen X. et al., 2005. High-temperature adul-plant (HTAP) stripe rust resistance gene Yr 36 from *Triticum turgidum* spp. *dicoccoides* is closely linked to the grain protein content locus Gpc-B1. *Theoretical and Applied Genetics*, 112, 97-105.

Umpiérrez M., Garmendia, G., Pereyra S., Rodríguez A., y Sylvan V., 2011. Las técnicas moleculares en la identificación de los fitopatógenos: Ejemplos en patógenos de trigo 49-56. In: Pereyra S., Díaz de Ackermann M., Germán S., Cabrera K. (eds). *Manejo de enfermedad trigo y cebada. Serie Técnica 189. Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). Montevideo, Uruguay 200p.*

Vaag P., 2005. Storage condition barley grain. A simple and rapid test for gushing tendency in brewing materials. *Proc. Congr. Eur. Brew. Conv.* 24, 155-162.

Vargas I.J. y Montoya A. I., 2010. Metodología del pensamiento sistémico y su uso en el análisis de la viabilidad de organizaciones rurales en Colombia.

Vasilevski G., Bosev D., Bosev Z., and Vasilevsky N., 2001. Biophysical methods as a factor in decreasing of the oil contamination. Int. Workshop Assessment of the Quality of Contaminated Soil and Sites in Central and Eastern European Countries (CEEC) and New Independent States (NIS). Sofia, Bulgaria.

Venegas V.R. y Siau G.G. 2014. Conceptos, principios y fundamentos para el diseño de sistemas sustentables de producción. Centro Latino Americano de Desarrollo Sustentable. 7 Clades.

Voss K.A., Gelineau J.B. y Riley R.T., 2006. Fumonisin: current research trends in developmental toxicology. *Mycotoxin Research*, 22 (1), 61-69.

Ward T.J. Bielawski J.P., Kistler H.C., Sullivan E., O' Donnell K., 2002. Ancestral polymorphism and adaptive in the trichothecene mycotoxin gene cluster of phytopathogenic *Fusarium*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 99, 9278-9283.

Wilczek M., Koper R., Cwintal M., and Kornilowicz-Kowalska T., 2004. Germination capacity and health status of hybrid alfalfa seeds after laser treatment. *Int Agrophysics*, 19, 257-261.

Wild P. C., Miller J.D., Groopman D. J., 2015. Mycotoxin control in low- and middle- income countries. International Agency for Research on Cancer Library Cataloguing in Publication Data, France, 9, p.66.

Whitlow L.W., Hagler W.M. y Díaz D.E., 2010. Feed Quality Micotoxins. *Feedstuffs*. Disponible en 13_mycotoxins%20feedsanimals PDF. (Consultado 08-05-2016).

Wu J., Gao X., and Zhang, 2007. Effect of laser pretreatment on germination and membrane lipid peroxidation of Chinese pine seeds under drought stress. *Frontiers of Biology in China*, 2 (3), 314-317.

Zambrano C.C., 2012. Almacenamiento de semilla de cebada maltera: análisis físico proximal y deterioro fisiológico. Tesis de Maestría. Posgrado de Recursos Genéticos y Productividad. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México. pp108.

Zamora-Díaz M., Márquez-Cedillo., Ramírez-Pérez., Ibañez Carranza. 1997. Esmeralda, variedad de cebada maltera para Valles Altos. Folleto Técnico 5. INIFAP PRODUCE. México, D.F.

“La condición humana debe ser objeto esencial de cualquier educación.”

Edgar Morin

“Recuerda que cuando abandones esta tierra, no podrás llevarte contigo nada de lo que has recibido, sólo lo que has dado.”

Francisco de Asís

Referencias Bibliográficas

A

Acosta Díaz, E., Acosta Gallegos, J. A., Ramírez, A., Domingo, M., y Padilla Ramírez, J. S. 2008. Relación entre índice de área foliar y rendimiento en frijol bajo condiciones de secano. *Agricultura técnica en México*, 34(1): 13-20.

Acosta Gallegos, J. A., Mendoza Hernández, F. M., Aguilar Garzón, B., Esquivel Esquivel, G., Rodríguez Guerra, R. y Guzmán Maldonado, S. H. 2008. Negro Guanajuato, nueva variedad de frijol para el centro de México. *Agricultura técnica en México*, 34(1): 107-111.

Agrios, G. G. 2005. *Plant Pathology*. 5ta. Edición. Academic Press. 952 pp.

Aguirre-Santos, E. A., Rodríguez-Miranda, J., Rosales-Serna, R., Castro-Rosas, J., Ochoa-Martínez, L. A., Valle-Cervantes, S. y Gómez-Aldapa, C. A. 2011. Determinación de tiempos de cocción de frijol común var. Pinto Saltillo utilizando dos métodos. XXXII Encuentro Nacional y I Congreso Internacional de la Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química (AMIDIQ). Riviera Maya, QR. México.

Aladadjijyan, A. 2012. Physical Factors for Plant Growth Stimulation Improve Food Quality. *Food Production-Approaches. Challenges and Tasks*, Publisher InTech:145-168.

Aly, A. A. y El-Beltagi, H. E. 2010. Influence of ionizing irradiation on the antioxidant enzymes of *Vicia faba* L. *Grasas y Aceites*, 61(3): 288-294.

AOSA. 1994. Rules for testing seeds. *Journal of Seed Technology*. Association of Official Seed Analysts. 16(3): 1-60. <http://www.aosaseed.com/>

B

Barnett, H. L. y Hunter, B. B. 1998. *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. 4th. Edition. American Phytopathological Society. Estados Unidos de América. 218 pp.

Basarab, Nicolescu. 1989. *La Transdisciplina. Manifiesto*. Mónaco. Editorial Du Rocher.

Basarab, Nicolescu. 1998. Gödelian Aspects of Nature and Knowledge. *Bulletin Interactif du Centre International de Recherches et Études Transdisciplinaires (CIRET)*, Paris.

Bautista-Sánchez, G.; Pedro-Santo, C. E.; Álvarez-Olguín, G. 2013. Participación y acción comunitaria en el manejo de recursos naturales de uso común en la Mixteca Oaxaqueña. *Ra Ximhai*. Vol. 9 Especial 2: 89-98. <http://www.redalyc.org> consultado 20 de marzo 2015.

Benavides-Mendoza, A., Garnica-Serna, J., Hernández-Aguilar, C. Fuentes-Lara, L.O. y Ramírez, H. 2007. Irradiación láser de semillas de trigo para modificar la calidad nutricional. *Tecnología Química*. Edición especial. Pp. 102-104. <http://abenmen.com/a/laser.pdf> consultado 15 febrero 2015.

Bicanic D., Ivan Vrbic, Jan Cozijnsen, Sonja Lemic, Otto Do' ka. 2006. Sensing the Heat of Tomato Products Red: The New Approach to the Objective Assessment of their Color. *FOBI*, 1: 14–20

Bicanic D., Dimitrovski D., Luterotti S., Marković K., Twisk C., Buijnsters J. Dóka O., 2009. Correlation of trans-Lycopene Measurements by the HPLC Method with the Optothermal and photoacoustic signals and the color readings of fresh tomato homogenates. *Food Biophysics*, 5, 24–33.

Bicanic D., Dimitrovski, D., Luterotti S., Markovic K., Van Twisk C., Buijnsters J., Doka, O., (2010) Correlation of trans-Lycopene Measurements by the HPLC Method with the Optothermal and Photoacoustic Signals and the Color Readings of Fresh Tomato Homogenates. *Food Biophysics*. 5, 24-33.

C

Cafati, C. R. y Saettler, A. W. 1980. Transmission of *Xanthomonas phaseoli* in seed of resistance and susceptible *Phaseolus vulgaris* genotypes. *Phytopathology* 70(7): 632-640

Cãmara, R. S. C.; Urrea, C. A. y Schlegel, V. 2013. Pinto Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as a Functional Food: Implications on Human Health. *Agriculture* 2013, 3, 90-111; DOI:10.3390/agriculture3010090

Campbell, M. K. y Farrell, S. O. 2012. *Biochemistry*. 7ª. Edición. Brooks/Cole Cengage Learning. Canadá.

Campos, A. J. 1987. *Enfermedades del frijol*. Editorial Trillas. México, D. F. 132 p.

- Cano, J. T. y Viana, R. A. 1994. Estudio de factibilidad para la producción de frijol en Tuxtla, Veracruz, México. Documento interno. Programa Regional de Frijol para Centroamérica, México y el Caribe. (PROFRIJOL). Guatemala. 11pp.
- Castellanos, J., Guzmán Maldonado, H., González de Mejía, E., y Acosta Gallegos, J. 1995. Efecto de la localidad de siembra sobre la aceptación sensorial y otras características nutricionales y de calidad del grano en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L). Arch. latinoam. nutr, 45(1): 50-5.
- Carrizo, L. E., Prieto, M., Klein, J. T. 2004. Gestión de las transformaciones sociales MOST. Documento de Debate No. 70. Transdisciplinariedad y Complejidad en el Análisis Social UNESCO.
- Cepero, L.; Martín, G.; Mesa, A.R. y Castro, P. 1997. Efecto de la radiación láser He-Ne sobre semillas de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham. Pastos y Forrajes. 20:125
- Chapa Carreón, Jorge. 2004. Manual de Instalaciones de alumbrado y fotometría. Editorial Limusa. México, D. F.
- Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria (COVECA). 2011. Gobierno del Estado de Veracruz. portal.veracruz.gob.mx/.../23434C8BCF115935E040A8C0320066A consultado 21 junio 2014.
- Copeland, L. O. y McDonald, M. B. 20014. Seed Science and Technology. 4th. Edition. Kluwer Academic Publishers. Estados Unidos de América. 467pp.
- Cornelissen, B.J.C. y Melchers, L.S. 1993. Strategies for control of fungal diseases with transgenic plants. Plant Physiol. 101: 709–712.
- Ćwintal, M., y Olszewski, J. 2007. Influence of pre-sowing laser stimulations of seeds on photosynthesis and transpiration intensity and on yielding of aflatoxin. Acta Agrophysica. 147:345-352.
- Ćwintal, M., A. Dziwulska-Hunek y M. Wilczek. 2010. Laser stimulation effect of seeds on quality of alfalfa. Int. Agrophysics. 24: 15-19.
- D
- Delgado, A. y Gama L. S. 2015. Diversidad y distribución de los frijoles silvestres en México. Revista Digital Universitaria. [Revista.unam.mx 16\(2\): 1-11. http://www.revista.unam.mx/vol.16/num2/art10/art10.pdf](http://www.revista.unam.mx/vol.16/num2/art10/art10.pdf)
- Diccionario de la Real Academia Española. 2015. <http://dle.rae.es/?w=diccionario>
- Dincă Irina. 2014. Stages in the Configuration of the Transdisciplinary Project of Basarab Nicolescu. In "Transdisciplinary Studies-Science, Spirituality, Society", Curtea Veche Publishing, Bucharest, Romania.
- Doka O., Bicanic D., Buijnsters J., Spruijt R., Luterotti S., Vegvari G. 2010. Exploiting direct and indirect methods for the estimation of the total carotenoid concentration in dried pastas. European Food Research and Technology, 230: 813- 819.

Domínguez Pacheco, F. A. 2010. Sistema fototérmico para la caracterización de semillas y granos de maíz (Doctoral dissertation). Programa de Doctorado en Ingeniería de Sistemas. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Instituto Politécnico Nacional. México.

Domínguez-Pacheco A., Hernández-Aguilar C., Zepeda-Bautista R., Martínez-Ortíz E. y Cruz-Orea A. 2012. Análisis térmico de semilla de maíz con plaga por microscopía fotopiroeléctrica. *Superficies y Vacío* 25(2): 92-96.

Dos Santos, S. B.; Pereira, V. R. y Fernandes, K. F. 2013. Hardness of carioca beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by cooking methods. *LWT-Food Science and Technology*. 54: 13-17.

F

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2011. <http://www.fao.org/docrep/013/i2050s/i2050s00.htm>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2014 <http://www.faostat.org/es/> consultado 30 enero 2015.

Ferdosizadeh, S. A. Sadat-Noori, N. Zare y S. Saghafi. 2013. Assessment Laser Pretreatment Germination and Yield of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Under Salinity Stress. *World Agricultural Research*. 1(1): 5-9.

Ferro, E. M.; Chirino, E.; Márquez, M.; Ríos, H.; Rodríguez, O.; Valdés, R. J. Y Sarmiento, A. 2009. Aporte del sistema formal en semillas mejoradas de granos básicos y cereales a la seguridad alimentaria de la Palma, Pinar del Río. *Cultivos Tropicales*. Cuba, 30(2): 59-65.

Financiera Rural. 2011. Estado Mexicano. <http://www.financiararural.gob.mx/fr/> consultado 21 febrero 2015.

Financiera Rural. 2014. Estado Mexicano. <http://www.financiararural.gob.mx/fr/> consultado 2 febrero 2015.

FIRA. Fideicomisos Instituidos en Relación a la Agricultura. <https://www.fira.gob.mx/> consultado 20 de enero de 2014.

-

Foley, J.A. 2011. Can we feed the world & sustain the planet? *Scientific American*. 305(5): 60-65.

Frank, H. 2008. *Elektromagnetisches Spektrum*. Jailbird and Phrood.

G

Gómez Espinoza, J. A. y Victorino Ramírez, L. 2008. Saberes agrícolas tradicionales como programa académico. *Convergencia (Revista de Ciencias Sociales)*: 47:263-284.

- González, P., Pérez, G., Medina, N., Crespo, G., Ramírez, J. F., y Arzola, J. 2012. Coinoculación de cepas de rizobios y una cepa de hongo micorrízico arbuscular (*Glomus cubense*) y su efecto en kudzú (*Pueraria phaseoloides*). Nota técnica. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 46(3): 331-334.
- Govil, J. N., y Murty, B. R. 1979. A comparative study on diallel and partial diallel analyses. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding (The)*, 39(2), 298-304.
- Govil, S.R., D.C. Agrawal, K.P. Rai y S.N. Thakur. 1983. Argon+ Laser Seed Treatment of *Vigna radiata* L. Seedlings. *Proc. Indian natn. Sci. Acad.* 49: 719-721.
- Groenewold, L. B.; Mayec, P. N. y Padilla, J. S. 2003. Hongos asociados a la semilla de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en Aguascalientes, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, año/vol. 21, número 003. Sociedad Mexicana de Fitopatología, A.C. Ciudad de Obregón, México. Pp. 375-378.
- Grün, Anselm. 2011. *Las Bienaventuranzas: un camino de plenitud*. Editorial SalTerrae. 150 pp.
- H
- Hecht, Jeff. 2010. Short History of Laser Development. *Optical Engineering*. 49(9): 091002. <http://opticalengineering.spiedigitallibrary.org/> consultado marzo 10, 2014
- Hernández C., Carballo A., Cruz A., Ivanov R., San Martín E., Michtchenko A. 2005. Photoacoustic spectroscopy applied to the study of the influence of laser irradiation on corn seeds *J. Phys.*, 125: 853-855.
- Hernández C., Carballo C., Cruz A., Ivanov R., Domínguez A. 2008a. The carotenoid content in seedlings of maize seeds irradiated by a 650 nm diode laser: Qualitative photoacoustic. *Study Eur. Phys. J. Special Topics*. 153: 515–518.
- Hernández C., Mezzalama M., Lozano N., Cruz O., Martínez E., Ivanov R., Domínguez A. 2008b. Optical absorption coefficient of laser irradiated wheat seeds determined by photoacoustic spectroscopy. *Eur. Phys. J. Special Topics*. 153: 519–522.
- Hernández C., Dominguez A., Cruz A., Ivanov R., Carballo A., R. Zepeda R., and Galindo L. 2009. Laser irradiation effects on field performance of maize seed genotypes. *Int. Agrophysics*, 23: 327-332.
- Hernández, A. C.; Domínguez, P. A.; Cruz, O. A.; Ivanov, R.; Carballo, C. A., y Zepeda, B. R. 2010. Laser in agriculture. *International Agrophysics*. 24: 407-422.
- Hernández Aguilar, Claudia; Domínguez Pacheco, Arturo; López Bonilla, José Luis; Martínez Ortiz, Efraín y Cruz Orea, Alfredo. 2013. Métodos biofísicos y la ingeniería: perspectiva sistémica-transdisciplinaria. *Ingeniare-Revista chilena de Ingeniería*: 21(3): 308-310.
- Hernández-Aguilar, C., Cruz-Orea, A., Ivanov, R., Dominguez, A., Carballo, A., Moreno, I., y Rico, R. 2011a. The optical absorption coefficient of maize seeds investigated by photoacoustic spectroscopy. *Food Biophysics*, 6(4): 481-486.

Hernández Aguilar C., C.L Rodríguez Páez, Arturo Domínguez Paheco., María, H. A. A., Alfredo, Cruz Orea., y Aquiles Carballo Carballo . 2011b. Laser light on the mycoflora content in maize seeds. African Journal of Biotechnology, 10(46): 9280-9288.

Hernández-Aguilar. C.; Domínguez-Pacheco, A.; Cruz-Orea, A.; Podleśna, A.; Ivanov, R.; Pérez-Reyes, M. C. J.; Sánchez-Hernández, G.; Zepeda-Bautista, R. y López-Bonilla, J. L. 2015. Bioefectos láser en semillas y Plantas. Aceptada para publicarse. Gayana Botánica.

Herrera-Flores., T. S.; Cárdenas-Soriano, E.; Ortíz-Cereceres, J.; Acosta-Gallegos, J. A. y Mendoza-Castillo, M. C. 2005. Anatomía de la vaina de tres especies del género Phaseolus. Agrociencia. 39: 595-602.

I

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2015. <http://www.inegi.org.mx/> consultado junio 16 de 2015.

Iniestra González, José J.; Ibarra Pérez, Francisco J.; Gallegos Infante, José A.; Rocha Guzmán, Nuria E.; González Laredo, Rubén F. 2005. Factores Antinutricios y Actividad Antioxidante en Variedades Mejoradas de Frijol Común (*Phaseolus vulgaris* L.). Agrociencia: 39(006): 603-610.

.ISTA. 2010. International Rules for Seed Testing. International Seed Testing Association. Suiza.

J

Jaffé, W. y Brücher, O. 1968. La presencia de fitohemaglutinina en *P. aborigineus* y su identidad con la de *P. vulgaris* como argumento quimotaxonómico de la íntima relación entre estas dos especies. Res. Acta Cient. Venez.19: 20.

Jakubiak, M. y Gdowska, K. 2013. Innovative Environmental Technology Applications of Laser Light Stimulation. Academia.edu <http://www.academia.edu/11832925/> consultado 4 de junio 2015.

Jia, Z. y J. Duan. 2013. Protecting effect of He-Ne laser on winter wheat from UV-B radiation damage by analyzing proteomic changes in leaves. Advances in Bioscience and Biotechnology. 4, 823-829

Jian-jun, C.H.E.N., D.I.N.G. Ru-niu, T.A.N. Zuo-jun, L.U. Jun, y Y.I. Wei-song. 2011. Effects of He-Ne Laser Irradiation on Cabbage Seed [J].Hubei Agricultural Sciences (Chinese Version). 7: 031.

Jianjun, C., W. Xianfeng, W. Gang, & D. Runiu. 2011a. Effects of He-Ne Laser Irradiation on Brassica napus Seed. Farm Products Processing (Chinese Version). 6, 035.

Jones, A. L. 1999. Phaseolus bean: Post-harvest Operations. FAO. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Costa Rica. www.cgiar.org/ciat consultado 10 diciembre 2014.

K

Kara, Y. 2013. Morphological and physiological effects of UV-C radiation on bean plant (*Phaseolus vulgaris*). Short communication. *Bioscience Research*, 10(1): 29-32. Available online at www.isisn.org. ISISnet Publishers Print ISSN: 1811-9506. Online ISSN: 2218-3973

King, E. O., Ward, M. K., and Raney, D. E. 1954. Two simple media for the demonstration of pyocyanin and fluorescin. *J. Lab. Clin. Med.* 44:301-307

Kigel, J. 1999. Culinary and nutritional quality of *Phaseolus vulgaris* seeds as affected by environmental factors. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 3(4);, 205-209.

Klich, M. A. 2002. Identification of common *Aspergillus* species. Centraalbureau Voor Schimmelcultures; Spi edition. The Netherlands. 116 pp.

L

Lara Rosano, Felipe. 2006. El Enfoque Sistémico Como Enfoque Transdisciplinario. I Congreso de la Asociación Mexicana de Ciencias, Artes, Tecnología y Humanidades, A. C. Guanajuato, 22-25.

Luterotti, S., Bicanic, D., & Jandragić, K. 2008. Photoacoustic spectroscopy and optothermal window as analytical tools to quantitate carotenes in margarines. *Food chemistry*, 108(1): 316-321.

M

Maguire, C. J. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergences and vigor. *Crop Science* 2:176-177.

Martínez Solís, J.; Virgen Vargas, J.; Peña Ortega, M. G.; Santiago Romero, A. 2010. Índice de velocidad de emergencia en líneas de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Vol. 1 Número 3: 289-304.

Max-Neef, Manfred A. 2004. Fundamentos de la Transdisciplinariedad. Chile. Consultado el 20 de febrero de 2015 en: www.max-neef.cl/.../Max_Neef_Fundamentos_transdisciplinaridad.p

Mcdermott, I. y O'Connor, J. 1998. Introducción al pensamiento sistémico. Ediciones Urano.

Membreño, J. B; Zapata, M.; Beaver, J. y Smith, R. 2001. Microflora en semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agronomía Mesoamericana*. 12(2): 135-139.

Mendenhall, William y Sincich, Terry. 1997. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. 4ª. Edición. Prentice Hall. 1182 pp.

Moreno, M. E. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 393 pp.

Morin, Edgar. 2004. El conocimiento tiene en sí mismo el riesgo de la ilusión y el error. Citado en: Gómez Espinoza, J. A. y Victorino Ramírez, L. 2008. Saberes agrícolas tradicionales como programa académico. *Convergencia (Revista de Ciencias Sociales)*: 47:263-284.

Moss, B. 2008. Water pollution by agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 363(1491): 659-666.

Muthusamy, Annamalai, Prathibha P. Kudwa, Vijendra Prabhu, Krishna K. Mahato, Vidhu Sankar Babu, Mattu Radhakrishna Rao, Puthiya Mandyat Gopinath, and Kapaettu Satyamoorthy. 2012. *Photochemistry and Photobiology* 88, 5, 1227

N

Navarrete Maya, Rosa y Acosta Gallegos, Jorge A. 2000. Genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) resistentes a *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* de México. *Agronomía Mesoamericana*. 11(1): 17-23.

Nasim, H. y Jamil, Y. 2014. Diode lasers: From laboratory to industry. *Topical Review. Optics & Laser Technology*. 56: 211-222.

Newton, A. C., Johnson, S. N., & Gregory, P. J. (2011). Implications of climate change for diseases, crop yields and food security. *Euphytica*, 179(1): 3-18.

O

Ouf, S.A., y N.F. Abdel-Hady. 1999. Influence of He-Ne Laser Irradiation of Soybean seeds on seed mycoflora, growth, nodulation, and resistance to *Fusarium solani*. *Folia Microbiologica*. 44: 388-396.

P

Padrón Corral, E. 1996. Diseños experimentales con aplicación a la agricultura y la ganadería.

Paleg, L.G. y D.D. Aspinall. 1970. Field control of plant growth and development through the laser activation of phytochrome. *Nature*, 5275: 970-973.

Paleg, L.G. y D. Aspinall. 1977. Control of flowering in chrysanthemum with a helium-neon laser. *Acta Horticulturae (ISHS)*. 68: 69-74.

Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden y C.E. Hanson (eds) 2007. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg2_report_impacts_adaptation_and_vulnerability.htm consultado 10 de enero 2015

Paredes-López, O., Reyes-Moreno, C., Montes-Riviera, R., Carabez-Trejo, A. 1989. Hard-to-cook phenomenon in common beans: influence of growing location and hardening procedures. *International Journal of Food Science and Technology*. 24: 535-542.

Paredes Paredes, Mario Antonio. 1983. Efecto del secado solar natural y del secado indirecto mediante el uso de un colector solar de placa plana sobre el endurecimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris*). Tesis de Maestría. Guatemala.

Parry, M. L.; Rosenzweig, C.; Iglesias, A.; Livermore, M. y Fischer, G. 2004. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change*. 14(1): 53-67.

Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden y C.E. Hanson (eds) 2007. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg2_report_impacts_adaptation_and_vulnerability.htm consultado 10 de enero 2015

Peatmoss. <http://peatmoss.com/what-is-peat-moss/peat-moss-formation-and-types/>

Peña-Betancourt, Silvia Denise y Conde-Martínez, Víctor. 2012. Contenido de aflatoxinas y proteína en 13 variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3 (1): 201-206.

Pérez-Reyes, M. C., C., Hernández-Aguilar, F.A. Domínguez-Pacheco, A. Cruz-Orea y E. Moreno-Martínez. 2015. The optical absorption coefficient of barley seeds investigated by photoacoustic spectroscopy and their effects of bioestimulation laser. *International Journal Thermophysics*.

Perveen, R.; Ali, Q., Ashraf M., Al-Qurainy F., Jamil Y, Ahmad MR. 2010. Effects of different doses of low power continuous wave He-Ne laser radiation on some seed thermodynamic and germination parameters, and potential enzymes involved in seed germination of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Photochemical Photobiology* 86(5): 1050-1053.

Perveen, R.; Yasir Jamil, Muhammad Ashraf, Qasim Ali, Munawar Iqbal and Muhammad Raza Ahmad. 2011. He-Ne Laser-Induced Improvement in Biochemical, Physiological, Growth and Yield Characteristics in Sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Photochemistry and Photobiology*. 87: 1453–1463.

Pirhayati, M.; Soltanizadeh, N. y Kadivar, M. 2011. Chemical and microstructural evaluation of “hard-to-cook” phenomenon in legumes (pinto bean and small-type lentil). *International Journal of Food Science and Technology*. 46: 1884-1890.

Podlesny, J. 2004. La influencia de la estimulación magnética de las semillas en el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos. *Acta Agrophysica*, 4 (2): 459-473.

Podleśny, J. 2007. Effect of laser light on morphological features formation and faba bean yielding. *Pamiętnik Pulawski*. 144: 115-129.

J. Podleśny y A. Podleśna. 2004. Morphological changes and yield of selected species of leguminous plants under the influence of seed treatment with laser light. *International Agrophysics*. 18: 253-260.

Podleśny, J.; Stochmal, A.; Podleśna, A. y Misiak, L. E. 2012. Effect of laser light treatment on some biochemical and physiological processes in seeds and seedlings of white lupine and faba bean. *Plant Growth Regul.* 67: 227-233.

Proctor, J. R. y Watts, B. M. 1987. Development of a Modified Mattson Bean Cooker Procedure Based on Sensory Panel Cookability Evaluation. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*. 20(1): 9-14.

Popov, A.Y., N.A. Popova y A.V. Tyurin. 2007. A physical model of the action of low-intensity laser radiation on biological objects. *Optics and Spectroscopy*. 103(4): 671-677.

Q

Qi Z., Yue M., Han R., and Wang X.L., 2002. The damage repair role of He-Ne laser on plants exposed to different intensities of ultraviolet-B radiation. *Photochem. Photobiol.*, 75, 680-686.

Quezada Viay, Martha Yolanda. 2005. Relación entre el envejecimiento de cotiledones y la disminución de la termosolubilidad de pectinas durante el almacenamiento y remojo de la semilla de frijol. Tesis Maestría. Facultad de Química. UNAM. México, D. F. 114 pp.

R

Rassam, Y.Z. 2010. The Effect of Laser Light on Virulence Factors and Antibiotic Susceptibility of Locally Isolated *Pseudomonas Aeruginosa*. *Journal of Applied Sciences Research*. 6: 1298-1302.

Reyes Rivas, Elivier, Pérez Veyna, Oscar, Padilla Bernal, Luz Elvia. 2009. Diferenciación de productores de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en una zona de alta migración en Zacatecas, México. *Revista de Geografía Agrícola*: 42 (enero-julio): 31-50.

R. Rico-Molina, C. Hernández-Aguilar, A. Domínguez-Pacheco, A. Cruz-Orea, JL López-Bonilla. 2013. *International Journal of Thermophysics* 1-7.

R. Rico Molina, C. Hernández-Aguilar, A. Domínguez-Pacheco, A. Cruz-Orea, M. A. Canseco. 2013b. *International Journal of Thermophysics* 1-9.

Rodríguez Licea, Gabriela; García Salazar, José Alberto; Rebollar Rebollar, Samuel; Cruz Contreras, Andrés Cuauhtémoc. 2010. Preferencias del consumidor de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México: factores y características que influyen en la decisión de compra diferenciada por tipo y variedad. *Paradigma Económico*. 2(1):.121-145.

Rodríguez Páez, Carmen Liliana. 2012. Método sostenible para mejorar calidad sanitaria del grano de maíz (*Zea mays* L.) empleado para elaborar tortilla: perspectiva sistémica-transdisciplinaria. Tesis doctoral. Doctorado en Ingeniería de Sistemas. México, D. F.

S

SAGAR-INIFAP. 2000. <http://www.biblioteca.inifap.gob.mx> consultado última vez 20 junio 2015.

SAGARPA http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/Estudios_promercado/GRANOS.pdf consultado 2 marzo 2015.

Salinas, M. Y.; Rojas, H. L.; Sosa, M. E. y Operez H. P. 2005. Composición de antocianinas en variedades de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivadas en México. *Agrociencia*. 39: 385-394.

G. Sanchez-Hernandez, C. Hernandez-Aguilar, A. Dominguez-Pacheco, A. Cruz-Orea, M.C.J. Perez-Reyes, E. Moreno-Martinez. 2014. The Optical Absorption Coefficient of Bean Seeds Investigated Using Photoacoustic Spectroscopy. *International Journal of Thermophysics*. DOI 10.1007/s10765-014-1620-6

Sangronis, E.; Ibarz, Al.; Barbosa-Cánovas, G. V. y Swanson, B. G. 2002. Efecto de la alta presión hidrostática (APH) en la imbibición de agua, tiempos de cocción y microestructura del *Phaseolus vulgaris*. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición (ALAN)*. 52 (3). ISSN 0004-0622. Consultado junio 10 de 2015 http://www.alanrevista.org/ediciones/2002-3/alta_presion_hidrostatica.asp#

Santillán, María Luisa. 2014. La milpa, tradición milenaria de agricultura familiar. *Actualidades, Ambiente y Naturaleza*. DGDC-UNAM. Consultado 30 mayo 2014.

http://ciencia.unam.mx/leer/356/La_milpa_tradicion_milenaria_de_agricultura_familiar

Sarquis, Jorge y Buganza, Jacob. 2009. La teoría del conocimiento transdisciplinar a partir del Manifiesto de Basarab Nicolescu. *Fundamentos en Humanidades*. 19(1): 43-55, Universidad Nacional de San Luis, Argentina. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=18411965003>

SAS/STAT® 9.2. 2008. User's Guide Introduction to Statistical Modeling with SAS/STAT Software (Book Excerpt). Estados Unidos de América. <http://support.sas.com/documentation/cdl/en/statugstatmodel/61751/PDF/default/statugstatmodel.pdf> consultado 20 de junio 2014.

Schaad, N. W.; Jones, J. B. y Chun, E. 2001. 3ª. Edición. *Laboratory Guide for Identification of Plant Pathogenic Bacteria*. APS Press. Estados Unidos de América. 373 pp.

Schwartz, H., Steadman, J. R., Hall, R. y Forster, R. L. 2005. *Compendium of Bean Diseases*. The American Phytopathological Society Press. USA.

SIAP: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera www.siap.gob.mx/ 2003. cConsultado 27 febrero 2015.

Simsek, S.; Ohm, J-B.; Lu, H.; Rugg, M.; Berzonsky, W.; Alamri, M. S. y Mergoum, M. 2014. Effect of Pre-Harvest Sprouting on Physicochemical Properties of Starch in Wheat. *Foods*. 3(2): 194-207.

Solomon, S. (Ed.). (2007). *Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC (Vol. 4)*. Cambridge University Press.

Soto Mora, Consuelo. 2003. La agricultura comercial de los distritos de riego en México y su impacto en el desarrollo agrícola. *Investigaciones geográficas. Boletín del Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México*. 50: 173-195.

Stamboliev, M., Georgiev, D., Tsvetanova, K., Tonev, Y.T. 1995. Effects of some agrotechnical and agroclimatic factors on the technological quality of *Phaseolus vulgaris* grown on calcareous chernozem. *Rastenievedni Nauki* 32: 65-67.

Steel R.D.G. and Torrie J.M. 1980. *Principles and procedures of statistics*. 2ª-edition. Mc Graw Hill, New York.

Stoyanova, M., Tonev, T., y Nankova, M. 1992. Effect of agroecological conditions and nitrogen fertilizants application on the chemical composition and technological properties of field bean seeds. *Pochvozn. Agrokhim. Ekol.* 27: 31-43.

Swanson, B. G; Hughes, J. S. y Rasmussen, H. P. 1985. Seed Microstructure: Review of Water Imbibition in Legumes. *Food Structure*. 4(1): 115-124.

T

Toledo, Victor. 2003. Ecología, espiritualidad y conocimiento. De la sociedad del riesgo a la sociedad sustentable. Puebla, México. PNUMA-UNESCO, Universidad Iberoamericana.

Tiphlova, O., y& Karu, T. 1990. Action of low-intensity laser radiation on Escherichia coli. Critical reviews in biomedical engineering, 18(6): 387-412.

U

Ulloa, A.; Rosas, P.; Ramírez J. y Ulloa, B. 2011. El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. Fuente 8: 5-9.

V

Van Den Elzen, P. J. M; Jongedijk, E.; Melchers L. S.; Cornelissen, B. J. C. 1993. Virus and Fungal Resistance: From Laboratory to Field. Royal Society Publishing. DOI: 10.1098/rstb.1993.0157

Van Gigch, J. 1987. Teoría general de lo sistemas. Editorial Trillas. 2ª. Edición. 607 pp.

G. Vasilevski y D. Bosev. 1997. Results of the effect of the laser light on some vegetables. Acta Hort. (ISHS) 462: 473-476

http://www.actahort.org/books/462/462_68.htm

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

W

Wilczek M., R. Koper, M. Cwintal y T. Kornilowicz-Kowalska. 2004. Germination capacity and the health status of red clover seeds following laser treatment, Int. Agrophysics. 18(3): 289-293.

Wilde W., Parr W. y McPeak D. 1969. Seeds bask in laser light. Laser Focus 5: 41-42.

Z

Zhang, B., Z.Y. Duan & M. Yang. 2011. Effects of He-Ne Laser on the Seeds of Germination of Old Wheat [J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2, 033.

Zhang, H., L. Zhang, P. Tidemand-Lichtenberg, P. Buchhave, X. Xu, & Y. Li. 2011. Effect of laser and LED on enzymatic production of ceramide. Photochemistry and photobiology. 87(1): 131-136.

Zhang, J., X.H., Wang, J.H., Hao & R. Han. 2008. Effects of He-Ne Laser on Sugar Metabolism of Wheat Seedling Exposed to Ultraviolet-B Radiation [J]. Acta Laser Biology Sinica. 5, 005.

Zhang, M.Y.W.X.S. & S.C.H. Rong. 2011. Effects of He-Ne Laser and Enhanced Ultraviolet-B Radiation on the Isozymes Gene Expression of Wheat Seedlings.

Zhenhu, J. & J. Duan. 2013. Protecting effect of He-Ne laser on winter wheat from UV-B radiation damage by analyzing proteomic changes in leaves. *Advances in Bioscience and Biotechnology*. 4, 823-829.

Anexo A. Algunos Resultados encontrados

