



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO-MATEMÁTICAS
"MAT. LUIS MANUEL RIVERA GUTIÉRREZ"

ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD
DE SEMILLAS DE MAÍZ POR
TERMOGRAFÍA INFRARROJA

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
Licenciado en Ciencias Físico-Matemáticas

PRESENTA:

Juan Angel Casimiro Olivares

DIRECTOR DEL TRABAJO:

Dra. Nabanita Dasgupta Schubert
Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas

CO-ASESOR:

Dr. Pablo Genaro Martínez Torres
Instituto de Física y Matemáticas



Morelia, Michoacán, Marzo 2017

Dedicado a mi familia

Agradecimientos

A mi familia, amigos y profesores, por todo el apoyo brindado durante estos años.

Índice general

Agradecimientos	II
Resumen	V
Abstract	VI
Introducción	1
Justificación y Objetivo	3
1. Calor	4
1.1. Modos de transferencia de calor	5
1.2. Características de la radiación	6
1.3. Intensidad	7
1.4. Radiación de cuerpo negro	8
1.5. Emisividad	9
2. La Semilla de Maíz: importancia y viabilidad	12
2.1. La semilla de maíz	12
2.2. Importancia de la semilla de maíz	13
2.3. Viabilidad de las semillas	14
2.4. Metodos invasivos y no invasivos	18
3. Termografía	19
3.1. Historia de la Termografía infrarroja	19
3.2. Termografía Infrarroja	20
4. Metodología	23
4.1. Envejecimiento acelerado	23
4.2. Imágenes térmicas	26
4.3. Análisis de los cambios en la morfología	28
4.4. Germinación	30
5. Resultados y discusiones	32
Conclusiones	40

Resumen

El cultivo de esta semilla de maíz tiene especial importancia debido a que constituye la base de la alimentación de los países latinoamericanos principalmente. Mientras que en algunas regiones se conocen centenares de especies diferentes de esta semilla, en la mayor parte del planeta se consumen sólo un puñado que son los más comunes y los más accesibles a diferentes terrenos y climas. Dado que la alimentación no es lo único, este recurso es también apreciado en el mundo entero debido a la cantidad de productos que se derivan de él. Así, debido a la importancia de la semilla de maíz en tantos aspectos de la vida de los latinoamericanos, consideramos de suma importancia evaluar su viabilidad de manera eficaz. Entonces, dada la importancia que tiene en el ámbito de las semillas, se han desarrollado diferentes técnicas para evaluar la viabilidad así como para lograr condiciones de almacenamiento que nos aseguren una mayor longevidad. Dentro de estas técnicas existen dos diferentes tipos: las invasivas y las no invasivas. Nosotros nos enfocaremos en termografía infrarroja la cual es una técnica no invasiva que recién empieza a tener impacto en el ámbito de la agricultura. Esta técnica fue utilizada para evaluar la emisividad de semillas, lo cual relacionamos directamente a la viabilidad de las mismas. Sometimos a las semillas a diferentes tratamientos térmicos (40 °C, 50 °C, 60 °C) los cuales nos permitieron simular los daños que el cambio climático ocasiona a las semillas, después mediante una comparación de las emisividades de las semillas tratadas logramos notar que el daño molecular que reciben las semillas conforme la temperatura va aumentando afecta directamente al valor de la emisividad.

PALABRAS CLAVE: Termografía infrarroja, viabilidad, método no invasivo, semilla de maíz, emisividad.

Abstract

The cultivation of maize seed has a special importance so that constitutes the food base of the Latin American countries. While in some regions hundreds of different species of this seed are known, in most of the planet only a few are consumed which are the most common and the most accessible to different terrains and climates. Since food is not the only important thing, this resource is also appreciated worldwide because of the amount of products that are derived from it. Thus, because of the importance of maize seed in so many aspects of Latin American life, we consider that one of the most important things is evaluate its viability effectively. Therefore, given the importance of this in the field of seeds, different techniques have been developed to evaluate the viability of these as well as to achieve storage conditions that ensure greater longevity. Within these techniques there are two different types: invasive and non-invasive. We will focus on infrared thermography which is a non-invasive technique that has just begun to have an impact in the field of agriculture. This technique was used to evaluate the emissivity of seeds, which we directly relate to the viability of the seeds. We subjected the seeds to different heat treatments (40 ° C, 50 ° C, 60 ° C) which allowed us to simulate the damages caused by climate change to seeds. After a comparison of the emissivities of the treated seeds, we noticed that the molecular damage that the seeds receive as the temperature increases, directly affects the value of the emissivity.

Introducción

El maíz es el cultivo de mayor importancia a nivel mundial por su producción, seguido por el trigo y el arroz. El maíz es de gran importancia económica a nivel mundial, bien sea como alimento humano, como alimento para el ganado o como fuente de una gran cantidad de productos industriales. La diversidad de los ambientes en los cuales el maíz es cultivado es mucho mayor a la de cualquier otro cultivo.

El maíz dulce es considerado como verdura. Sin embargo, no podemos negar su característica de maíz por su similitud con el grano de maíz pues las técnicas que se utilizan para su cultivo son similares. La diferencia esencial entre estos granos de maíz radica en que en su esquema genético tienen un gen azucarero.

La producción de maíz dulce se destina al consumo humano, ya sea fresco (en mazorcas) o transformado (congelado o en conserva), y su demanda ha aumentado de manera considerable en los últimos años en nuestro país.

El cambio climático que estamos viviendo en la actualidad tiene gran afectación en el sector agrícola, pues afecta directamente a la temperatura. Las consecuencias dependerán, a nivel general del balance que tengan estos efectos. Sin embargo como se ha ido notando en los últimos años, el aumento en la temperatura es bastante considerable en algunos sectores de nuestro país.

Los tipos de clima en México son muy variados, por tanto las temperaturas varían bastante, siendo la temperatura más alta registrada en México de 55.5 °C en Baja California. En Michoacán en la zona de tierra caliente para ser más precisos en Huetamo ha alcanzado la temperatura de 51.2 °C. Bajo el incremento inminente de las temperaturas, las semillas suelen sufrir daños con los cuales pierden viabilidad, cosa que tiene un impacto directo en la economía de los agricultores.

La viabilidad de una semilla es su capacidad de germinar y generar plántulas normales en condiciones favorables. Existen variados métodos para determinar la viabilidad de una semilla, sin embargo, en su mayoría son técnicas invasivas.

Estas técnicas necesitan aplicar cambios ya sea químicos o físicos a la semilla para poder analizar su viabilidad, sin embargo, aunque las técnicas que se apliquen a la semilla sean no invasivas. En general demoran demasiado para obtener el resultado por lo que son poco eficientes.

En este estudio utilizamos la técnica de termografía infrarroja para determinar de acuerdo a la emisividad de una semilla si ésta es viable o no. También estudiamos como los cambios en la morfología de la semilla afectan a nuestro valor de la emisividad. Esta es una técnica no invasiva y eficiente ya que sólo es necesario analizar la fotografía para determinar la emisividad.

Con esta técnica estudiamos como los cambios de temperatura que una semilla sufre afectan a su emisividad pero sobre todo a su viabilidad. Tratamos de ver que tanta pérdida se tiene al sembrar semillas en condiciones de altas temperaturas o inclusive si no tenemos pérdida que tanta eficacia se pierde al sembrarlas.

Así, en el capítulo 1 haremos un repaso de lo que es el calor y sus modos de transferencia, en el siguiente capítulo abordaremos el tema de la viabilidad de las semillas y la semilla de maíz, continuando con la historia de la termografía y en que consiste la técnica, dando todo esto paso a nuestra metodología experimental. Finalmente, los resultados de nuestro experimento así como las observaciones del mismo.

Justificación y Objetivo General

El sector agrícola es base de la economía en muchas regiones de nuestro país. El cultivo del maíz es de suma importancia tanto para la alimentación como para el sustento de familias dedicadas a la agricultura. Es de suma importancia conocer antes de la siembra, que tan viable es una semilla para saber qué porcentaje de las semillas sembradas podrán germinar y ser cosechadas en un futuro.

Existen técnicas con las cuales podemos determinar si un grupo de semillas es viable o no, sin embargo, en la mayoría de los casos, para hacer el estudio se implica hacer daño ya sea químico o físico a las semillas. Tomando esto como referencia, decidimos utilizar una técnica que recién comienza a ser utilizada en el sector agrícola. La termografía infrarroja es una técnica no invasiva con la cual podemos medir la emisividad de una superficie, en nuestro caso semillas.

El principal objetivo de este trabajo es ver como afectan los cambios de temperatura a la emisividad de las semillas para poder determinar, a partir de una medición de la emisividad de cualquier semilla, si ésta es viable o no.

Capítulo 1

Calor

Llamamos calor al proceso de intercambio de energía térmica que se transfiere entre dos sistemas debido a una diferencia de temperatura. El término calor, se debe entender como transferencia de calor y sólo ocurre cuando hay diferencia de temperatura, el cual se propaga de mayor a menor. De esto podemos deducir que no existe transferencia de calor entre dos sistemas que se encuentran en equilibrio térmico. Así, el calor visto desde la física es una transferencia de energía, lo que podemos medir en un cuerpo es su energía térmica, mejor aún, si se considera el cuerpo como un sistema termodinámico, la energía total del sistema tiene dos formas: macroscópica y microscópica [1].

La energía macroscópica puede ser la energía cinética y potencial. La microscópica es su grado de actividad molecular, el cual es independiente del sistema de referencia externo y se conoce como energía interna del sistema, que ésta representado por U .

En un sistema las moléculas se agitan con cierta velocidad, además giran, todo este movimiento les confiere una energía cinética, la cual es parte de la energía interna. A esto añadimos que las moléculas están unidas por fuerzas de atracción, las cuales son más fuertes en los sólidos, disminuyen en los líquidos y aún más en los gases. Esta energía que tiene que ver con la fase en la que se encuentra el sistema, es denominada energía latente. Los átomos están unidos por enlaces que se forman y destruyen en reacciones químicas. La energía relacionada con esto se denomina energía química. Tenemos a las fuerzas de atracción en el núcleo que, es la energía que es denominada energía nuclear. Todas estas formas de energía, se almacenan en el interior de un sistema y conforman su energía interna.

Tenemos también formas de energía que no pueden ser almacenadas, que sólo aparecen cuando tenemos interacción y constituyen lo que llamamos energía ganada o perdida por el sistema. Estas formas de energía son la transferencia de calor y el trabajo. Cuando el origen o la fuerza motriz de la interacción es una diferencia de temperatura, decimos que es calor, en caso contrario es trabajo.

La primera ley de la termodinámica nos aclara que el flujo de calor y el trabajo son dos maneras distintas de transferencia de energía, de ambas maneras podemos obtener un cambio en la energía interna de un sistema. Un ejemplo de esto es que podemos subir la temperatura de un gas, bien sea dándole calor, aplicando trabajo en él, o inclusive una combinación de ambas [1].

1.1. Modos de transferencia de calor

Como ya mencionamos, debemos hablar de transferencia de calor, existen tres modos mediante los cuales puede llevarse a cabo la transferencia [2], los cuales son los siguientes:

- **Conducción:** Es un transporte de energía calorífica sin transporte de materia, pero en presencia de ésta. lo que quiere decir que tiene lugar entre cuerpos y exige la presencia de materia. Es un proceso típico de los sólidos y se considera consecuencia de la agitación térmica. Siempre que existe un gradiente de temperatura en un medio sólido, el calor va a fluir desde la región o cuerpo con mayor temperatura a la región o cuerpo con menor temperatura. La transmisión de calor por conducción se produce en cualquier situación en la que se ponen en contacto moléculas con diferente temperatura. Puede tener lugar entre diferentes objetos que están en contacto, no importa el tipo de material. La conducción tiene lugar en sólidos, líquidos y gases, con pocas excepciones es el único modo de transmisión de calor que se produce dentro de un sólido, algunos sólidos pueden transmitir radiación pero estos materiales son poco comunes y realmente caros. La comprensión del hecho de que sólo exista transmisión de calor por conducción dentro de un sólido es de suma importancia para los termógrafos porque les sirve para determinar el calor transmitido por esta forma, primero que nada debemos tomar en cuenta cuales son los factores que intervienen y como afectan. El valor del flujo de calor de conducción en condiciones estacionarias es directamente proporcional a la conductividad térmica del objeto, a la sección transversal a través de la que fluye el calor, y a la diferencia de temperatura entre los puntos del cuerpo considerado, es inversamente proporcional a la longitud o distancia entre ambos puntos. Algunos ejemplos de este modo de transferencia son: derretir hielo en una tasa de agua caliente, el calor de una cuchara al dejarla en un recipiente y volcar una sopa extremadamente caliente, al hervir agua la llama conduce el calor hacia el recipiente.
- **Convección:** Consiste en un transporte de energía calorífica con transporte de materia. Este proceso es típico de los fluidos y se considera consecuencia de una diferencia de temperatura que origina diferencias de densidad de unos puntos a otros. Es compuesta de dos mecanismos que operan al mismo tiempo, transferencia de energía generada por el movimiento molecular, conducción, y transferencia de energía mediante el movimiento de partes de fluido impulsadas por una fuerza externa, ya sea natural o forzada. Algunos ejemplos de este modo de transferencia son: los globos aerostáticos que se mantienen en el aire por medio del aire caliente, la secadora de manos o pelo, el aire acondicionado empujado por medio de ventiladores.
- **Radiación:** Consiste en un transporte de energía calorífica que puede tener lugar tanto en presencia de materia como en ausencia de ésta. Este proceso tiene carácter de onda electromagnética térmica, es decir, cualitativamente es una onda electromagnética. La emisión tiene lugar en todas direcciones y al incidir en un cuerpo éste puede actuar reflejándola, absorbiéndola o transmitiéndola. Algunos ejemplos de este modo de transferencia son: la transmisión de ondas electromagnéticas a través del horno de microondas, la radiación ultravioleta solar, la luz emitida por una lámpara incandescente, la emisión de rayos gamma por parte de un núcleo.

En este trabajo nos centraremos en la radiación térmica, por lo que la abordaremos más a detalle.

1.2. Características de la radiación

A diferencia de la conducción y convección, la radiación no precisa la diferencia de temperatura entre dos cuerpos, o entre dos partes el mismo cuerpo, la emisión de energía radiante se produce siempre. Basta que la temperatura sea mayor a los 0 K. Emiten radiación tanto cuerpos calientes como cuerpos fríos, lo que implica un flujo de calor en ambos sentidos [3].

La radiación sólo depende de la temperatura del cuerpo que emite. Por tanto, la energía que radian todos los cuerpos es consecuencia directa de su temperatura. Cuando un cuerpo está a temperatura ambiente, podemos verlo por la luz que refleja, dado que no emite luz. Si no hacemos incidir luz en ellos, no sería posible verlos, en cambio, a temperaturas más altas, podemos ver los cuerpos debido a la luz que emiten, pues en este caso son luminosos por sí mismos, y en este caso nos es posible determinar la temperatura de un cuerpo por su color, ya que un cuerpo que emite luz por sí mismo se encuentra a altas temperaturas.

La radiación electromagnética se caracteriza por su frecuencia ν o bien por su longitud de onda λ . En ambos casos están relacionadas por la velocidad de propagación C en el medio correspondiente por la relación

$$C = C_0/n = \lambda\nu,$$

donde $C_0 = 2,998 \times 10^8 m/s$ es la velocidad de la luz en el vacío y n el índice de refracción del medio.

Es natural que un cuerpo a cierta temperatura emita radiación electromagnética, La cual es originada por la excitación térmica de niveles discretos de energía en sus átomos o moléculas y su posterior desexcitación espontánea. Este proceso emite esta energía en forma de ondas electromagnéticas denominada radiación térmica. Los niveles de energía excitados pueden ser tanto electrónicos como vibracionales y rotacionales [3].

Tal como las demás ondas electromagnéticas, la radiación se propaga en el vacío o en un medio material transparente en línea recta y con la misma velocidad que la luz. Cuando la radiación térmica se transmite en el vacío no experimenta ninguna reducción, es decir, no se transforma en otra clase de energía, pero en otro medio material es absorbida en mayor o menor cantidad.

La radiación térmica que incide sobre la superficie de un cuerpo, es absorbida, es reflejada, y en parte es transmitida. Definimos entonces la absorptividad o coeficiente de absorción α , como la fracción de energía radiante absorbida, la reflectividad o coeficiente de reflexión ρ como la fracción reflejada, y la transmisividad o coeficiente de transmisión τ , como la fracción transmitida.

Si definimos como I la energía total incidente en la unidad de tiempo por unidad de área (Wm^{-2}), podemos hacer un balance de energía y deducir que:

$$I = \alpha + \rho + \tau.$$

Cuando la transmisividad es nula, el cuerpo es opaco a la radiación térmica. Los cuerpos opacos a la luz en general son opacos a la radiación térmica. Los sólidos y los líquidos sólo

absorben radiación en una capa muy delgada, por los que pueden considerarse opacos a la radiación. En caso de que la transmisividad sea igual a la unidad, se dice que el cuerpo es transparente.

Un reflector ideal es aquel que refleja toda la radiación que incide sobre su superficie, al mismo se aproximan las superficies altamente pulimentadas. En caso contrario, un absorbedor es aquel que absorbe toda la radiación que incide sobre su superficie. Este recibe el nombre de cuerpo negro.

Cuando tenemos materia en un estado condensado, ya sea líquido o sólido, ésta emite un espectro de radiación continuo. La frecuencia de onda emitida por radiación térmica es una función de densidad de probabilidad que depende sólo de la temperatura.

Las formas en las que se puede intercambiar radiación entre los cuerpos se pueden expresar de la siguiente manera:

- Emisión-radiación producida
- Absorción-radiación retenida
- Reflexión-radiación reflejada
- Transmisión-radiación que se deja pasar

El espectro de la radiación térmica abarca desde aproximadamente $0,1$ hasta $100\mu m$. El intercambio radiactivo de calor entre cuerpos tiene lugar dentro de esta parte del espectro que incluye parte del ultravioleta, el espectro visible y el espectro infrarrojo. Para poder medir la radiación emitida por un cuerpo, es necesario hablar de la intensidad.

1.3. Intensidad

La radiación que un cuerpo emite es caracterizada esencialmente por la distribución espectral de su energía y por su dirección de propagación. La magnitud física que utilizamos para caracterizar la radiación electromagnética emitida por una superficie es la intensidad o intensidad espectral.

La intensidad espectral de radiación emitida por una superficie mide el flujo de energía, por unidad de ángulo sólido $\delta\Omega$ y por unidad de longitud de onda λ . Entonces la intensidad espectral depende de la dirección de emisión que es normalmente caracterizada por los ángulos de coordenadas esféricas θ y ϕ y por la longitud de onda λ de la radiación,

$$I_{\lambda}(\lambda, \theta, \phi) = \frac{\delta Q}{\delta A \delta \lambda \delta \Omega}.$$

La intensidad de emisión mide el flujo de energía por unidad de ángulo sólido. Para calcularla es necesario integrar la intensidad espectral sobre el espectro de emisión,

$$I(\theta, \phi) = \int_0^{\infty} I_{\lambda}(\lambda, \theta, \phi) d\lambda.$$

A partir de esta intensidad podemos calcular la potencia total emitida por una superficie por unidad de área o su emisión E , si integramos la intensidad sobre todas las direcciones del espacio,

$$E = \int I(\theta, \phi) d\Omega = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} I(\theta, \phi) \cos(\theta) \sin(\theta) d\theta d\phi.$$

En esta ecuación se utilizó la expresión del ángulo sólido en coordenadas esféricas:

$$d\Omega = \sin(\theta) \delta\theta \delta\phi.$$

Si bien introducimos la intensidad considerando la emisión de una superficie, el mismo concepto se extiende a la intensidad incidente sobre una determinada superficie. Así, la intensidad espectral incidente sobre una superficie mide el flujo de energía incidente sobre una superficie a lo largo de una cierta dirección, por unidad de ángulo sólido y por intervalo de longitud de onda. De manera similar (a la emisión) se define la irradiancia espectral sobre una superficie como la potencia total incidiendo sobre la superficie por unidad de área δA y por intervalo de longitud de onda $\delta\lambda$.

Para cuantificar la potencia total saliente de una superficie incluyendo la emisión E y el porcentaje reflejado de la irradiancia G , se define la radiosidad J a partir de la intensidad saliente, la cual incluye la intensidad emitida y la reflejada. Cabe notar que tanto los espectros como la distribución de las direcciones de propagación de estas dos intensidades, tanto emitida como reflejada, son generalmente diferentes.

Un modelo de emisor de suma importancia es el modelo de cuerpo negro. Este modelo nos describe un emisor ideal el cual es utilizado como referencia de emisores reales.

1.4. Radiación de cuerpo negro

Cuerpo negro nos describe un sistema físico que es capaz de absorber toda la energía radiactiva que incide sobre él. Equivalentemente un cuerpo negro es un emisor ideal, que en equilibrio térmico emite toda la energía que recibe. Esto quiere decir que no refleja la radiación incidente. Además, para una temperatura y longitud de onda dada, ninguna superficie puede emitir más energía que un cuerpo negro [4].

No existe en la naturaleza un cuerpo negro, sin embargo, se puede sustituir con una gran aproximación por una cavidad con una pequeña abertura. La energía radiante incidente a través de la abertura, es absorbida por las paredes en múltiples reflexiones y solamente una mínima proporción escapa (se refleja) a través de la abertura. Podemos por tanto decir, que toda la energía incidente es absorbida.

Consideremos una cavidad cuyas paredes están a una cierta temperatura. Los átomos que componen las paredes están emitiendo radiación electromagnética y al mismo tiempo absorben la radiación emitida por otros átomos de las paredes. Cuando la radiación encerrada dentro de la cavidad alcanza el equilibrio con los átomos de las paredes, la cantidad de energía que emiten los átomos en la unidad de tiempo es igual a la que absorben. En consecuencia, la densidad de energía del campo electromagnético existente en la cavidad es constante.

A cada frecuencia corresponde una densidad de energía que depende solamente de la temperatura de las paredes y es independiente del material del que están hechas. Si se abre

un pequeño agujero en el recipiente, parte de la radiación se escapa y se puede analizar. El agujero se ve muy brillante cuando el cuerpo está a alta temperatura, y se ve completamente negro a bajas temperaturas.

Históricamente, el nacimiento de la Mecánica Cuántica, se sitúa en el momento en el que Max Planck explica el mecanismo que hace que los átomos radiantes produzcan la distribución de energía observada. Max Planck sugirió en el año de 1900 que:

-La radiación dentro de la cavidad está en equilibrio con los átomos de las paredes que se comportan como osciladores armónicos de frecuencia dada f .

-Cada oscilador puede absorber o emitir energía de la radiación en una cantidad proporcional a f . Cuando un oscilador absorbe o emite radiación electromagnética, su energía aumenta o disminuye en una cantidad hf .

1.5. Emisividad

Para tener consideración de la emisión de una superficie real es útil hacerlo en referencia a la emisión del emisor ideal de cuerpo negro. De esta manera introducimos el concepto de emisividad de una superficie. La emisividad espectral direccional de una superficie se define como la intensidad espectral de emisión de la superficie relativa a la intensidad espectral de emisión de cuerpo negro,

$$\epsilon_{\lambda,\theta} = \frac{I_{\lambda}(\lambda, \theta, \phi, T)}{I_{\lambda b}(\lambda, T)}.$$

El coeficiente de emisividad ϵ , es un número adimensional que relaciona la habilidad de un objeto real para irradiar energía térmica, con la habilidad de irradiar si éste fuera un cuerpo negro. Como es visible, la emisividad de una superficie depende de su temperatura.

Es fundamental tener claro que es una propiedad de la superficie del objeto, igual que hay materiales que conducen bien la electricidad y otros no, hay superficies que emiten radiación térmica mejor que otras. En la Tabla. 1.1 se muestran algunos valores de la emisividad de algunos materiales.

Metales	T[°C]	ε
Aluminio	170	0.05
Acero	-70-700	0.06-0.25
Cobre	300-700	0.015-0.025
Cobre oxidado	130	0.73
No metales	T[°C]	ε
Madera	70	0.91
Hielo	-10	0.92
Agua	10-50	0.91
Papeel	95	0.90

Tabla 1.1: *Coefficientes de emisividad para diferentes objetos reales*

Existen ciertos factores que afectan al valor de emisividad de una superficie, entre los cuales tenemos:

- **El material:** Los metales y los no metales son tipos de superficies diferentes en lo que se refiere a la emisividad, es más fácil trabajar con los no metales porque normalmente tienen emisividades altas, a diferencia de los metales que se oxidan, los no metales no modifican su emisividad durante el transcurso del tiempo a menos que se recubra de suciedad o se desgasten.
- **La textura superficial:** Entre más rugurosa sea la superficie mayor emisividad tendrá, las superficies pulidas, brillantes y suaves tienen emisividades bajas mientras que las superficies lijadas y rayadas tienen emisividades más elevadas, la oxidación puede cambiar la estructura superficial haciéndola más gruesa; debemos determinar visualmente si una superficie puede reflejar y absorber, si aparece sin brillo probablemente presente una emisividad más elevada que si se muestra muy brillante.
- **Ángulo de visión:** La forma en que el ángulo afecta la emisividad puede variar entre diferentes tipos de superficies, pero normalmente existen grandes diferencias y es debido al mal enfoque que se le da cuando se hace una toma, si cuando se toma una imagen perpendicularmente con un ángulo de 0° nos reflejaremos, por ello no se debe permanecer directamente en frente del objeto porque en ese caso nosotros podemos ser un problema y provocar que en el informe indique un punto caliente inexistente.
- **Geometría:** La geometría se refiere a la forma física del objeto, la forma en que trabaja este factor es que las cavidades, ángulos y agujeros hacen que el cuerpo comience a parecerse cada vez más al diseño de un simulador de un cuerpo negro, las múltiples reflexiones entre superficies incrementan la absorción y por lo tanto la emisividad. El factor geométrico nos puede ayudar, si es que no se puede incrementar la emisividad por ningún otro lado, pero lo que este factor no nos ayudará a medir la temperatura mejor sólo puede ser conveniente para saber si hay una diferencia de temperatura.

- Temperatura: La propia temperatura del cuerpo puede afectar a la emisividad, sin embargo es poco frecuente y la influencia en la mayoría de los casos es ciertamente pequeña. La emisividad de los materiales pueden incrementarse a temperaturas muy elevadas, las temperaturas pueden variar desde la del ambiente hasta 1000 °C, en dichas condiciones el cambio de emisividad puede ser significativo. Lo único que se puede hacer en estas condiciones es tratar de realizar ensayos de emisividad a temperaturas razonablemente cercanas a la que supongamos puede estar el objeto; es decir, dar una regla general pero si está en un rango de 100 K puede ser suficiente, además si la emisividad cambia normalmente se incrementa, si empezamos con una emisividad elevada no puede presentar un potencial de variación muy grande nunca puede ir por encima de 1.0.

En el siguiente capítulo hablaremos sobre la semilla de maíz, así como su importancia para nuestro país, de igual manera abordaremos el tema de la viabilidad de las semillas y mencionaremos algunas técnicas para determinarla.

Capítulo 2

La Semilla de Maíz: importancia y viabilidad

2.1. La semilla de maíz

La semilla de maíz (*Zea mays* [5]) es una especie de gramínea domesticada por los pueblos indígenas del centro de México desde hace unos 10 000 años. Actualmente es el cereal de mayor producción a nivel mundial, superando al trigo y al arroz.

El cultivo de esta semilla tiene especial importancia debido a que constituye la base de la alimentación de los latinoamericanos. Es un cereal que se adapta ampliamente a diversas condiciones ecológicas, motivo por el cual es cultivado en todo el mundo.

La semilla de maíz se descompone en tres componentes estructurales principales. El primer componente de la semilla es la capa exterior, con dos capas de protección de la planta del bebé y almidón dentro. Debajo de estas capas está el endospermo, y finalmente, en el interior de la semilla de maíz, está el minúsculo embrión, o planta del bebé, de la semilla de maíz.

La cubierta externa de una semilla de maíz se compone de dos partes: una capa externa llamada pericarpio y la capa interna llamada testa o capa de semilla verdadera. Esta es la parte fibrosa de la semilla de maíz y, cuando se separa del resto de la semilla, se utiliza en el ganado, combustibles y gomas de la fibra de maíz, entre otros alimentos y usos científicos.

El endospermo de la semilla de maíz conforma más del 60 por ciento de la masa total de la semilla de maíz. Esta parte de la semilla es casi en su totalidad almidón, excepto en maíz dulce en el que hay una mayor cantidad de azúcares. El endospermo está lleno de humedad en su forma cruda, pero cuando se seca y es procesada, esta la parte de la semilla es utilizada en comidas y harinas para usos culinarios y otros.

El embrión se encuentra a un costado de la semilla y contiene las partes de la estructura de la planta. Esta es la parte de la semilla que se convierte en una nueva planta si la semilla está plantada [6]. La plúmula, o parte que produce las primeras hojas verdaderas de una nueva planta; la radícula o raíz que da las plántulas en el futuro; y el coleóptilo y colerohiza o recubrimientos que protegen a la nueva plántula se encuentran en esta parte de la semilla. La mayor parte del aceite de una semilla de maíz existe en embrión.

Para el cultivo del maíz es necesario un clima relativamente cálido y agua en cantidades adecuadas. Para su germinación, la temperatura media diurna mínima debe estar a no menos

de 10°C, siendo la óptima entre los 18°C y 20°C. Para su crecimiento el maíz requiere de pleno sol. Su floración es mejor en los días cortos del año, sin embargo, los mejores rendimientos para su floración se consiguen con 11 a 14 horas de luz por día.

Las temperaturas superiores a los 30°C, reducen el rendimiento y nos determinan un cambio cualitativo en las actividades enzimáticas, las cuales se ven afectadas al máximo cuando coinciden las temperaturas elevadas y la falta de agua.

La planta de maíz puede desarrollarse en una gran diversidad de suelos. El crecimiento en suelos arenosos y arcillosos es pobre si no se llevan los cuidados adecuados. Se requieren de suelos profundos ya que las raíces en promedio requieren entre 0.80 m y 1.00 m de profundidad para su desarrollo normal. Los suelos requieren estar bien drenados puesto que el agua encharcada impide la respiración de las raíces y la absorción de nutrientes.

Como ya mencionamos es una de las principales fuentes de alimentación y económicas de los países latinoamericanos, por tanto, en la siguiente sección abordaremos la importancia de esta semilla.

2.2. Importancia de la semilla de maíz

La importancia del maíz para el ser humano ha sido siempre muy clara. Mientras que en algunas regiones se conocen centenares de especies diferentes de maíz, en la mayor parte del planeta se consumen sólo un puñado que son los más comunes y los más accesibles a diferentes terrenos y climas.

El maíz es, junto al trigo y a otros cereales, uno de los alimentos básicos de toda la humanidad ya que permite la generación de una gran variedad de preparaciones y platos que son tanto accesibles en términos económicos como ricos en energía y nutrientes. Por otro lado, el maíz es también altamente utilizado como alimento de ganado o de animales de los cuales se obtiene otros alimentos como la leche. De este modo, ya sea para consumo humano o animal, la producción del maíz es importantísima para numerosos países y regiones que la generan para consumo interno o que la exportan a aquellas regiones en las que el maíz no puede crecer.

Hoy en día se produce en todos los continentes excepto en la Antártida y es altamente valorado debido a que brinda mayor rendimiento que muchos otros granos, por lo tanto, no es costoso producirlo.

Para nosotros el uso práctico más importante de esta planta es la alimentación. Se puede cocinar entero o utilizar los granos como ingrediente de diversos platillos. Para hacer comida a partir del maíz cosechado éste se seca y después se almacena, tiempo después los granos secos se transforman en polvo con ayuda de un mortero y se pueden hornear para hacer toda una variedad de panes, tortillas o sémola. Muchos países latinoamericanos consumen productos a base de masa de maíz, como sustituto del trigo. El valor nutricional que tiene es muy alto, pues proporciona vitaminas, hidratos de carbono, calcio, fósforo y potasio.

Pero la alimentación no es lo único, este recurso es apreciado en el mundo entero debido a la cantidad de productos que se derivan de él. Algunos de sus usos más comunes comprenden la fabricación de aceite de cocina, que es muy económico. De la hoja seca se hacen fibras para tejer canastas, sombreros, tapetes y adornos o bien, puede servir como forraje para alimentar al ganado o incluso, como papel para cigarros. Los olotes, que son los restos de las mazorcas,

son utilizados para el diseño de artesanías o como composta. Se considera además que las barbas de choclo o pelos de elote, tienen propiedades medicinales y son utilizados para el tratamiento de padecimientos renales, el control de la presión alta, la reducción de los niveles de colesterol y para algunas molestias digestivas.

Por si fuera poco, sus grandes propiedades permiten utilizarlo como biocombustible, que es empleado como carburante, e incluso la proteína, mejor conocida como zeína, puede mezclarse con algún plastificante y formar con ello polímeros comestibles y gomas de mascar.

El maíz también es importante porque facilita la siembra de otras plantas como la calabaza o el frijol. Al cultivarse en la misma parcela o milpa, hay un intercambio de propiedades entre ellas, lo que enriquece su valor nutricional.

Debido a su versatilidad y propiedades alimenticias, esta planta es, sin lugar a dudas, una de las mejores aportaciones de Mesoamérica para el mundo.

2.3. Viabilidad de las semillas

Una de las cosas necesarias para el cultivo de plantas, son las semillas. No obstante, en algunas ocasiones, las semillas aún después de su maduración y dispersión, no son capaces de germinar, ya sea porque son durmientes o bien por que las condiciones del medio ambiente no les favorecen. En estos casos las semillas comienzan a deteriorarse lo que se manifiesta en la progresiva pérdida de su capacidad de germinar, lo que llamamos viabilidad, y de dar lugar a plántulas sanas [7]. El tiempo en que las semillas pierden su viabilidad es variable y depende de factores externos como internos. Entre los factores internos tenemos al contenido de humedad, el genotipo, y entre los factores externos tenemos la temperatura ambiental.

Dada la importancia que tiene la viabilidad en el ámbito de las semillas, se han desarrollado diferentes técnicas para evaluar la viabilidad de estas, así como para lograr condiciones de almacenamiento que nos aseguren una mayor longevidad. La viabilidad es un período variable y depende del tipo de semilla y de las condiciones de almacenamiento [8].

Atendiendo a la longevidad de las semillas, es decir, el tiempo que las semillas permanecen viables, pueden haber semillas que germinan, todavía, después de decenas o centenas de años; se da en semillas con una cubierta seminal dura como las leguminosas [9]. El caso más extremo de retención de viabilidad es el de las semillas de *Nelumbo nucifera* encontradas en Manchuria con una antigüedad de unos 250 a 400 años.

En el extremo opuesto tenemos las que no sobreviven más que algunos días o meses, como es el caso de las semillas de arce (*Acer*), sauces (*Salix*) y chopos (*Populus*) que pierden su viabilidad en unas semanas; o los olmos (*Ulmus*) que permanecen viables 6 meses. En general, la vida media de una semilla se sitúa entre 5 y 25 años.

Las semillas pierden su viabilidad por causas muy diversas. Podríamos pensar que mueren porque agotan sus reservas nutritivas, pero no es así, sino que conservan la mayor parte de las mismas cuando ya han perdido su capacidad germinativa.

Una semilla será más longeva cuanto menos activo sea su metabolismo. Esto, a su vez, origina una serie de productos tóxicos que al acumularse en las semillas produce a la larga efectos letales para el embrión. Para evitar la acumulación de esas sustancias bastará disminuir aún más su metabolismo, con lo cual habremos incrementado la longevidad de la semilla. Ralentizar el metabolismo puede conseguirse bajando la temperatura y/o deshidratando la

semilla. Las bajas temperaturas dan lugar a un metabolismo mucho más lento, por lo que las semillas conservadas en esas condiciones viven más tiempo que las conservadas a temperatura ambiente. La deshidratación, también alarga la vida de las semillas, más que si se conservan con su humedad normal. Pero la desecación tiene unos límites; por debajo del 2 % al 5 % en humedad se ve afectada el agua de constitución de la semilla, siendo perjudicial para la misma.

Existen algunos factores externos que pueden afectar la viabilidad de nuestras semillas y por tanto nuestro proceso de germinación, entre los cuales están:

- **Humedad:** La absorción de agua es el primer paso, y el más importante, que tiene lugar durante la germinación; porque para que la semilla recupere su metabolismo es necesaria la rehidratación de sus tejidos. La entrada de agua en el interior de la semilla se debe exclusivamente a una diferencia de potencial hídrico entre la semilla y el medio que le rodea. En condiciones normales, este potencial hídrico es menor en las semillas secas que en el medio exterior. Por ello, hasta que emerge la radícula, el agua llega al embrión a través de las paredes celulares de la cubierta seminal; siempre a favor de un gradiente de potencial hídrico. Aunque es necesaria el agua para la rehidratación de las semillas, un exceso de la misma actuaría desfavorablemente para la germinación, pues dificultaría la llegada de oxígeno al embrión.
- **Temperatura:** La temperatura es un factor decisivo en el proceso de la germinación, ya que influye sobre las enzimas que regulan la velocidad de las reacciones bioquímicas que ocurren en la semilla después de la rehidratación. La actividad de cada enzima tiene lugar entre un máximo y un mínimo de temperatura, existiendo un óptimo intermedio. Del mismo modo, en el proceso de germinación pueden establecerse unos límites similares. Por ello, las semillas sólo germinan dentro de un cierto margen de temperatura. Si la temperatura es muy alta o muy baja, la germinación no tiene lugar, aunque las demás condiciones sean favorables. La temperatura mínima sería aquella por debajo de la cual la germinación no se produce, y la máxima aquella por encima de la cual se anula igualmente el proceso. La temperatura óptima, intermedia entre ambas, puede definirse como la más adecuada para conseguir el mayor porcentaje de germinación en el menor tiempo posible. Las temperaturas compatibles con la germinación varían mucho de unas especies a otras. Sus límites suelen ser muy estrechos en semillas de especies adaptadas a hábitats muy concretos, y más amplios en semillas de especies de amplia distribución. Las semillas de especies tropicales suelen germinar mejor a temperaturas elevadas, superiores a 25 °C. Las máximas temperaturas están entre 40 °C y 50 °C (*Cucumis sativus*, pepino, 48 °C). Sin embargo, las semillas de las especies de las zonas frías germinan mejor a temperaturas bajas, entre 5 °C y 15 °C. Ejemplo de ello son *Fagus sylvatica* (haya), *Trifolium repens* (trébol), y las especies alpinas, que pueden germinar a 0 °C. En la región mediterránea, las temperaturas más adecuadas para la germinación son entre 15 °C y 20 °C. Por otra parte, se sabe que la alternancia de las temperaturas entre el día-noche actúan positivamente sobre las etapas de la germinación. Por lo que el óptimo térmico de la fase de germinación y el de la fase de crecimiento no tienen porque coincidir. Así, unas temperaturas estimularían la fase de germinación y otras la fase de crecimiento.

- Gases: La mayor parte de las semillas requieren para su germinación un medio suficientemente aireado que permita una adecuada disponibilidad de O_2 y CO_2 . De esta forma el embrión obtiene la energía imprescindible para mantener sus actividades metabólicas. La mayoría de las semillas germinan bien en atmósfera normal con 21 % de O_2 y un 0.03 % de CO_2 . Sin embargo, existen algunas semillas que aumentan su porcentaje de germinación al disminuir el contenido por debajo del 20 %. Los casos mejor conocidos son: *Typha latifolia* (espadaña) y *Cynodon dactylon* (grama), que germinan mejor en presencia de un 8 % de O_2 . Se trata de especies que viven en medios acuáticos o encharcados, donde la concentración de este gas es baja. El efecto del CO_2 es el contrario del O_2 , es decir, las semillas no pueden germinar si se aumenta la concentración de CO_2 . Para que la germinación tenga éxito, el O_2 disuelto en el agua de imbibición debe poder llegar hasta el embrión. A veces, algunos elementos presentes en la cubierta seminal como compuestos fenólicos, capas de mucílago, macrosclereidas, etc. pueden obstaculizar la germinación de la semilla por que reducen la difusión del O_2 desde el exterior hacia el embrión. Además, hay que tener en cuenta que, la cantidad de O_2 que llega al embrión disminuye a medida que aumenta disponibilidad de agua en la semilla. A todo lo anterior hay que añadir que la temperatura modifica la solubilidad del O_2 en el agua que absorbe la semilla, siendo menor la solubilidad a medida que aumenta la temperatura.

Otro factor que es de suma importancia considerar es el cambio climático que hemos experimentado en estos años y que evidentemente continuaremos experimentando, ya que tiene una afectación directa en la agricultura.

El cambio climático, que se está produciendo en un período de creciente demanda de alimentos, semillas, fibra y combustible, podría dañar irreversiblemente la base de recursos naturales de la que depende la agricultura. La relación entre el cambio climático y la agricultura es un camino bidireccional: la agricultura contribuye al cambio climático de varias formas importantes y el cambio climático en general afecta negativamente a la agricultura.

En las regiones de latitudes medias o altas, los aumentos locales moderados de temperatura pueden tener pequeños efectos beneficiosos en el rendimiento de las cosechas; en las regiones de latitudes bajas, esos ascensos moderados de la temperatura probablemente incidan negativamente en el rendimiento. Algunos de los efectos negativos son visibles ya en muchas partes del mundo. Un calentamiento adicional repercutirá cada vez más negativamente en todas las regiones. La penuria de agua y los períodos en que hay disponibilidad de agua limitarán cada vez más las producciones. El cambio climático requerirá una nueva visión del almacenamiento de agua a fin de hacer frente a los impactos de precipitaciones mayores y más extremas, mayores variaciones intra e interestacionales y tasas más elevadas de evapotranspiración en todos los tipos de ecosistemas. 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 todas las regiones por lo que respecta a la producción forestal y de alimentos y a la seguridad alimentaria. Existe un riesgo serio de conflictos futuros por tierras habitables y recursos naturales tales como el agua dulce. El cambio climático está afectando a 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.

Es menester adoptar un enfoque general con un marco regulatorio equitativo, responsabilidades diferenciadas y metas intermedias para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Cuanto antes se reduzcan las emisiones, y cuanto más radical sea esa reducción, más rápido se acercarán las concentraciones a la estabilización. Las medidas de reducción de las emisiones son, a todas luces, esenciales porque pueden surtir efecto debido a la inercia en el sistema climático. Sin embargo, dado que es inevitable que se produzcan nuevos cambios en el clima, la adaptación resulta también imprescindible. Las medidas tendientes a afrontar el cambio climático y fomentar el desarrollo sostenible comparten algunas metas importantes, como el acceso equitativo a los recursos y a las tecnologías adecuadas.

Se han determinado ya algunas medidas de atenuación doblemente beneficiosas que comprenden enfoques de utilización de la tierra, por ejemplo, tasas inferiores de expansión agrícola en los hábitats naturales, la forestación, la reforestación, la intensificación de los esfuerzos por evitar la deforestación, la agrosilvicultura, los sistemas agroecológicos y el restablecimiento de tierras y praderas infrautilizadas o empobrecidas, así como opciones de utilización de la tierra como el secuestro de carbono en terrenos agrícolas, la reducción y un uso más eficiente de los insumos nitrogenados, la gestión eficaz de los abonos y el uso de piensos que aumenten la eficiencia digestiva del ganado. Las opciones normativas relacionadas con la reglamentación y las posibilidades de inversión comprenden incentivos financieros para mantener y aumentar las zonas forestales mediante una reducción de la deforestación y la degradación, así como una mejor gestión y un mayor desarrollo y utilización de fuentes de energía renovables.

La viabilidad de un lote de semillas, se refiere a la capacidad de las semillas de germinar y de originar plántulas normales en condiciones favorables. Para poder evaluar la viabilidad de las semillas, existen diferentes tipos de pruebas, entre los que podemos destacar: ensayos de germinación, test del tetrazolio y radiografía con rayos X [10].

Ensayos de germinación: Cuando estemos en presencia de una semilla viable, ésta germinará cuando se le ponga en condiciones adecuadas de humedad, luz y temperatura. Por ello es aceptado que la capacidad germinativa de un lote de semillas sea un reflejo directo de su viabilidad.

Para llevar a cabo este tipo de ensayo, se colocan las semillas sobre papel fieltro el cual se humedece con agua destilada, se colocan en cajas petri o bandejas, se introducen a una cámara de germinación donde se puede controlar la temperatura e iluminación. La emergencia de la radícula es el criterio que se utiliza para determinar si una semilla ha germinado.

Ensayo topográfico al tetrazolio: Este ensayo es especialmente utilizado para conocer la viabilidad de semillas que presentan dormición, o que tienen una velocidad de germinación muy baja. Este ensayo presenta ventajas de que puede ser realizado rápidamente y no requiere de un equipamiento muy sofisticado. Esta metodología ha sido utilizada en numerosas especies de plantas.

Este ensayo se basa en que una vez los diferentes tejidos de la semilla se hidratan, en el embrión se activan rutas metabólicas en las que muchas de las reacciones químicas empleadas son reacciones de oxidación. En este tipo de reacciones se liberan electrones capaces de reducir a ciertas sustancias químicas. Este hecho puede ser utilizado para estimar la actividad metabólica de los tejidos embrionarios y de aquí estimar su viabilidad.

Entre las sustancias más frecuentemente usadas para determinar la actividad metabólica, tenemos las sales de tetrazolio. Las soluciones de estas sales son incoloras, pero cuando estas se reducen se transforman en trifenilformazán, una sustancia que es estable, no difundible y

de color rojo intenso.

Al poner en contacto una semilla viable con una solución de tetrazolio, los electrones liberados en el embrión, reducirán a las sales de tetrazolio, con lo que estos adquirirán un color rojo intenso, si la semilla no es viable, el embrión no cambiará de color.

Radiografía con rayos X: Es un ensayo eficiente y no destructivo que se suele emplear para evaluar la viabilidad de semillas de especies forestales. Tiene el inconveniente de que es necesario un equipamiento costoso para su realización.

En las radiografías podemos ver la diferencia entre semillas con embriones y semillas sin embriones, así como ver si en las que tienen embrión éste presenta alguna malformación o algún tipo de daño.

2.4. Métodos invasivos y no invasivos

Los métodos convencionales en química analítica y biología molecular son muy importantes para estudiar los procesos químicos de las semillas, pero estos regularmente son destructivos. Un método invasivo es aquel en el cual por medio de alguna herramienta mecánica o proceso químico se ve afectada la estructura de nuestro sistema. Sin embargo, los recientes avances en técnicas no invasivas nos da la capacidad de estudiar los cambios metabólicos de los organismos, aunque en ocasiones no tenemos el mismo nivel de detalle que en técnicas invasivas.

El uso de técnicas no invasivas para determinar la viabilidad de semillas, nos permite evaluar colecciones amplias de semillas sin que éstas reciban algún daño. Un método no invasivo que recién se utiliza para determinar la viabilidad de semillas es la termografía infrarroja de la cual hablaremos en el siguiente capítulo.

Capítulo 3

Termografía

3.1. Historia de la Termografía infrarroja

El inicio de la termografía se le atribuye al astrónomo alemán Sir William Herschel, en 1800, él realizaba experimentos con la luz solar. Herschel descubrió la radiación infrarroja mediante un experimento en el cual hacía pasar la luz solar a través de un prisma y medía la temperatura en los distintos colores obtenidos con un termómetro de mercurio. Se dio cuenta de que la temperatura se incrementaba cuando movía el termómetro más allá de la zona que correspondía a la luz roja en una zona que denotó como calor negro. Esta región es la región del espectro electromagnético que hoy conocemos como calor infrarrojo y que sabemos se trata de una radiación electromagnética [11].

Dos décadas más tarde, el físico alemán Thomas Seebeck descubrió el efecto termoeléctrico. Esto condujo a la invención del termomultiplicador, el cual es una versión temprana del termopar por el físico italiano Leopoldo Nobili en 1829. Este dispositivo se basa en la premisa de que la diferencia de tensión entre dos metales distintos cambia con la temperatura. El compañero de Nobili, Macedonio Melloni, mejoró el termomultiplicador creando una termopila y concentró la radiación térmica sobre ésta de tal manera que pudo detectar el calor de los cuerpos a una distancia mayor.

En el año de 1880, el astrónomo americano Samuel Langley, utilizó el bolómetro para detectar el calor corporal de una vaca desde una distancia de 304 m. El bolómetro mide el cambio de resistencia eléctrica en función de la variación de la temperatura. El hijo de Sir William Herschel, Sir John Herschel, consiguió la primera imagen infrarroja en 1840 utilizando un dispositivo llamado evaporígrafo. Esta imagen era resultado de la evaporación diferencial de una película fina de aceite que se observaba mediante el reflejo de la luz en la película de aceite

Las cámaras termográficas son dispositivos que detectan patrones térmicos en el espectro de la longitud de onda infrarroja sin tener que entrar en contacto directo con el objeto a medir. Las primeras versiones de estas cámaras eran conocidas como detectores fotoconductores. Entre los años de 1916-1918, el inventor americano Theodore Case experimentó con detectores fotoconductores para producir una señal a través de la interacción directa con fotones en vez de calor. Como resultado de esto obtuvo un detector fotoconductor más rápido y sensible.

Durante la década de los cuarenta y cincuenta, la tecnología termográfica avanzó para cumplir con los requisitos de un número creciente de aplicaciones militares. Sin embargo en

la década de los sesenta, la termografía comenzó a ser utilizada en aplicaciones no militares. Aunque los primeros sistemas para esta técnica. eran aparatosos, lentos y de baja resolución, se utilizaron en aplicaciones industriales, como inspeccionar grandes sistemas de transmisión y distribución eléctrica. El continuo avance en aplicaciones militares dio lugar a los primeros sistemas portátiles, los cuales podían usarse en el diagnóstico de edificios y comprobaciones no destructivas de materiales.

En esta década, los sistemas termográficos eran resistentes y fiables, pero la calidad de las imágenes era muy inferior a la de las cámaras termográficas actuales. A principios de los años ochenta, la termografía era muy utilizada de forma generalizada con fines médicos. Los sistemas termográficos se calibraban para producir imágenes radiométricas completas, de tal forma que se pudiera medir la temperatura en cualquier zona de la imagen.

Actualmente, a pesar de ser una técnica poco difundida debido al costo de los equipos, es una técnica bastante utilizada en evaluación no destructiva (END). Este éxito está principalmente relacionado con la gran superficie que puede abarcar y la velocidad con la que podemos obtener imágenes.

Las cámaras actuales, contienen detectores cuyo conjunto es denominado FPA (Focal Plane Array, lo que quiere decir arreglo de plano focal). El número de detectores define el tamaño de las imágenes, medidas en número de píxeles. Existen dos tipos de detectores: los detectores cuánticos, generalmente refrigerados, y los microbolómetros, no refrigerados.

3.2. Termografía Infrarroja

La termografía es una técnica no destructiva con la que con ayuda de una cámara termográfica podemos medir la temperatura de una superficie dada, y así, localizar con precisión la ganancia o pérdida de energía [11].

Con esta técnica podemos estudiar las propiedades energéticas o los niveles de aislamiento de un objeto a analizar. Es utilizada como una herramienta de diagnóstico en sectores como la industria energética, la arquitectura, la ingeniería y la medicina.

Otro sector donde la termografía es de utilidad es la agricultura, ya que los métodos convencionales de viabilidad en la mayoría de los casos son invasivos y destructivos. Así, las técnicas no destructivas para la evaluación de semillas, incluyendo la diferenciación de semillas saludables de semillas infértiles, están incrementando su demanda en la industria.

El ensayo de termografía constituye una situación mucho más compleja a lo que muchos se imaginan. Esta complejidad se debe a varios factores, entre ellos: la naturaleza física misma de la medición por la cámara, la complejidad del objeto observado, la existencia de transferencia de calor entre nuestro sistema a observar y el medio ambiente, y la existencia de otras posibles fuentes de calor. Podemos decir entonces que la medición termográfica consiste en tres factores de suma importancia, los cuales son: i) el operador, con su sistema para realizar la termografía, ii) el sistema observado y iii) el medio ambiente. la naturaleza de estos tres factores es térmica e implica los tres modos de transferencia de calor.

Cualquiera que sea el tipo de detector que nuestra cámara tenga, ésta genera una señal relacionada a la energía radiativa recibida, si consideramos el sistema observado totalmente aislado del medio ambiente, esta energía depende de la temperatura superficial. En el caso más general esta dependencia puede ser una función complicada de la longitud de onda, la

temperatura y la dirección en la cual enfocamos.

Generalmente consideramos que se puede definir una emisividad media independiente de la longitud de onda. En este caso, se hace la calibración con un cuerpo negro y se aplica la emisividad idónea.

En realidad, el sistema observado no puede ser considerado como el único objeto responsable del flujo de fotones captado por la lente. Hay fotones emitidos por los otros objetos que constituyen el medio ambiente, esto incluyendo al operador.

Una de las condiciones para que la medición sea únicamente relacionada a la temperatura del objeto observado es que la temperatura de nuestro objeto observado sea mucho más alta que la del medio ambiente. En este caso, y teniendo una emisividad no demasiado baja, el flujo reflejado por el objeto puede considerarse insignificante.

Estas reflexiones son válidas para mediciones absolutas de temperatura. No obstante, hay que notar que, en la mayoría de las aplicaciones, no se necesitan mediciones absolutas, más bien se necesitan mediciones relativas entre dos estados. En tal caso, se puede considerar la temperatura del medio ambiente como constante, haciendo que la variación en el flujo recibido por la cámara sea únicamente debido a la variación en la temperatura del objeto termografiado.

La termografía activa es una forma de inspeccionar un material provocando un flujo de calor con una estimulación externa. Un defecto interno puede alterar ese flujo, produciendo una distribución anómala de la temperatura.

Existen diferentes técnicas en termografía activa en función de cómo se realiza el calentamiento o enfriamiento, TIR pulsada y TIR lock-in. [12]

La TIR pulsada (Pulsed Thermography) consiste en aplicar un pulso corto de calor sobre el objeto (de 3 ms a 2 s dependiendo del material) y grabar el enfriamiento del objeto. El frente térmico aplicado se propaga en el material y cuando encuentra un defecto, la difusión se reduce produciendo una diferencia de temperatura en ese punto. De esta manera, los defectos más profundos aparecerán más tarde y con menor diferencia de temperatura. La TIR pulsada es usada, por ejemplo, en la inspección de componentes estructurales de aviones, control de calidad de soldadura por puntos, álabes de turbina, detección de descolados, delaminaciones, grietas o corrosión.

La TIR lock-in está basada en la generación de ondas de calor dentro del objeto inspeccionado (por ejemplo, depositando periódicamente calor en el cuerpo por medio de una lámpara modulada) y monitorizando de forma sincronizada el campo de temperaturas oscilante obtenido mediante una PC o un amplificador lock-in. Por transformación de Fourier se obtienen las imágenes de fase y amplitud de la temperatura. Las imágenes fase están menos afectadas por inhomogeneidades del calentamiento y de la emisividad, y son más sensibles en profundidad que otras técnicas de TIR. Sin embargo, requiere como mínimo la observación de un ciclo de modulación y cada ensayo es realizado para una frecuencia estudiando una profundidad cada vez, lo que aumenta el tiempo de inspección.

La TIR pasiva se refiere a aquellos casos en los que no se usa ninguna estimulación de calentamiento o enfriamiento externo para provocar un flujo de calor en el cuerpo inspeccionado. El objeto estudiado produce un patrón de temperaturas típico por el hecho de estar involucrado en un proceso (industrial) que produce calor. Unos pocos grados de diferencia respecto a la temperatura normal de trabajo (referencia) del objeto muestra un comportamiento inusual. La TIR es capaz de capturar esta información de temperatura en tiempo real

desde una distancia segura sin ninguna interacción con el objeto.

La TIR pasiva se usa, por ejemplo, para la monitorización del producto en procesos de fabricación, monitorización de procesos de soldadura o comprobación de la eficiencia de los discos de freno de automóviles. También puede ser usada en mantenimiento predictivo, como en rodamientos, turbinas y compresores, instalaciones eléctricas, tuberías enterradas o fugas de gas. Existen otras muchas aplicaciones no industriales como son las de tipo medicinal en detección de cáncer de pecho o desordenes vasculares, detección de fuegos, detección de objetivos (militar) o localización de pérdidas de calor y humedades en edificios.

Algunas de las razones del porqué la termografía es útil son las siguientes [13]:

- Es una medida que se hace en tiempo real, esto quiere decir que se puede medir mientras se visualiza en la cámara. Si el objeto cambia, la cámara muestra el cambio inmediatamente.
- No es invasiva, como ya se mencionó anteriormente, es una técnica que no necesita contacto directo. Esto es beneficioso tanto para el objeto como para el usuario, ya que en caso de mediciones eléctricas lo mantiene alejado del peligro. Al ser no invasiva, no se afecta al cuerpo que se quiere medir, ya que lo único que interesa es la radiación que sale.
- Es bidimensional, esto quiere decir, que se puede medir la temperatura en dos distintos puntos del objeto en el mismo instante.
- Es multidisciplinaria, las imágenes aparte de informarnos sobre temperatura, nos informan sobre patrones térmicos, anomalías y más características de nuestro sistema.

Por estas características la termografía ha extendido su campo de aplicación a áreas tan diversas como medicina, veterinaria, electricidad, edificación, procesos industriales, sistemas de seguridad y muchas otras disciplinas.

Debido al interés agrícola en esta técnica y la demanda del maíz en nuestro país, decidimos abordar el análisis no invasivo de las semillas de maíz [14]. En el siguiente capítulo presentaremos la parte experimental de nuestro trabajo.

Capítulo 4

Metodología

En este capítulo hablaremos de como llevamos a cabo el experimento, así como los instrumentos y materiales que utilizamos para hacer las mediciones correspondientes.

4.1. Envejecimiento acelerado

Utilizamos semillas de maíz dulce de la marca Hortaflor Fig. 4.1. Las semillas de nuestros sobres y seleccionamos las que tuvieran forma y tamaño similar. Esto para disminuir el error sobre las masas de las mismas. Separamos cuatro grupos de semillas, cada uno contaba con diez.



Figura 4.1: Semillas marca hortaflor.

El primer grupo fue el grupo control, los otros tres grupos recibieron tratamiento térmico en un horno (Fig. 4.2), los tratamientos que se les dio a cada grupo fueron los siguientes: Dejamos el primer grupo en un horno a 40°C por un periodo de 4 h. El segundo grupo se dejó en el horno a 50°C por un periodo de 2 h 47 min. El tercer grupo se dejó en el horno a 60°C por un periodo de 2h 05 min.



Figura 4.2: Horno en el cual se llevaron a cabo los tratamientos térmicos.

El tiempo del primer grupo fue fijado a 4 horas, a partir de ahí calculamos el tiempo del segundo y tercer grupo, pesamos las masas de los tres grupos en una balanza analítica Fig. 4.3 para de esta manera poder calcular el cambio en la energía interna que le estábamos dando a nuestro primer grupo con la siguiente fórmula:

$$E = c_p M \Delta T t,$$

donde c_p es el coeficiente de calor específico el cual en nuestro caso se tomó como una constante, M es el promedio de las masas de nuestras semillas, ΔT el cambio de temperatura que sufren en el horno de temperatura ambiente a la temperatura del tratamiento. En este caso la temperatura ambiente fue tomada como 22°C en los tres casos y t el tiempo que son dejadas en el horno.



Figura 4.3: Balanza en la cual medimos las masas

Como resultado obtuvimos que el cambio en la energía interna era de $E = 1,950925Jh$.

Igualamos el cambio en la energía en los tres casos y de ahí despejamos el tiempo, el cambio en la energía debe ser el mismo para nosotros poder comparar el tipo de daño que recibe por el cambio de temperatura.

Como último paso pusimos una semilla en el horno a $60^{\circ} C$ por un periodo de 14 horas. Esto con la finalidad de que esta semilla nos sirviera como referencia en la siguiente parte del experimento.

Estos grupos de semillas al igual que la semilla de referencia fueron dejados en cajas petri en una habitación que mantiene la temperatura ambiental aproximadamente constante a $22^{\circ} C$ con una humedad de entre 30 % y 40 % (ver Fig. 4.4).



Figura 4.4: Grupos de semillas con los diferentes tratamientos

4.2. Imágenes térmicas

Una vez teniendo las semillas envejecidas procedimos a hacer el cálculo de las emisividades que cada grupo de semillas tenía. Para hacer esto utilizamos una cámara termográfica Testo-875 (ver Fig. 4.5). La cual está fijada sobre una mesa óptica para facilitar la captura de las fotografías.



Figura 4.5: Arreglo de la cámara para la captura fácil de las fotografías.

Determinamos la emisividad de la semilla de referencia usando la cámara. Para esto, fue

necesario hacer una calibración con la temperatura que nos da la cámara y la que realmente tiene nuestro objeto, con ayuda de un termómetro de contacto esto fue posible. Moviendo los valores de emisividad que la cámara nos permitía, llegamos a que en un valor de 30° C nuestra semilla referencia tiene una emisividad de 0.98 (ver Fig. 4.6).



Figura 4.6: Procedimiento para realizar la calibración térmica

Posteriormente se procedió a hacer un programa de Matlab, el cual tiene como función pasar una determinada área de la imagen a una matriz. Ya teniéndolo en forma de matriz le asigna un valor a cada pixel. Las fotos fueron tomadas en escala de grises directamente de la cámara para evitar algún tipo de tratamiento por parte de otro programa externo. Esto con la finalidad de que nuestro programa de Matlab asignara un valor entre 0 y 255 que en escala de grises corresponden al negro y blanco respectivamente, quedando en los valores intermedios las tonalidades de grises entre estos dos colores.

Ya con los valores asignados en la matriz se hace la suma sobre todos los pixeles o entradas y se saca un promedio, este promedio nos da el valor en la intensidad en el área seleccionada.

Para determinar si nuestra calibración y nuestro programa funcionaban de manera correcta tomamos una fotografía y procedimos a hacer el análisis en nuestro programa. Para esto calculamos la intensidad de nuestra semilla de referencia y la comparamos con la de una peltier a la misma temperatura pero de emisividad un poco mayor, hicimos la siguiente división para obtener el valor de la emisividad:

$$\epsilon = \frac{I_{semilla}}{I_{referencia}},$$

la cual nos arrojó un resultado para la emisividad de la semilla de 0.9874, lo cual, como se puede apreciar es muy cercano al 0.98 que había mostrado la cámara.

Como vimos la cámara y el programa de Matlab muestran emisividades muy similares. Gracias a esto y debido a las dificultades que se presentan al obtener la emisividad dada por

la cámara, con esa comparación de la referencia podemos confiar en los datos arrojados por el programa.

Los cuatro grupos de semillas serían llevados al mismo procedimiento de comparación con la semilla referencia. Para esto necesitábamos llevar los cuatro grupos a una temperatura en la cual hubiera un contraste al tomar las fotos, pero no causáramos algún otro tipo de daño. Se eligió la temperatura de 30° C como punto de comparación ya que a esta temperatura la semilla de maíz todavía están en condiciones para su germinación. Para elevarlas a 30°C se metieron en cajas petri en una incubadora Fig. 4.7.



Figura 4.7: Incubadora en la cual elevamos la temperatura de nuestras semillas a 30° C

Se dejaban ahí por periodos de una hora que es aproximadamente el tiempo que tardan en alcanzar la temperatura deseada. En cuanto salían de la incubadora se tomaban las fotos para evitar que la temperatura variara mucho, en principio tomábamos las fotos de una en una con la referencia, pero después notamos que la variación era significativa así que comenzamos a tomar las fotos de las 10 muestras con la referencia y así hacer la comparación.

Ya con nuestros datos sacamos el promedio de los valores de la emisividad, los cuales serán presentados en el siguiente capítulo.

4.3. Análisis de los cambios en la morfología

Después de tener las emisividades procedimos a analizar si las semillas recibían cambios en su morfología, para esto utilizamos un microscopio Fig. 4.8. Las semillas se sometieron a un tratamiento de alcohol con agua destilada en proporción de 50 % por 10 min. Esto con la finalidad de que nuestras semillas estuvieran más suaves y pudiéramos realizarles cortes transversales de manera sencilla, ya que en el estado en el que estaban, principalmente las que recibieron tratamiento de 60° C prácticamente se pulverizaban.



Figura 4.8: Microscopio en el cual se analizaron las muestras

Buscamos tener los cortes más finos posibles con ayuda de un bisturí Fig. 4.12, ya que nos permitía tener más rango de visión al cortar la semilla, a nuestras muestras les agregamos fluoresceína para poder acentuar las partes del endospermo que fue donde comenzamos a notar los cambios.



Figura 4.9: Muestras cortadas de semillas con distintos tratamientos

La fluoresceína es una sustancia pulverulenta, de color amarillo rojizo. Es insoluble en agua y soluble en aguas alcalinas y alcohol. Su sal sódica, soluble en agua, es conocida como uranina. Esta sal es ampliamente utilizada como marcador fluorescente en diversos ensayos químicos y biológicos, debido a que exhibe fluorescencia.

4.4. Germinación

Para poder observar si nuestro estudio en cuanto a la emisividad y a los cambios en la morfología era acertado, era necesario germinar las semillas. Para esto las colocamos en agua en vasos de precipitado por 4 h para que recuperaran humedad.



Figura 4.10: Semillas sumergidas en agua en vasos de precipitado.

Transcurridas las 4 h procedimos a ponerlas en cajas petri envueltas en papel humedecido para dejarlas germinar.



Figura 4.11: Semillas en caja petri envueltas en papel.

Finalmente, les pusimos una protección de papel parafilm con pequeñas incisiones para permitir el paso del aire y proteger de la humedad del exterior.



Figura 4.12: Cajas petri con papel parafilm.

En el siguiente capítulo mostraremos y discutiremos los resultados de nuestro experimento.

Capítulo 5

Resultados y discusiones

Como objetivo principal teníamos el medir la emisividad de las semillas de maíz cuando éstas reciben diferentes tratamientos térmicos, así podíamos simular los daños que las condiciones en la temperatura del medio ambiente podían ocasionar. Las siguientes imágenes fueron tomadas a los 4 grupos a una temperatura de 30 °C Fig. 5.1:

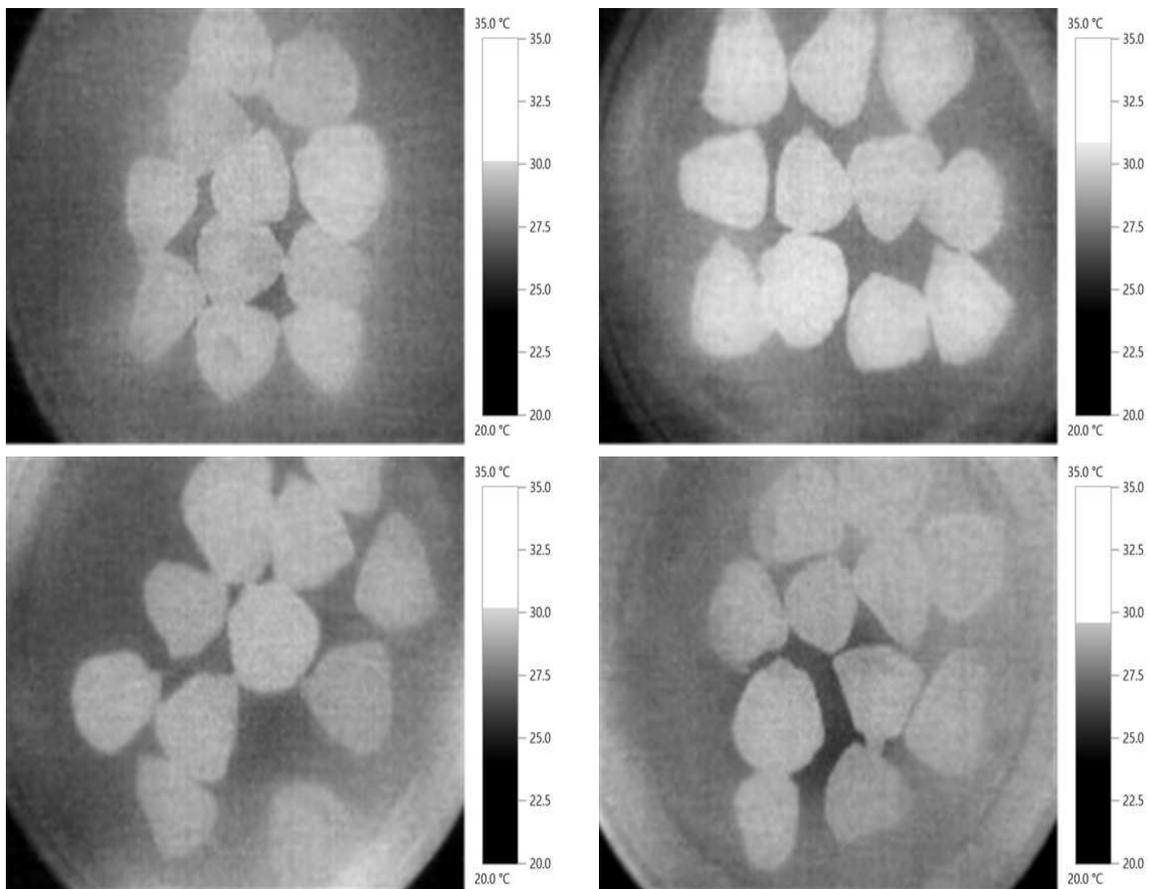


Figura 5.1: Imágenes térmicas

La temperatura ambiente en estas mediciones oscilaba entre 21.8°C a 22°C. Este dato es necesario para fijarlo en la cámara como temperatura reflejada. La escala se mantuvo

constante en nuestras fotos para de esta manera obtener el contraste más parecido en todas las imágenes. Otro factor a tener en cuenta es el enfriamiento de las semillas por lo que se retiraban del horno e inmediatamente se tomaba la fotografía, esto para evitar las variaciones en la temperatura.

Ya con nuestras imágenes procedimos a hacer el análisis en nuestro programa de Matlab para obtener las emisividades y sacar los respectivos promedios. Primero hicimos el cálculo de la intensidad que cada semilla tenía, se procuró cortar secciones cuadradas similares en tamaño para obtener el promedio de intensidad de nuestras imágenes en la escala de grises.

Una vez con el valor de intensidades de cada semilla en las imágenes procedimos a hacer el cálculo de las emisividades, utilizando la siguiente fórmula:

$$\epsilon_{semilla} = \frac{I_{semilla}}{I_{referencia}}$$

Multiplicamos el valor que nos daban estas emisividades por 0.98, ya que, si alguna semilla alcanzaba el valor de emisividad de nuestra referencia, la división anterior nos daría 1, que es la emisividad de un cuerpo negro, y como sabemos no sería posible alcanzarla.

Es de destacar que en nuestras imágenes la semilla con la emisividad más alta es la referencia y por tanto es la que aparece más brillante entre todas.

Los resultados que obtuvo nuestro programa de Matlab son los mostrados en la Tabla. 5.1.

Tipo de tratamiento	ϵ
Control	0,890 \pm 0,024
40°C	0,905 \pm 0,026
50°C	0,918 \pm 0,029
60°C	0,929 \pm 0,0257

Tabla 5.1: Emisividad de semillas control y diferentes tratamientos a 30° C.

Como podemos observar en la tabla la emisividad promedio de nuestros grupos fue creciendo y aproximándose al valor de emisividad de nuestra referencia, que es lo que se suponía en un principio, ya que la referencia fue tomada de manera de que a cualquier semilla que le aplicáramos el tratamiento de 60° C por 14 horas tuviera el valor de emisividad de 0.98.

En el rango de emisividades que trabajamos, se muestra un comportamiento que se ajusta a una línea recta, como se puede ver en la Fig. 5.2. Es evidente que una vez que nos vallamos acercando a 1.0 el valor no puede seguir creciendo como una recta y tendrá algún otro tipo de comportamiento, por lo tanto, habría que aplicar más tratamientos para analizar dicho comportamiento.

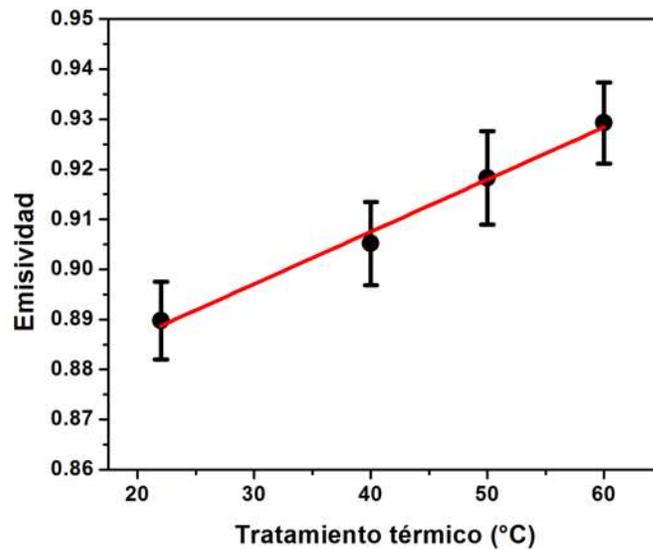


Figura 5.2: Grafica de emisividad vs temperatura de tratamiento

Como se mencionó en la metodología, al principio las fotografías se tomaban de una en una para hacer la comparación con la referencia, dejamos de hacer esto pues había más variación en la temperatura entre semilla y semilla. En la Fig. 5.3 se puede apreciar la diferencia entre una semilla viva y la que recibió el tratamiento a 60 °C. Subimos a los 35 °C aproximadamente para tener un contraste mayor respecto a la temperatura ambiente, y por tanto aumentamos también la escala de nuestra foto.

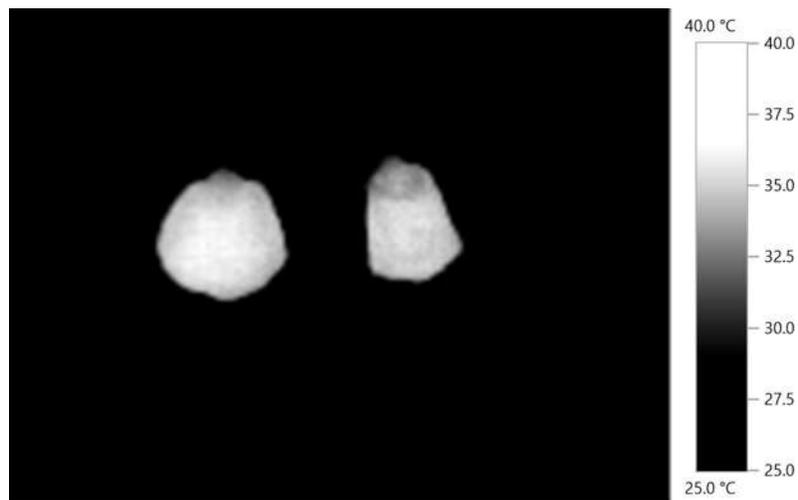


Figura 5.3: Semilla control lado derecho y semilla tratada a 60° C lado izquierdo

Las diferencias son notorias en la imagen, la semilla referencia quedó completamente muerta, sin embargo en la otra podemos apreciar claramente el embrión, que es de donde emergerá nuestra radícula. Esto es de suma importancia pues a simple vista las semillas parecen iguales, pero bajo la cámara podemos apreciar sus diferencias. Después de analizar

nuestras semillas con la cámara procedimos a hacer la observación con el microscópio que mostramos a continuación:

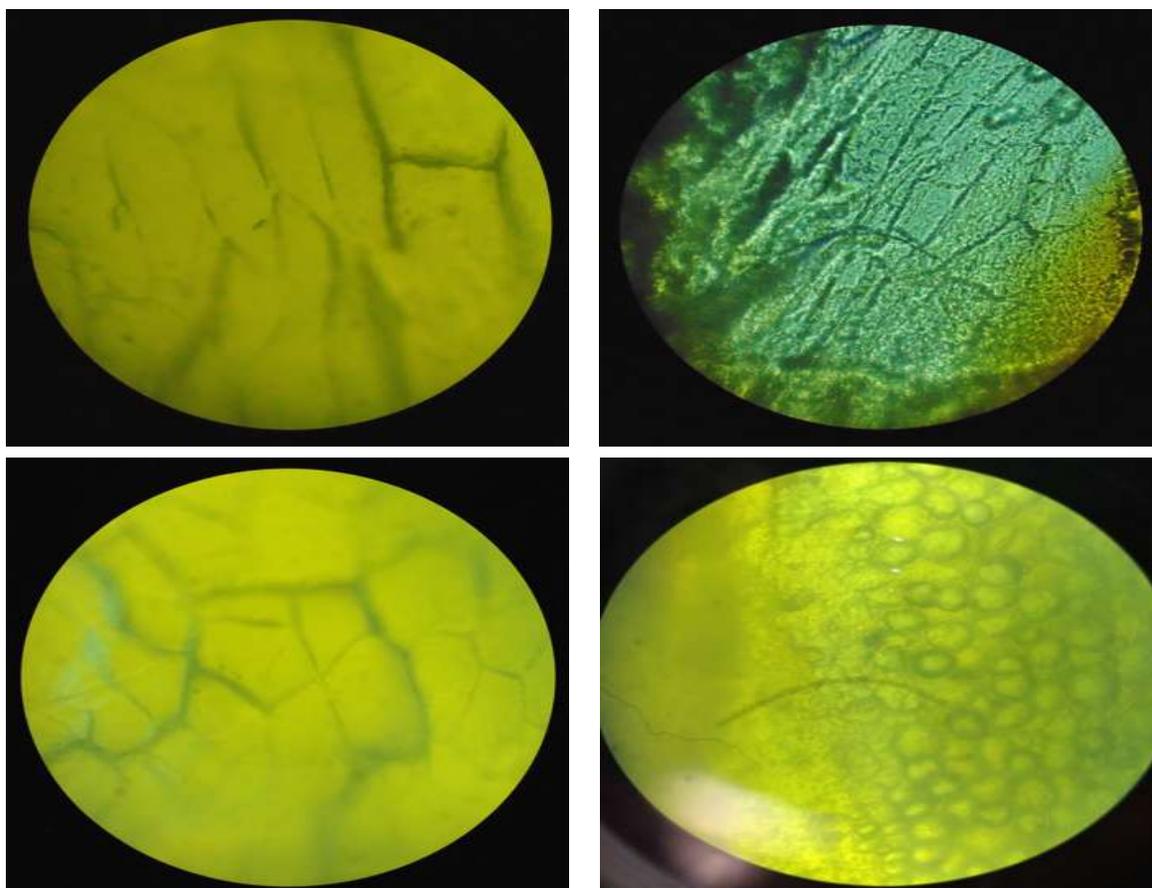


Figura 5.4: Imágenes en el microscópio de semillas con diferentes tratamientos

Como se puede apreciar en las fotos la morfología de las semillas se vió afectada por el tratamiento, la razón de buscar que el cambio en la energía fuera el mismo fue para tener un punto de comparación en el cual distintas temperaturas afectaban a nuestras semillas. El desgaste fue en las tres dimensiones, el endospermo cambio su estructura de manera drástica conforme el tratamiento iba subiendo de temperatura, en las semillas que recibieron tratamiento inclusive enfocar era complicado pues el daño estaba en diferentes niveles de altura. Estos cambios en la morfología son el principal factor que hace que nuestra emisividad cambie dentro de los grupos, ya que si bien tenemos que en las fotos no podemos apreciar los cambios moleculares que sufrieron nuestras semillas, en el microscopio si fue notorio el cambio. Pasadas 72 horas de haber dejado germinando nuestras semillas, los resultados fueron alentadores a nuestra investigación, pues como era de esperarse mientras más cambio en la temperatura sufre en la semilla, más difícil es hacer que esta germine. Esto no quiere decir que las semillas pierdan totalmente la viabilidad, pero al menos podemos ver que en el mismo periodo de tiempo, las semillas que reciben tratamiento térmico no germinan al ritmo que las semillas control.

En las siguientes imágenes se muestran nuestras semillas germinadas:



Figura 5.5: Semillas en proceso de germinación pasadas 72 h con diferentes tratamientos térmicos

Siete días después de poner a germinar, la gráfica del número de semillas germinadas quedó de la siguiente manera:

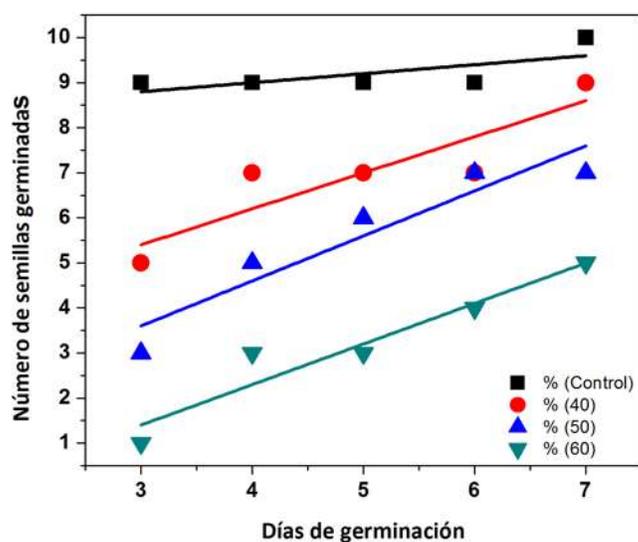


Figura 5.6: Número de semillas germinadas vs Días de germinación

Como podemos apreciar el número de semillas germinadas, bajo dependiendo el tratamiento al cual fueron sometidas.

Posteriormente hicimos una gráfica de tasa de germinación, la cual matemáticamente es definida como:

$$T_g = \frac{ns}{1d} + \dots + \frac{ns}{id}$$

Donde T_g es la tasa de germinación, ns es el número de semillas que germinaron el correspondiente día, i va desde 1 hasta el último día de germinación.

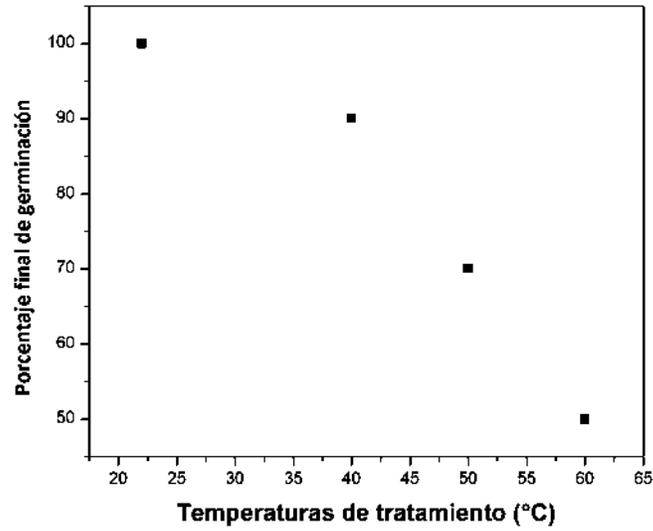


Figura 5.7: Capacidad germinativa vs temperatura de tratamiento

Como podemos apreciar, en la Fig. 5.7 mientras mayor es la emisividad, menor es la tasa de germinación, lo cual, evidentemente nos relaciona el tratamiento térmico que dimos a las semillas con la tasa de germinación. Si nos fijamos ahora en la Fig. 5.8 podemos apreciar que mientras nuestra temperatura de tratamiento aumenta, la capacidad germinativa de las semillas disminuye. La capacidad germinativa es el porcentaje máximo de semillas que germinaron de un grupo.

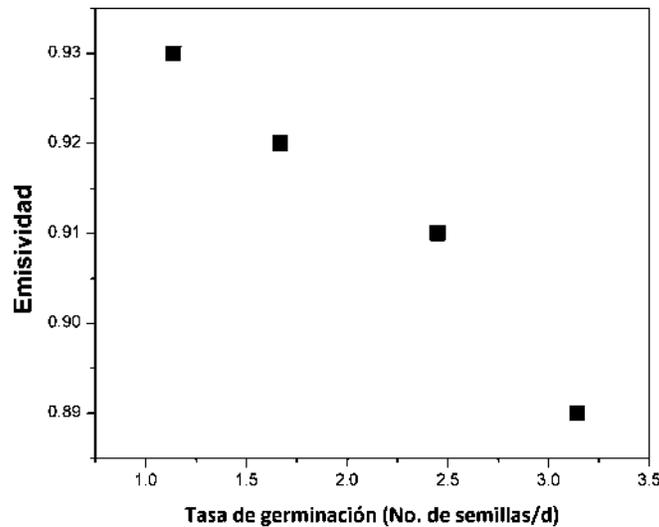


Figura 5.8: Emisividad vs tasa de germinación

De estas dos imágenes podemos observar que mientras mayor es la emisividad de un grupo

de semillas, menor porcentaje de éste grupo germinará.

Conclusiones

En este trabajo de tesis, abordamos el estudio de la viabilidad del maíz y de algunos factores perjudiciales para ésta, al igual buscamos las condiciones más favorables para su germinación y crecimiento. Con la propuesta de simular el cambio climático y como éste afectaba a nuestras semillas, las sometimos a un tratamiento térmico a distintas temperaturas en el cual a simple vista los cambios fueron mínimos, en alguna que otra semilla se percibía cierta pérdida de humedad. Sin embargo, estos cambios no eran suficientes para poder determinar si la semilla sería viable o no en un futuro.

Utilizamos la técnica de termografía de manera pasiva para analizar nuestras semillas tanto tratadas como no tratadas y así poder determinar su emisividad y como ésta cambiaba dependiendo el tratamiento que se le había dado. A pesar de que el cambio en la energía que le dimos a nuestras semillas fue el mismo, el daño a nivel molecular debido a la temperatura fue significativamente diferente, sin embargo, esto no es perceptible de manera sencilla. Con la cámara termográfica pudimos ver cambios que se presentan comparando una semilla que estuvo 14 horas en el horno a 60° C que evidentemente estaba seca.

Como mencionamos en la metodología, con la cámara pudimos determinar la emisividad de la semilla referencia que fue la que utilizamos como comparación para las otras semillas. Analizando los resultados pudimos observar que la emisividad creció tendiendo hacia la emisividad de nuestra semilla referencia, lo cual confirmó nuestra suposición.

Para analizar los cambios que a simple vista no eran apreciables utilizamos el microscopio en el cual pudimos notar que los daños eran significativos en la forma tanto así como para afectar en los cambios a nuestra emisividad, ya que ésta depende de la forma que tenga la superficie que estamos analizando, la zona afectada fue el endospermo, el cual, en su mayoría es agua, por tanto el cambio de forma en nuestra semilla se debe a la pérdida de humedad.

Como comprobación de todas estas hipótesis, germinamos las semillas, observamos que el porcentaje de germinación fue disminuyendo según el tratamiento iba creciendo. Esto era de esperarse pues mientras la emisividad se aproxima a 1,0, más decrece la posibilidad de que la semilla germine. Esto es un dato importante pues en base a esto podemos determinar con el solo valor de la emisividad si una semilla será viable o no, sin embargo esto no quiere decir que la semilla no germinará. Solo podemos decir que no germinará con la misma eficacia que una semilla con menor emisividad apegada al valor de nuestras semillas control.

Así bajo estos tratamientos nos pudimos dar cuenta de cómo las semillas realmente son afectadas por cambios de temperatura. Esto por un corto periodo de tiempo, sin embargo con los cambios climáticos que se presentarán en el futuro podrían llegar a afectar de manera muy agresiva nuestras semillas y perjudicar directamente a los agricultores. La temperatura más alta registrada en México es de 55° C de tal manera que nuestro estudio no estuvo

tan alejado de la realidad. Si aplicamos estas temperaturas por un periodo de tiempo más prolongado las semillas sin remedio alguno quedarán completamente secas.

En un futuro planeamos poder determinar la emisividad de las plantas solamente con el uso de la cámara para así poder clasificarlas según su viabilidad. Además mediante un tratamiento intentaremos rejuvenecer las semillas para que éstas recuperen su viabilidad y así poder disminuir los problemas con los cambios climáticos.

Bibliografía

- [1] M. ZEMANSKY (1965). McGraw-Hill, Heat and thermodynamics. An intermediate textbook, United States of America. p. 72-99.
- [2] J. INZUNZA (2002). Física: Introducción a la mecánica. Chile.
- [3] R. SIEGEL (1972). McGraw-Hill, Thermal radiation heat transfer. United States of America.
- [4] S. M. STEWART (2017). Blackbody radiation. A history of thermal radiation computational aids and numerical methods. United States of America.
- [5] M. A. ASTURIAS (2004). Maíz, de alimento sagrado a negocio del hambre. Acción Ecológica. Red por una América latina libre de transgénicos. Quito, Ecuador.
- [6] P. JORDANO (1988). Polinización y variabilidad de la producción de semillas en *Pistacia lentiscus* L. (Anacardiaceae). *Anales Jará. Bot. Madrid* 45(1): 213-231.
- [7] T. D. HONG & R. H. ELLIS (1996). A Protocol to Determine Seed Storage Behaviour. IPGRI Technical Bulletin No. 1. (J.M.M. Engels y J. Toll, eds.), International Plant Genetic Resources Institute, Roma.
- [8] J. M. IRIONDO & C. PÉREZ (1999). Propagation from seeds and seed conservation. En: *Plant Conservation and Propagation* (B.G. Bowes, ed.), Manson Publishing, Londre.
- [9] MAPA (1992). Manual para la Evaluación de Plántulas en Análisis de Germinación. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.
- [10] MAPA (1984) Manual de Métodos de Ensayos de Vigor. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.
- [11] G. GAUSSORGUES (1994). Infrared thermography. France
- [12] O. BREITENSTEIN W. WARTA (2003) Lock-in thermography. Basics and use for evaluating electronic devices and materials. Germany.
- [13] X. MALDAGUE (1988). Nondestructive evaluation of materials by infrared thermography. London, England.
- [14] S. DUTTA GUPTA(2015). Plant image analysis. United States of America.