

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

INFLUENCIA DE LAS DISPERSIONES DE NANOTUBOS DE CARBONO MULTIPARED (NTCMP) Y CARBONO ACTIVADO (C.A) EN LA DIFUSIÓN DE AGUA EN EL PROCESO DE GERMINACIÓN DE LAS SEMILLAS DE MAÍZ DULCE.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN INGENIERÍA QUÍMICA

SUSTENTA:

EMMANUEL REYES FRANCIS.

ASESORA TITULAR RESPONSABLE EXTERNA:

DRA. NABANITA DASGUPTA SCHUBERT.

ASESOR TITULAR INTERNO:

DR. JAVIER LARA ROMERO.

MORELIA, MICH. MAYO DE 2016.

Agradecimientos:

“Vení, vidi, vici”, lo que acuñó el César, lo tengo presente en cada uno de los objetivos que me propongo.

Este trabajo es un pequeño gran paso para la ciencia alrededor del mundo, y un enorme paso para mí. Agradezco el apoyo de CONACYT en la presente investigación, de la mano del Dr. Luis Manuel Villaseñor Cendejas, con quien laboré como asistente de investigador, y a mi asesora líder, la Dra. Nabanita Dasgupta Schubert, mi mentora y la coordinadora de este proyecto, junto a su equipo de trabajo: el Dr. Salomón Borja y el Dr. Pablo Genaro Martínez Torres, a quienes les agradezco infinitamente su apoyo, en general a todo el equipo del Instituto de Físico Matemáticas, muy especialmente a la Mtra. María Elena Cervantes Martínez.

Asimismo, la valiosa colaboración del Instituto de Químico Biológicas, con la M. C. Lorena Carreto Montoya y el Dr. Santos. También agradezco el apoyo fundamental de mi asesor interno dentro de la facultad, el Dr. Javier Lara Romero y colaboradores del Posgrado de Ingeniería Química, de la Universidad.

Además, agradezco profundamente a todo el personal académico y parte del administrativo de la Facultad de Ingeniería Química, mi alma mater, la cual llevo siempre en mi corazón. Muy especialmente a la M. C. Aída Béjar Ubaldo y al Dr. Jaime Espino Valencia, quienes se han convertido en parte de mi vida.

Gracias totales, Dra. Nabanita, Dr. Schubert. Vamos por la siguiente etapa de una nueva vida.

Emmanuel

Resumen:

El estudio del efecto de la interacción de los nanotubos de carbono (NTC) en plantas es relativamente reciente. Los primeros antecedentes de estas investigaciones nacen a principios del siglo XXI cuando, en 2009, la Dra. Mariya Khodakouskaya, reportó que los nanotubos de carbono multipared (NTCMP), son capaces de penetrar la testa de la semilla de jitomate y mejorar sustancialmente los índices de su crecimiento vegetal.

A partir de los resultados de dicha investigación, se han formulado un gran número de estudios respecto a la interacción de los NTCMP con plantas celulares, incluyendo los realizados por el grupo liderado por la Dra. Nabanita Dasgupta Schubert, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (Tiwari, 2013). En dichos estudios se ha demostrado que el aumento del crecimiento de las plantas por la interacción con NTCMP depende de varios factores, tales como el tipo de NTCMP (es decir, si es prístino, o bien, si está funcionalizado), su concentración en el medio y su pureza, principalmente; sin embargo, nuestros estudios buscan considerar otras variables que pudieran afectar la interacción de la planta con los NTCMP, tales como la incidencia de la luz o la variación de la temperatura.

Por medio de los estudios mencionados, se sabe que a bajas concentraciones, los NTCMP benefician la germinación de las plantas; sin embargo, a concentraciones mayores, éstas se contaminan, volviéndose tóxicas y perjudiciales para sí mismas. Incluso si llegaran a sobrevivir, serían mortales para el consumo de animales y humanos.

Se sabe que los NTCMP prístinos y altamente puros producen un mayor impacto en el crecimiento de plantas y que pueden entrar a los tejidos de las mismas a través de sus raíces, pero existen dudas de que puedan penetrar la corteza de las semillas en la fase de germinación. Por tales razones, la presente investigación busca determinar el efecto de los NTCMP en la primera etapa del desarrollo de las semillas de maíz dulce, es decir, la fase de imbibición. Se trabaja también con el Carbono Activado (C.A.) como una microestructura que permite determinar la difusión del agua dentro del embrión de la planta cuando ésta interacciona con el medio, y si se da exclusivamente por la testa.

Otra cuestión importante e interesante es precisar si el efecto de la interacción de los NTCMP con la planta se mantendrá cuando éstos se le retiren del medio de crecimiento. En otras palabras: ¿la planta tendrá “memoria” de su encuentro con los NTCMP durante el resto de su vida? ¿O simplemente crecerá siempre y cuando los NTCMP estén presentes en el medio? El presente trabajo trata de expresar estos postulados por medio de estudios de interacción entre las semillas de maíz dulce con diferentes tipos de NTCMP y C.A. durante las tres etapas de desarrollo de la planta: la imbibición, la germinación y finalmente el crecimiento.

**Palabras clave: Nanotubos de carbono, carbono activado, germinado, maíz dulce, nanotecnología.*

Abstract:

Recent work has demonstrated the efficacy of carbon nanotubes (CNT) for plant growth especially during the early stages (< 7 days) of development. Pristine CNTs (p-CNTs) apparently show the greatest relative effect (Villagarcia et al, 2012; Khodakouskaya et al, 2009; Tiwari et al, 2014). Improved water transport to the seed has been suggested as the driver of the growth mechanism (ibid.). The importance of water relations to the plant is paramount in the stages of imbibition and germination. In this work we examine the sensitivity of the < 7 day old seedling to growth in the presence of factory-synthesized, quality-controlled multi-walled p-CNTs (p-MWCNTs) of two grades of purity 95% and 99% and the influence (including the synergy) of the physicochemical properties of the substrate (agarose and bactoagar), such as the density, property of water channeling and the nutrient content. We examine the imbibition stage separately, using 4 types of carbon allotropes of different properties and morphologies, 95% and 99% p-MWCNTs, 97% carboxylic acid functionalized MWCNT (ca-MWCNT) and > 99% activated carbon (AC), dispersed in de-ionized (DI) water. A simple method of infrared thermography (IRT) was developed to observe seed water content and concomitantly, seed surface modification, non-destructively. Infrared Thermography and analysis: IRT was performed with a previously calibrated 7.5-14um IR camera Testo® 870-2 such that the background emissivity of the sample stage was fixed as 0.97. The coloured digital image was converted to grey scale by Mathematica 8.0, a central representative rectangular area of the seed's image chosen and the grey pixel matrix summed to produce a measure of the emissivity of the seed's surface as a function of the time of imbibition. The question of whether the CNT is able to penetrate the testa is still an open one with conflicting report. The highest purity MWCNT (99%) and a medium with greater degree of channelization in general elicited the bigger seedling growth response.

Tabla de contenidos:

1. Objetivos Generales	8
2. Objetivos específicos	8
3. Introducción	9
a. Nanotecnología y Nanociencia, el nacimiento de una nueva revolución tecnológica.	9
i. La revolución tecnológica al servicio de la humanidad; el antes del mundo nano.	9
ii. El nacimiento de la Nanociencia y la Nanotecnología.	10
iii. Ventajas competitivas y aplicaciones.	11
b. Problemática actual: el crecimiento de la población aventaja al crecimiento de su producción alimenticia.	13
i. El uso de la tecnología.	15
4. Marco teórico	16
a. Nanomateriales hechos de Carbono.	16
i. Introducción.	16
ii. Evolución.	16
b. Los Nanotubos de Carbono.	18
i. Introducción.	18
iii. Historia y evolución.	18
c. Propiedades de los NTC.	19
d. Estructura y clasificación de los NTC.	21
i. Nanotubos de Carbono de Pared Simple.	23
ii. Nanotubos de carbono de pared múltiple.	23
iii. Diferencias entre los Nanotubos de pared simple y los de pared múltiple.	24
e. La importancia de la semilla.	25
i. El desarrollo de la semilla: el proceso de germinación.	26
ii. Las semillas dormidas. El periodo de latencia.	26
iii. Etapas de la germinación.	28

iv.	Factores que afectan a la germinación.	29
f.	Importancia del agua en la germinación.	30
i.	Las semillas como sistemas con bajo contenido de agua.	30
ii.	La semilla de maíz y su importancia.	31
iii.	Clasificación taxonómica.	33
iv.	Estructura de la semilla de maíz.	34
v.	Composición química de la semilla de maíz.	38
vi.	Espectro electromagnético. La emisión infrarroja.	39
vii.	Bandas del espectro electromagnético.	40
g.	La termografía Infrarroja.	41
i.	Introducción.	41
ii.	Evolución.	42
iii.	Termograma.	43
iv.	Termografía activa.	43
v.	Termografía pasiva.	44
vi.	Principios fundamentales de la radiación infrarroja.	44
vii.	Ventajas y desventajas de la termografía infrarroja.	45
viii.	Aplicaciones de la termografía infrarroja.	45
ix.	Elementos de un sistema de termografía.	46
x.	La Cámara Termográfica.	46
xi.	Principios de transferencia de calor.	50
1.	Radiación.	51
2.	Emisividad.	52
3.	Absortividad.	53
4.	Reflectividad.	53
5.	Relación entre la absortividad, la reflectividad y la transmisividad.	54
h.	Sistemas para la medición de temperatura.	54

5. Etapa experimental	57
a. Interacción de las semillas de maíz con dispersiones acuosas de Nanotubos de Carbono Multiparedes (NTCMP) y C.A. durante las fases de crecimiento de plantas.	57
i. Reactivos.	57
ii. Nanotubos de Carbono Multipared, pureza >99%, Sigma Aldrich [®] : NTCMP-99%	58
iii. Carbón Activado, polvo Sigma Aldrich [®] : C.A	59
iv. Semillas de Maíz.	62
v. Medio: Control.	62
vi. Etapa Experimental.	64
vii. Metodología.	65
b. Reporte de resultados del experimento “Difusión de NTCMP a través de la corteza de la semilla de maíz”.	70
c. Reporte de la centrifugación de las dispersiones de NTCMP y C.A después de la interacción de las semillas de maíz con las dispersiones.	77
d. Proceso de Germinación de la semilla de maíz con la interacción de dispersiones de NTCMP y C.A.	79
e. Reporte de resultados de la cosecha de las plántulas de maíz dulce interactuadas con dispersiones de NTCMP y C.A.	87
f. Desarrollo tecnológico: influencia de la longitud de onda de luz a una intensidad constante en la interacción de los NTCMP y C.A. con las semillas de maíz durante el crecimiento.	98
g. Absorción del agua en las semillas de maíz por tratamiento con NTCMP Y C.A., en el periodo de imbibición de la germinación, con mediciones por método no destructivo de termografía infrarroja.	104
h. Difusión de agua en la semilla de maíz: Análisis con imágenes termográficas.	106
6. Conclusiones (resumen)	117
7. Bibliografía	127

1. Objetivos Generales:

- ✓ Demostrar a través de un método no destructivo, –en este caso, el análisis de radiación infrarroja por medio de imágenes térmicas– la influencia que tienen los Nanotubos de Carbono Multipared (NTCMP) en dispersiones acuosas: a bajas concentraciones, con distintos niveles de pureza y con, o sin, su funcionalización durante la etapa de imbibición del periodo de germinación.
- ✓ Comprobar a través de la evolución de masas frescas, masas secas y longitudes de plantas, el efecto de los NTCMP en el crecimiento de plántulas de maíz.

2. Objetivos específicos:

- ✓ Comprobar que los NTCMP favorecen el crecimiento de las plantas de maíz dulce, siempre y cuando éstos se encuentren a concentraciones muy bajas, cercanas a las 20 ppm.
- ✓ Comparar el efecto de las dispersiones acuosas hechas de NTCMP como fuentes nanoestructurales y los C.A. como fuentes microestructurales en las etapas de desarrollo de las plantas de maíz dulce: imbibición, germinación y crecimiento.
- ✓ Probar NTCMP prístinos con purzas de 95% y 99%, los cuales son insolubles en agua, y comparar sus efectos contra los NTCMP funcionalizados con el grupo carboxílico (-COOH), de una pureza de 97%, los cuales sí son solubles en agua.
- ✓ Precisar si las plantas influenciadas por los NTCMP son capaces de seguir desarrollándose favorablemente en sus índices de crecimiento cuando los NTCMP les sean retirados del medio de interacción.
- ✓ En este estudio validamos la interacción de los NTCMP en las etapas de la germinación de la semilla de maíz, añadiendo NTCMP (descritos en el apartado 5, Etapa Experimental, p. 58) que son –a diferencia de los importados por Sigma Aldrich®– hidrofílicos, por lo cual buscamos determinar el comportamiento de los NTCMP con la interacción en el agua, como un solvente polar.

3. Introducción

Nanotecnología y Nanociencia, el nacimiento de una nueva revolución tecnológica.

La revolución tecnológica al servicio de la humanidad; el antes del mundo nano.

El ser humano siempre ha buscado mejorar todos los aspectos de su vida y para ello trata de innovar, de implementar, de perfeccionar lo que ya está hecho para obtener mejores resultados de una manera cada vez más eficiente. Todos afirmamos que el hombre crea tecnología, ya sea para su propio beneficio o bien para el beneficio del entorno en el que vive, aunque tampoco sería tan descabellado pensar que la tecnología siempre haya estado ahí, esperando impacientemente la llegada de un ser revolucionario, uno que se atreviera a transformar el mundo que lo rodea. Un ser que ha vivido inmerso en una constante evolución, un antes y un después, un detonante que ha permitido el desarrollo de nuevas habilidades, conocimientos y mejoras en todos los aspectos de su vida.

Por ejemplo, en 1800 el mundo vivió la primera gran revolución tecnológica con la creación de la máquina de vapor. Este dispositivo, capaz de transformar la energía térmica en energía mecánica, detonó toda una Revolución Industrial. Por primera vez, las personas habían dejado la producción artesanal, para producir a gran escala y con ello, poder realizar comercio y beneficiarse del transporte, con inventos tales como el ferrocarril. Tiempo después, llegó una segunda revolución que “encendió” al mundo gracias al uso de la electricidad a través del transistor en estado sólido y los semiconductores. Mediante el uso de las computadoras y los microprocesadores, se desarrolló la tercera revolución tecnológica (en la que aún vivimos inmersos hoy en día), permitiendo tener grandes avances en distintos campos de la ciencia que en décadas anteriores eran un simple sueño: por ejemplo, un “teléfono inteligente”, de uso común hoy en día, es más poderoso que las computadoras que se utilizaron en el programa aeroespacial para enviar al hombre a la luna por primera vez.

Sin embargo, desde entonces (quizá desde el principio de los tiempos), el mundo sigue en constante cambio, en constante evolución. Nuevos problemas y nuevos desafíos han llegado al mundo actual y con ello la búsqueda de nuevas respuestas, cada vez más precisas y redituables; la búsqueda de una solución factible de todos estos desafíos ha permitido el nacimiento de una nueva revolución tecnológica, una revolución en la cual la ciencia ha puesto sus ojos literalmente, “hacia abajo”, en el nivel molecular, para la obtención de respuestas a todos sus problemas. Es decir, si todo está compuesto de materia ¿sería posible alterar su estructura, su composición, para perfeccionar lo conocido o bien crear algo nuevo? ¿Sería posible manipular la materia, átomo por átomo, a una escala nanométrica y con ello obtener nuevos y mejorados materiales?

Así fue como nació la nanotecnología, como una solución vanguardista y eficiente para los problemas actuales, y así como sucedió con la máquina de vapor, con la electricidad y las

computadoras, la nanotecnología ha detonado una nueva revolución tecnológica, una que permite superar a sus predecesoras, al ser la más grande de todos los tiempos, ya que abarca absolutamente todas las áreas de la vida humana; y cómo no habría de hacerlo, si todo lo vivo y también lo no vivo, está compuesto de átomos y moléculas, por lo que es potencialmente factible de ser modificado.

La nanotecnología parte de la idea de que la materia deja de tener las propiedades que conocemos a simple vista cuando la analizamos a nivel molecular. Si los átomos individualmente tienen propiedades distintas a las del material que forman en conjunto, y si éstos se pudieran manipular, combinar de otro modo, podrían mejorarse ciertos materiales, o bien crear nuevos. Esta idea se convirtió en el sueño de todos los investigadores: crear una “nanociencia” capaz de controlar la materia a nivel atómico para mejorar las propiedades conocidas, o bien encontrarles nuevos usos desarrollando nuevas alternativas y aplicaciones para el beneficio de la humanidad y el entorno que nos rodea. Así pues, la nanotecnología no se detendrá hasta llevarnos a un nuevo nivel, a un nuevo peldaño en nuestra escala evolutiva.

Hasta el momento hemos mencionado los términos nano, nanociencia y nanotecnología, definiendo sus potenciales aplicaciones y la llave que contienen para el futuro de la sociedad, pero ¿qué son? Pues bien, partimos del prefijo griego *nano* que quiere decir “enano”. Al usarlo en términos científicos, hablamos de una amplia gama de fenómenos cuyas dimensiones corresponden a la millonésima parte de un milímetro (1×10^{-9} m). Al hablar de objetos de estas magnitudes, sólo podemos referirnos a átomos y moléculas, un microuniverso regido por leyes distintas a las que estamos acostumbrados, siendo imperativa la necesidad de crear ciencia y tecnología que sean regidas por estas leyes y no las del universo que está por encima de nosotros, es decir, esta vez volteamos hacia “abajo”.

El nacimiento de la Nanociencia y la Nanotecnología

La nanociencia y la nanotecnología fueron creadas a partir del estudio de la investigación de los materiales que permiten estudiar fenómenos inéditos que ocurren a nivel atómico y molecular. Éstas dos son disciplinas relativamente recientes, definidas en la escala de longitud donde científicos e investigadores de múltiples campos, cada vez descubren más y más fascinantes fenómenos y aplicaciones, las cuales nos proveen herramientas para diseñar novedosos materiales, avances fundamentales en los campos de la física, la química, la biología molecular, la medicina, el medio ambiente y todo tipo de industria. Debido a su naturaleza, la nanotecnología se aplica en diferentes áreas con una gran versatilidad de usos. Gran cantidad de avances en nanotecnología basan sus estudios en el incremento de la calidad de vida y en cómo favorecer al medio ambiente. La manipulación de la materia a un nivel nano permite crear soluciones para los principales problemas ambientales, de salud, de construcción, energía, etc., posicionándola como una ciencia de inversión a largo plazo.

La nanociencia se define como el estudio de los fenómenos y la manipulación de materiales a escala nanométrica, mientras que la nanotecnología corresponde al diseño, caracterización y aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas complejos mediante el control de la forma, tamaño y propiedades de la materia a escala nanométrica.

El pilar fundamental de la nanotecnología y la nanociencia consiste en la búsqueda constante de la “metodología de trabajo” que desarrolla la madre naturaleza, o sea, todo lo que podríamos hacer si se pudieran construir objetos átomo por átomo y molécula por molécula. El solo hecho de pensar la infinita gama de posibilidades que existen hace de la nanotecnología y la nanociencia un vasto y activo campo de investigación, tanto en ciencia aplicada, como en competencias académicas y tecnológicas. La importancia de la nanotecnología radica en que en el mundo nanométrico, los materiales pueden adquirir o realizar propiedades diferentes a las que se tienen a escala macroscópica. Una propiedad general de los materiales es que cuando se llega a la nanoescala aparecen propiedades sorprendentes, de manera que cuando la materia es manipulada a una escala tan minúscula, los átomos y moléculas se reordenan. Dicho reordenamiento muestra fenómenos y propiedades totalmente nuevos, ya que muchas de las propiedades físicas oscilan con el tamaño de la materia, donde las leyes de la mecánica clásica dejan de aplicarse, entrando en su lugar las leyes de la mecánica cuántica.

Ventajas competitivas y aplicaciones.

El campo de la nanotecnología ofrece soluciones integrales con importantes aplicaciones a la ciencia y la tecnología. La nanotecnología busca la creación de nanomateriales con extraordinarias propiedades que permitan una revolución en los modelos en que los materiales y productos son producidos, siendo la investigación a nanoescala de interés para productos cerámicos, metalurgia, láminas delgadas, electrónica, dispositivos ópticos, catalizadores, almacenamiento de energía, biomedicina, entre otras.

En cuanto a las aplicaciones, es muy interesante analizar las ventajas del uso de los nanomateriales, por ejemplo:

➤ Son potencialmente factibles:

La tendencia del uso de la nanotecnología va a la alza. Desde el año 2000 se invirtieron a nivel mundial 430 millones de dólares y en tan sólo cinco años la inversión se había disparado a los 12,400 millones de dólares, debido a la confiabilidad que ofrecen los productos nanotecnológicos, contando con miles de productos reconocidos y creando cada vez más alrededor del mundo.

➤ Su campo de acción es universal:

Debido a su naturaleza, la nanotecnología se aplica en todas las áreas de la humanidad con una gran versatilidad de aplicaciones, ofreciendo resolver todo tipo de problemas que aquejan a la sociedad y el medio en el que se desenvuelve, por lo cual es muy sencillo encontrar alguna área que satisfaga gustos e intereses de cualquier rama de la sociedad.

➤ Aumento en la calidad de vida:

Los avances nanotecnológicos basan sus estudios en incrementar la calidad de vida de la sociedad y en favorecer el cuidado y protección del medio ambiente. La manipulación de la materia a este nivel nos permite crear soluciones integrales para los principales problemas del medio ambiente, de salud, construcción, energía, etc., colocando a la nanotecnología como la industria con mayor proyección tanto social como económica.

➤ Son redituables a futuro, a mediano y largo plazo:

Las oportunidades que abre a diario este novedoso campo de estudio, conllevan una constante evolución e innovación. La nanotecnología, al descubrir día con día nuevas formas de ser aplicada, lo que permite a los inversionistas e investigadores es financiar y desarrollar sus estudios respectivamente, con la firme creencia de que sus inversiones en la actualidad, darán frutos para el beneficio de la humanidad.

➤ Productos innovadores y múltiples beneficios:

Gracias a la naturaleza de la nanotecnología, las recientes aplicaciones y productos creados a partir de ella suelen tener soluciones innovadores a problemas no resueltos todavía, o bien, ofrecer mejores resultados con un nivel de precisión mucho mayor. Hablar de un producto hecho a base de nanotecnología es hablar de soluciones “inteligentes”.

➤ Crecimiento acelerado en beneficio de la humanidad:

Expertos en economía y negocios a nivel mundial han afirmado que las cifras alrededor del mundo en inversión por la nanotecnología, la creación de nuevos centros de investigación, planes de estudio, institutos, etc., son muestra del impulso que crece aceleradamente. En la actualidad son numerosos los “nanoproductos” que cada vez hacen más accesible la vida cotidiana.

Problemática actual: el crecimiento de la población aventaja al crecimiento de su producción alimenticia.

Según las proyecciones de la ONU, la población mundial aumentará en un 72% para el año 2050, por lo que se espera que la población mundial sea de 9100 millones de personas, un 34% superior a la de hoy en día. Prácticamente, la totalidad de este incremento de la población tendrá lugar en los países en vías de desarrollo. La urbanización continuará a un ritmo acelerado. Para alimentar a esta población tan numerosa, la producción de alimentos deberá aumentar un 70%, es decir, desde los 2100 millones de toneladas hasta los 3000 millones.

Viendo esta situación, nos tenemos que cuestionar la problemática que tendremos y cómo hacerle frente, es decir: ¿cómo lograr producir más alimento para una población que aumenta exponencialmente pero cuyos recursos son finitos? El principal problema que se plantea es si el aumento de la producción de alimentos y los recursos naturales disponibles serán suficientes para hacer frente a este crecimiento demográfico en forma sostenible hasta el año 2050, fecha en que se prevé una estabilización de la población mundial. La distribución de los recursos naturales necesarios para la producción agrícola no corresponde con la distribución geográfica de la población, y fenómenos como la migración descompensan aún más dicha distribución, provocando mayores dificultades.

La tasa de incremento de la población no es acompañada por un incremento similar de la producción de alimentos, lo cual genera un desbalance entre demanda y oferta que pone en riesgo la provisión futura. En el mundo se cultiva una diversa cantidad de especies vegetales comestibles que producen granos, sin embargo, la base la alimentación humana se sustenta solamente en pocas especies de cereales, que incluyen el trigo, el arroz y el maíz. Los cereales seguirán siendo con diferencia, la fuente de alimentos más importante del mundo, tanto para el consumo humano directo, como para la alimentación del ganado. De acuerdo con las proyecciones de crecimiento poblacional, para satisfacer la demanda de alimentos en 2030 deberemos producir aproximadamente un 50% más de estos cereales que los que se producen en la actualidad.

La tarea de producción que tiene ante sí la agricultura mundial es impresionante. Se espera que a partir del año 2030, se necesiten cada año mil millones de toneladas más de cereales. En los países en desarrollo la demanda de cereales ha crecido con mucha mayor rapidez que su producción. En los próximos años, es probable que aumente esta demanda dependiendo de las importaciones. Por lo tanto, los países en desarrollo se harán cada vez más dependientes de las importaciones de cereales, hasta que puedan producir casi tres veces más de lo que importan en la actualidad.

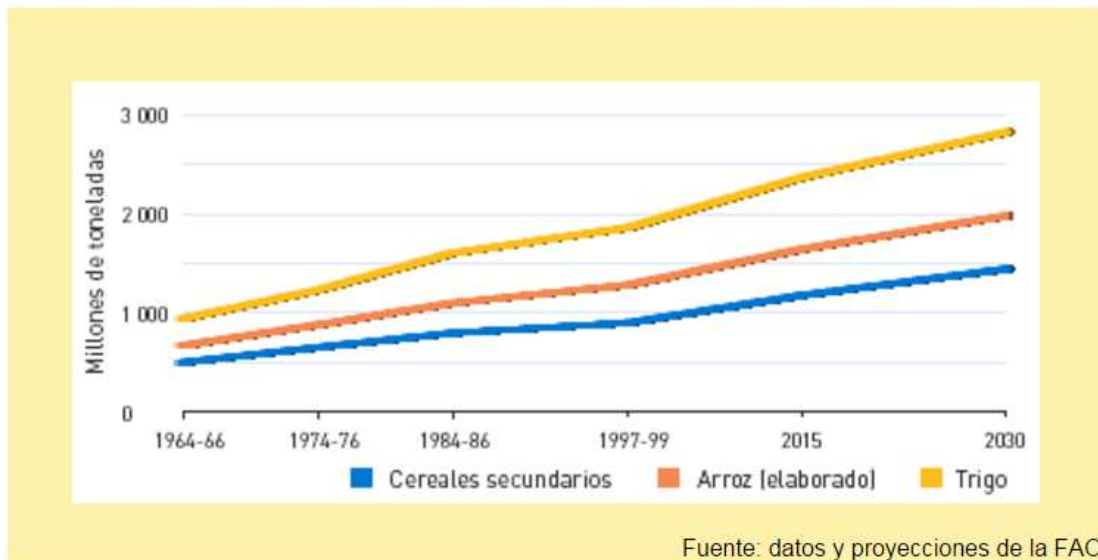


Figura 1. Demanda mundial de cereales de 1965 a 2030.

Para poder alimentar a una población que crece a un ritmo similar al actual, se estima que en los próximos 40 años se debe de producir una cantidad similar de alimentos a los producidos en los últimos 12,000 años, esta producción debe lograrse ante el cambio climático, la escasez de tierras, agua y combustibles fósiles. Es por esto que la investigación en la industria de semillas ha cumplido y seguirá cumpliendo con el reto de incrementar la producción agrícola para alimentar a la población en crecimiento.

Ahora bien, no sólo el aumento de la población mundial será un desafío, la creciente demanda energética hará uso de cereales como el maíz, debido a que se buscarán fuentes de energía para reemplazar a las basadas en componentes orgánicos como el petróleo, gas natural, carbón, etc., y así dar lugar al uso de energía obtenida a partir de recursos renovables como los cultivos, los denominados biocombustibles. En otras palabras, el uso del área agrícola repartirá su territorio entre los biocombustibles y la producción de alimentos.

La investigación entonces pone sus ojos en los cereales como respuesta a la problemática. La importancia de las semillas es algo que nadie discute. Son reconocidas como el insumo básico y más importante para todos los cultivos. Además, son el insumo más económico, ya que todos los otros elementos, agua, fertilizantes, pesticidas, herbicidas, maquinaria de obra, etc., son mucho más costosos. Y como mencionamos previamente, la población crece, mas no así el planeta que habitamos, los recursos son finitos; buscar nuevas alternativas para sembrar o mejorar las actuales, es el desafío de la investigación científica.

El uso de la tecnología

Para abatir el problema se necesita el uso de la tecnología, así de simple. Alcanzar zonas con escasez de tierra o agua, problemas de suelo y climas especiales –que en su mayoría son zonas habitadas por una alta concentración de personas con bajos recursos– es el desafío de la tecnología, buscando mejorar la seguridad alimentaria.

La producción agrícola podría probablemente satisfacer la demanda esperada en el período hasta 2030, incluso sin avances importantes en biotecnología moderna. Sin embargo, las nuevas técnicas de análisis molecular pueden proporcionar un impulso a la productividad que será bienvenido, especialmente en zonas con dificultades específicas, y de este modo mejorar los ingresos de las personas con bajos recursos de la misma manera que ocurrió con la revolución verde en grandes zonas de Asia entre los años sesenta y ochenta.

Para el siglo XXI, se necesita una segunda revolución doblemente verde en tecnología agrícola. Los incrementos de la productividad siguen siendo vitales pero tienen que combinarse con la protección o restauración medioambientales, mientras que las nuevas tecnologías tienen que ser asequibles para los pobres y desnutridos y deben estar dirigidas a satisfacer sus necesidades.

La biotecnología promete ser un medio para mejorar la seguridad alimentaria y reducir las presiones sobre el medio ambiente, siempre que se aborden los peligros medioambientales observados de la propia biotecnología. Las variedades modificadas genéticamente (resistentes a la sequía, anegamiento, acidez del suelo, salinidad y temperaturas extremas) podrían ayudar a conseguir un cultivo sostenible en zonas marginales y a recuperar tierras empobrecidas para la producción. Las variedades resistentes a los insectos dañinos pueden reducir la necesidad de utilizar plaguicidas.

Sin embargo, el uso general de variedades modificadas genéticamente dependerá de la capacidad de abordar, o no, de manera adecuada preocupaciones en cuanto a la inocuidad de los alimentos y el medio ambiente. De hecho, la difusión de estas variedades, al menos en los países desarrollados, en los últimos años se ha reducido en cierta medida, como consecuencia de estas preocupaciones, que deben abordarse por medio de un aumento de ensayos y protocolos de inocuidad mejorados, para que el progreso en este sentido pueda reanudarse.

Entretanto, han surgido otras tecnologías prometedoras que combinan el incremento de la producción con una mayor protección medioambiental. Éstas incluyen la agricultura sin labranza o de conservación y los enfoques de menos insumos de la gestión de plagas o de nutrientes integrada, así como la agricultura orgánica.

4. Marco teórico

Nanomateriales hechos de Carbono.

Introducción.

El carbono es elemento químico más estudiado, y con justa razón, ya que resulta fundamental en la producción de energía y la conservación del medio ambiente, además de que sus compuestos forman parte de numerosos materiales de gran importancia en nuestra vida cotidiana. Simplemente el carbono es un elemento peculiar. Es más común quizá encontrarlo en forma de sólido negro (*coke* o grafito) pero también se puede presentar como el cristalino y duro diamante, en donde los átomos de carbono están en un arreglo muy especial que se consigue bajo presiones muy altas. En el grafito por el contrario, los átomos de carbono forman capas en las que cada átomo está rodeado por otros tres átomos idénticos, formando estructuras hexagonales, las cuales pueden deslizarse entre sí, dando un material blando. Estas estructuras son formas alotrópicas constituidas a partir de los mismos bloques (átomos de carbono).

No es frecuente que existan materiales con características muy distintas formados por el mismo elemento químico, sin embargo, en el carbono es totalmente posible, razón por la cual la investigación científica se ha dedicado a buscar diversas formas de carbono con propiedades simplemente sorprendentes, y cómo usarlas para el beneficio de la vida. Recientemente el carbono irrumpió de nuevo en el mundo de los materiales con el descubrimiento del fullereno y de cómo se puede combinar la investigación con las aplicaciones prácticas, al manipular los fullerenos para formar nanotubos de aplicación industrial, por sus magníficas propiedades.

Evolución.

Desde los 70's se tenía conocimiento de compuestos intercalares hechos grafito, los cuales constaban de láminas muy finas y podían ser superconductoras entre capas de otros materiales. Paulatinamente, se estudiaron de forma intensiva polímeros como el poliacetileno, que puede considerarse una cadena muy larga de átomos de carbono, con algunos enlaces saturados de hidrógeno. En los 80's se descubrió el fullereno, una molécula de sesenta átomos de carbono (C_{60}). Las esferas de fullereno tienen un diámetro de 6 a 10 veces mayor que el diámetro de un átomo típico. Son bastante estables, soportando tanto temperaturas altísimas (muy cercanas a los $1000^{\circ}C$) o bien muy bajas, en donde simplemente se subliman sin destrucción de las esferas que los componen, permitiendo el crecimiento de cristales y de películas finas. En los 90's, con los postulados de los fullerenos bien definidos, se descubrieron los Nanotubos de Carbono –láminas muy finas de grafito enrolladas en forma de tubo– y a partir de sus constantes estudios, se demostró que podían aislarse y manipularse láminas con espesores de cada vez menos átomos.

Históricamente, los nanotubos de carbono se sintetizaron y estudiaron entre los años de 1952 a 1989 pero no fueron reconocidos sino hasta 1991, año en que Sumio Iijima, un ingeniero japonés de la empresa NEC, describió su estructura al reconocer los nanotubos encontrando la disposición concéntrica en las hojas de grafeno, su disposición helicoidal y quiralidad. Desde entonces, se han estudiado ampliamente, al mostrar importantes efectos cuánticos debido a su estructura casi dimensional.

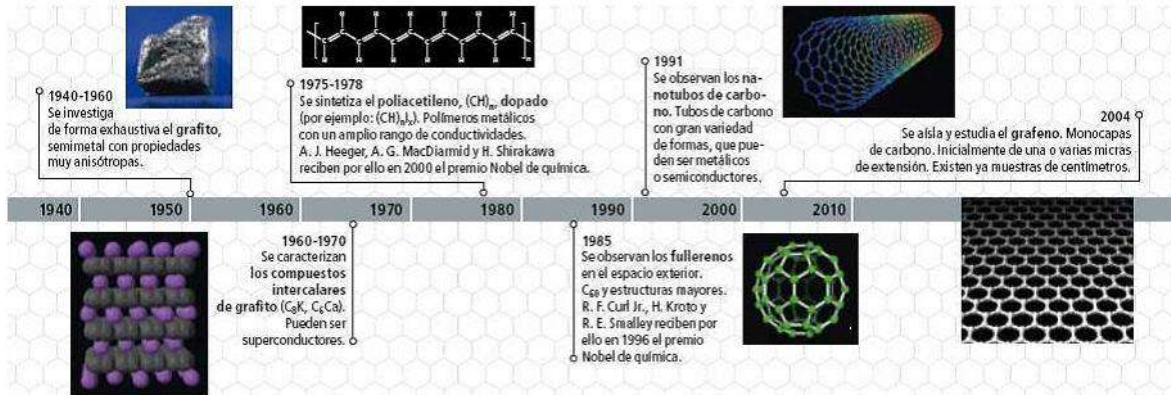


Figura 2. Formas y propiedades del carbono.

El carbono puede formar distintos tipos de alótopos con hibridaciones sp^2 o sp^3 . Así, grafito (3D), grafeno (2D), nanotubos de Carbono (CNT's 1D) y fullerenos (0D) presentan hibridación sp^2 , mientras que la hibridación sp^3 la presenta el diamante (3D), siendo el éste y el grafito las dos formas cristalinas naturales del carbono puro.

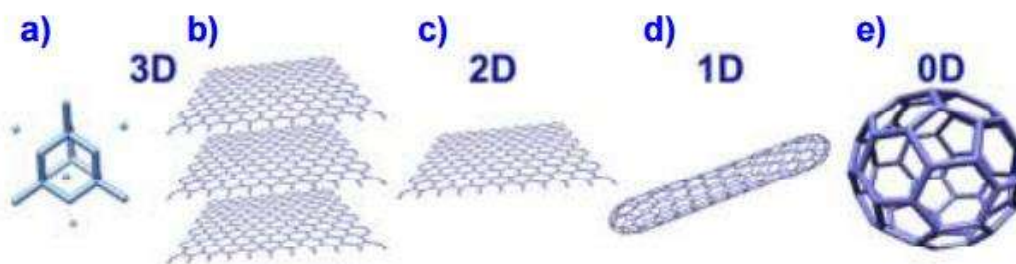


Figura 3. Alótopos de carbono: a) diamante, b) grafito, c) grafeno, d) nanotubo de carbono y e) fullereno.

Los Nanotubos de Carbono.

Introducción.

Los nanotubos de carbono (Carbon Nanotubes, CNT) son alótropos de carbono que se asemejan a un cable cuántico unidimensional (1D), tienen una estructura tubular hecha de capas de átomos de carbono (láminas gráficas) enrolladas entre sí (Iijima, 1991, p.56) con un radio de unos pocos nanómetros (de 3 hasta 30 nm) y una longitud de orden de los micrómetros (Saifuddin, Raziah & Junizah, 2013; Balasubramanian & Burghard, 2005; Kumar & Ando, 2010), pudiendo llegar hasta los 20 cm de longitud.

Las paredes de los nanotubos de carbono se componen de una red hexagonal, análoga a la de los planos atómicos del grafito, cuya punta en sus extremos puede ser abierta o cerrada por una tapa semiesférica con forma de fullereno (Harris, 2003).

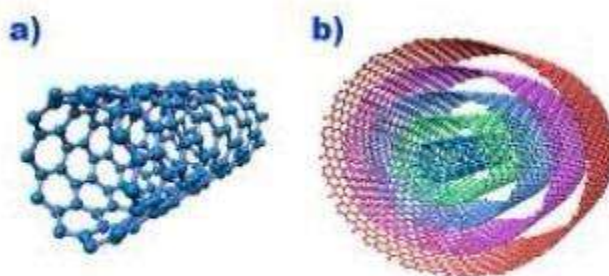


Figura 4. Paredes de los nanotubos.

Historia y evolución:

Ciertamente, antes de 1991 se habían obtenido nanotubos y diversos tipos de filamentos producidos mediante la descomposición térmica de hidrocarburos. Con el desarrollo de la investigación, los científicos encontraron que controlando las condiciones de síntesis (temperatura, gas, concentración, tiempo de reacción, catalizadores, entre otros) era posible disminuir el tamaño de estos filamentos, hasta obtener nanofibras de carbono. Sin embargo, debido a la imposibilidad de contar con microscopios de alta resolución en ese momento, los términos nanotubo y nanofibra de carbono, eran exactamente los mismos.

Hoy en día sabemos que los nanotubos de carbono son materiales cuyos planos gráficos tienen una disposición paralela al eje, mientras que las nanofibras carecen de dicha disposición, pudiendo ser de acuerdo a la orientación de sus planos gráficos con la forma del esqueleto de un pez (*fishbone*), una columna de platos apilados (*platelet*) o bien un conjunto ordenado de tazas (*stacked cup*), como se muestra en la figura siguiente:

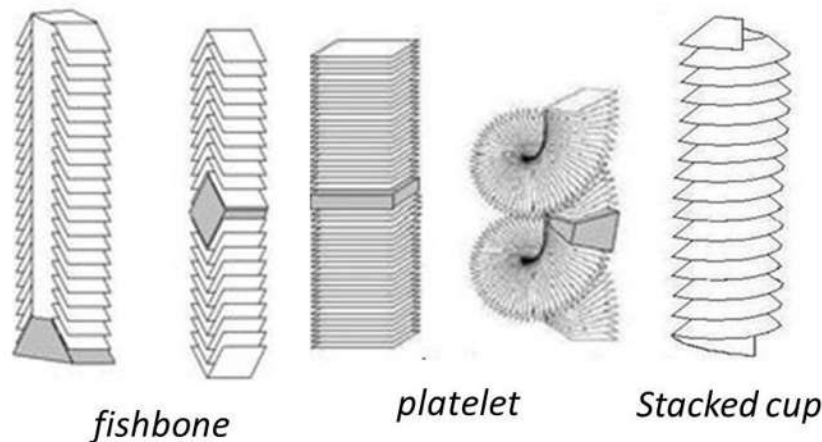


Figura 5. Orientación de los planos grafiticos de nanotubos.

Aun así, fue hasta 1991 que la comunidad científica ya estaba preparada para pensar en “nano”, de tal manera que una publicación revolucionaria, en donde se interesaban por la creación y posterior implementación de nanotubos de carbono físicos, liderada por Iijima fue publicada en la revista *Nature*, tratándose de un artículo de indudable calidad, además de ser respaldada por la fama que ya poseían los fullerenos en la comunidad científica, revolucionando así el nanomundo del carbono y condicionando la evolución de los trabajos en nanotubos. La puerta hacia una nueva tecnología había sido formalmente abierta...

Propiedades de los NTC.

A partir de su descubrimiento, los científicos buscaron la forma de producirlos en el laboratorio, surgiendo cada vez novedosos métodos de síntesis, así como de caracterización, purificación y separación. Las excepcionales propiedades mecánicas, térmicas, eléctricas, químicas y ópticas de los nanotubos de carbono, hacen que se les considere como una especie de “alambres moleculares” y pueden ser utilizados en un sinnúmero de aplicaciones, las cuales se desglosan a continuación:

1. Relación radio/longitud: tienen una elevada relación entre radio y longitud que permite un mejor control de las propiedades unidireccionales de los materiales resultantes.
2. Electrónicas: los NTC son buenos conductores eléctricos (más que el mismo cobre), pudiendo actuar con características metálicas, semiconductoras o bien superconductoras,

dependiendo de su diámetro y helicidad (Kuhn, Hargitay, Katchalsky & Eisenberg, 1950, pp. 514-517). Se ha demostrado su comportamiento electrónico-cuántico monodimensional. Recientes estudios sugieren que podrían ser usados en pantallas planas por su buena capacidad como emisores de electrones.

3. **Mecánicas:** son de los materiales más duros que se conocen (siendo muchas veces más fuertes que el acero), presentan una altísima resistencia mecánica y una alta flexibilidad. Las características mecánicas de los nanotubos son superiores a las de las fibras de carbono (resistencia a deformaciones parciales, flexibilidad, etc.), mismas que los hacen idóneos para muchas aplicaciones posibles, al ser muy rígidos y tenaces, ya que presentan módulos de Young ultra-altos y valores de resistencia a la tracción muy elevados (Calvert, 1999, pp. 210-211).
4. **Elásticas:** debido a su geometría, podría esperarse que los nanotubos sean extremadamente duros en la dirección del eje, pero por el contrario, son flexibles a deformaciones perpendiculares a él. La curvatura ocasiona un aumento de la energía: los nanotubos son menos estables que el grafito y en cuanto menos es el diámetro, menor es su estabilidad.
5. **Térmicas:** presentan una altísima conductibilidad térmica en la dirección del eje del nanotubo, propiedad especial conocida como “conducción balística”. Se ha encontrado que los nanotubos de carbono podrían transmitir alrededor de 20 veces más calor que metales como el cobre.
6. **Transporte unidimensional:** debido a sus nanodimensiones, el transporte de electrones en un nanotubo de carbono se producirá de forma cuántica y los electrones sólo se podrán propagar a través del eje del nanotubo. Esta propiedad especial suele referir a los nanotubos como unidimensionales.
7. **Tenacidad:** los nanotubos son los elementos con mayor resistencia física encontrados en términos de elasticidad, consecuencia del tipo de enlaces covalentes entre los carbonos del nanotubo. Son las fibras más fuertes conocidas. Un solo nanotubo perfecto es de 10 a 100 veces más fuerte que el acero.
8. **Defectos:** como cualquier material, los nanotubos de carbono pueden tener defectos en su composición que pueden variar en mayor o menor medida sus propiedades, por ejemplo, la inexistencia de átomos en lugares que deberían estar ocupados puede generar un descenso en la tenacidad de los nanotubos. Los defectos afectan las propiedades eléctricas, térmicas y magnéticas de los nanomateriales.

En la siguiente tabla podemos ver algunas de las propiedades de los NTC comparadas con elementos que son referencia para cada propiedad mencionada:

Tabla 1.
Propiedades de los NTC.

Propiedad	CNT	Comparación
Densidad	1.33 a 1.44 g/cm ³	Aluminio 2.7 g/cm ³
Resistencia a la tracción	45x10 ⁹ Pascal	Aleaciones de acero de alta resistencia > 2x10 ⁹ Pascal
Elasticidad	Se pueden doblar hasta grandes ángulos y recuperarse sin sufrir daño	Los metales y las fibras de carbono se rompen o no recuperan su forma original rápidamente
Capacidad de transporte de corriente	Estimada en 10 ⁸ A/cm ²	Los hilos de cobre se funden a un millón de A/cm ² aproximadamente
Emisión de campo	Pueden activar fósforos a un voltaje de 1- 3V con una micra de separación entre electrodos	Las puntas de molibdeno necesitan campos de 50 a 100 V por micra y tienen periodos de vida muy limitados
Transmisión de calor	6000 W/m-°K	El diamante casi puro transmite 3320 W/m-°K
Estabilidad térmica	Estables hasta 2800° C en vacío, 750° en el aire.	Los filamentos metálicos en microchips se funden de 600 a 1000°C

Desde el principio de su estudio, se predijeron excepcionales propiedades para los nanotubos de carbono, mismas que han podido ser constatados experimentalmente a medida que ha evolucionado la instrumentación científica. Los índices de Hamada (n,m) cuantifican ésta.

Estructura y clasificación de los NTC

Existen nanotubos monocapa o SWNT's (Single-Walled Nanotubes) y nanotubos cuya estructura se asemeja a la de una serie de tubos concéntricos de grosores crecientes desde el centro de la periferia, llamados MWNT's (Multi-Walled Nanotubes). Ambos grupos fueron descubiertos por lijima, los MWNT's con 2 a 20 capas en 1991 (Charlier & Rignanese, 2001, p.25), seguidos de sus homólogos de pared única, dos años más tarde (Bethune, Kiang, De Vries, Gorman, Savoy, Vázquez, Beyers, 1993, p. 605).

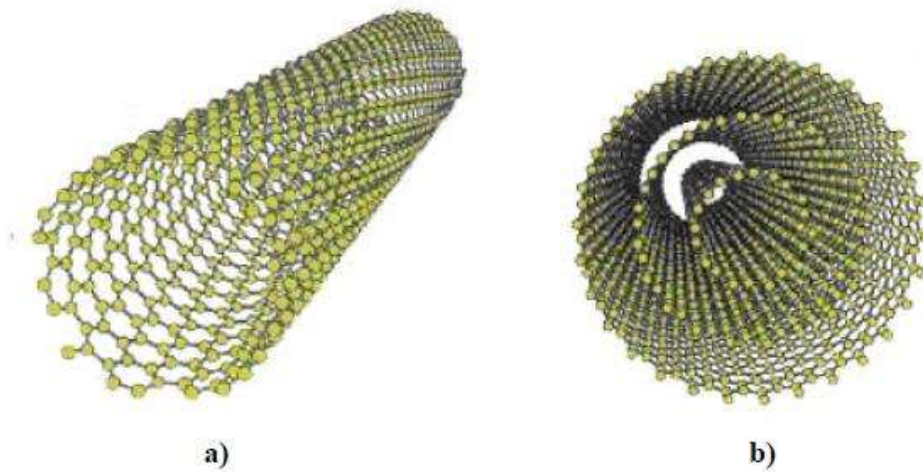


Figura 6. A) Nanotubos de una capa. B) Nanotubos de carbono de capas múltiples

El estudio de la estructura de carbono es importante, ya que su geometría y la inmensa mayoría de las propiedades de los NTC dependen de su diámetro y su ángulo quiral, llamado también helicidad. Estos dos parámetros, diámetro y helicidad, resultan completamente definidos por los dos índices de Hamada (n,m) que representan la longitud y dirección del vector de enrollamiento; conociendo los números enteros (n,m) es posible determinar las propiedades fundamentales del tubo (Prasek, Drbohlavova, Chomoucka, Hubalek, Jasek, Adamc & Kizek, 2011, pp. 15872-15884), su diámetro, el tipo de borde a lo largo de su circunferencia, así como sus configuración electrónica.

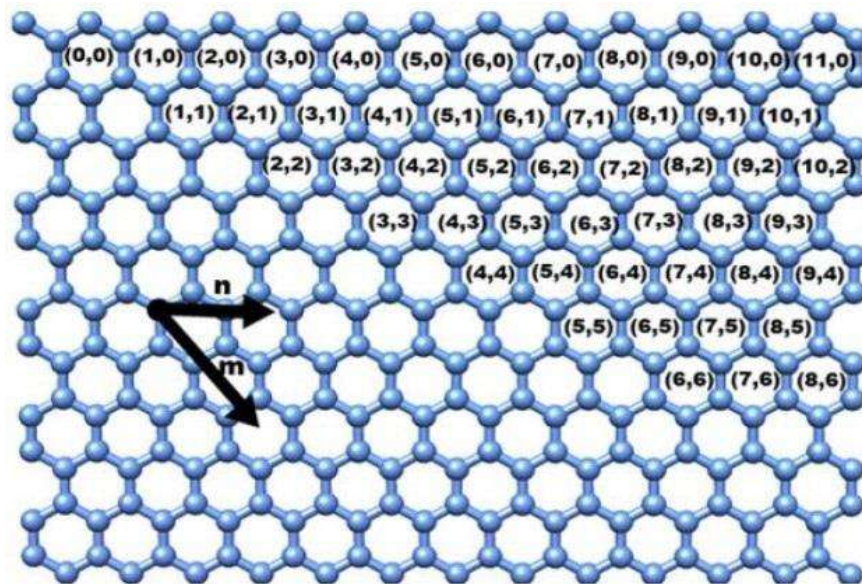


Figura 7. Hoja de grafenos etiquetados con los números enteros (n,m) correspondientes a los índices de Hamada.

Nanotubos de Carbono de Pared Simple:

Un SWCNT es una única hoja de grafeno enrollada en sí misma, similar a la que se obtendría si enrolláramos una lámina de grafito también sobre sí misma, con un diámetro típico de alrededor de 1.4 nm (Saifuddin, Raziah & Junizah, 2013, pp. 1-18) Para diámetros inferiores a 0.4 nm, el estrés causado por la curvatura puede romper los enlaces, pero en los superiores a 2.5 nm es termodinámicamente más factible formar un tubo de doble capa. Están constituidos por átomos de carbono dispuestos en una red hexagonal cilíndrica. Sus extremos pueden estar cerrados por media esfera de fullereno o pueden estar abiertos. Este tipo de NTC fueron sintetizados por vez primera por Iijima (1991, p. 96).

Los SWCNT's pueden ser separados en 3 clases:

- Armchair: presentan un comportamiento metálico (un semimetal degenerado con banda prohibida cero) en donde $n = m, \theta = 30^\circ$
- Zigzag: son semimetálicos, cumplen que $m = 0^\circ, n > 0, \theta = 0^\circ$
- Quiral: son los semiconductores, pertenecen a los nanotubos sin simetría de reflexión e isomorfos: $n > m > 0$

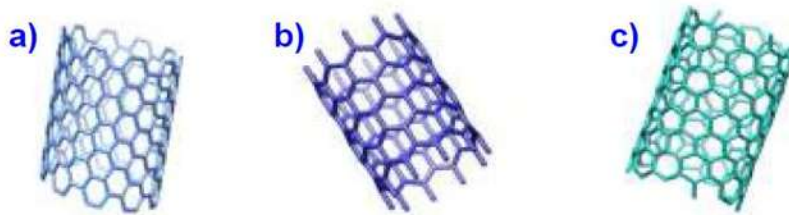


Figura 8. Nanotubo de carbono de pared simple con estructura a) Armchair, b) Zig-zag, c) Quiral.

Nanotubos de carbono de pared múltiple:

Los nanotubos MWCNT's se componen de varios (dos o más) tubos concéntricos de capas gráficas con una separación de 0.34 nm entre capas gráficas adyacentes; pueden alcanzar diámetros de hasta 100 nm (Iijima, 1991; Prasek et al., 2011). El ejemplo más simple de tubos de pared múltiple son los nanotubos de carbono de doble pared compuestos por sólo dos cilindros concéntricos (Popov, 2004, pp. 61-102).

En el caso de los MWCNT's es importante conocer la estructura de sus capas. Se han propuesto dos tipos de estructuras: a) Estructura en espiral "Swiss-roll", en donde los nanotubos están compuestos de rollos de hojas de grafeno en espiral (M. Terrones & H. Terrones, 2003, pp. 2789-2806), y b) Estructura "Russian doll", compuestos por cilindros huecos concéntricos de carbono, es decir, un arreglo de tubos discretos. Otro caso intermedio ha sido propuesto por

Amelinckx (Amelinckx Bernaerts, Zhang, Tendeloo & Landuyt, 1995, pp. 1334-1338), en el que los nanotubos se componen de hojas continuamente enrolladas entre sí. Sin embargo, la estructura "Russian doll" es la que se observa con mayor frecuencia.

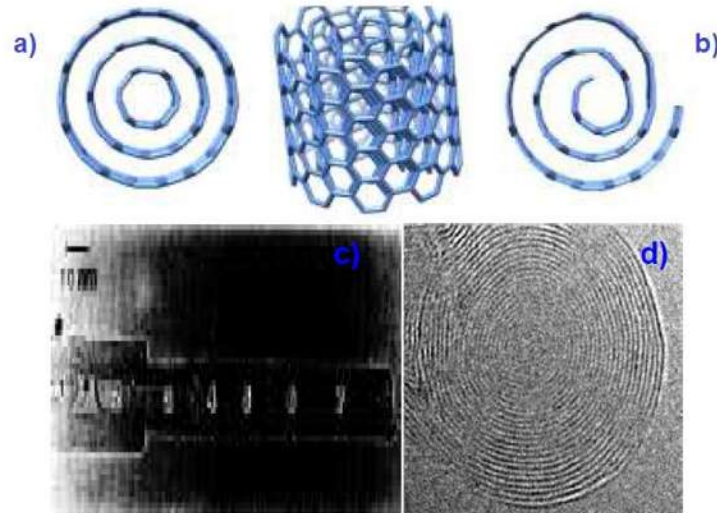


Figura 9. Ilustración esquemática de los distintos modelos acerca de la composición de los nanotubos de carbono de pared múltiple a) 'Swiss roll' and b) 'Russian doll' con sus imágenes correspondientes de TEM obtenidas para la exposición de tales modelos c) "Russian doll" [51] y d)"Swiss-roll" [49].

Diferencias entre los Nanotubos de pared simple y los de pared múltiple:

Hoy en día los MWCNT's y los SWCNT's son producidos por tres técnicas principales: arco de descarga, ablación láser y crecimiento catalítico por deposición de química de vapor (CVD) Popov, 2004). Los aspectos más importantes para caracterizar tanto nanotubos de carbono multipared, como de pared simple son los siguientes:

- Tipo de nanotubos de carbono.
- Longitud y diámetro de los nanotubos de carbono.
- Descripción morfológica, es decir, si cuenta con ramificaciones que puedan originar otras.
- Tamaño de partícula del catalizador, si es que se utiliza en su síntesis.
- Propiedades de partículas: forma, tamaño, porcentaje, dispersión y distribución.
- En el caso de los SWCNT la preferencia de su orientación, su quiralidad.
- Defectos estructurales en la red de los nanotubos, las moléculas absorbidas o impurezas.

Con todas estas consideraciones (Lehman, Terrones, Mansfield, Hurst & Meunier, 2011; Hirlekar, Yamagar, Garse, Kadam, 2009), se pueden apreciar las principales comparaciones entre SWCNT's y MWCNT's, las cuales se analizan en la siguiente tabla:

Tabla 2.
Principales comparaciones entre SWCNT y MWCNT.

SWCNT	MWCNT
Capa única de grafeno	Múltiples capas de grafeno
Se requiere catalizador para su síntesis	Puede ser producido sin catalizador
Síntesis en gran cantidad es difícil, ya que ésta requiere más condiciones de control de crecimiento	Síntesis en gran cantidad es fácil
Pobre pureza (CVD –deposición química de vapor– sobre 30-50% en peso de contenido MWCNT, sin embargo por arco descarga 80%)	Alta pureza de muestra (CVD sobre un 35-90 % de peso de contenido de MWCNT)
No se dispersa enteramente y forma manojos de nanotubos	Se dispersa homogéneamente sin la aparente formación de racimos de nanotubos
El rango de su resistencia está entre 10^{-4} - $10^{-3}\Omega.m$	El rango de su resistividad está entre 1.8×10^{-5} - $6.1 \times 10^{-5} \Omega.m$
Pueden encontrarse más defectos en su estructura durante su funcionalización	Es más difícil encontrar defectos en su estructura
Debido a su estructura es más fácil de caracterizar y evaluar	Cuenta con una estructura más compleja
Puede ser torcido fácilmente y es más flexible	No se puede torcer fácilmente

La importancia de la semilla.

La semilla es el principal órgano reproductivo de la gran mayoría de las plantas superiores terrestres y acuáticas. Ésta desempeña una función fundamental en la renovación, persistencia y dispersión de las poblaciones de plantas, la regeneración de los bosques y la sucesión ecológica. En la naturaleza la semilla es una fuente de alimento básico para muchos animales. También, mediante la producción agrícola, la semilla es esencial para el ser humano, cuyo alimento principal está constituido por semillas, directa o indirectamente, que sirven también de alimento para varios animales domésticos.

El estudio de la biología y fisiología de las semillas es de vital importancia para el ser humano, ya que la mayoría de las especies cultivadas, como los cereales, son propagadas a partir de semillas sexuales (Suárez & Melgarejo, 2011). La semilla es esencial para la supervivencia de la

humanidad, pues sin semillas no hay planta y sin planta no hay cosecha. Las semillas actuales son el resultado de miles de años de domesticación y décadas de cruzamientos controlados. Son, en la mayor parte de las especies de interés agrícola, el principal mecanismo de reproducción, ya que sirven como medio para propagar plantas de una generación a otra, para obtener alimentos y otras materias primas, así como derivados de uso industrial.

El desarrollo de la semilla: el proceso de germinación.

El desarrollo de las semillas puede dividirse en tres grandes fases:

1. Todas las estructuras y tejidos del embrión se forman como resultado de la división y diferenciación celular.
2. La semilla crece y se activa en el programa de síntesis de reserva. Las sustancias de reserva reemplazan el agua en las vacuolas de las células, reduciendo el contenido de agua hasta en un 40-50%.
3. Durante la maduración, la semilla se seca, y sintetiza azúcares y proteínas que se unen a moléculas de agua de modo que protegen a las células de la desecación final. El metabolismo de la semilla se detiene y le permite permanecer por largos periodos de tiempo en estado seco. La maduración y pérdida de agua son procesos esenciales en la mayoría de los cultivos, que permite cosecharlos y almacenarlos.

El desarrollo de las semillas termina cuando finaliza el secado y la planta germina. Para que la semilla cumpla con el objetivo de reproducirse y perpetuar su especie, es necesario que el embrión se transforme en una plántula que sea capaz de valerse por sí misma, mediante un proceso que desencadena mecanismos metabólicos y morfogenéticos. A dicho proceso se le conoce como germinación. Para que el proceso de germinación tenga lugar, es necesario que se den una serie de condiciones ambientales favorables como son: un sustrato húmedo, suficiente disponibilidad de oxígeno que permita la respiración aerobia y una temperatura adecuada para los distintos procesos metabólicos y para el desarrollo de la plántula.

Las semillas dormidas. El periodo de latencia.

Sin embargo, las semillas de muchas especies son incapaces de germinar, incluso cuando se encuentran en condiciones favorables de temperatura, oxígeno y agua. Esto es debido a que se encuentran en estado de latencia o dormancia, que es un periodo durante el cual hay poca actividad en la semilla y un nivel muy lento de respiración celular. Por ello, mientras no se den las condiciones adecuadas para la germinación, la semilla se mantendrá latente.

La semilla puede permanecer largos años en latencia, germinando cuando las condiciones son favorables.

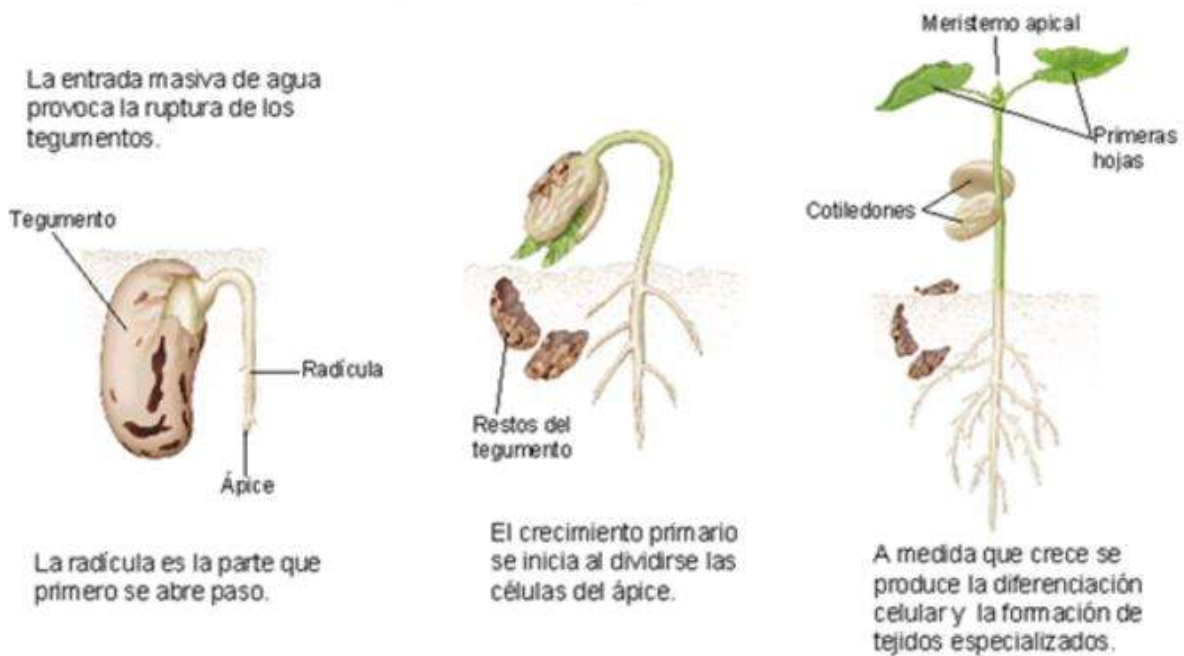


Figura 10. La germinación de la semilla.

La dormancia es también considerada como un mecanismo de supervivencia que ha desarrollado la especie como una forma de adaptarse a ciertas condiciones que pueden considerarse adversas para la germinación en un momento dado. La dormancia no debe confundirse con la quiescencia, que es la suspensión o retardo del metabolismo, debido a condiciones que no favorecen los procesos metabólicos. En la quiescencia, la semilla germina cuando se expone a condiciones ambientales adecuadas. La latencia o dormancia, en cambio, se refiere a la inactividad o falta de crecimiento de cualquier otra parte de la planta debido a factores externos o internos, no a las condiciones ambientales. En otras palabras, la quiescencia será reversible cuando el medio sea favorable, mientras que la latencia puede llegar a ser irreversible, durante un tiempo variable, dependiendo de la especie, hasta que llegado un momento, pierda su capacidad de germinar.

Una vez que la semilla entra en contacto con el agua, interrumpe su reposo, desencadenando una secuencia de cambios metabólicos, que incluyen la respiración, la síntesis proteica, la movilización de reservas y el incremento en la actividad enzimática. A su vez, la división y el alargamiento celular en el embrión provocan la ruptura de las cubiertas seminales, que generalmente se produce por la emergencia de la radícula.

Ahora bien, en condiciones de laboratorio, basta con la posterior rotura de las cubiertas seminales por la radícula para considerar que la germinación ha tenido lugar (criterio fisiológico). Sin embargo, en condiciones de campo, no se considera que la germinación haya finalizado hasta que se produce la emersión y desarrollo de una plántula normal (criterio agronómico).

Etapas de la germinación.

Independientemente del tiempo entre la madurez de la semilla y la reactivación del crecimiento, la germinación se puede estructurar en tres fases:

- Fase de absorción de agua por la semilla o imbibición: la hidratación de la semilla es el primer paso de la germinación. Durante esta fase se produce una intensa absorción de agua por parte de los distintos tejidos que forman la semilla, causando su hinchazón hasta la ruptura final de la testa. Dicho incremento va acompañado de un aumento proporcional en la actividad respiratoria. Una vez que la semilla se ha hidratado, comienzan a activarse toda una serie de procesos metabólicos que son esenciales para que tengan lugar las siguientes etapas de la germinación.
- Fase de germinación: en ella se producen las transformaciones metabólicas, necesarias para el correcto desarrollo de la plántula. En esta fase la absorción de agua se reduce considerablemente, llegando incluso a detenerse.
- Fase de crecimiento: es la última fase de la germinación y se asocia con la elongación del embrión, la ruptura de la testa y finalmente la emergencia de la radícula. Esta fase se caracteriza porque la absorción de agua vuelve a aumentar y, con ella, la actividad respiratoria.

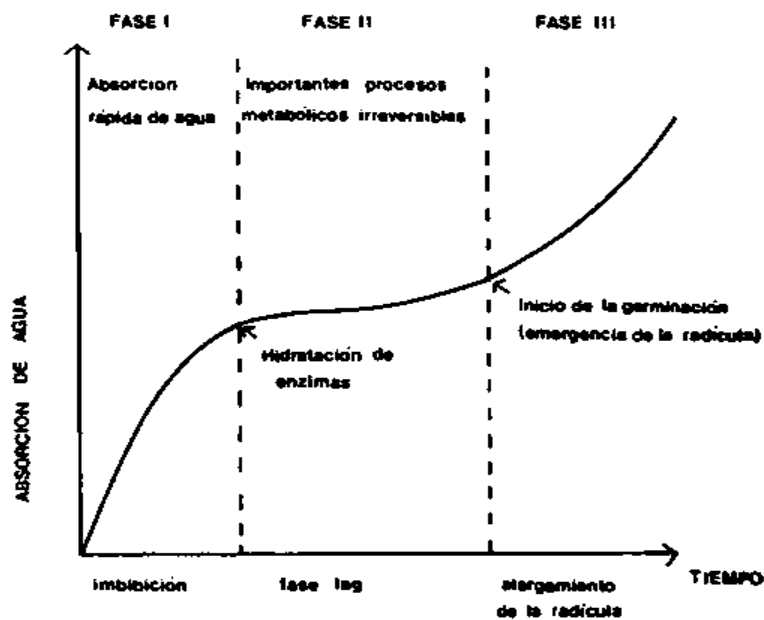


Figura 11. Fases de la germinación.

La duración de todas estas fases depende de las propiedades de cada semilla. Además, el medio afecta considerablemente el desarrollo de las fases de la germinación, siendo influenciada tanto por factores internos como externos.

Factores que afectan a la germinación.

Los factores que afectan a la germinación los podemos dividir en dos tipos: internos y externos. Dentro de los factores internos están la viabilidad del embrión, la madurez de la semilla de reserva y los diferentes tipos de dormancia, mientras que los factores externos dependen del grosor de la testa, la disponibilidad de agua, la temperatura y los tipos de luz (Suárez & Melgarejo, 2011).

➤ Internos o Intrínsecos: propios de la semilla.

Madurez de las semillas: decimos que una semilla es madura cuando ha alcanzado su completo desarrollo tanto desde el punto de vista morfológico como fisiológico. La madurez morfológica se consigue cuando las distintas estructuras de la semilla han completado su desarrollo, dándose por finalizada cuando el embrión ha alcanzado su máximo punto. Ahora bien, aunque la semilla sea morfológicamente madura, muchas de ellas pueden seguir siendo incapaces de germinar porque necesitan experimentar aún una serie de transformaciones fisiológicas, de tal manera que se reajuste el equilibrio hormonal para sus distintas sustancias activas. Puede ocurrir que la madurez fisiológica y morfológica vengán de la mano o bien haya una diferencia entre una y otra.

Viabilidad de las semillas: es el periodo de tiempo durante el cual las semillas conservan su capacidad para germinar. Depende del tipo de semilla y de las condiciones de almacenamiento. La vida media de la semilla varía por lo general entre 5 y 25 años. Las semillas pierden su viabilidad por causas muy diversas, pero una semilla será más variable cuando menos activo sea su metabolismo.

➤ Externos o extrínsecos: dependen del medio ambiente.

La absorción de agua por parte de la semilla está directamente influenciada por la presencia de la testa y la permeabilidad que ésta tenga al intercambio gaseoso (Bewley & Black; Finch-Savage & Leubner-Metzger, 2006).

La temperatura está frecuentemente asociada con el proceso de germinación por afectar el porcentaje de la misma, la tasa de absorción de agua, la velocidad de las reacciones enzimáticas y el transporte de las sustancias de reserva (Suárez & Melgarejo, 2011).

En referencia a los requerimientos de luz necesarios para el proceso de germinación las semillas se clasifican en tres grupos. El primero corresponde a las semillas fotoblásticas positivas, es decir, aquellas que germinan como respuesta a la luz. En el segundo están las fotoblásticas negativas, aquellas que sólo germinan en la oscuridad. Finalmente, están las semillas insensibles a la luz, ya que germinan indistintamente bajo condiciones de luz u oscuridad (Suárez & Melgarejo, 2011).

Importancia del agua en la germinación

Las semillas como sistemas con bajo contenido de agua

El agua es fundamental en la vida de plantas y animales. Una de sus propiedades más importantes es la de ser un solvente universal, lo cual significa que un alto número de sustancias es capaz de disolverse mejor en el agua que en cualquier otro líquido. Así, muchas de las reacciones que tienen lugar en los organismos vivos se llevan a cabo en presencia de agua. Otra de sus propiedades importantes es la de ser un compuesto relativamente estable, es decir, que participa en muchas reacciones químicas intercelulares, sin alterarse ante la acción de enzimas específicas.

Las células de plantas y animales tienen un alto contenido de agua. En los seres vivos este contenido oscila entre 65% y 96% del contenido total de sustancias, lo que significa que es el compuesto más abundante. En las semillas no ocurre así. Una de las características más sobresalientes de las semillas es su capacidad para tolerar la desecación. Durante el periodo de latencia, las semillas están muy deshidratadas, es decir contienen muy poca agua, ya que la deshidratación es necesaria para que las semillas se mantengan “aletargadas” y puedan almacenarse. En general las semillas contienen una humedad mucho menor que la de otras células de la planta (4-16% contra 65-90%).

El tejido de una planta, cuando ésta crece activamente, contiene entre 80% y 90% de agua, y una de las principales funciones de la raíz es justamente la de captar dicho líquido. Cuando baja el contenido de humedad de las células, se alteran los procesos normales de éstas. La actividad enzimática se detiene debido a que la difusión de sustancias y productos se hace difícil. Cuando los tejidos se van secando al perder agua, cambia el estado físico del agua restante. El agua es pues, esencial para la germinación de las semillas ya que al hidratarse se reactivan diversas enzimas y también se sintetizan otras que van a desplegar las sustancias de reserva, mismas que son esenciales para retomar el crecimiento del embrión de la semilla.

Cuando el nivel de hidratación es muy bajo, el metabolismo se detiene y no se aprecia ningún signo de vida. Un pequeño incremento en la cantidad de agua permite reiniciar muchas de las funciones y actividades características de los seres vivos. Por tanto, cuando el agua esté presente,

la semilla dejará de estar inmóvil, firmemente unida a las macromoléculas, y finalmente se puede realizar la difusión. De esta manera aparece la actividad enzimática, y con ella el metabolismo normal.

La semilla de maíz y su importancia:

El maíz, *Zea mays* L., es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen, siendo junto con trigo y el arroz, los tres cultivos más importantes del mundo. Pertenece a la familia de las Poáceas o Gramíneas, lo cual quiere decir que se estructura en base a un tallo cilíndrico hueco y se cubre de nudos o granos rellenos cubiertos por hojas largas angostas. Pertenece también a la tribu Maydeas, siendo la única especie que se cultiva de este género, de ahí su gran importancia económica.

Es originario de América y no fue conocido por los europeos hasta el momento en que llegaron a este continente y aprendieron que gran parte de las sociedades americanas se basaba en su uso; gracias al comercio y por su facilidad de adaptación, se distribuyó a prácticamente todo el mundo y es conocido con diversos nombres, siendo el más usado dentro de los países anglófonos *maize*, salvo en los Estados Unidos de América y Canadá, donde se le denomina *corn*; en español es llamado maíz, en francés *maïs*, en portugués *milho*, en hindú *makka* o *makki*, entre muchos otros. El maíz pues, se produce en todos los continentes, a excepción de la Antártida y es altamente valorado porque brinda un mayor rendimiento, en comparación con muchos otros granos, para la alimentación humana a un precio menor, por lo que sembrar maíz es menos costoso que otros cereales.

El maíz cultivado es una planta completamente domesticada, por lo que el ser humano y el maíz han sobrevivido y evolucionado juntos desde tiempos remotos. Fue el primer cereal a ser sometido a rápidas e importantes transformaciones en su forma de cultivo. “El maíz no crece en forma salvaje y no puede sobrevivir en la naturaleza, siendo completamente dependiente de los cuidados del hombre” (Paliwal, 1996).

Además, es una de las especies cultivadas más productivas, al tener una alta tasa de actividad fotosintética; tiene el más alto potencial para la producción de carbohidratos por unidad de superficie por día. Es el primer cereal en rendimiento de grano por hectárea y el segundo en producción total. Es de esperarse pues que el maíz sea de gran importancia a nivel económico ya que sirve no sólo como alimento humano, sino también como alimento para el ganado o como fuente de un gran número de productos industriales, como los biocombustibles o los aceites.



Figura 12. Productos derivados del maíz.

La diversidad de los ambientes bajo los cuales es cultivado el maíz es mucho mayor que la de cualquier otro cultivo. En virtud de la enorme variedad de tipos de maíz existentes, es cultivado en un amplio rango de condiciones climáticas, ya que habiéndose originado y evolucionado en zonas tropicales (con excelentes rendimientos) hoy en día se cultiva en casi todo el mundo, incluyendo a nuestro país, por lo que es importante el desarrollo de un sector semillero orientado a satisfacer las necesidades de los productores en México como una oportunidad de explotar el uso de semillas que sean rentables y mejoren la productividad del campo mexicano, desarrollando productos mediante el uso de las tecnologías disponibles.

El maíz es uno de los cereales más eficientes en la conversión de energía solar, bióxido de carbono, agua, minerales del suelo y materia orgánica. También tiene usos múltiples y variados, es el único cereal que puede ser usado como alimento en distintas etapas del desarrollo de la planta. Las espigas cosechadas por ejemplo, son usadas como hortalizas; las mazorcas tiernas son un manjar refinado que se potencia en la gastronomía tanto mexicana como a nivel internacional; la planta de maíz que aún se encuentra verde proporciona un buen forraje.

En función del área cultivada y el total de producción, el maíz ocupa el tercer lugar en el mundo, sólo por detrás del trigo y el arroz, prefiriendo incluso su producción como sustituto de otros cereales como el trigo, el arroz, la cebada, el centeno, entre otros, debido a su mayor rendimiento y, lo más importante, su bajo costo, siendo el alimento principal y la fuente de energía de las personas de bajos recursos económicos, brindando un valor nutricional muy alto, pues proporciona vitaminas, hidratos de carbono, calcio, fósforo y potasio. El éxito del maíz como la base de la alimentación humana ha estimulado una revolución agrícola generalizada en muchas partes del mundo. Actualmente, el 85% de los países en el mundo producen maíz, teniendo como principales productores a los siguientes países:

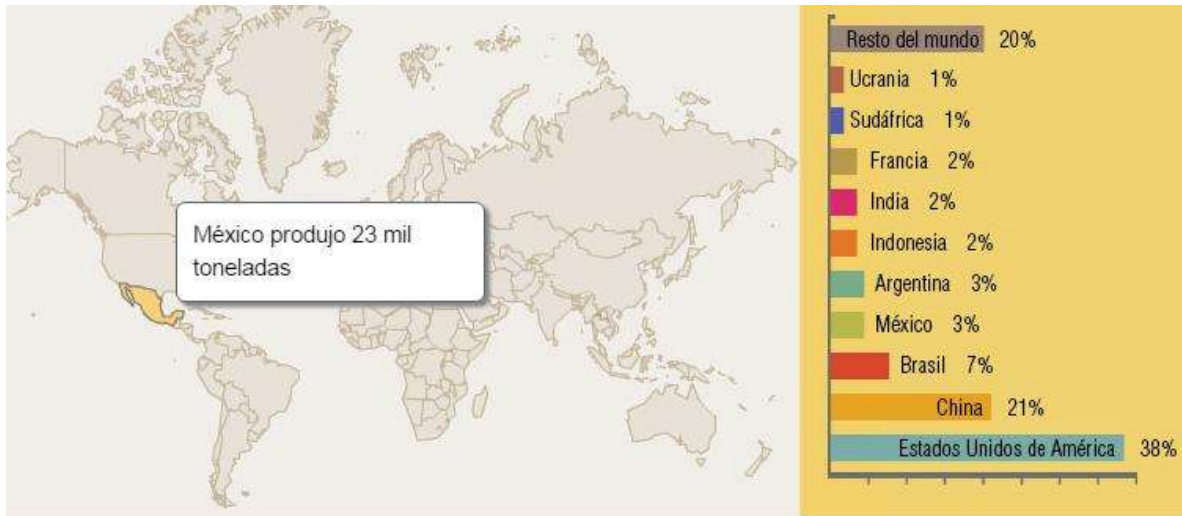


Figura 13. Los diez principales países productores de maíz

Globalmente el maíz se cultiva en más de 140 millones de hectáreas (Paliwal, 1996) con una producción anual de más de 580 millones de toneladas métricas, buscando hoy en día una expansión de la producción y la comercialización de semillas, tanto en el sector público como privado, donde las variedades mejoradas de semillas estén más al alcance de los agricultores. Este aspecto es importante, ya que la presión de la limitación de las tierras aumenta y son necesarios modelos que produzcan más alimentos para una población que está constantemente en crecimiento.

Es previsible entonces que la demanda de maíz como alimento humano y animal crezca en las próximas décadas en los países en desarrollo a una tasa mayor que la del trigo o del arroz. Todos estos indicadores hacen que el maíz sea un cultivo que debe ser debidamente explotado a fin de alimentar la creciente población mundial. Mayores incrementos de producción de alimentos humanos y animales deben provenir de los cereales gruesos, incluyendo al maíz, los cuales tienen ventajas comparativas en ambientes desfavorables. El maíz aún no ha alcanzado el límite de difusión en los ambientes productivos y es el momento oportuno para aprovechar todo su potencial.

Clasificación taxonómica.

El maíz (*Zea mays* L) pertenece a la familia de las Graminae, a la subfamilia Panicoideae y a la tribu Andropogoneae, la cual incluye siete distintos géneros: *Zea* (como el teocintle), *Tripsacum* (conocidas como arrocillo o maicillo), *Coix*, *Chionachne*, *Sclerchne*, *Polytoxa* y *Trilobachne* (Paliwal, 1996).



Figura 14. Planta de maíz.

Tabla 3.

Clasificación taxonómica del maíz.

Reino:	<i>Plantae</i>
División:	<i>Magnoliophyta</i>
Clase:	<i>Liliopsida</i>
Subclase:	<i>Commelinidae</i>

Orden:	<i>Poales</i>
Familia:	<i>Poaceae (Gramíneae)</i>
Subfamilia:	<i>Panicoideae</i>

Tribu:	<i>Andropogoneae</i>
Género:	<i>Zea</i>
Especie:	<i>Z. mays</i>
Nombre científico:	<i>Zea mays L</i>

Estructura de la semilla de maíz.

La formación, dispersión y germinación de semillas son eventos fundamentales en el ciclo de vida de las plantas, cuya propagación sexual se da también por medio de las semillas, que tienen la función de multiplicar y perpetuar la especie (Suárez & Melgarejo, 2001). La semilla de maíz maduro no es la excepción, es un futo (cariósipide) compuesto por cuatro partes principales: pedicelo, pericarpio (cáscara), endospermo y germen o embrión. Cada una de las partes anatómicas del maíz tiene diferente composición (Sauer, 1992).

Pedicelo: es la estructura celular por medio de la cual el grano se encuentra unido a la planta. Está compuesto de haces vasculares que terminan en la porción basal del pericarpio; consta de una copa exterior de abscisión con la función de sellar la punta del grano maduro; juega un papel importante en la germinación y en el procesamiento del mismo. Está compuesto de minerales y aceite. Constituye un 0.8% del peso total del grano (Serna, 2001).

Embrión: es el producto de la fusión entre el óvulo con el núcleo espermático; una 'planta miniatura' en estado de vida latente. Aquí se encuentra concentrada la mayor parte del aceite del grano y forma del 3-10% de su peso. En el embrión pueden reconocerse algunas de las estructuras que van a dar lugar a las distintas partes de la planta adulta. Es posible encontrar la plúmula o gémula

encargada de producir las primeras hojas; la radícula que formará la raíz primaria y el talluelo que dará origen al tallo de la plántula. Además, el embrión posee uno o varios apéndices laterales llamados cotiledones, que son las primeras hojas que desarrollan las plantas unidas al embrión por el nudo cotiledonal. Su morfología es simple y no se parece a la hoja verdadera de la planta ni en su forma ni en su tamaño; gracias a ellos la plántula obtendrá el resto de la energía necesaria para empezar a dar hojas verdaderas a través de la fotosíntesis y cuando la planta haya desarrollado sus hojas para abastecerse de energía, los cotiledones, se caen por lo que tienen una vida relativamente corta.

Endospermo: constituye la mayor proporción del grano, con aproximadamente un 80-84% del peso total. Funciona como reserva energética ya que provee nutrientes al embrión para el desarrollo y crecimiento de la plántula. Posee dos núcleos o regiones: una harinosa y una córnea; generalmente la relación es de 2:1, respectivamente. La primera se caracteriza por tener células con gránulos de almidón grande (10-30 μ m), mientras que la segunda, la región periférica o córnea tienen almidones más pequeños (1-10 μ m). Al fusionarse éstas dos resulta el endospermo, luego de varias divisiones celulares. Químicamente el endospermo está compuesto por 90% de almidón y 7% en proteínas acompañadas de aceites, minerales y otros compuestos (Tovar, 2008).

Pericarpio: es la capa exterior dura y fibrosa que encierra al grano. Formada externamente por los integumentos que representan los tejidos maternos del óvulo, cubre y protege al embrión (Tovar, 2008). El grosor del pericarpio es menor en la parte central y mayor en la base del mismo. Este tegumento posee dos capas llamadas testa (la capa más externa) y tegmen (la capa interna). La testa es casi siempre dura y resistente, mientras que el tegmen es mucho más delgado. Todos los componentes del pericarpio constituyen aproximadamente un 5.3% del peso total del grano. El pericarpio está constituido en su gran mayoría de fibra (Tovar, 2008).

La composición química entre las principales partes de la semilla de maíz difiere considerablemente. El pericarpio se caracteriza por su alto contenido de fibra (86%), la que a su vez está formada fundamentalmente por hemicelulosa, celulosa y lignina. El endospermo contiene un nivel elevado de almidón (87%) y aproximadamente un 8% de proteínas, con un contenido relativamente bajo en lípidos. Por último, el embrión se caracteriza por su alto contenido de lípidos (33%), un nivel proteínico del 20% y algunos minerales (10.5%) (Tovar, 2008).

Tabla 4.
Composición química de las partes del grano de maíz.¹

COMPONENTES	Pericarpio	Endospermo	Germen	Total
Proteínas	3.7	8.0	18.4	9.91
Lípidos	1.0	0.8	33.2	4.78
Fibra cruda	86.7	2.7	8.8	2.66
Cenizas	0.8	0.3	10.5	1.42
Almidón	7.3	87.6	8.3	71.5
Azúcar	0.34	0.62	10.8	2.58

¹ Expresado como % en base seca.

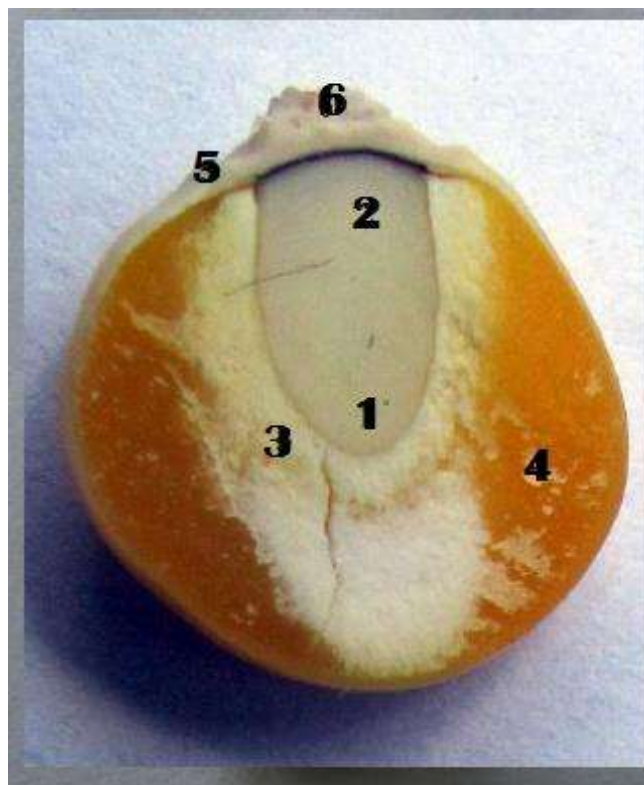


Figura 14a. Principales componentes de semillas dicotiledóneas y monocotiledóneas de acuerdo al modelo presentado por Coopeland y McDonald (1995). (A) Semilla de haba (*Vicia faba*) hipocótilo (1), radícula (2), plúmula (3), cotiledón (4) y testa (5). (B) Semilla de maíz (*Zea mays*) plúmula (1), radícula (2), cotiledón (3), endospermo (4), pericarpio (5), punto de carpiopsis (6).

Tabla 5.
Composición química¹ del grano de maíz y sus partes anatómicas.

Fracción	Grano (%)	Almidón (%)	Proteína (%)	Lípidos (%)	O.C. ² (%)	Cenizas (%)
Grano entero	100	71.5	10.3	4.8	2.0	1.4
Endospermo	82.3	86.4	9.4	0.8	0.6	0.3
Germen	11.5	8.2	18.8	34.5	10.8	10.1
Pericarpio	5.3	7.3	3.7	1.0	0.3	0.8
Pedicelo	0.8	5.3	9.1	3.8	1.6	1.6

¹Reportado en base seca.

²O.C.= Otros carbohidratos.

Fuente: Bressani *et al.* (1990).

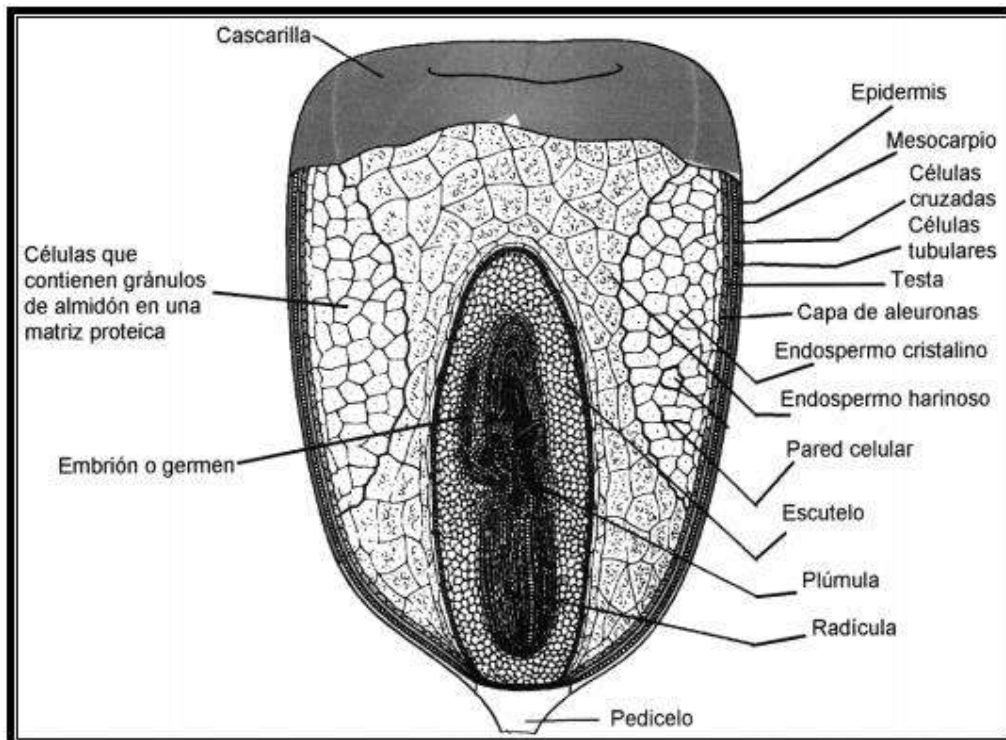


Figura 15. Estructura del grano de maíz (Tomada de Hosney y Faubio 1992).

Composición química de la semilla de maíz.

La composición química de los cereales (Tabla 6) es bastante homogénea. El componente más abundante es el almidón (40 – 70%), de ahí su alto valor alimenticio, ya sea para consumo humano y/o consumo animal. En la composición química de la semilla se distinguen otros componentes, tales como: lípidos (1 – 5%), cenizas (1 – 3%), fibra (1 -2%) y proteínas (9 – 12%), siendo este último el segundo componente más abundante y más importante (Suárez & Melgarejo, 2011).

Tabla 6.
Composición química de diferentes cereales.¹

COMPONENTES	Trigo	Centeno	Maíz	Cebada	Avena	Arroz	Mijo
Agua	13.2	13.7	12.5	11.7	13.0	13.1	12.1
Proteína	11.7	11.6	9.2	10.6	12.6	7.4	10.6
Lípidos	2.2	1.7	3.8	2.1	5.7	2.4	4.1
Almidón	59.2	52.4	62.6	52.2	40.1	70.4	64.4
Otros HCO ²	10.1	16.6	8.4	19.6	22.8	5.0	6.3
Fibra cruda	2.0	2.1	2.2	1.6	1.6	0.7	1.1
Minerales	1.5	1.9	1.3	2.3	2.9	1.2	1.6

¹ Expresado en %.

² HCO: Hidratos de carbono.

(Tomada de Astiasarán y Martínez 1999).

Particularmente, la composición química del grano de maíz depende de varios factores, como las condiciones de cultivo, la temperatura, el contenido de nutrientes, la variedad y tipo de maíz, entre otros (Suárez & Melgarejo, 2011).

Ahora bien, las proteínas no se encuentran distribuidas de manera uniforme dentro del grano de maíz, ya que aproximadamente el 80% son de almacenamiento y reserva. Dichas proteínas son las siguientes:

- ✓ Albúminas y globulinas: se disuelven rápidamente en agua y soluciones salinas, respectivamente.

- ✓ Prolaminas: se localizan en el endospermo y, dependiendo del tipo de semilla, adquieren su respectivo nombre. En el caso del maíz se le conoce como Zeína.
- ✓ Glutelinas: son proteínas estructurales del endospermo, corresponden a la fracción proteica más difícil de extraer debido a su alto peso molecular, siendo necesario remojar las semillas en soluciones alcalinas para poder extraerlas (Suárez & Melgarejo, 2011).

Tabla 7.
Proteínas presentes en el grano de maíz.

Proteína/Nombre	Proporción	Solubilidad
Albúmina	4-5	Agua; coagulables al calor
Globulina	5-6	Soluciones salinas; insolubles a altas concentraciones salinas
Prolamina (Zeina)	50-55	Alcohol al 70%
Glutelina	30-45	Soluciones diluidas en ácidos y bases

Espectro electromagnético. La emisión infrarroja.

Nuestros ojos son detectores diseñados para percibir cualquier radiación electromagnética en el espectro de luz visible. Cualquier otro tipo de radiación electromagnética, como la infrarroja, es invisible para el ojo humano. El espectro electromagnético puede definirse como la distribución energética del conjunto de ondas electromagnéticas; se refiere a una especie de “mapa” de los diferentes tipos de energía de radiación y sus correspondientes longitudes de onda; estas últimas se refieren al periodo espacial de las mismas, o sea, a la distancia que hay de un pulso a otro, definidos como Valles y Crestas.

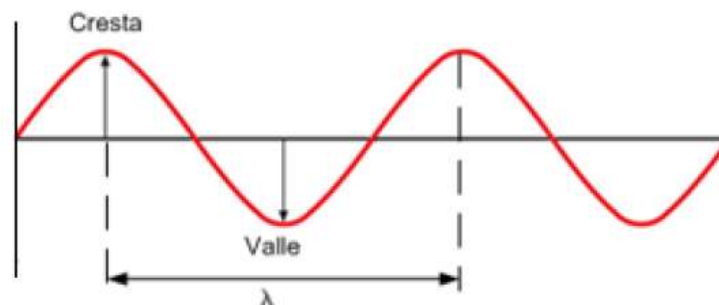


Figura 16. Valles y crestas.

Referido a un objeto, se denomina espectro electromagnético o simplemente espectro, a la radiación electromagnética que emite (espectro de emisión) o bien que absorbe (espectro de absorción) una sustancia. Dicha radiación sirve para identificar la sustancia como una especie de huella dactilar, de manera que es única y exclusiva para cada una.

La porción del espectro electromagnético que los ojos humanos pueden ver, es pequeña con respecto al rango que incluye todos los tipos de radiación, desde los rayos X, usados en los hospitales, hasta las ondas de radio, usadas para la comunicación. El espectro electromagnético abarca desde la radiación de menor longitud de onda, como los rayos gamma, pasando por la luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos (porción del espectro en donde concentraremos nuestro estudio), hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud, como las ondas de radio.

Para su estudio, el espectro electromagnético se divide en segmentos o bandas. Se cree que el límite para la longitud de onda más pequeña posible es la longitud de Planck, mientras que el límite máximo sería el tamaño del mismo Universo.

Bandas del espectro electromagnético.

A continuación, se describen las diferentes bandas del espectro electromagnético:

- ✓ Ondas de radiofrecuencia: son ondas con longitudes de onda larga, desde muchos kilómetros hasta menos de 30 cm, la frecuencia varía desde algunos Hz hasta 10 GHz. Son empleadas en telecomunicaciones e incluyen las ondas de radio y televisión.
- ✓ Infrarrojo (IR): es la radiación en la que fundamentaremos nuestro estudio. La radiación infrarroja se asocia con los cuerpos que generan calor, ya que todo cuerpo que tenga una temperatura superior al cero absoluto (es decir, todo cuerpo capaz de irradiar calor) emite rayos infrarrojos y éstos serán directamente proporcionales a la temperatura, es decir, la radiación infrarroja será mayor si el cuerpo se encuentra a mayor temperatura, y viceversa. La banda infrarroja se localiza entre 300 GHz y hasta aproximadamente 400 THz del Espectro. Esta banda se divide en cuatro regiones:
 - IR Próximo: se encuentra en el intervalo de longitud de onda desde 780 nm hasta 2500 nm.
 - IR Intermedio: se encuentra en el intervalo de longitud de onda desde 2500 nm a 6000 nm.
 - IR Lejano: se encuentra en el intervalo de longitud de onda desde 6000 nm a 15000 nm.
 - IR Extremo: se encuentra en el intervalo de longitud de onda desde 15000 nm a 1 mm.

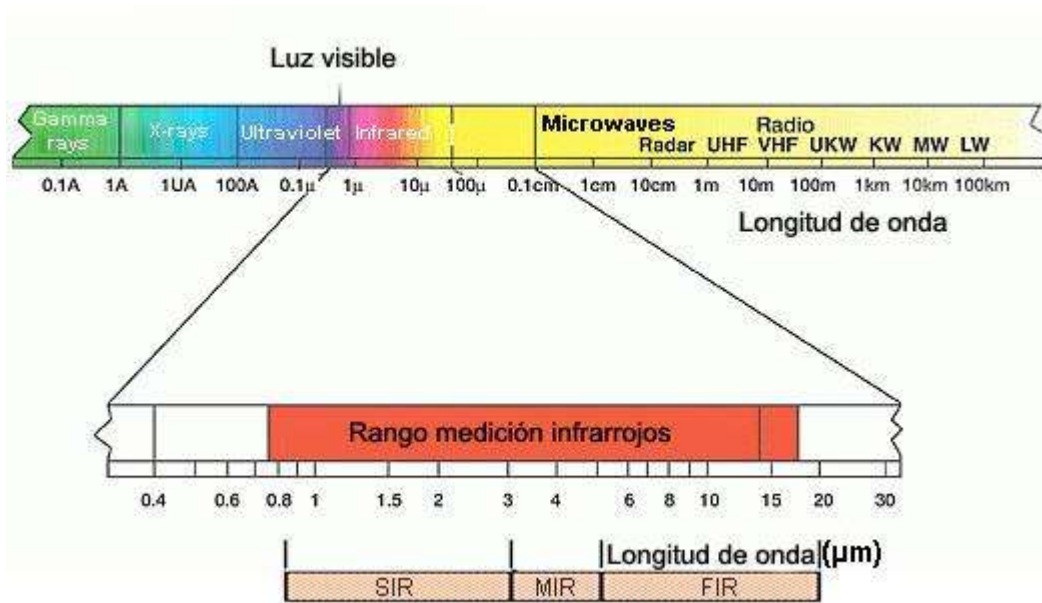


Figura 17. Espectro electromagnético.

- ✓ Luz visible: es la banda del espectro electromagnético, por la cual las ondas electromagnéticas son capaces de estimular el ojo humano. La longitud de onda se encuentra en el intervalo de 400 nm a 800 nm. Sus frecuencias van desde 384 THz hasta 769 THz.

La termografía Infrarroja:

Introducción.

La termografía infrarroja es una técnica no destructiva y sin contacto que está basada en la radiación térmica o energía infrarroja que los cuerpos emiten o reflejan; esta energía se emite en forma de ondas electromagnéticas que viajan a la velocidad de la luz a través del aire o por cualquier otro medio de conducción, y está en relación directa con su temperatura, es decir, cuanto más caliente está el objeto, mayor cantidad de energía emite, y menor longitud de onda tiene esa energía. En general, la emisión se hace en longitudes de onda mayor a las que el ojo humano es capaz de captar, por lo que es invisible.

A través de la termografía, una imagen de infrarrojos se transforma en una imagen radiométrica, que permite visualizar las distribuciones superficiales de temperatura y leer los

valores de las temperaturas de la imagen, a fin de reunir toda la información térmica de un equipo eléctrico o mecánico, de tal forma que se pueda monitorear bajo condiciones de trabajo normales o anormales y descubrir posibles problemas que generarán fallas futuras, pues la temperatura es uno de los primeros parámetros observables que pueden indicar la condición de operación de un equipo.

En el mantenimiento, la termografía infrarroja tiene una amplia gama de aplicaciones para el control de temperatura y detección de fallas. La variable de temperatura tiene un papel relevante, ya que permite medir el aumento de la energía producida en un equipo o componente debido a un deterioro de la condición normal de operación. Se utiliza principalmente en equipos eléctricos, equipos mecánicos, control de procesos, refrigeración, aislaciones de sistemas de fluidos, edificios y estructuras, etc. Así pues, la tecnología termográfica ha evolucionado de tal manera que ahora las cámaras termográficas se han convertido en sistemas compactos de tecnología capaces de distinguir y poder mostrar radiaciones infrarrojas comprimidas en una cámara, ya sea en forma de vídeo o de fotos digitales. Son fáciles de usar y producen imágenes nítidas de alta resolución en tiempo real.

Una cámara termográfica es la única herramienta capaz de representar la pérdida de energía sin necesidad de efectuar ninguna prueba destructiva. El método es rápido y factible, ya que las termografías que produce la cámara son capaces de detectar los infrarrojos con un argumento preciso y de alta confiabilidad.

Evolución.

Aunque la termografía infrarroja no es una tecnología nueva, ha tenido gran crecimiento y difusión en diversos campos en los últimos años porque permite hacer medición sin contacto, basándose en la teoría de la radiación térmica. Además, los avances en la electrónica han permitido diseñar equipos portátiles, económicos y de fácil manejo.

Esta técnica está basada en la teoría de radiación, lo cual permite a la visión humana extenderse a través del espectro infrarrojo. La Norma ASTM E1316 (Baird, Fryer & Grant, 1971, p. 329) define la termografía como “El proceso de mostrar la temperatura real (variaciones de temperatura o emisividad, o ambas) sobre la superficie de un objeto o un ambiente por medio de la medición de las variaciones de la radiación infrarroja”. Por medio de este proceso se puede obtener una imagen térmica conocida como termograma. Otra cualidad de esta técnica, es que las inspecciones pueden realizarse sin pérdida o reducción de la productividad, ya que se realizan en pleno funcionamiento del sistema.

Termograma.

La norma ASTM (Baird et al., 1971) define un termograma como: “Una imagen que indica la temperatura real de un objeto o ambiente en un patrón correspondiente a contraste o color”

Como definición propia, un termograma es una imagen térmica producto de la captura de emisiones naturales de radiación por medio de un equipo que integra una combinación de sistemas de video, termómetros ópticos por radiación infrarroja y complejos algoritmos; en la imagen térmica (Figura 18) se puede observar la diferenciación de colores del cuerpo estudiado, con el fin de determinar y leer en forma precisa las temperaturas de imagen.

En un termograma se obtiene la distribución térmica de todos los componentes de un sistema y se establece la temperatura presente en cada punto de la superficie del objeto, ya sea estacionario o en movimiento, de forma instantánea y a una distancia segura, lo cual es de gran importancia cuando existen altas temperaturas, gases venenosos, corriente eléctrica, entre otras situaciones, que son de alto riesgo en el sitio donde se realiza la medición.

La aplicación de la técnica de termografía infrarroja se puede dar de dos diferentes maneras: la técnica activa y la técnica pasiva.

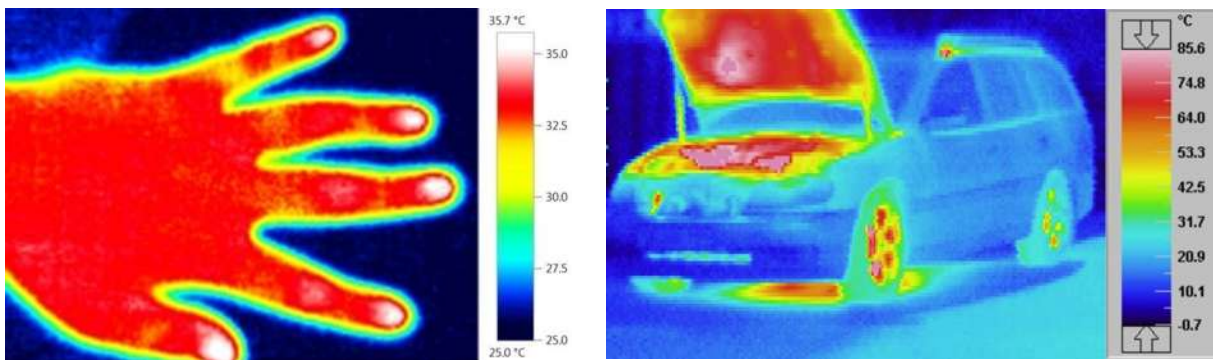


Figura 18. Ejemplos de imágenes térmicas aplicados al cuerpo humano y a un automóvil respectivamente.

Termografía activa.

La termografía activa necesita de una estimulación externa (fuente de radiación infrarroja externa) que incida en el objeto de estudio y que produzca en él un flujo de calor, estas estimulaciones sirven como perturbaciones de flujo de calor sobre la superficie del objeto, de manera que un defecto interno pueda alterar ese flujo, provocando una distribución anómala de la temperatura y

generando patrones de temperatura en la superficie, mismos que se pueden medir y estudiar para establecer el estado del objeto.

Termografía pasiva.

La termografía pasiva no necesita de una estimulación externa para inspeccionar un objeto, pues éste, por su funcionamiento, o por la interacción con su entorno, genera o elimina calor, produciendo patrones de temperatura que se pueden medir; de esta manera, un defecto se podría determinar con una distribución anormal de temperaturas.

Principios fundamentales de la radiación infrarroja.

En el año de 1840 los señores William y John Herschel determinaron el ancho de banda para las diferentes franjas del espectro infrarrojo, que se limita entre $0.01 \mu\text{m}$ y $100 \mu\text{m}$ de longitud de onda. En 1860 Kirchhoff demostró que la capacidad que tienen los cuerpos para emitir es la misma que tienen para absorber energía radiante. El término “cuerpo negro” se refiere a un cuerpo imaginario que absorbe toda la radiación térmica que recibe en cualquier longitud de onda.

En la siguiente imagen (Figura 19) se muestra una gráfica de Longitud de Onda vs. Energía Radiada por un objeto a distintos intervalos de temperatura. El pico de energía ocurre en una longitud de onda más corta; por el contrario, a bajas temperaturas, el pico de energía se produce en una longitud de onda larga.

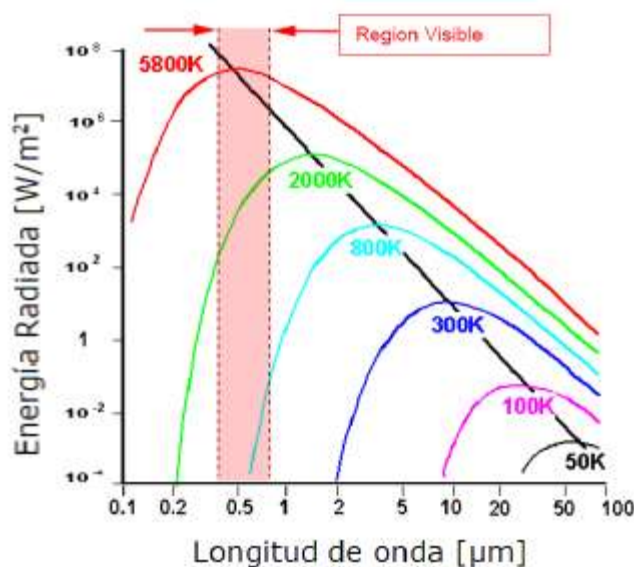


Figura 19. Longitud de onda vs. Energía radiada.

Ventajas y desventajas de la termografía infrarroja.

Hoy en día la termografía infrarroja tiene un rol muy importante en muchas áreas, tanto a nivel industrial como a nivel laboratorio, de tal manera que correctamente aplicada presenta muchas ventajas, de las cuales destacamos:

- ✓ Ofrece un patrón térmico completo de la situación en “tiempo real”.
- ✓ No requiere contacto, por lo tanto no es una técnica destructiva ni intrusiva.
- ✓ Identifica y localiza las anomalías térmicas.
- ✓ Almacena la información térmica.
- ✓ Permite un análisis detallado.

Claro está, la termografía infrarroja también presenta un conjunto de desventajas que se deben conocer y evaluar a la hora de definir si esta técnica es la adecuada para nuestra aplicación. Por ejemplo, es preciso considerar que:

- ✓ Tiene una capacidad limitada para identificar defectos internos, cuando dicho defecto no se manifiesta externamente por aumento de temperatura.

Solución: para nuestras consideraciones hemos fijado una temperatura constante con la ayuda de una celda Peltier y una fuente de voltaje fijo, de tal forma que los valores de temperatura se mantendrán constantes, mientras que la emisividad del material se calibrará con la ayuda de un termopar y con la emisividad correspondiente a un cuerpo negro. Asimismo, las condiciones de Temperatura ambiental y Humedad relativa, son monitoreadas en un espacio donde se mantengan fijas para que no suceda esto.

- ✓ Los reflejos solares o superficies brillantes pueden enmascarar o confundir resultados.

Solución: dichos reflejos son detectables por el software y corregidos por los operarios. Además, se fijaron unas láminas de policarbonato con el fin de evitar fluctuaciones por la radiación humana propia, en todo momento el software de operación realizaba las mediciones pertinentes para tener un menor porcentaje de error.

Aplicaciones de la termografía infrarroja.

La termografía infrarroja apoyada en la física y en los grandes avances tecnológicos transforma mediciones de radiación infrarroja en mediciones de temperatura, lo que permite saber la temperatura a la cual está una superficie u organismo sin necesidad de entrar en contacto con ella. Las cámaras termográficas tienen como señal de entrada la radiación infrarroja y generan una

imagen de un espectro de colores, en el que cada una de ellos representa una temperatura diferente según una escala cromática.

Hoy en día la aplicación de la termografía infrarroja va mucho más allá de la simple toma de medidas de temperatura. En nuestro caso, usamos la termografía como una herramienta precisa y fiable para ver la difusión que hay en un organismo vivo como la semilla, monitoreando la germinación y analizando la absorción de agua.

Elementos de un sistema de termografía.

Los elementos que componen un sistema termográfico son los siguientes:

- ✓ Fuente de radiación u objeto: conformado por el cuerpo principal que se desea estudiar y los demás cuerpos que están dentro del campo visual del sensor.
- ✓ Trayectoria de transmisión: medio a través del cual se propagan las ondas electromagnéticas y determinan las bandas de transmisión en el espectro.
- ✓ Sensor y subsistema de procesamiento: son los elementos más importantes, los resultados que se obtengan serán de una gran utilidad. Para nuestra investigación, usamos una cámara infrarroja, ya que es capaz de ofrecer grandes ventajas, tales como:
 - Alta resolución en temperaturas: tan fina como 0.1 °C
 - Amplia resolución espacial: capaz de medir temperaturas en áreas tan pequeñas como 100 mm² y hasta amplias regiones espaciales.
 - Precisión: $\pm 2^{\circ}\text{C}$ o 2% de la lectura.
 - Amplio rango de temperaturas: -20°C hasta 2500°C
 - Seguridad y velocidad en las inspecciones.
 - Exactitud para localizar problemas.
 - Software para el análisis de termogramas.

La Cámara Termográfica.

La cámara termográfica es un equipo complejo que tiene como función medir la emisión natural de la radiación infrarroja de un objeto para posteriormente determinar su temperatura y generar una imagen térmica, realizando un procesamiento digital de las señales censadas.

Hoy en día las cámaras son dispositivos portátiles, fáciles de manejar, con una velocidad de respuesta alta (orden de los milisegundos o microsegundos); producen una imagen de distintos colores, donde cada uno representa un nivel térmico de la superficie.

Clasificación:

De acuerdo a su respuesta espectral: esta clasificación corresponde a las longitudes de onda que la cámara termográfica puede captar. En la siguiente tabla se muestra dicha clasificación (Radushkevich & Lukyanovich, 1952, pp. 88-95).

Tabla 8.
Respuesta espectral de las cámaras termográficas

Onda Corta: 0.8 μm a 2.5 μm
Onda Media: 2.5 μm a 5.5 μm
Onda Larga: 7.5 μm a 14 μm

De acuerdo al tipo de detector: existen cámaras infrarrojas con detectores criogenizados y cámaras infrarrojas con detectores al medio ambiente. Éstas últimas son en las que basamos nuestra investigación, ya que utilizan sensores que operan a temperatura ambiente o bien que se estabilizan mediante pequeños elementos de control a una temperatura cercana a la ambiental. Los detectores más modernos usan sensores que funcionan cambiando sus propiedades eléctricas cuando se calientan por la radiación infrarroja. Estos cambios son medidos y comparados a los valores de temperatura de operación del sensor.

Partes que componen a una cámara termográfica:

El funcionamiento de una cámara termográfica consiste básicamente en detectar la energía infrarroja de un objeto, convertirla en señales eléctricas y procesarlas para producir una imagen térmica que es visualizada en la pantalla. Detectar el calor de un cuerpo se puede hacer de manera precisa con el fin de hacer un monitoreo térmico e identificar y evaluar la temperatura del objeto. Una cámara termográfica consta principalmente de tres partes (Krätshmer, Lamb, Fostiropoulos & Huffman, 1990, p. 354):

1. Receptor óptico: compuesto por el lente, los filtros y el diafragma:

- a. Lente: por aquí entra la energía infrarroja emitida por el objeto. Está hecho de un material transparente y resistente a la radiación infrarroja, Germanio o Silicio.
 - b. Diafragma: permite seleccionar la cantidad de energía que ingresa al sistema, de acuerdo al nivel de temperatura que se desea observar.
 - c. Filtro: permite seleccionar la energía infrarroja que ingresa al sistema.
2. Detector infrarrojo: convierte la energía radiada en una señal eléctrica que posteriormente será procesada. Los detectores están contruidos con materiales semiconductores y operan a muy bajas temperaturas para evitar interferencias. El detector que utiliza la cámara Testo 870-2[®] consiste en un microbolómetro, el cual es un diminuto resistor de óxido de vanadio o silicio amorfo con elevado coeficiente térmico. Este resistor se coloca en un elemento de silicio con una gran superficie, baja capacidad calorífica y buen aislamiento térmico.

La radiación infrarroja procedente de una gama específica de longitudes de onda golpea al óxido de vanadio y modifica su resistencia eléctrica. Los cambios de temperatura provocan cambios en la temperatura del bolómetro que se traducen en señales eléctricas y se procesan para convertirse en una imagen (Harris, 2003).

3. Microprocesador y electrónica de control: se encargan de manejar la salida de la imágenes generadas a partir de la interacción de fotones de energía emitida por el objeto y los electrones del material detector que genera una señal eléctrica, proporcional a la energía que ingresa al sistema. Dentro de la cámara están ubicados cuerpos negros de referencia, con los que se hace una comparación varias veces por segundo, para así mantener un control permanente sobre la compensación (offset) y la ganancia, haciendo de la cámara un instrumento de altísima precisión en la medición de temperaturas. Se muestra a continuación la cámara termográfica y sus las partes (Baird, 1971).

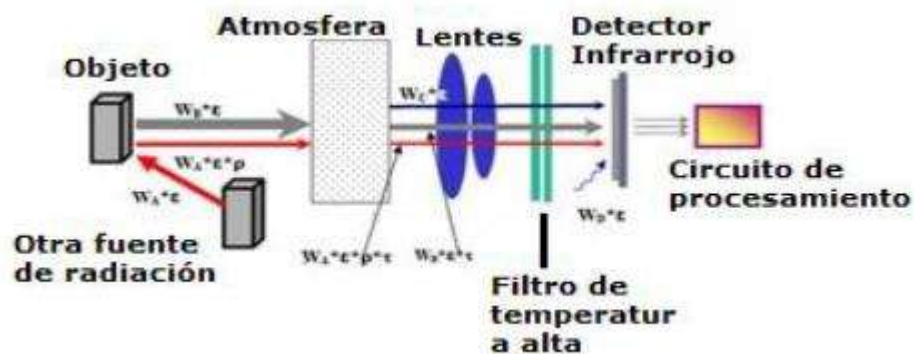


Figura 20: Partes de una cámara termográfica.

Cámara termográfica Testo 872-1 ®

La Tabla 9 tiene las especificaciones técnicas de la cámara termográfica Testo 872. Si se desea saber más información, se sugiere consultar la hoja de datos suministrada por el fabricante.

Tabla 9.

Especificaciones de la cámara termográfica Testo 872-1.

Características de la Imagen	
Campo de visión (FOV)/Distancia Mínima de Enfoque	25°x19°x0,4m
Sensibilidad Térmica (mK)	100mK @ +30°C (+86°F)
Tipo de Detector	Matriz de Plano Focal (FPA) Microbolómetro
Resolución Infrarroja	200 x 150 pixeles
Rango Espectral	7,5 a 13 µm
Zoom Digital y panorámico/ Enfoque	x 1 - x 2 continuo/ enfoque automático y manual
IFOV (lente de 25 grados)	2,18 mRad
Presentación Imagen	
Modos de Imagen	Térmica, digital, Fusión
IR Fusión	Imagen en Imagen (PIP)
Display	Construido en pantalla táctil de cristal líquido (LCD) de 3,5 "
Lámpara de video	1000 cd
Resolución cámara visible	1280 x 1024 (1,3 mega pixeles)
Mediciones	
Rango de temperatura	-20°C a +120°C (-4°F a +248°F), 0°C a 350°C (32°F a 662°F), Opcional hasta +1200°C (+2192°F)
Precisión	±2°C (±3.6°F) or ±2% de lectura
Modos de medida	5 puntos de medida, 5 áreas, Isotermas

Fuente de alimentación	
Tipo de batería	Batería recargable Lithium-Ion
Tiempo de operación de la batería	> 4 horas
Carga de la batería	Dos días el sistema de carga, 10-16 V de entrada. Estado de la carga indicada por LED
Operación AC	Adaptador AC,90-260 VAC de entrada, 12 V de salida a la cámara.
Voltaje	11-16 VDC
Administración de energía	Apagado automático y el modo de suspensión después de un tiempo ajustable
Almacenamiento de imágenes	
Almacenamiento digital / capacidad	Memoria extraíble SD/>1000 imágenes JPEG
Modo de almacenamiento de imágenes y formato	IR/Luz visible, JPEG estándar
Características físicas	
Peso	0,88 Kg (1,94 lb)
Tamaño (L x W x H)	106 x 201 x 125 mm (4.2 x 7.9 x 4.9 in.), con el objetivo apuntando hacia adelante
Montaje del trípode	1/4" – 20
Interfaces	
USB (cable incluido)	Transferir imágenes al PC
Salida de video	NTSC Video
Software	
QuickReport™	Incluido

Principios de transferencia de calor.

“La teoría de transferencia de calor o termocinética es la ciencia que estudia la forma por la cual el calor se propaga desde un cuerpo o sus partes más calientes a otros cuerpos o a sus partes más frías” (Adisa, Cox & Hill, 2011, pp. 24528-24533).

Cuando dos cuerpos a diferentes temperaturas se relacionan, la diferencia de temperatura entre ellos hace que el calor fluya de forma espontánea del cuerpo de mayor temperatura al de menor temperatura. Si se deja que los dos cuerpos interactúen entre ellos, alcanzarán un equilibrio

térmico, es decir, la misma temperatura. Por ejemplo, en la siguiente figura se puede apreciar el calor entre dos cuerpos a diferentes temperaturas.

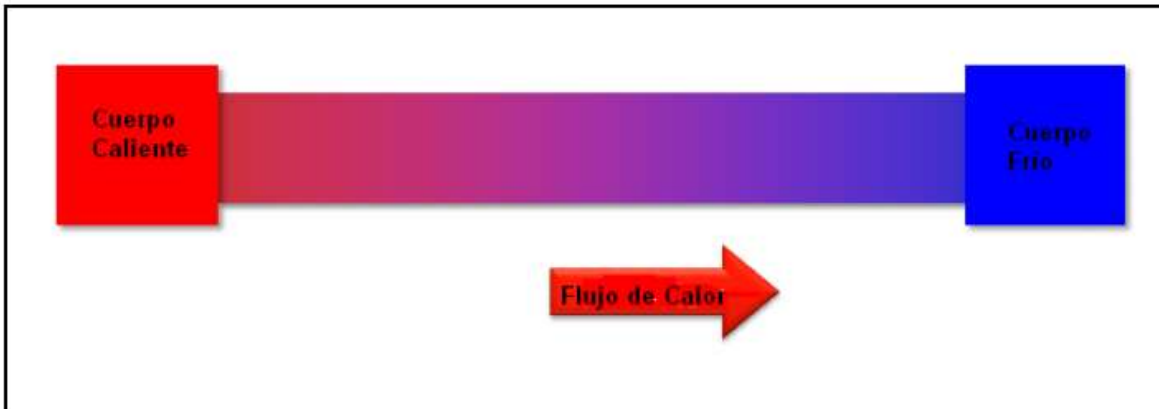


Figura 21. Flujo de calor entre dos cuerpos a diferentes temperaturas.

Termodinámicamente, el calor se define como la forma de energía que se transfiere entre dos sistemas (o un sistema y sus alrededores) debido a una diferencia de temperatura, es decir, una interacción de energía es calor sólo si ocurre debido a una diferencia de temperatura. De ello se deduce que no hay ninguna transferencia de calor entre dos sistemas que se encuentran a la misma temperatura. Por tal motivo, consideramos que el área de transferencia de donde destacará nuestra muestra, tendría una temperatura constante pero distinta a la temperatura ambiente, con el fin de que la cámara pudiera determinar la transferencia de energía. Del mismo modo, realizamos las pruebas en el menor tiempo posible, puesto que el segundo principio de la termodinámica nos establece que “un sistema cerrado tenderá siempre a equilibrar su temperatura” De manera que se hubiera alcanzado un equilibrio térmico y por ende no habría transferencia de calor.

Ahora bien, sabemos que el calor se transfiere en tres diferentes maneras: conducción, convección y radiación, siendo esta última el enfoque de nuestro estudio.

Radiación: es la energía emitida por todo cuerpo que se encuentre por encima del cero absoluto de temperatura (0 K o -273.15 °C) por ondas electromagnéticas; no necesita un medio material para transferir la energía, es decir, lo hace en el vacío. Cualquier otro medio lo entorpece en mayor o menor medida.

“En esta forma de transferencia de calor, una parte de la energía interna del cuerpo caliente se transforma en energía radiante que se propaga a través del campo electromagnético, convirtiéndose nuevamente en energía termocinética de las partículas del segundo cuerpo (cuerpo irradiado), cuando a éste lo alcanzan las ondas” (Adisa et al., 2011).

Todos los sólidos, líquidos y gases emiten, absorben o transmiten radiación en diversos grados. Sin embargo, la radiación suele considerarse como un fenómeno superficial en sólidos

opacos a la radiación térmica. La tasa de radiación máxima que puede emitirse desde una superficie a una temperatura absoluta T_S está dada por la ley de Stefan-Boltzmann (Adisa et al., 2011).

$$Q_{m\acute{a}x} = \sigma AT_S^4$$

Donde:

$$Q_{m\acute{a}x} = \text{Tasa de radiaci3n m\acute{a}xima} \left(\frac{W}{m^2} \right)$$
$$\sigma = \text{Constante de Stefan Boltzmann} = 5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$$
$$T = \text{Temperatura absoluta del cuerpo (K)}$$

Sin embargo, la radiaci3n emitida por todas las superficies reales es menor que la radiaci3n emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura, expresada entonces como:

$$Q_{m\acute{a}x} = \varepsilon \sigma AT_S^4$$

Donde:

$$\varepsilon = \text{Emisividad del material (adimensional)}$$

Ahora bien, Cuando dise\~namos un equipo en el que se ha efectuado una transferencia de calor por radiaci3n es importante reconocer ciertas propiedades en la superficie del material, como lo son la emisividad, la absorptividad y la reflectividad.

Emisividad (ε):

Es la propiedad de un material para emitir radiaci3n infrarroja cuyo valor est\~a en el intervalo de $0 \leq \varepsilon \leq 1$ donde la emisividad m\~axima $\varepsilon = 1$ es la del cuerpo negro.

El valor de la emisividad var\~a seg\~un las propiedades de la superficie, del material y para algunos materiales seg\~un la temperatura del objeto medido. Para nuestro estudio debemos considerar que los metales, sobre todo aquellos con superficie brillante, tienen baja emisividad y \~esta fluct\~ua con la temperatura (Chen, Chen, Ye, Daraio & Jin, 2006, p. 153).

Tabla 10.
Valores típicos de emisividades para materias comunes.

Material	Emisividad*
Aluminio, pulido	0,05
Aluminio, superficie rugosa	0,07
Aluminio, muy oxidado	0,25
Placa de amianto	0,96
Tela de amianto	0,78
Papel de amianto	0,94
Pizarra de amianto	0,96
Latón mate deslustrado	0,22
Latón pulido	0,03
Ladrillo común	0,85
Ladrillo vidriado basto	0,85
Ladrillo refractario basto	0,94
Bronce poroso basto	0,55
Bronce pulido	0,1
Carbono purificado	0,8
Hierro fundido, fundición esbozada	0,81
Hierro fundido pulido	0,21
Carbón en polvo	0,96
Cromo pulido	0,1
Arcilla cocida	0,91
Hormigón	0,54
Cobre pulido	0,01
Cobre bruñido comercial	0,07
Cobre oxidado	0,65
Cobre negro oxidado	0,88
Cinta aislante, plástico negro	0,95
Esmalte **	0,9
Formica	0,93
Terreno congelado	0,93

Absortividad:

Cuando un cuerpo recibe una potencia calorífica que llega en forma de radiación electromagnética por lo general no se absorbe toda la potencia perfectamente, sino sólo una parte, dependiendo del tipo del material. La proporción de la radiación total que un cuerpo absorbe es la absortividad, que suele indicarse con la letra griega α .

Reflectividad:

Los cuerpos perfectamente negros absorben toda la radiación que les llega, pero son un caso especial. Generalmente, un cuerpo refleja parte de la radiación que incide sobre él. La proporción

de la radiación que el cuerpo refleja es la reflectividad, que a menudo aparece indicada con la letra griega ρ .

Relación entre la absorptividad, la reflectividad y la transmisividad:

Como la radiación que incide sobre un cuerpo solamente puede absorberse, reflejarse o transmitirse, la suma de la absorptividad, la reflectividad y la transmisividad, que son las proporciones de la radiación que acaban de un modo u otro ha de ser igual a la unidad:

$$\alpha + \rho + \tau = 1.$$

En los cuerpos opacos, la transmisividad es efectivamente nula. Hemos diseñado un soporte hecho de aluminio, como material con un alta emisividad y que además hemos revestido de color negro para simular al cuerpo negro y con ello proveer capas de policarbonato, con el fin de que la reflectividad sea la menor posible. En nuestro sistema nos hemos concentrado exclusivamente en la emisividad.

Sistemas para la medición de temperatura.

Actualmente existen diversos tipos de sistemas para la medición de la temperatura, aprovechando los efectos producidos por la temperatura en los diferentes materiales. Los usados en este experimento fueron:

Pirómetro óptico: en este dispositivo aparece un filamento de la lámpara que desaparece al momento de compararlo visualmente con la imagen del objeto caliente enfocado, controlando la corriente de la lámpara hasta que el filamento de la misma deje de verse sobre el fondo de dicho objeto. El sistema óptico mide la zona roja del espectro de temperaturas mayores a 700°C, donde la radiación visible emitida es significativa:

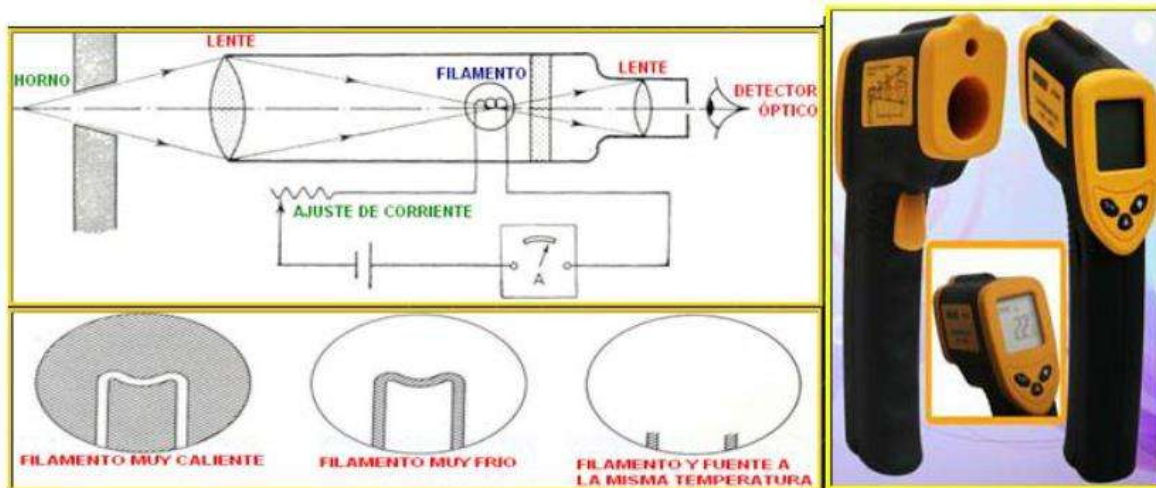


Figura 22. Pirómetro óptico, para calibrar la emisividad de un cuerpo.

Celda Peltier: el efecto Peltier consiste en hacer pasar una corriente que genera la diferencia de temperaturas entre las dos caras (Una P y una N) de un mismo semiconductor. Dicha celda por lo general está fabricada con Bismuto para la cara del semiconductor tipo P y Telurio para la cara tipo N. Para esta investigación fijamos los parámetros de la celda recubriendo las caras con capas de aluminio, pintadas de negro. Asimismo, la celda fue conectada a una fuente de voltaje, con una tensión máxima de 6V, corriente de 2.5 A, provocando una diferencia de temperaturas de 36° C, entre la cara fría y la cara caliente de la celda. En la Figura 23 se muestra la estructura interna de una celda Peltier, donde se observan los elementos semiconductores.



Figura 23. Estructura interna de una celda Peltier.

En la siguiente imagen, una polarización se distribuye a lo largo de cada elemento semiconductor de la celda, es decir, cada elemento semiconductor posee una diferencia proporcional a la polarización de entrada. Los electrones débilmente ligados (portadores mayoritarios) emigran hacia el lado positivo de cargas de diferente signo, mientras que los portadores huecos de los elementos semiconductores P, emigran hacia la terminal negativa que se encuentra en cada uno de sus extremos. Esta ausencia de carga en cada uno de los elementos del semiconductor, cerca de la unión metálica, provoca un enrarecimiento de cargas y el consecuente descenso de temperatura en el área circundante, mientras que la acumulación de portadores o compresión cerca de la unión metal semiconductor, provoca un ascenso de temperatura. Podemos afirmar, entonces, que basta con invertir la polaridad de la fuente de alimentación, para que la cara fría sea la que se caliente, mientras que la cara caliente sufra ahora un descenso de temperatura.

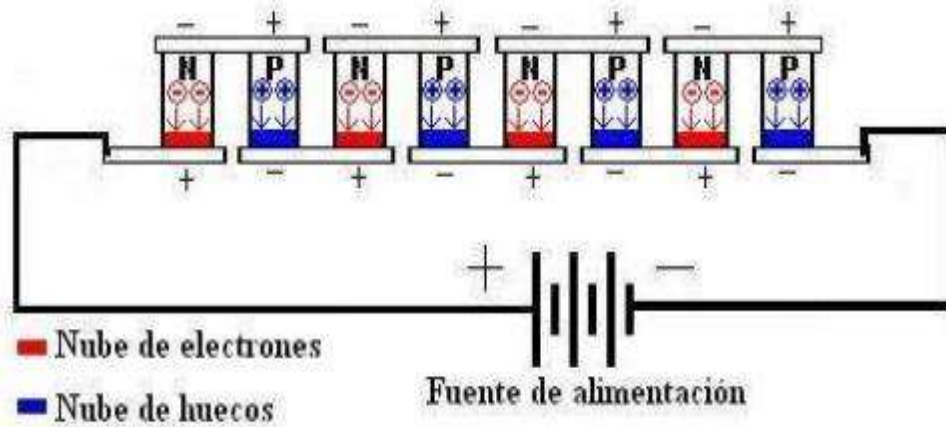


Figura 24: Compresión y enrarecimiento de portadores de carga cerca de la unión metal semiconductor en una celda Peltier.

5. Etapa experimental

Interacción de las semillas de maíz con dispersiones acuosas de Nanotubos de Carbono Multiparedes (NTCMP) y C.A. durante las fases de crecimiento de plantas.

1) Reactivos:

- a. NTCMP, pureza >95%, Sigma Aldrich ®

SIGMA-ALDRICH®

sigma-aldrich.com

Product Specification

Product Name:

Carbon nanotube, multi-walled - carbon >95 %, O.D. × L 6-9 nm × 5 µm

Product Number:

724769

CAS Number:

308068-56-6

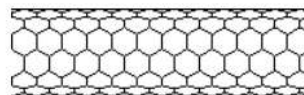


Tabla A. Nanotubos de Carbono Multipared

Marca	Sigma Aldrich ®
Pureza	>95%
Diámetro (D)	6-9 nm
Aspecto	Polvo Negro
Longitud (L)	5 µm
Capas	3 a 6
Punto de fusión	3652-3697 °C
Densidad	~2.1 g/ml
Síntesis	Sintetizados por Deposición Química de Vapor (CVD), usando Cobalto y Molibdeno como catalizadores (CoMoCAT ®)

TEST	Specification
Appearance (Color)	Black
Appearance (Form)	Powder
Residual Mass (TGA)	< 5.0 %
Carbon (TGA)	≥ 95.0 %

Specification: PRD.0.ZQ5.10000025520

b. Nanotubos de Carbono Multipared, pureza >99%, Sigma Aldrich®: NTCMP-99%

SIGMA-ALDRICH®

sigma-aldrich.com

Product Specification

Product Name:
Carbon nanotube, multi-walled - >98% carbon basis, O.D. × L 6-13 nm × 2.5-20 μm

Product Number: 698849
CAS Number: 308068-56-6

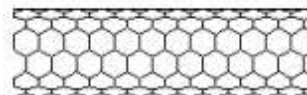


Tabla B. Nanotubos de Carbono Multipared

Marca	Sigma Aldrich®
Pureza	>98%
Diámetro (D)	6 - 13 nm
Aspecto	Polvo Negro
Longitud (L)	2.5 a 20 μm
Capas	7 a 13
Punto de fusión	3652-3697 °C
Densidad	~2.1 g/ml
Síntesis	Sintetizados por Deposición Química de Vapor (CVD), seguido por una desmineralización de HCl

TEST	Specification
Appearance (Color)	Black
Appearance (Form)	Powder
Trace Metal Analysis	≤ 20000 ppm
Purity	Meets Requirements
>=98% Based on Trace Metals Analysis	
Vendor	Confirmed
Purity: >98% (X-ray Diffraction)	
MWNT: 98% (HRTEM)	
Outer Diameter: 8.0-13.0 nm (HRTEM)	
Average Diameter: 8.7 nm-10 nm (HRTEM)	
Inner Diameter: 2.0-6.0 nm (HRTEM)	
Length: 2.5-20 micron (TEM)	
Average Length: 10 micron (TEM)	
Surface Area: 216 m ² /g (BET)	
Specification: PRD.0.ZQ5.10000017325	

2) Carbón Activado, polvo Sigma Aldrich®: C.A.



Product Specification

Product Name:
Activated charcoal - DARCO®, -100 mesh particle size, powder

Product Number:	242276	C
CAS Number:	7440-44-0	
MDL:	MFCD00133992	
Formula:	C	
Formula Weight:	12.01 g/mol	

Tabla C. Carbono activado	
Marca	Sigma Aldrich®
Tamaño de Partícula	Malla 100 [0.149 mm]
Aspecto	Polvo Negro [150 µm-250 µm]
Resistividad	1375 µΩ-cm, 20°C (graphite)
Punto de fusión	1547.6 °C
Presión de Vapor	<0.1 mmHg (20°C)

TEST	Specification
Appearance (Color)	Black
Appearance (Form)	Powder
Moisture Content	< 12 %
Water Soluble Substance	< 0.50 %
Acid Soluble Substance	< 200 ppm
Iron	< 15
Miscellaneous Assay	> 15
Methylene Blue Adsorption (g/100g)	> 15
Supplier Info	Confirmed
DARCO Coda G-60 Confirmed	
Specification: PRD.0.ZQ5.1000025703	

- 3) Nanotubos de Carbono multipared, pureza >97%, funcionalizados con -COOH: Manufacturado por Dr. Javier Lara y colaboradores, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo: NTCMP-97%



Reactivos:

- ✓ Ferroceno (98% Aldrich): catalizador para el crecimiento de los NTC.
- ✓ Alfa-Pineno (98% Aldrich): fuente botánica de carbono en la síntesis.
- ✓ Argón (99.7%-INFRA): alta pureza como gas de arrastre.

Equipos:

- ✓ Horno tubular eléctrico, marca BI Barnstead Thermolyne, modelo 21100.
- ✓ Micro nebulizador pediátrico, marca Hudson RCI.
- ✓ Tubos de cuarzo tipo Vycor.

Síntesis: (Tovar, 2008).

Se obtuvieron los NTC por el método del rocío pirolítico, inyectando una mezcla de metaloceno a través de un nebulizador dentro de un horno tubular de reacción para formar la base de los nanotubos. Los NTC se formarán en tubos de cuarzo, al llevarse a cabo dos reacciones: una homogénea, que corresponde a la pirolisis, usando una mezcla de ferroceno/alfa-pineno nuevamente con un nebulizador, dentro de un horno tubular; y otra heterogénea, que se lleva a cabo entre fragmentos de la pirolisis en fase vapor y los núcleos de hierro formados por la descomposición del ferroceno. Se utiliza, además, un flujo de Argón (Ar) de 5 Lpm y una Temperatura de 800°C.

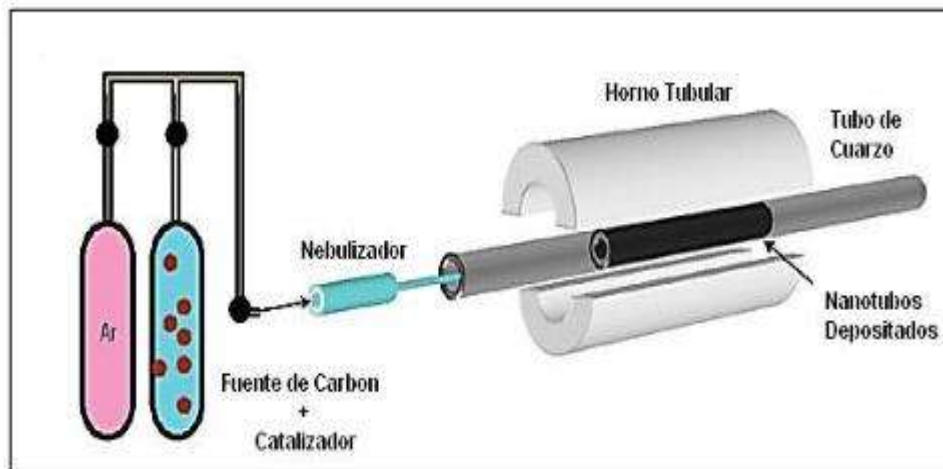


Figura 25. Método del rocío pirolítico.

La purificación y funcionalización de los NTC se realizó por lixiviación de ácidos, esto para lograr generar sitios activos de carboxílicos (-COOH), carbonilos (-C=O) e hidroxilos (-OH) para que posteriormente puedan ser depositadas las nanopartículas metálicas.

- ✓ Se dispersan 0.5 g de NTCMP en 150 ml de HCl concentrado por 4 horas. Temperatura constante, por debajo de la de ebullición del HCl. El filtrado y el lavado de los NTCMP se realizó con agua desionizada.
- ✓ Los NTCMP obtenidos se llevan a reflujo constante por 8 horas con 100 ml de HNO₃ con un matraz de bola de 1 boca, de 250 ml unido a un refrigerante con un flujo mínimo de agua. Los NTCMP resultantes se filtran y se lavan nuevamente con agua desionizada.
- ✓ Los NTCMP se mezclan con 50 ml de H₂SO₄ y 50 ml de HNO₃. Posteriormente se filtran, se lavan con agua desionizada y finalmente se secan en un horno a 200°C.

Las etapas de purificación y funcionalización se describen en el siguiente esquema:

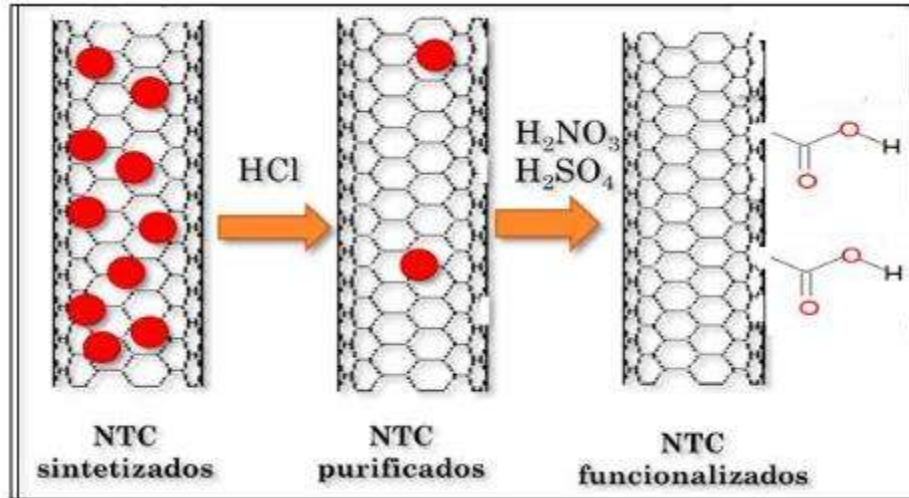


Figura 26. Etapas de purificación y funcionalización.

4) Semillas de Maíz.

Maize (*Zea Mays* var., saccharata). Hortaflo, Rancho Los Molinos®, S.A. de C.V.



Figura 27. Semillas de maíz Hortaflo.

5) Medio: Control.



INFORME DE ENSAYO

UMSNH LABORATORIO DE BIOFISICA
Morelia, Mich.

I.E. No. 63V
MUESTRA No. 63

Tipo de muestra:	Agua Destilada
Fecha de muestreo:	2015/01/16
Muestreado por:	CEMA, S. C.
Punto de muestreo:	Destilador de Agua
Fecha de recepción:	2015/01/16
Periodo de prueba:	2015/01/16 - 2015/01/21

ANÁLISIS FISCOQUÍMICO

PARÁMETROS DE LABORATORIO	U	CONCENTRACIÓN	METODOLOGÍA	LIMITE PERMISIBLE NC-ISO 3696:2004
INTERVALO DE pH A 25°C	U	7,109	NMX-AA-008-SCFI-2011	5,0 - 7,5
CONDUCTIVIDAD ELECTROLITICA A 25 °C	mS/m	0,018	NMX-AA-026-SCFI-2001	0,5
RESIDUOS DESPUES DE EVAPORAR Y CALENTAR A 110°C	mg/Kg	2,0	NMX-AA-034-SCFI-2001	2

AUTORIZA



[Firma]
Q.F.B. LUZ DE LA E. TORRES ROSAS
COORDINADOR DE LABORATORIO
CED. PROF. 1033929

Los resultados representan las características de la muestra analizada. Este informe no podrá ser reproducido sin la autorización previa de CEMA, S. C.

Página 1 de 1

Centro de Estudios en Medio Ambiente
W.A. MOZART #639, COL. LA LOMA, C.P. 58290. MORELIA, MICH. T. (443) 315 77 84 / 314 08 31 / 324 41 72
cemamexico.com

6) Etapa Experimental:

1) Preparación de soluciones de NTC.

1.1 Determinación de la concentración de NTCMP disueltos en Agua.

Equipo:

- ✓ Balanza analítica de precisión, modelo H-5278; Tamaño de plataforma: Redondo, 7.7x7"; Capacidad/Precisión: 420 g x 0.001 g.



Figura 28. Balanza analítica de precisión.

- ✓ Multiagitador (5 plataformas) Magnético Digital sin calefacción, Marca Thermo Scientific: Área de superficie de agitación: 5 agitadores, 10.8 x 10.8 cm; Velocidad: Ajustable, de los 100 a 600 rpm; Temperatura: 5 – 100°C; Sistema Eléctrico: 220 – 240 V. 50/60 Hz.



Figura 29. Multiagitador Magnético Digital.

Metodología:

- 1) Determinar la masa adecuada de NTCMP para una concentración de 20 ppm, para NTCMP 95%, 97%, C.A y 10 ppm para 99%.

Se ha demostrado que a concentraciones menores de 20 ppm, los NTCMP no resultan tóxicos para la interacción y el desarrollo de las semillas y sus procesos metabólicos. El estudio hecho por Tiwari (2013) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, muestra que para una pureza del 99% es necesario disminuir la concentración hasta la mitad, es decir 10 ppm. El estudio muestra que los NTCMP en medio acuoso favorecen la tasa de germinación, y por ende el crecimiento de plantas.

La primera fase consistió en preparar estas concentraciones de NTCMP, dispersadas en agua desionizada. Recordando el concepto de Partes por Millón (ppm) como una medida de la concentración de una sustancia que hay por cada millón de unidades del conjunto, tenemos:

$$ppm = \frac{W \text{ sustancia analizada}}{W \text{ medio acuoso}} \cdot 10^6$$

Despejando la masa de la sustancia analizada:

$$\frac{(ppm)(W \text{ solución})}{10^6} = W \text{ sustancia analizada}$$

El agua la hemos considerado con una densidad de **1 g/ml**, ya que si bien la densidad influye con la Temperatura, el valor respecto a la densidad de referencia es considerado despreciable por la baja concentración de las enmiendas que se utilizan. Con todo esto, calculamos la masa que debemos meter a la balanza para preparar nuestras concentraciones. Para ello, preparamos una concentración equivalente a 20 ppm en miligramos por L Puesto que el medio de tratamiento es la suspensión de NTCMP y C.A., en agua, por lo que:

$$X \text{ ppm} = \frac{X \text{ mg}}{1 \text{ L solución}}$$

Asumiendo que la solución, al ser agua, mantenga una densidad de 1 g/ml podemos asegurar que:

$$1 \text{ L} = 1000 \text{ ml} = 1000 \text{ g}$$

Sustituyendo:

$$X \text{ ppm} = \frac{X \text{ mg}}{1000 \text{ g solución}}$$

Tabla D. Cálculo de la masa en gramos de cada sustancia			
Sustancia	[ppm]	Disolvente	Masa [g]
C.A	20 ppm	1 L H ₂ O [DEST]	0.0200 g
NTC-MW 97% J.L	20 ppm	1 L H ₂ O [DEST]	0.0210 g
NTC-MW 95% S.A	20 ppm	1 L H ₂ O [DEST]	0.0210 g
NTC-MW 99% S.A	10 ppm	1 L H ₂ O [DEST]	0.0130 g

2) Dispersar los NTCMP en 1 L de H₂O desionizada (H₂O, DI)

Usando el multiagitador, vertimos la masa calculada de NTCMP y C.A. en vasos de precipitados. Volumen: 1 L de H₂O, DI. Velocidad: 30 rpm con un agitador electromagnético. Cuando se utilizan dispersiones ultrasónicas para el tratamiento de los NTCMP, estos pueden dañar su morfología, por eso utilizamos una agitación constante, mucho más baja, pero para un tiempo mayor, que no daña la estructura de los NTCMP. Tiempo: 24 horas.

Cada uno de los vasos fue etiquetado con los siguientes títulos:

- NTCMP 95% S.A. Nanotubos de Carbono multipared, pureza de 95%, Sigma Aldrich.
- NTCMP 99% S.A. Nanotubos de Carbono multipared, pureza de 99%, Sigma Aldrich.
- NTCMP 97% J.L. Nanotubos de Carbono multipared, pureza 97%, Dr. Javier Lara y et al.
- C.A: Carbón activado. Sigma Aldrich.
- Control. Solución de referencia: Agua destilada ultra pura.



Figura 30. Agitación de las soluciones de NTC.

3) Centrifugación de medios acuosos:

Equipo:

- ✓ Centrifuga de Laboratorio, Modelo Velocity 14, Dynamica compacta con contenedores móviles; Velocidad: 14000 rpm.



Figura 31. Centrifuga de Laboratorio

- ✓ Medidor multifuncional pH/conductividad y sales disueltas, resistente al agua ExSTIK-II. Combinación de electrodo de alta superficie y celda de conductividad de alta precisión:



Figura 32. Medidor multifuncional

Metodología: se seleccionó una alícuota de 47.25 g de cada dispersión y se realizó la centrifugación a las siguientes especificaciones: una velocidad de 10000 rpm Tiempo: 15 min. T ambiental: (24°C). HR (Humedad Relativa): 60%

Se decantó el sobrenadante y se midieron sus propiedades fisicoquímicas usando el medidor multifuncional pH-/conductividad y sales disueltas ExSTIK II, antes y después de la imbibición de las semillas, para así analizar las propiedades fisicoquímicas del agua destilada con los NTCMP y el C.A. Los resultados se muestran en la tabla x:

Resultados:

Las soluciones de NTC-99%SA y NTC-95%SA, NTC-97%JL, C.A-SA, fueron analizadas para determinar propiedades fisicoquímicas, tales como el pH y la conductividad antes y después de la imbibición. Los resultados se muestran un poco más adelante (Tabla 11).

- 4) Seleccionar lotes de 50 a 60 semillas para cada disolución y realizar su esterilización superficial.

Tomamos las semillas Maize (Zea Mays var., saccharata) Hortaflor, Rancho Los Molinos, S.A. de C.V, seleccionando lotes de 50 semillas que no tuvieran manchas, presentaran picaduras, o fueran muy pequeñas.

Semillas seleccionadas:



Semillas descartadas:



Reporte de resultados del experimento “Difusión de NTCMP a través de la corteza de la semilla de maíz”

Etapa 1: Absorción de agua en las semillas.

1. Selección de lotes de semillas que entrarán al incubador. Contiene el número de semillas y su masa en gramos (g). Previamente las semillas fueron esterilizadas superficialmente. Para ello usamos la siguiente metodología:

a. Metodología para la esterilización superficial de semillas de maíz:

- 1) Preparar soluciones de Etanol disuelto en agua destilada al 70% e Hipoclorito, marca comercial CLORALEX®, al 10%.
- 2) Poner los lotes de semillas en vasos de precipitados con agitador electromagnético.
- 3) Realizar los lavados correspondientes: 1 minuto con Etanol 70%. Posteriormente 2 minutos con Hipoclorito al 10%.
- 4) Agregar agua destilada para enjuagar. Repetir los enjuagues 3 veces más.
- 5) Secar las semillas con aire comprimido durante 1 minuto.

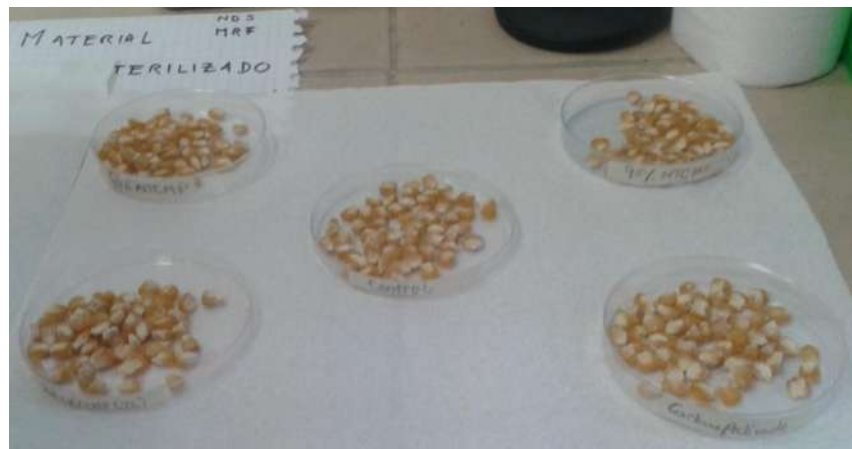


Figura 33. Semillas esterilizadas superficialmente.

6) Pesar las semillas con ayuda de la balanza. Los resultados son los siguientes:

Tabla A.
Lotes de semillas para cada solución, reportando masa.

Lote	Número de Semillas	Masa (g)
Control	56	11.0060 g
Carbón Act.	59	11.1862 g
NTC 99% S.A.	61	11.6611 g
NTC 95% S.A.	54	10.2350 g
NTC 97% (JL)	55	10.8535 g

Las semillas entraron al incubador con una temperatura fija de 30 °C, durante 24 horas:



Figura 34. Horno secado HK-36 de la serie Kitlab.

2. Peso de las semillas después de pasar por el incubador: una vez transcurrido un día entero, retiramos nuestras muestras del incubador y luego entraron nuevamente a la balanza para determinar el peso que perdieron las semillas por la cantidad de agua que tienen per se (deshidratación) en cada lote. Los resultados se describen en la tabla siguiente:

Tabla B. Masa de semillas deshidratadas.	
Control	10.8449 g
Carbón Act.	11.042 g
NTC 99% S.A.	11.4966 g
NTC 95% S.A.	10.0739 g
NTC 97% (JL)	10.6882 g

3. Agua deshidratada (g): La diferencia de pesos entre (1) y (2) será la cantidad de agua que se le retiró a la semilla en un día, a una temperatura de 31° C.

$$W_{\text{Agua/semilla}} = W_{\text{Húmedo}} - W_{\text{Seco}}$$

Tabla C. Diferencia de pesos		
Lote	Diferencia entre la masa de semillas deshidratadas (g)	
Control	0.1611	g
Carbón Act.	0.1442	g
NTC 99% S.A.	0.1645	g
NTC 95% S.A.	0.1611	g
NTC 97% (JL)	0.1653	g

4. Interacción de los de NTCMP y C.A con las semillas de maíz: se mezclaron la mitad de las dispersiones de NTCMP y C.A. con lotes de 5 semillas esterilizadas superficialmente. Durante cada hora se realizó una prueba en la cual se extraían las semillas de sus dispersiones correspondientes, se secaban cuidadosamente con toallas de papel de cocina y finalmente se tomaban las lecturas de su masa (g) en la balanza.

Reportamos los valores de Temperatura (°C) y Humedad Relativa (RH))

Prueba 1. Tiempo transcurrido: 1 hora (t₁).

T(°C)	RH
25.2	59%

Prueba 1	Control	Carbón Act.	NTC 95% S.A.	NTC 99% S.A.	NTC 97% (JL)
t₁	1 h	1 h	1 h	1 h	1 h
W₁ (g)	0.2011	0.2232	0.2497	0.2452	0.2834
W₂ (g)	0.1898	0.2365	0.2823	0.2003	0.2304
W₃ (g)	0.2758	0.1636	0.2736	0.2128	0.2478
W₄ (g)	0.2052	0.1938	0.1881	0.3143	0.276
W₅ (g)	0.2736	0.2044	0.2544	0.2761	0.2178

Promediando dichos pesos y sustrayéndole al resultado el valor del peso seco reportado en el paso 1 para valores de semillas fijos, tenemos:

Control	Carbón Act.	NTC 95% S.A.	NTC 99% S.A.	NTC 97% (JL)
10.8449	11.042	10.0739	11.4966	10.6882
Cantidad de Semillas				
56	59	54	61	55
Peso por semilla				
0.19365893	0.18715254	0.1865537	0.18846885	0.19433091

Realizando el cálculo tenemos:

$$W_{prom} = \frac{\text{Peso seco}}{\text{No de semillas}} \quad (Z)$$

$$\text{Diferencia} = \frac{\sum_1^5 W_{semillas}}{5} - W_{prom} \quad (Z2)$$

Prueba 1	Control	Carbón Act.	NTC 95% S.A.	NTC 99% S.A.	NTC 97% (JL)
t ₁	1 h	1 h	1 h	1 h	1 h
W prom	0.2291	0.2043	0.2496	0.2497	0.2511
Diferencia	0.0354	0.0171	0.0631	0.06127	0.0567

Prueba 2 (14:26 h – 15:26 h). Tiempo transcurrido desde t_0 : 2 horas (t_2):

T(°C)	RH
25.9	57%

Prueba 2	Control	Carbón Act.	NTC 95% S.A.	NTC 99% S.A.	NTC 97% (JL)
t_2	2 h	2 h	2 h	2 h	2 h
W₁ (g)	0.2506	0.3237	0.1583	0.1545	0.3232
W₂ (g)	0.2379	0.2068	0.2508	0.2592	0.2325
W₃ (g)	0.2784	0.1843	0.2454	0.2485	0.2345
W₄ (g)	0.2727	0.2653	0.3008	0.3398	0.3331
W₅ (g)	0.2669	0.3142	0.1573	0.2962	0.3553

Masa promedio y diferencia de masa entre t_2 :

Masa promedio (Prueba 2)	Control	Carbón Act.	NTC 95% S.A.	NTC 99% S.A.	NTC 97% (JL)
t_1	15:25	15:27	15:31	15:35	15:40
W prom	0.2613	0.2589	0.2225	0.2596	0.2957
Diferencia	0.0676	0.0717	0.0360	0.0712	0.1014

Prueba 3 (15:26 h – 16:26 h) Tiempo transcurrido desde t_0 : 3 horas (t_3):

T(°C)	RH
26.7	55%

Prueba 3	Control	Carbón Act.	NTC 95% S.A.	NTC 99% S.A.	NTC 97% (JL)
t_3	3 h	3 h	3 h	3 h	3 h
W₁ (g)	0.2487	0.3186	0.2684	0.26	0.3483
W₂ (g)	0.344	0.1985	0.1618	0.1767	0.2639
W₃ (g)	0.3306	0.2875	0.2969	0.3288	0.247
W₄ (g)	0.1882	0.2325	0.1772	0.2005	0.2447
W₅ (g)	0.3172	0.2173	0.2322	0.2337	0.2519

Masa promedio y diferencia de masa entre t2:

Masa promedio (Prueba 3)	Control	Carbón Act.	NTC 95% S.A.	NTC 99% S.A.	NTC 97% (JL)
t ₁	15:25	15:27	15:31	15:35	15:40
W prom	0.2857	0.2509	0.2273	0.2399	0.2712
Diferencia	0.0921	0.0717	0.0407	0.0515	0.0768

Prueba 4 (16:26 h – 17:26 h). Tiempo transcurrido desde t₀: 4 horas (t₄):

Condiciones de Humedad y Temperatura ambiente:

T(°C)	RH
26.7	55%

Prueba 4	Control	Carbón Act.	NTC 95% S.A.	NTC 99% S.A.	NTC 97% (JL)
t₁	17:37	17:33	17:29	17:45	17:41
W₁ (g)	0.2531	0.3483	0.3095	0.1929	0.2753
W₂ (g)	0.2296	0.2407	0.1635	0.2932	0.2937
W₃ (g)	0.304	0.3127	0.2914	0.2521	0.2564
W₄ (g)	0.273	0.2329	0.2859	0.2828	0.3342
W₅ (g)	0.239	0.2703	0.1731	0.1239	0.2754

Masa promedio y diferencia de masa entre t3:

Prueba 4	Control	Carbón Act.	NTC 95% S.A.	NTC 99% S.A.	NTC 97% (JL)
t₁	16:39	16:35	16:31	16:26	16:43
W prom	0.2597	0.2810	0.2447	0.2290	0.2870
Diferencia	0.0661	0.0938	0.0581	0.0405	0.0927

Prueba 5 (16:26 h – 17:26 h). Tiempo transcurrido desde t_0 : 5 horas (t_5):

T(°C)	RH
26.7	54%

Prueba 5	Control	Carbón Act.	NTC 95% S.A.	NTC 99% S.A.	NTC 97% (JL)
t₁	17:37	17:33	17:29	17:45	17:41
W₁ (g)	0.2531	0.3483	0.3095	0.1929	0.2753
W₂ (g)	0.2296	0.2407	0.1635	0.2932	0.2937
W₃ (g)	0.304	0.3127	0.2914	0.2521	0.2564
W₄ (g)	0.273	0.2329	0.2859	0.2828	0.3342
W₅ (g)	0.239	0.2703	0.1731	0.1239	0.2754

Masa promedio y diferencia de masa entre t_4 :

Prueba 4	Control	Carbón Act.	NTC 95% S.A.	NTC 99% S.A.	NTC 97% (JL)
t ₁	17:37	17:33	17:29	17:45	17:41
W prom	0.2597	0.2810	0.2447	0.2290	0.2870
Diferencia	0.0661	0.0938	0.0581	0.0405	0.0927

Reporte de la centrifugación de las dispersiones de NTCMP y C.A después de la interacción de las semillas de maíz con las dispersiones.

Se determinaron las propiedades fisicoquímicas de los medios acuosos de cada dispersión de NTCMP y C.A. en referencia a la solución control. Los resultados se reportan a continuación:

Tabla A.
Propiedades fisicoquímicas de las dispersiones acuosas de NTCMP y C.A antes y después de la imbibición de semillas de maíz.

Propiedad	ANTES DE LA INTERACCIÓN DE LAS SEMILLAS				
	C.A.	NTCMP-95%	NTCMP-99%	NTCMP-97%	Control
pH	6.93	6.53	6.94	6.65	6.94
Conductividad (µs)	64.6	101.4	58.4	70.4	67.7
Total de Sales Disueltas (mg/L)	45.4	68.8	39.4	47.6	46.6

Propiedad	DESPUÉS DE LA INTERACCIÓN DE LAS SEMILLAS				
	C.A.	NTCMP-95%	NTCMP-99%	NTCMP-97%	Control
pH	6.61	6.53	6.62	6.79	6.88
Conductividad (µs)	355	225	365	377	350
Total de Sales Disueltas (mg/L)	245	147	242	200	233

Propiedad	COMPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES				
	C.A.	NTCMP-95%	NTCMP-99%	NTCMP-97%	Control
pH	0.32	0	0.32	-0.14	0.06
Conductividad (µs)	290.4	123.6	306.6	306.6	282.3
Total de Sales Disueltas (mg/L)	199.6	78.2	202.6	152.4	186.4

Conclusiones:

Propiedades fisicoquímicas de las dispersiones de los NTCMP y C.A, antes de la interacción con semillas:

La diferencia que existe entre la solución Control y el C.A. no varía significativamente, lo cual cumple con la expectativa, ya que el C.A. es insoluble en el agua. Respecto a las dispersiones de NTCMP-95% y NTCMP-99%, se esperaban los mismos resultados; sin embargo, sucedió lo contrario, es decir, las propiedades fisicoquímicas cambian significativamente por la interacción de los NTCMP. En el caso de NTCMP-95%, es mucho mayor, posiblemente por su morfología estructural y el grado de pureza, el cual deja mayores residuos iónicos.

En el caso de NTCMP-97%, también existe una diferencia entre sus propiedades fisicoquímicas respecto a la solución Control, la cual se esperaba, puesto que es el único de las cuatro enmiendas que es soluble en agua.

Propiedades fisicoquímicas de las dispersiones de los NTCMP y C.A después de la interacción con semillas:

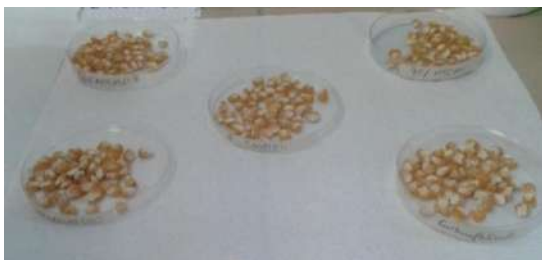
Durante el periodo de germinación las semillas exudan aminoácidos, azúcares y compuestos volátiles como etileno; estos cambian las propiedades fisicoquímicas del agua, que se muestran en la diferencias de la solución Control, antes y después.

En el caso de las enmiendas, la diferencia entre las propiedades fisicoquímicas sigue marcada significativamente entre el Control y el resto de las dispersiones. En este caso, no solamente se realiza la interacción de los NTCMP y C.A. con el agua, sino que la interacción de los exudados disueltos de las semillas también interactúa con el medio y con las enmiendas.

Proceso de Germinación de la semilla de maíz con la interacción de dispersiones de NTCMP y C.A.

Se realizó el crecimiento de las semillas de maíz con las dispersiones de las enmiendas por un periodo de 16 días. Los resultados se reportan de acuerdo a su evolución de la siguiente manera:

Día 1: Interacción de las semillas con dispersiones Control, C.A., NTC95%-SA, NTC99%-S.A, y NTC97%-JL. Colocamos lotes de semillas en cajas Petri, previamente esterilizadas, después remoja las semillas con las dispersiones. Ha comenzado formalmente el proceso de germinación,



Día 2: Emersión de la radícula en la semilla. La testa se ha roto por la absorción de agua de cada dispersión. Un solo día ha bastado para que emerja la radícula.



Día 3: Las raíces de las semillas se ven cada vez más grandes y fuertes. Han aumentado su longitud.



Día 4: Cambio destacable; la semilla ha desarrollado raíces largas y fuertes. Han crecido favorablemente.



Día 5: Hemos colocado las semillas en macetas con tierra fértil. Cuidadosamente enterramos las raíces con la tierra y comenzamos a regar, con agua de llave, con un pH reportado de 7.14 y la Temperatura ambiental de 23.2 °C.



Días 6-8: Las raíces comienzan a crecer hacia el fondo de la maceta. Han dejado de ser semillas para convertirse formalmente en pequeñas plántulas. Se hizo una revisión superficial, hemos dejado las semillas en la maceta para evitar alterar su crecimiento. Regamos con 50 ml de agua.



Días 9 – 10: La planta se ha comenzado a desarrollar y a expandir sus hojas. Algunas raíces comienzan a emerger al exterior. Se nota que las raíces han desarrollado una especie de “pelos radicales” propios para su absorción.



Día 11: Las hojas se han expandido finalmente. La planta está en crecimiento y también el tallo. Este último se ha puesto grueso, mientras que las raíces se han expandido por toda la maceta.





Día 12-16: Las hojas de la planta son cada vez más grandes y toman un color verde más intenso. Las plantas deben salir de la maceta a una más grande.



Análisis de longitud de plantas cosechadas.

Respecto a las plantas, hemos analizado su longitud procediendo a seleccionar aleatoriamente aquellas plantas que se hayan desarrollado en la maceta. Medimos su longitud desde la punta de la planta hasta el embrión. En cada maceta germinaron distintas plantas, teniendo a la solución Control de agua destilada (Etapa de germinación) como referencia. Las siguientes tablas [A-F] muestran la longitud de las plantas cosechadas:



Sacamos cuidadosamente las raíces de la planta, ya que están distribuidas a lo largo de toda la maceta. Procedemos a limpiar con agua y equipo de jardinería. Las raíces quedan distribuidas para su análisis, cortándolas desde el embrión que germinó.

Tabla A: Solución: Control		
No. planta	Longitud (cm) Desde la punta de la planta hasta el embrión	
1	41.275	cm
2	35.560	cm
3	52.3875	cm
4	51.435	cm
5	53.0225	cm
6	24.130	cm
7	53.340	cm
8	31.115	cm
9	28.575	cm

Plantas cosechadas	9	
Longitud promedio	41.2044444	cm

10	44.45	Cm
11	25.7175	Cm
12	20.6375	Cm

Tabla B: Dispersión: NTC-97% J.L		
No planta	Longitud (cm) Desde la punta de la planta hasta el embrión	
1	31.4325	Cm
2	33.655	Cm
3	59.69	Cm
4	51.435	Cm
5	43.815	Cm
6	36.195	Cm
7	19.3675	Cm
8	33.9725	Cm
9	21.59	Cm

Plantas cosechadas	12	
Longitud promedio	41.6189583	Cm

Tabla C: Dispersión: NTC-95% S.A		
No planta	Longitud (cm) Desde la punta de la planta hasta el embrión	
1	53.34	cm
2	45.085	cm
3	52.705	cm
4	44.45	cm
5	46.99	cm
6	60.0075	cm
7	41.275	cm

Plantas cosechadas	9	
Longitud promedio	36.7947222	Cm

Plantas cosechadas	7	
Longitud promedio	49.1217857	Cm

Tabla D: Dispersión: C.A		
No planta	Longitud (cm) Desde la punta de la planta hasta el embrión	
1	27.94	Cm
2	59.3725	Cm
3	57.785	Cm
4	52.3875	Cm
5	38.1	Cm
6	53.0225	Cm
7	46.355	Cm
8	29.21	Cm
9	44.45	Cm

Tabla E: Dispersión: NTC-99% S.A		
No planta	Longitud (cm) Desde la punta de la planta hasta el embrión	
1	23.123	cm
2	52.3875	cm
3	50.8	cm
4	54.344	Cm
5	53.34	Cm
6	43.656	Cm
7	43.122	Cm

Plantas cosechadas	7
Longitud promedio	45.8246429 Cm

Tabla F: Comparativo de las longitudes entre la solución Control y las dispersiones NTCMP y C.A.			
Solución	Plantas cosechadas	Longitud promedio (cm)	
Control	9	41.2044444	Cm
NTC-97% J.L	9	36.7947222	Cm
C.A	12	41.6189583	Cm
NTC-95% S.A	7	49.1217857	Cm
NTC-99% S.A	7	45.8246429	Cm

Conclusiones (cosecha): Respecto a la solución de referencia correspondiente al Control se nota que los NTC-95% y NTC-99 de SIGMA ALDRICH® favorecen el crecimiento de la planta, por lo que se sugiere un mayor rendimiento cuidando las condiciones favorables de la cosecha. No hubo un cambio significativo con el valor del C.A. en los NTC-97% del Dr. Javier Lara y Et al Hubo una disminución en la longitud de la planta pero esto no quiere decir que los NTC no favorecen el crecimiento, sino indica que están funcionalizados, por lo cual son hidrofílicos.

Análisis estadístico.

Con los datos reportados, realizamos el análisis estadístico de nuestras muestras. Calculamos la varianza de nuestros datos como:

$$s^2 = \frac{\sum(X_i - \mu)^2}{N - 1}$$

Donde:

(S) representa la varianza, (Xi) representa cada uno de los valores, (\bar{X}) representa la media poblacional y (N) es el número de observaciones o tamaño de la población. Del mismo modo, determinamos la desviación estándar como:

$$S = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \mu)^2}{N - 1}}$$

Donde (S²) representa la varianza, (xi) representa cada uno de los valores, (X) representa la media de la muestra y (n) es el número de observaciones o tamaño de la muestra.

Para el propósito de este trabajo, la diferencia relativa (%DR) y la precisión (P%) han sido definidas como:

$$DR\% = \frac{VE - VC}{VC} * 100$$

Donde:

VE = Valor de Enmienda

VC = Valor de Control

$$P\% = 100 - CV$$

Donde:

$CV = \text{Coeficiente de Variación}$

$$CV\% = \frac{s}{X} * 100$$

Donde:

$s = \text{Desviación estándar}$

$X = \text{Promedio}$

El subíndice 1 es referente a la solución Control, mientras que el subíndice 2 se refiere a la dispersión correspondiente.

d. o. f	14	d. o. f	10
X₁ (prom)	41.20	X₁ (prom)	41.20444444
X₂ (prom)	49.13	X₂ (prom)	45.8246429
S₁	11.03	S₁	11.06226963
S₂	6.02	S₂	6.498324257
P%	73%	P%	73%
P% a 95%	88%	P% a 99%	86%

Nivel de confianza

	Muestra	Muestra 2
Media	<input type="text" value="41.2044"/>	<input type="text" value="36.7947"/>
σ	<input type="text" value="11.0623"/>	<input type="text" value="12.3362"/>
N	<input type="text" value="9"/>	<input type="text" value="9"/>

Control vs 97% NTC JL		Control vs C.A	
n ₁	9	n ₁	9
n ₂	9	n ₂	12
d. o. f	16	d. o. f	19
X ₁ (prom)	41.20	X ₁ (prom)	41.20444444
X ₂ (prom)	36.79	X ₂ (prom)	41.61895833
S ₁	11.06	S ₁	11.06226963
S ₂	12.34	S ₂	12.60802743
P%	73%	P%	73%
P%. a 97	66%	P%. a C.A	70%

Control vs 95% NTC S.A		Control vs 99% NTC S.A	
n ₁	9	n ₁	9
n ₂	7	n ₂	3

Z Estimada, Diferencia de Medias

	Muestra 1	Muestra 2
Media	41.2044	36.7947
σ	11.0623	12.3362
N	9	9
ES	5.5232	
Límite por la derecha	-6.4157	
Límite por la izquierda	15.2351	
Intervalo	4.4097 ± 10.8254	

Análisis de masa (g) de la planta cosechada.

Una vez que tenemos la longitud de la planta, calculamos la masa de la misma, separando hojas que presenten variaciones amarillas en su estructura, definidas como Brote Seco. Las plantas totalmente verdes serán definidas

como Brote Fresco; las raíces también entrarán a la balanza para determinar su masa. Es importante señalar que el análisis fue hecho planta por planta, en cada dispersión.

Después de los 16 días de germinación y crecimiento, separaremos las raíces de las hojas. Las raíces las lavaremos con agua y equipo de jardinería, para sustraer todo tipo de tierra, piedras o impurezas que pudieran haber quedado. Las hojas que tengan color verde (Brote Fresco) serán separadas cuidadosamente mediante un bisturí de las de color amarillo (Brote seco).

Se tomarán los pesos de cada muestra respectivamente, es decir, las raíces, brotes secos y brotes frescos de Control, 99%-S.A, 95%-S.A., 97%-J.L y C.A-S.A. Los datos se reportan a continuación:

Tabla G. Masa fresca (Brote verde) después de 16 días de cosecha. Plantas verdes de maíz.	
Dispersión	Masa (g) Brote verde
Control	2.14602222
NTC-97% J.L	1.25466667
C.A	2.1729975
NTC-95% S.A	2.44321667
NTC-99% S.A	2.20106667

Tabla H. Masa seca (Brote seco) después de 16 días de cosecha. Plantas amarillas de maíz.	
Dispersión	Masa (g) Brote seco
Control	0.04378889
NTC-97% J.L	0.1051
C.A	0.17373333
NTC-95% S.A	0.1369
NTC-99% S.A	0.2142

Tabla I. Masa correspondiente a las raíces formadas tras 16 días de cosecha.	
Dispersión	Masa (g) Raíces
Control	0.22855556
NTC-97% J.L	0.07576667
C.A	0.28463333
NTC-95% S.A	0.21753333
NTC-99% S.A	0.2452

Conclusiones (análisis estadístico):

Ordenamos las masas de menor a mayor:

Solución	Masa (g) Brote verde
NTC-97% J.L	1.25466667
Control	2.14602222
C.A	2.1729975
NTC-99% S.A	2.20106667
NTC-95% S.A	2.44321667

Determinamos la diferencia de masa –en gramos (g)– de las plantas cosechadas, contra la solución Control de referencia, como se describe a continuación:

Dif. de masa (g) de plantas cosechadas respecto a Control	
NTC-95% S.A	0.29719444
NTC-99% S.A	0.05504444
C.A	0.02697528
NTC-97% J.L	-0.89135556

Los NTC-95% S.A favorecen el crecimiento de las plantas de maíz en mayor medida que los NTC-99% S.A., que si bien tienen una mayor pureza, debemos considerar que su concentración es menor respecto al resto (1:2) respectivamente, por cuestiones de toxicidad. El C.A. se encuentra en la misma medida que la solución control, por lo que se descarta como posible candidato para mejorar la cosecha y no influye en ella de manera significativa. Los NTC-97% del Dr. Javier Lara et al disminuyen significativamente la cosecha de maíz. No significa que no sean buenos, ya que de acuerdo con la Espectroscopía Ramman, se muestra que son superiores en cuanto a condiciones de cristalinidad a los mostrados

por Sigma Aldrich®. Sin embargo, la funcionalización de dichos NTC, altera la interacción con la semilla de maíz, permitiendo que el conducto que libra la semilla al momento de emerger la radícula, se bloquee con los mismos NTC al ser hidrofílicos, de tal manera que el flujo de entrada a la semilla se ve obstaculizado. Bajo esta premisa, los NTC multipared favorecerán el aumento de plantas de maíz dulce, siempre y cuando no sean funcionalizados, su concentración se optimice con su pureza y costo, ya que los NTC-S.A de mayor pureza son más caros, y es más factible preparar una concentración mayor de 20 ppm para una pureza de 95% que la mitad, 10 ppm para una pureza de 99%.

Reporte de resultados de la cosecha de las plántulas de maíz dulce interactuados con dispersiones de NTCMP y C.A.

Pasados los 16 días, sacamos las plantas que germinaron en cada maceta, correspondientes a las dispersiones de NTCMP, C.A. y a la solución control. Con herramienta de jardinería, limpiamos la tierra que se anidó a las raíces, haciendo lavados con agua, hasta que estuvieran lo más limpias posibles. Posteriormente, analizamos la masa de las hojas con clorofila, denominadas “masa verde fresca”, de las hojas sin clorofila y agentes oxidantes “masa amarilla fresca” y las raíces que emergieron de los brotes.

Longitud (cm):

Para la longitud, utilizamos un vernier, calibrado en cm, de manera que la longitud de cada hoja corresponde a la distancia que hay desde el embrión hasta la punta de la hoja. Para las raíces, se realizó lo mismo.

Los resultados de la longitud se reportan en las siguientes tablas [A-E] para cada solución o dispersión respectivamente:

Tabla A: Solución: Control		
No. planta	Longitud (cm) Desde la punta de la planta hasta el embrión	
1	41.3	cm
2	35.6	cm
3	52.4	cm
4	51.4	cm
5	53.1	cm
6	24.1	cm
7	53.3	cm
8	31.1	cm
9	28.6	cm

Plantas cosechadas	9	
Longitud promedio	41.2	Cm

Tabla B: Dispersión: NTC-97% J.L		
No. planta	Longitud (cm) Desde la punta de la planta hasta el embrión	
1	31.5	Cm
2	33.7	Cm
3	59.7	Cm
4	51.4	Cm
5	43.8	Cm
6	36.2	Cm
7	19.4	Cm
8	33.9	Cm
9	21.6	Cm

Plantas cosechadas	9	
Longitud promedio	36.8	Cm

Tabla C: Dispersión: NTC-95% S.A		
No. planta	Longitud (cm) Desde la punta de la planta hasta el embrión	
1	53.3	Cm
2	45.1	Cm
3	52.7	Cm
4	44.4	cm
5	47	cm
6	60	cm
7	41.2	cm

Plantas cosechadas	7	
Longitud promedio	49.1	Cm

Tabla D: Dispersión: C.A		
No. planta	Longitud (cm) Desde la punta de la planta hasta el embrión	
1	27.9	Cm
2	59.3725	Cm
3	57.8	Cm
4	52.4	Cm
5	38.1	Cm
6	53.1	Cm
7	46.3	Cm
8	29.2	Cm
9	44.5	Cm
10	44.4	Cm
11	25.7	Cm
12	20.6	Cm

Plantas cosechadas	12	
Longitud promedio	41.6	Cm

Tabla E: Dispersión: NTC-99% S.A		
No. planta	Longitud (cm) Desde la punta de la planta hasta el embrión	
1	23.1	cm
2	52.3	cm
3	50.8	cm
4	54.3	Cm
5	53.3	Cm
6	43.6	Cm
7	43.1	Cm

Plantas cosechadas	7	
Longitud promedio	45.8	Cm

Masa fresca (g):

El análisis de masa que se reporta fue realizado en la balanza analítica (Figura 28). Separamos la masa verde fresca, la masa amarilla fresca y las raíces de cada solución y dispersión. Los resultados se reportan a continuación:

Reporte de la Masa (g) de los brotes y las raíces:

Dispersión	Masa (g) Brote verde
Control	2.1460
NTC-97% J.L	1.2546
C.A	2.1729
NTC-95% S.A	2.4432
NTC-99% S.A	2.2010

Dispersión	Masa (g) Brote seco
Control	0.0437
NTC-97% J.L	0.1051
C.A	0.1733
NTC-95% S.A	0.1369
NTC-99% S.A	0.2142

Dispersión	Masa (g) Raíces
Control	0.2285
NTC-97% J.L	0.0757
C.A	0.2846
NTC-95% S.A	0.2173
NTC-99% S.A	0.2452

Masa seca (g):

Finalmente, las separaciones fueron depositadas en el deshidratador por un periodo de 24 horas. La masa correspondiente ahora será seca. En este caso, se resalta el hecho de que las masas amarilla y verde, fueron combinadas, puesto que para cuestiones de deshidratación, no es posible separar una de la otra. Por ese mismo motivo, la longitud no fue reportada.

Reporte de la Masa (g) de los brotes y las raíces:

Dispersión	Masa (g) Brote seco
Control	0.0437
NTC-97% J.L	0.1051
C.A	0.1733
NTC-95% S.A	0.1369
NTC-99% S.A	0.2142

Dispersión	Masa (g) Raíces
Control	0.2285
NTC-97% J.L	0.0767
C.A	0.2843
NTC-95% S.A	0.2333
NTC-99% S.A	0.2452

Análisis estadístico.

Con los datos reportados, realizamos el análisis estadístico de nuestras muestras. Calculamos la varianza de nuestros datos como:

$$s^2 = \frac{\sum(X_i - \mu)^2}{N - 1}$$

Donde:

(S) representa la varianza, (Xi) representa cada uno de los valores, (μ) representa la media poblacional y (N) es el número de observaciones o tamaño de la población. Del mismo modo, determinamos la desviación estándar como:

$$S = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \mu)^2}{N - 1}}$$

Donde:

(S²) representa la varianza, (xi) representa cada uno de los valores, (X) representa la media de la muestra y (n) es el número de observaciones o tamaño de la muestra. Para el propósito de este trabajo, la diferencia relativa (%DR) y la precisión (P%) han sido definidas como:

$$DR\% = \frac{VE - VC}{VC} * 100$$

Donde:

VE = Valor de Enmienda

VC = Valor de Control

$$P\% = 100 - CV$$

Donde:

CV = Coeficiente de Variación

$$CV\% = \frac{s}{X} * 100$$

Donde:

s = Desviación estándar

X = Promedio

El subíndice 1 es referente a la solución Control, mientras que el subíndice 2 se refiere a la dispersión correspondiente.

Tabla a. Análisis para longitudes.

Control vs NTCMP-97% J.L		Control vs C.A		Control vs 95% NTC S.A		Control vs 99% NTC S.A	
n_1 (CONTROL)	9	n_1 (CONTROL)	9	n_1 (CONTROL)	9	n_1 (CONTROL)	9
n_2 NTCMP-97%	9	n_2 NTCMP-97%	12	n_2 NTCMP-97%	7	n_2 NTCMP-97%	3
D.O.F	16	D.O.F	19	D.O.F	14	D.O.F	10
X_1 (prom)	41.2044	X_1 (prom)	41.2044	X_1 (prom)	41.2044	X_1 (prom)	41.2044
X_2 (prom)	36.7947	X_2 (prom)	41.6190	X_2 (prom)	49.1218	X_2 (prom)	38.3542
S_1	11.0623	S_1	11.0623	S_1	11.0623	S_1	11.0623
S_2	12.3362	S_2	12.6080	S_2	6.0163	S_2	18.7348
P% Control	73%	P% Control	73%	P% Control	73%	P% Control	73%
P% a NTCMP 97	66%	P% a CA	70%	P% a NTCMP 95	88%	P% a NTCMP 99	51%
DR %	-11%	DR %	1%	DR %	19%	DR %	-7%

Tabla b. Análisis de masa fresca para brotes verdes sanos.

Control vs NTCMP-97% J.L		Control vs C.A		Control vs 95% NTC S.A		Control vs 99% NTC S.A	
n_1 (CONTROL)	9	n_1 (CONTROL)	9	n_1 (CONTROL)	9	n_1 (CONTROL)	9
n_2 NTCMP-97%	9	n_2 NTCMP-97%	12	n_2 NTCMP-97%	7	n_2 NTCMP-97%	3
D.O.F	16	D.O.F	19	D.O.F	14	D.O.F	10
X_1 (prom)	1.1613	X_1 (prom)	1.1613	X_1 (prom)	1.1613	X_1 (prom)	1.1613
X_2 (prom)	2.2011	X_2 (prom)	2.5480	X_2 (prom)	3.5281	X_2 (prom)	1.2547
S_1	0.6566	S_1	0.6566	S_1	0.6566	S_1	0.6566
S_2	0.2824	S_2	1.5859	S_2	0.7297	S_2	0.7309
P% Control	43%	P% Control	43%	P% Control	43%	P% Control	43%
P% a NTCMP 97	87%	P% a CA	38%	P% a NTCMP 95	79%	P% a NTCMP 99	42%
DR %	90%	DR %	119%	DR %	204%	DR %	8%

Tabla c. Análisis de masa fresca para brotes amarillos. Etapa fresca

Control vs NTCMP-97% J.L		Control vs C.A		Control vs 95% NTC S.A		Control vs 99% NTC S.A	
n ₁ (CONTROL)	3	n ₁ (CONTROL)	3	n ₁ (CONTROL)	3	n ₁ (CONTROL)	3
n ₂ NTCMP-97%	6	n ₂ NTCMP-97%	10	n ₂ NTCMP-97%	10	n ₂ NTCMP-97%	9
D.O.F	7	D.O.F	11	D.O.F	11	D.O.F	10
X ₁ (prom)	0.0438	X ₁ (prom)	0.0438	X ₁ (prom)	0.0438	X ₁ (prom)	0.0438
X ₂ (prom)	0.1607	X ₂ (prom)	0.1954	X ₂ (prom)	0.1312	X ₂ (prom)	0.1051
S ₁	0.0355	S ₁	0.0355	S ₁	0.0355	S ₁	0.0355
S ₂	0.0384	S ₂	0.0677	S ₂	0.0085	S ₂	0.0459
P% Control	19%	P% Control	19%	P% Control	19%	P% Control	19%
P% a NTCMP 97	76%	P% a CA	65%	P% a NTCMP 95	94%	P% a NTCMP 99	56%
DR %	267%	DR %	346%	DR %	200%	DR %	140%

Tabla d. Análisis de masa para raíces. Etapa fresca.

Control vs NTCMP-97% J.L		Control vs C.A		Control vs 95% NTC S.A		Control vs 99% NTC S.A	
n ₁ (CONTROL)	3	n ₁ (CONTROL)	3	n ₁ (CONTROL)	3	n ₁ (CONTROL)	3
n ₂ NTCMP-97%	6	n ₂ NTCMP-97%	10	n ₂ NTCMP-97%	10	n ₂ NTCMP-97%	9
D.O.F	7	D.O.F	11	D.O.F	11	D.O.F	10
X ₁ (prom)	0.0746	X ₁ (prom)	0.0746	X ₁ (prom)	0.0746	X ₁ (prom)	0.0746
X ₂ (prom)	0.2452	X ₂ (prom)	0.2624	X ₂ (prom)	0.2175	X ₂ (prom)	0.0758
S ₁	0.0371	S ₁	0.0371	S ₁	0.0371	S ₁	0.0371
S ₂	0.0448	S ₂	0.1282	S ₂	0.0375	S ₂	0.0281
P% Control	50%	P% Control	50%	P% Control	50%	P% Control	50%
P% a NTCMP 97	82%	P% a CA	51%	P% a NTCMP 95	83%	P% a NTCMP 99	63%
DR %	229%	DR %	252%	DR %	191%	DR %	2%

Discusión de los resultados de la influencia de las dispersiones de NTCMP y C.A. en el crecimiento de las plántulas de maíz dulce en su etapa fresca.

Longitud:

De acuerdo con lo mostrado en el análisis para longitudes (Tabla a.), en todos los casos se genera una influencia o alteración significativa, correspondiente a la longitud de la planta. Para las dispersiones de NTCMP-97%, NTCM-99% Y C.A., la longitud de la planta se presenta como menor respecto a la solución Control, mientras que para NTCMP-95%, el crecimiento es mayor. Los datos también reportan que los NTCMP-99% son más ordenados que el resto, al haber menores fluctuaciones que en los demás. La dispersión de C.A. ocasiona un incremento en la longitud de la planta, considerando que el tamaño de partícula viene dado en micras y no en nanómetros, como el resto de las dispersiones.

Brote verde:

En el reporte del análisis de masa fresca para brotes verdes sanos (Tabla b.) se muestra que en función de la masa de plantas con clorofila, las dispersiones también ocasionan cambios muy importantes, ya que los NTCMP-95%, favorecen un marcado rendimiento de estas plantas, obteniendo casi el doble de su masa, por lo que se concluye que la germinación tiene un alto rendimiento con el uso de dispersiones alotrópicas de Carbono, con alta pureza y composición hidrofóbica. Los NTCMP-97% del Dr. Lara et al., cuya importancia vital es que son funcionalizados, también generan un buen rendimiento, por lo que podrían ser dopados aún con otros macronutrientes, en función de lo que deseáramos nutrir a la semilla.

Brotos amarillos:

Correspondiente a los valores reportados en el análisis de masa fresca para brotes amarillos (Tabla c.), se nos indica que hay plantas que presentan daños oxidativos, debido a la ausencia de clorofila en sí mismas. Los valores reportan que todas las dispersiones alotrópicas de Carbono generan este tipo de plantas, aunque los NTCMP-97%, que a priori son funcionalizados, y el C.A, disparan este crecimiento. Los NTCMP-95% Y 99% generan este tipo de plantas aunque en menor medida.

Raíces:

Los valores tabulados en el análisis de masa para raíces en etapa fresca (Tabla d.) nos muestran que para las dispersiones de NTCMP funcionalizados, el C.A. y los NTCMP-95%, hay un desarrollo muy elevado respecto a la formación de raíces. Esto beneficia porque a fin de cuentas los procesos biológicos que se desencadenan en el crecimiento de la plántula, hasta su formación completa, van a ser nutridos por medio de la interacción de dichas raíces con el suelo donde se desarrollen. Respecto a los NTCMP-99%, no hay influencia en este rubro.

Discusión de los resultados de la influencia de las dispersiones de NTCMP y C.A. en el crecimiento de las plántulas de maíz dulce, en su etapa seca.

Las tablas α y β nos muestran los valores correspondientes a la masa de la plantas y de las raíces, respectivamente.

Tabla α . Peso de las hojas después del secado

Control vs NTCMP-97% J.L		Control vs C.A		Control vs 95% NTC S.A		Control vs 99% NTC S.A	
n_1 (CONTROL)	3	n_1 (CONTROL)	3	n_1 (CONTROL)	3	n_1 (CONTROL)	3
n_2 NTCMP-97%	6	n_2 NTCMP-97%	10	n_2 NTCMP-97%	10	n_2 NTCMP-97%	9
D.O.F	7	D.O.F	11	D.O.F	11	D.O.F	10
X_1 (prom)	0.0157	X_1 (prom)	0.0157	X_1 (prom)	0.0157	X_1 (prom)	0.0157
X_2 (prom)	0.0205	X_2 (prom)	0.0186	X_2 (prom)	0.0379	X_2 (prom)	0.0172
S_1	0.0031	S_1	0.0031	S_1	0.0031	S_1	0.0031
S_2	0.0041	S_2	0.0076	S_2	0.0076	S_2	0.0034
P% Control	80%	P% Control	80%	P% Control	80%	P% Control	80%
P% a 97	80%	P% a 97	59%	P% a 97	80%	P% a 97	80%
DR %	31%	DR %	19%	DR %	142%	DR %	10%

Tabla β . Peso de las raíces después del secado

Control vs NTCMP-97% J.L		Control vs C.A		Control vs 95% NTC S.A		Control vs 99% NTC S.A	
n_1 (CONTROL)	3	n_1 (CONTROL)	3	n_1 (CONTROL)	3	n_1 (CONTROL)	3
n_2 NTCMP-97%	6	n_2 NTCMP-97%	10	n_2 NTCMP-97%	10	n_2 NTCMP-97%	9
D.O.F	7	D.O.F	11	D.O.F	11	D.O.F	10
X_1 (prom)	0.0125	X_1 (prom)	0.0125	X_1 (prom)	0.0125	X_1 (prom)	0.0125
X_2 (prom)	0.0199	X_2 (prom)	0.0235	X_2 (prom)	0.0227	X_2 (prom)	0.0155
S_1	0.0031	S_1	0.0031	S_1	0.0031	S_1	0.0031
S_2	0.0041	S_2	0.0076	S_2	0.0045	S_2	0.0031
P% Control	75%	P% Control	75%	P% Control	75%	P% Control	75%
P% a 97	79%	P% a 97	68%	P% a 97	80%	P% a 97	80%
DR %	59%	DR %	88%	DR %	82%	DR %	24%

Cabe señalar que dichos resultados se concentran exclusivamente en el peso de las hojas, como un conjunto, ya que a fin de cuentas cuando entren al proceso de secado, las hojas serán un mismo componente, sin importar la presencia de clorofila, por un lado. Respecto a la longitud, no era necesario realizar un comparativo, ya que la deshidratación de las hojas no influye en absoluto en esta variable. En cambio, en las raíces, la masa sí presenta cambios significativos.

Peso de las hojas después del secado:

Los NTCMP-95% muestran un marcado crecimiento en las plantas, prueba de la aceleración metabólica de las mismas, por lo que su rendimiento es mucho mayor. El resto de las dispersiones favorece dicha aceleración, aunque en menor medida. En todas las dispersiones se presentan cambios dentro de las plantas.

Raíces después del secado:

El crecimiento de las raíces se ve alterado en todos los casos. En NTCMP-95% y C.A. Se muestra que el efecto en la aceleración metabólica de las raíces es más afectado por el tamaño de partícula, siendo la dispersión en micras, mayor que las dispersiones nano, en función del crecimiento de estas raíces.

Desarrollo tecnológico: influencia de la longitud de onda de luz a una intensidad constante en la interacción de los NTCMP y C.A. con las semillas de maíz durante el crecimiento.

Incidencia de la luz:

Las plantas son organismos vivos que necesitan condiciones ambientales como la luz y el agua para poder crecer y desarrollarse, ya que el crecimiento de una planta posee factores que influyen en su periodo de crecimiento y desarrollo. La luz es un factor fundamental para los organismos productores.

Cabe mencionar que una planta es un organismo fotosintético, es decir, que la planta es capaz de utilizar la energía de luz solar para desarrollar algunas reacciones metabólicas. Aprovechando la luz para nutrirse y tener un crecimiento y desarrollo óptimo, la energía luminosa necesaria para la fotosíntesis puede ser utilizada gracias a la presencia de pigmentos especiales que efectúan esta función. El más importante de ellos es la clorofila, que es precisamente el que le da el color verde a las plantas. El proceso de fotosíntesis, así como otros procesos bioquímicos, involucrados en el crecimiento de la planta, dependen sobre todo de la longitud de onda de luz y su intensidad. En nuestros trabajos anteriores (Tiwari, 2013) hemos mostrado que los NTCMP afectan los procesos de oxidación-reducción en los procesos metabólicos de las plantas. No se sabe cuál es el papel de la longitud de luz, a la intensidad constante en estos tipos de interacciones. Para facilitar

tales estudios, el propósito de esta parte del proyecto es diseñar y construir una cámara de crecimiento, tal que se pueda determinar el efecto de la longitud de onda de luz en la interacción de NTCMP y C.A. con el desarrollo de las plántulas.

Metodología:

Nuestro experimento desarrolla un proceso llamado "Fotomorfogénesis", puesto que las plantas captan la luz y tienen cambios fisiológicos.

Hemos controlado las variables de Temperatura, Humedad y Tiempo de germinación, de tal manera que para nuestro experimento construimos una cámara de germinación o incubadora. El material fue madera barnizada con alta resistencia a la humedad.

Dicha incubadora ha sido aislada de la incidencia de la luz solar por medio de persianas. Además, ha sido provista de una fuente propia de luz, en este caso luz clara fría con las siguientes especificaciones.

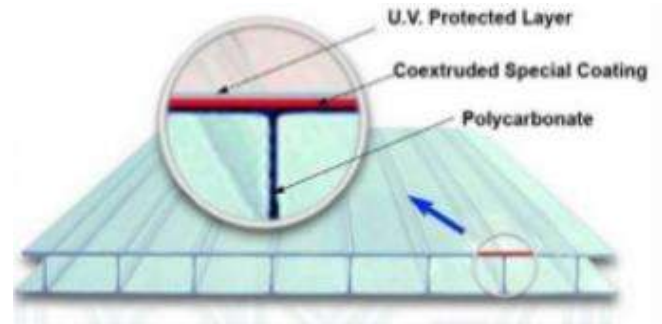


Policarbonato:

Es un material translúcido que permite el paso normal de la luz. Uno de los materiales más usados con anterioridad era el vidrio, sin embargo, hoy en día se ha sido sustituido por dos materiales principalmente: el policarbonato y el acrílico. El policarbonato tiene una resistencia 200 veces mayor a la del vidrio; además, el policarbonato es 30% más ligero que el acrílico, lo que permite que ejerza menos presión.

En cuanto a su nivel de transparencia, el acrílico deja pasar más luz (92%) que el policarbonato (90%). A pesar de eso, a la hora de tomar en cuenta los efectos del sol, no solamente se considera la luz, sino también el calor. El policarbonato ofrece un mayor nivel de aislamiento térmico que el mismo acrílico, lo que permite que la temperatura interior de la incubadora sea independiente de la temperatura exterior. El policarbonato es pues, más resistente, más versátil, más ligero y más seguro:

Tabla A. Propiedades físicas del policarbonato	
Densidad	1,2 g/cm ²
Resistencia a la tracción (tensión a la ruptura)	65 MPa
Extensión hasta deformarse	7%
Extensión hasta fracturarse	>80%
Módulo de elasticidad	2300 Mpa
Módulo de flexión	1890 Mpa
Resistencia a la flexión (límite de elasticidad)	93 Mpa
Resistencia al impacto (caída de dardo)	50J
Temperatura de deflexión por calor	135 °C
Coefficiente de expansión térmica lineal	6,5x10 ⁻⁵ cm/cm°C
Conductividad térmica	0,21 W/mk
Índice de amarillamiento	<1
Valor K	5,80 W/m ² K



La incubadora fue diseñada para tener 6 láminas de policarbonatos diferentes de acuerdo con los colores del espectro, por lo que cada uno tendrá una distinta absorbancia de luz, la cual mediremos con un luxómetro. De acuerdo a los valores reportados del luxómetro, clasificamos los policarbonatos de menor a mayor:

- Policarbonato rojo.
- Policarbonato naranja.
- Policarbonato amarillo.
- Policarbonato verde.
- Policarbonato azul.
- Policarbonato humo.
- Policarbonato transparente.





D (cm)	Lux (Amarillo)
80	128
70	166
60	229
50	319
40	588
30	1022
20	1900

D (cm)	Lux (Verde)
80	138
70	174
60	249
50	341
40	648
30	1082
20	1960



D (cm)	Lux (Ecotransp)
80	101
70	129
60	181
50	253
40	485
30	920
20	1960

D (cm)	Lux Blanca
80	40
70	52
60	75
50	112
40	248
30	544
20	1210

Buscamos una distancia óptima en función del policarbonato que utilizamos. La absorbancia de luz, fue tomada con el luxómetro, teniendo los siguientes valores:

D (cm)	Lux (Rojo)
80	39
70	50
60	73
50	103
40	195
30	351
20	600

D (cm)	Lux (Naranja)
80	84
70	108
60	151
50	208
40	384
30	652
20	1160

D (cm)	Lux (Azul)
80	124
70	164
60	224
50	311
40	562
30	950
20	1780

D (cm)	Lux (Humo)
80	133
70	167
60	241
50	322
40	610
30	1037
20	1920

La temperatura y la humedad fueron monitoreadas diariamente con el fin de comprobar que no variaran en función del tiempo en nuestra incubadora.

Conclusiones: influencia de la luz en la semilla.

La luz sola no influye en el crecimiento morfológico de la semilla de maíz, pero sí en el tiempo que transcurre en desarrollarse. El crecimiento es mayor en la ausencia de luz, debido a que el tallo o la hoja ajustan su velocidad y dirección de crecimiento para desarrollarse hacia la fuente luminosa, obligándose a mantener su metabolismo acelerado, así como la orientación de las células fotosintéticas. Dichas plantas presentan más coloraciones amarillas en sus hojas, ya que no cuentan con suficiente luz para tener el mismo nivel de clorofila que su contraparte. En cambio, en las plantas expuestas a la luz, el crecimiento es más lento, aunque su tallo está enriquecido y la coloración es verde, ya que las plantas poseen suficiente luz para desarrollar la fotosíntesis.

Tabla A.
Distancia (cm) desde la fuente de luz, por cada policarbonato vs La intensidad de luz (Lux)

D (cm)	Lux (Rojo)	Lux (Naranja)	Lux (Amarillo)	Lux (Verde)	Lux (Azul)	Lux (Humo)	Lux (Blanca)	Lux (Ecotransp)
80	39	84	128	138	124	133	40	101
70	50	108	166	174	164	167	52	129
60	73	151	229	249	224	241	75	181
50	103	208	319	341	311	322	112	253
40	195	384	588	648	562	610	248	485
30	351	652	1022	1082	950	1037	544	920
20	600	1160	1900	1960	1780	1920	1210	1960

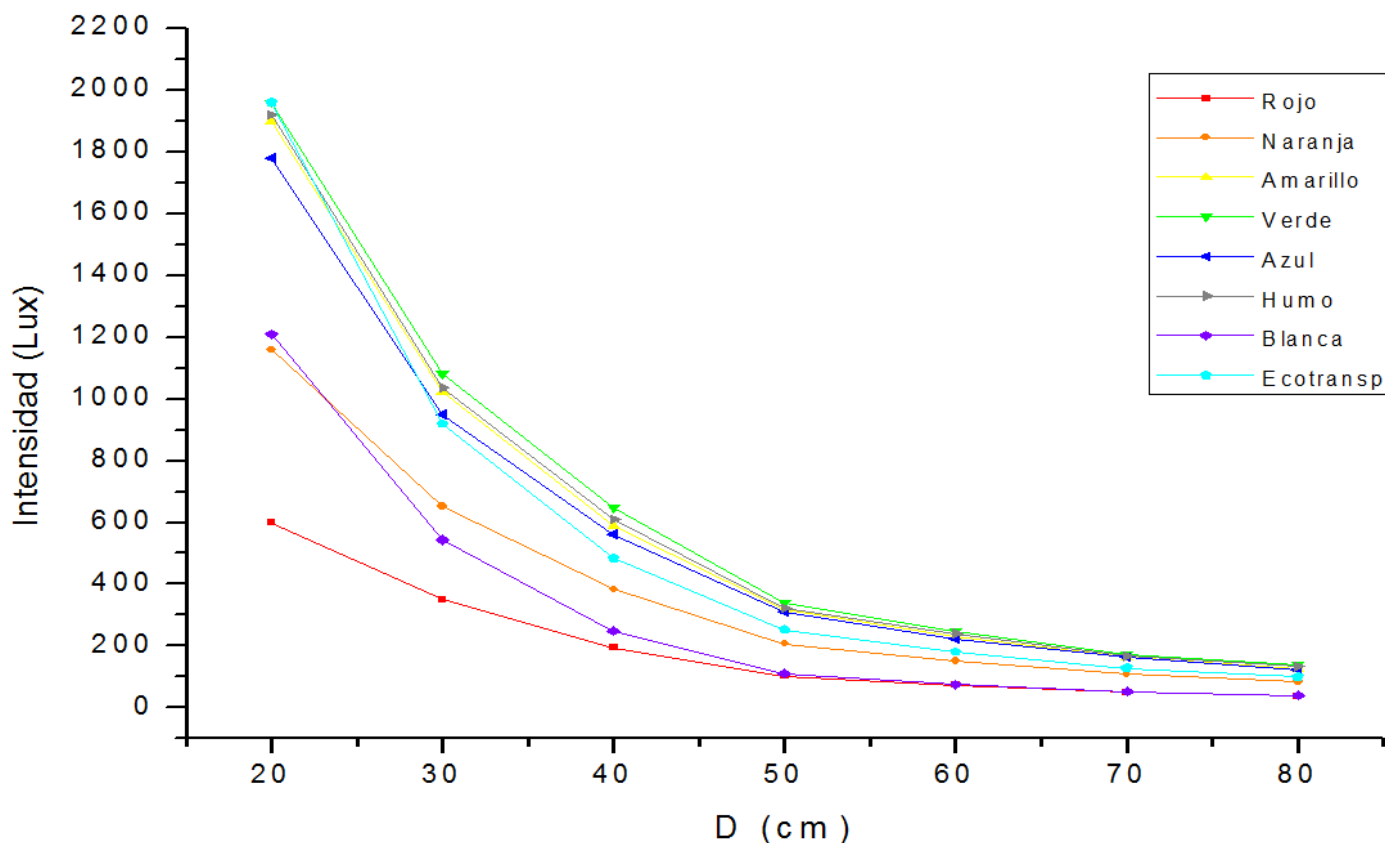


Figura 35. Distancia (cm) desde la fuente de luz vs Intensidad (Lux). Cada color representa al color de policarbonato usado. Nota: Para el policarbonato blanco, se sustituyó por violeta.

Conclusiones: variación de la distancia vs. la longitud de onda.

En la Figura 35 se describen las características de la cámara de crecimiento con el cambio de onda de luz y su intensidad. Si se desea mantener una intensidad constante, se puede variar la distancia (D) mostrada en la figura, correspondiente a la intensidad buscada para cada longitud de onda. En cuanto a los policarbonatos, demuestran que son materiales factibles de propiciar la intensidad de luz, protegiendo nuestras muestras, que no se ven afectadas con variables como la Temperatura y la Humedad Relativa, por lo que el color solamente se verá afectado con la distancia proporcional en la que fijemos nuestro emisor de luz. Con ello, desarrollamos un método factible para determinar la influencia de la luz con los NTCMP en la cuestión de germinación y crecimiento de la plántula de maíz.

Absorción del agua en las semillas de maíz por tratamiento con NTCMP y C.A, en el periodo de imbibición de la germinación, con mediciones por método no destructivo de termografía infrarroja.

Metodología:

Ensamblado de la cámara termográfica Testo.

1. Para el análisis de las imágenes térmicas utilizamos la cámara termográfica Testo® 870-1, con detector de 160x120 y una sensibilidad térmica <100 mk, así como del software provisto para la valoración de imágenes dentro de la PC:



Figura 36. Cámara termográfica Testo 870-1.

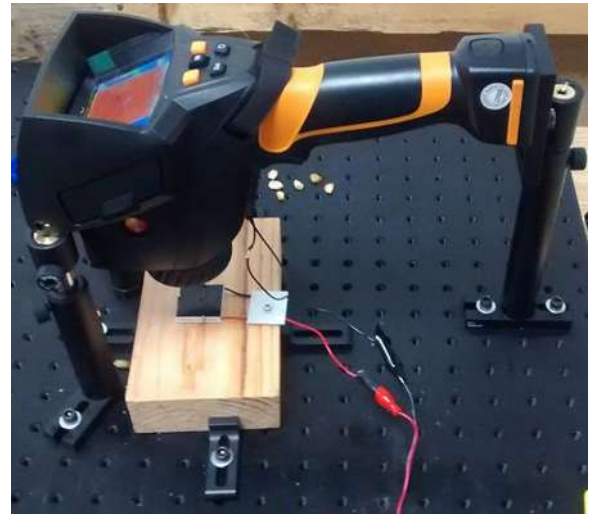


2. La cámara fue fijada a una tabla óptica de aluminio, de color negro. Estos dos aspectos son muy importantes, puesto que el aluminio es un material que tiene una alta emisividad, mientras que el color negro permite una menor fluctuación de la radiación infrarroja:

3. Se fijó una distancia óptima de 30 cm entre el lente de la cámara y una celda Peltier cubierta por dos capas de aluminio.

Dicha celda fue forrada de color negro, con el fin de que la emisividad fuera lo más cercano al valor ideal, en este caso de 1.

La celda fue conectada en cada uno de sus polos, a una fuente de voltaje, con el fin de mantener una temperatura fija en toda la difusión, y con ello poder apreciar la difusión del agua en cada semilla; con un flujo constante de 0.5 V, la temperatura de la celda se mantenía estable, dando paso a la difusión en cada imagen térmica.



Difusión de agua en la semilla de maíz: análisis con imágenes termográficas.

Procedimiento:

1. Seleccionamos 5 semillas de maíz dulce de la marca comercial “Rancho Los Molinos”[®], variedad “Hortaflores”. Dichas semillas fueron analizadas física y morfológicamente, tal como se describe en etapas anteriores de este trabajo, y además fueron pesadas con la balanza digital. Esto, con el fin de que su masa fuera muy similar para las 5 y con ello poder ver la cantidad de agua que entra a la semilla en la etapa de imbibición. Los resultados de la masa en gramos (g) de cada semilla se describen en la siguiente tabla:

Semillas seleccionadas con su respectiva solución de NTC		
Semilla	Masa (g)	Solución
W ₁	0.1984	C.A-S.A
W ₂	0.1979	NTCMW-95% S.A.
W ₃	0.1968	NTCMW-99% S.A
W ₄	0.1974	NTCMW-97% J.L
W ₅	0.1934	Control

2. Nuevamente las semillas fueron deshidratadas con la ayuda de una incubadora por un periodo de 1 día completo, a una temperatura fija y constante de 31° C. Pasadas las 24 horas, las semillas fueron retiradas de la incubadora y pesadas nuevamente, dichos datos reportados se definieron como “Masa de salida”. Ahora bien, la diferencia de la masa entre la entrada y la salida, corresponde a la pérdida de agua que tuvieron las semillas por deshidratación, de manera que:

$$\text{Diferencia de masa (g)} = \text{Masa de entrada (g)} - \text{Masa de salida (g)}$$

Semilla	Masa de entrada (g)	Masa de salida (g)	Dif. de masa por deshidratación
W ₁	0.1984	0.1916	0.0068
W ₂	0.1979	0.1942	0.0037
W ₃	0.1968	0.1910	0.0058
W ₄	0.1974	0.1898	0.0076
W ₅	0.1934	0.1870	0.0064

3. Una vez determinada la masa que interactuará con las semillas, cada una interactuó con las soluciones siguiendo la siguiente metodología:
 - a. Se colocaron en recipientes de plástico, los cuales fueron esterilizados previamente gracias a la autoclave (Esterilización en autoclave para industria farmacéutica *Iberfluid instruments*)
 - b. Cada semilla fue colocada en una solución de distinto alótropo de carbono. El tiempo de interacción de la solución con la semilla fue de 36 horas.
 - c. Durante las primeras dos horas, desde la interacción de la semilla con la solución alotrópica de carbono, se tomaron el peso de absorción de cada semilla y lo más importante, la imagen térmica correspondiente.

Metodología:

Se seleccionaron 5 semillas de maíz dulce (*Zea mays L*) de la marca comercial “Hortaflo” Rancho Los Molinos S.A., procurando seleccionar aquellas que tuvieran una mejor apariencia física, es decir que no estuvieran rotas, picadas y, lo más importante, teniendo pesos que fueran muy similares entre sí para poder analizarlas de una mejor forma. Dichas semillas se mantuvieron a una temperatura constante de 31°C mediante el uso de un horno, con el fin de deshidratar el agua que tienen internamente las semillas y poder analizar la difusión de agua de nuestras soluciones.

Respecto a éstas, preparamos soluciones de NTC de la marca Sigma Aldrich a una pureza de 95% y 99%, además de una solución de Carbono Activado (CA) y NTC provistos por el Dr. Javier Lara *et al.* Dichas soluciones fueron preparadas a una concentración de 20 ppm, salvo la de 99% la cual fue la mitad, es decir 10 ppm.

Transcurridas las 24 horas, se retiraron las semillas del horno y se pesaron en una

balanza analítica, obteniendo los siguientes resultados, denominados como el peso seco de cada una de las semillas.

Semilla	Peso Seco	
1	0.2063	g
2	0.2017	g
3	0.2071	g
4	0.2011	g
5	0.2019	g

Una vez obtenida la masa seca de las semillas, se procedió a colocarlas en 200 ml de cada una de las soluciones preparadas: NTC 99% Sigma Aldrich, NTC 95% Sigma Aldrich, NTC 97% Lara Romero, carbono activado y una solución de referencia a partir de agua destilada, denominada Control. Durante las primeras 2 horas del periodo de imbibición, se tomaron medidas cada 20 minutos, obteniendo las siguientes masas frescas y calculando la diferencia de masa entre cada tiempo, obteniendo lo siguiente:

Hora	Semilla	Peso Seco(g)	Hora	Peso	Hora	Peso	Hora	Peso
09:23	Control	0.2063 g	09:43	0.2221 g	10:03	0.2233 g	10:23	0.2327 g
	99%	0.2017 g	1	0.2135 g	2	0.2237 g	3	0.2280 g
	95%	0.2071 g		0.2233 g		0.2314 g		0.2352 g
tiempo	97%	0.2011 g	tiempo	0.2132 g	tiempo	0.2168 g	tiempo	0.2210 g
0	C.A	0.2019 g	20 min	0.2143 g	40 min	0.2221 g	1 h	0.2311 g

Hora	Semilla	Peso Seco(g)	Hora	Peso	Hora	Peso	Diferencia de Peso
10:43	Control	0.2332 g	11:03	0.2418 g	11:23	0.2473 g	0.0410 g
4	99%	0.2340 g	5	0.2470 g	6	0.2489 g	0.0472 g
	95%	0.2421 g		0.2467 g		0.2480 g	0.0409 g
tiempo	97%	0.2220 g	tiempo	0.2262 g	tiempo	0.2278 g	0.0267 g
80 min	C.A	0.2375 g	100 min	0.2427 g	2 h	0.2463 g	0.0444 g

La diferencia de peso (o masa acumulada) a las 2 horas de imbibición, corresponde a la masa y al peso a las dos horas menos el peso seco de entrada a las soluciones. Se reportan el tiempo transcurrido y la hora de la toma de peso. El experimento continúa durante las próximas 36 horas, tomando muestras paulatinamente durante 1 hora el primer día y de 3 a 5 horas los días posteriores; se reportaron los siguientes resultados:

t (h)	Control	99%	95%	97%	C.A
0	0.2063 g	0.2017 g	0.2071 g	0.2011 g	0.2019 g
0.3	0.2221 g	0.2135 g	0.2233 g	0.2132 g	0.2143 g
0.6	0.2233 g	0.2237 g	0.2314 g	0.2168 g	0.2221 g
1	0.2327 g	0.2280 g	0.2352 g	0.2210 g	0.2311 g
1.3	0.2332 g	0.2340 g	0.2421 g	0.2220 g	0.2375 g
1.6	0.2418 g	0.2470 g	0.2467 g	0.2262 g	0.2427 g
2	0.2473 g	0.2489 g	0.2480 g	0.2278 g	0.2463 g
3	0.2550 g	0.2588 g	0.2636 g	0.2332 g	0.2525 g
5	0.2738 g	0.2787 g	0.2824 g	0.2445 g	0.2740 g
8	0.2949 g	0.2997 g	0.3037 g	0.2581 g	0.2932 g
10	0.3085 g	0.3111 g	0.3157 g	0.2686 g	0.3047 g
22	0.3522 g	0.3584 g	0.3653 g	0.3007 g	0.3506 g
28	0.3751 g	0.3806 g	0.3736 g	0.3128 g	0.3605 g
33	0.3870 g	0.3808 g	0.3777 g	0.3179 g	0.3620 g
36	0.3890 g	0.3814 g	0.3792 g	0.3180 g	0.3651 g

La diferencia entre el peso final e inicial nos dará la masa acumulada durante 36 horas, teniendo:

DIF	0.1827	g	0.1797	g	0.1721	G	0.1169	g	0.1632	g
-----	--------	---	--------	---	--------	---	--------	---	--------	---

Graficando los datos tiempo transcurrido vs. Masa acumulada obtenemos:

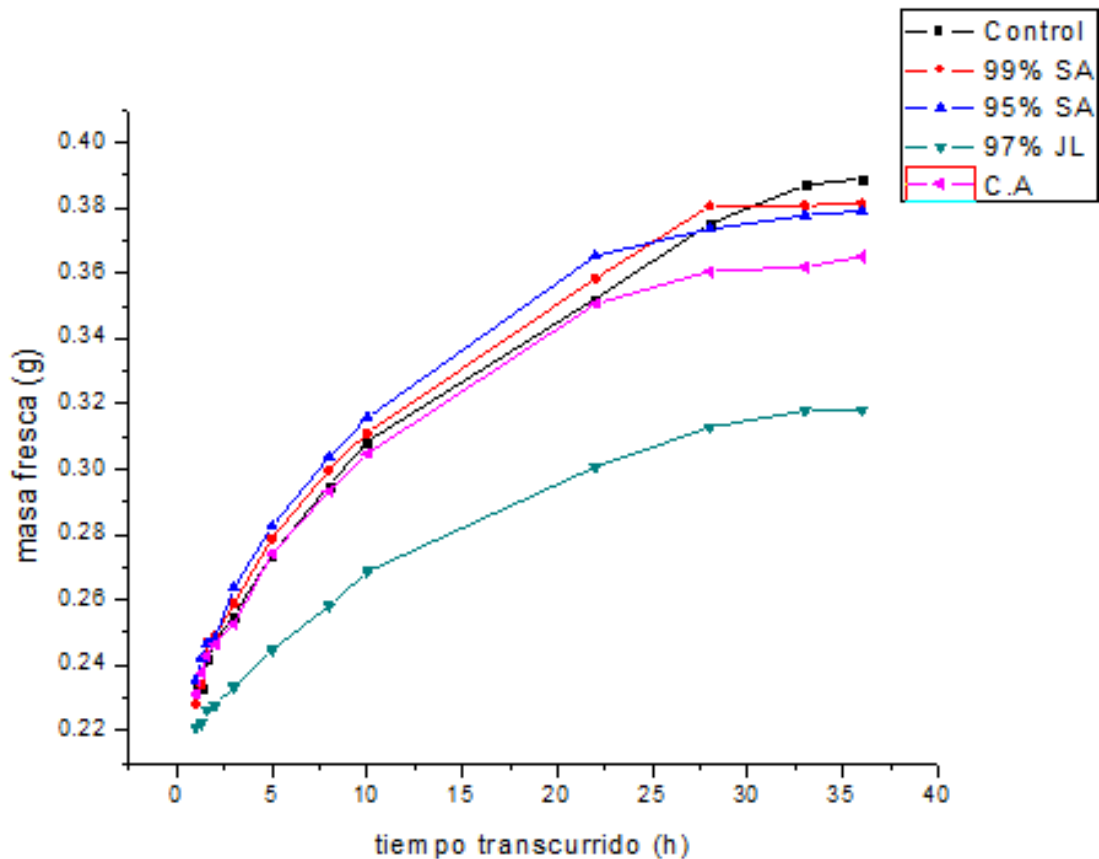


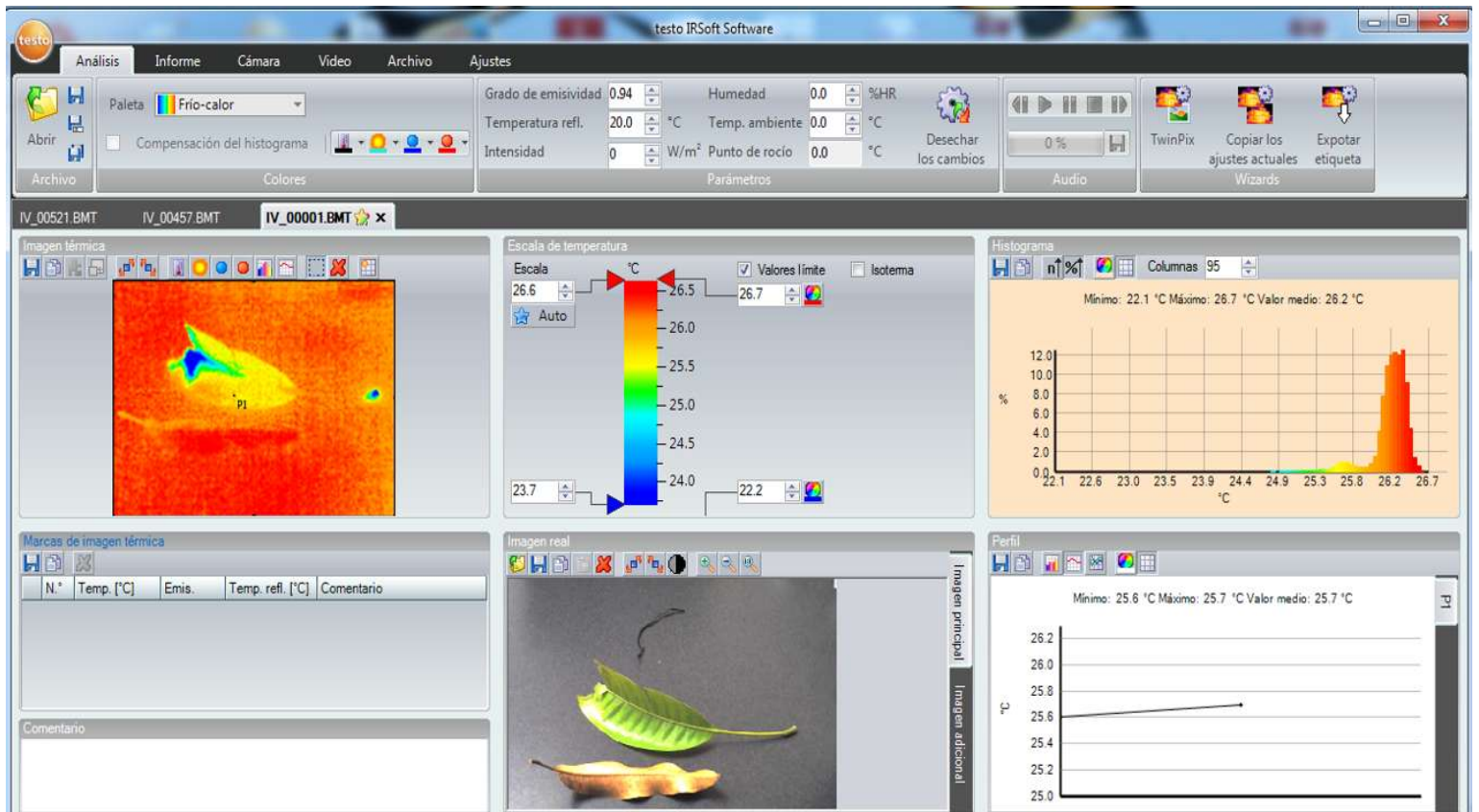
Figura 37. Tiempo transcurrido vs. Masa fresca para un periodo de 36 horas.

Uso de Termografía Infrarroja:

Asimismo, durante cada toma de masa se utilizó una cámara termográfica de la marca Testo 870-2. El objetivo de esta cámara es detectar la energía infrarroja que proviene de las semillas por medio de la óptica sobre un detector infrarrojo. Dicho detector envía la información a un sensor electrónico que procesa una imagen. Conforme la semilla va ganando agua, va alterando su composición y también su emisividad, haciendo que la cámara infrarroja detecte una menor cantidad de pixeles dentro de sus imágenes térmicas. Esto permite sustentar la absorción del agua en la semilla por un método no destructivo, ya que las imágenes térmicas no alteran la estructura fisiológica de la semilla.

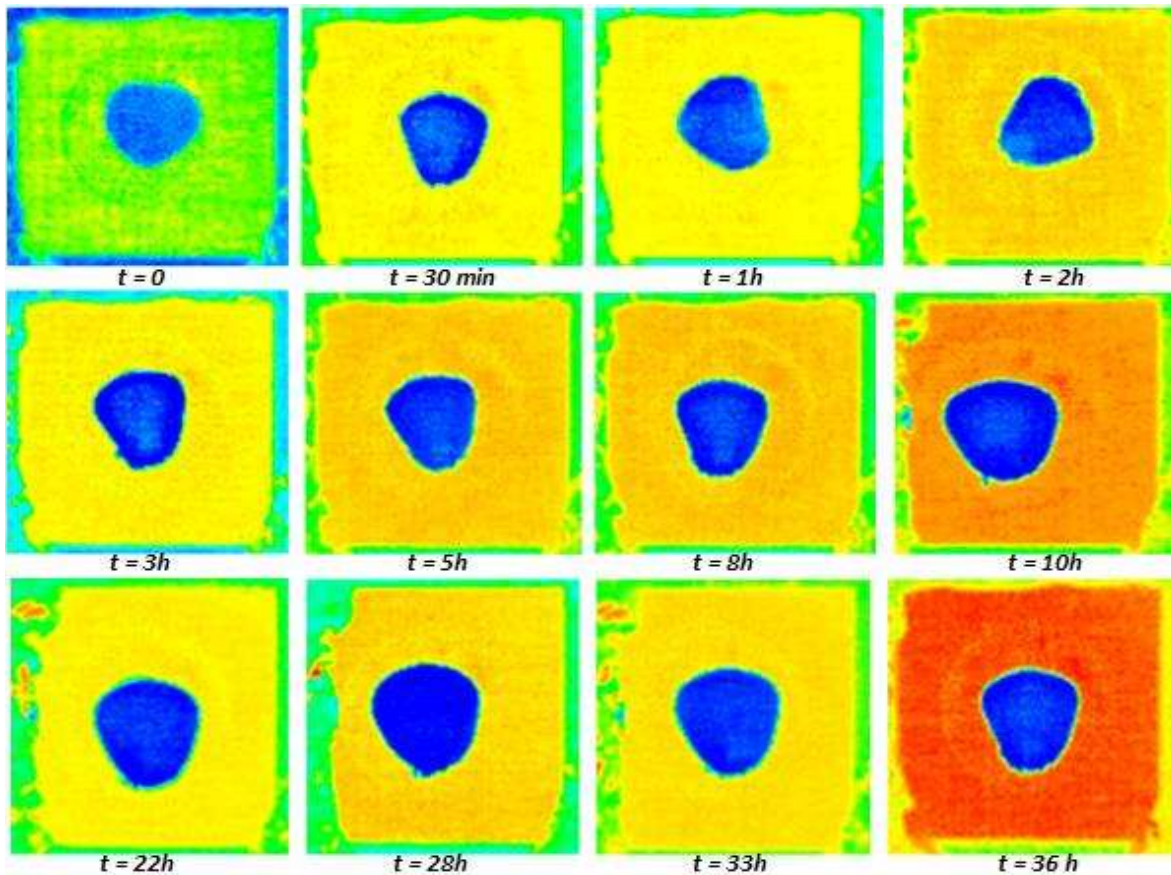


Figura 38. Cámara termográfica Testo 870-2.



Metodología de análisis:

1. Calibrar el valor de emisividad de un material conocido que permita la difusión de calor sin alterar la sensibilidad térmica de la cámara. El material seleccionado fue aluminio, obteniendo, mediante el uso de un termopar, un valor fijo de 0.97 de emisividad.
2. Obtener un equilibrio térmico a través de una celda Peltier, regulada por un voltaje constante de 0.05 V. Dicha celda permite que el calor sea disipado en toda el área de transferencia que la contenga.
3. Se tomaron las imágenes térmicas de cada muestra y mediante un perfil de análisis de imágenes con el software de Testo y los comandos del programa *Mathematica* para la detección de la cantidad de pixeles, calculamos la energía acumulada en función del tiempo transcurrido, como una función de la acumulación de pixeles. Es decir, mientras más agua era absorbida por la semilla, la cantidad de pixeles disminuía y por ende el nivel de energía también. Se muestran imágenes térmicas de referencia al inicio, mitad y fin del experimento. A medida que el color azul se va haciendo más intenso, se va absorbiendo más agua en la semilla.



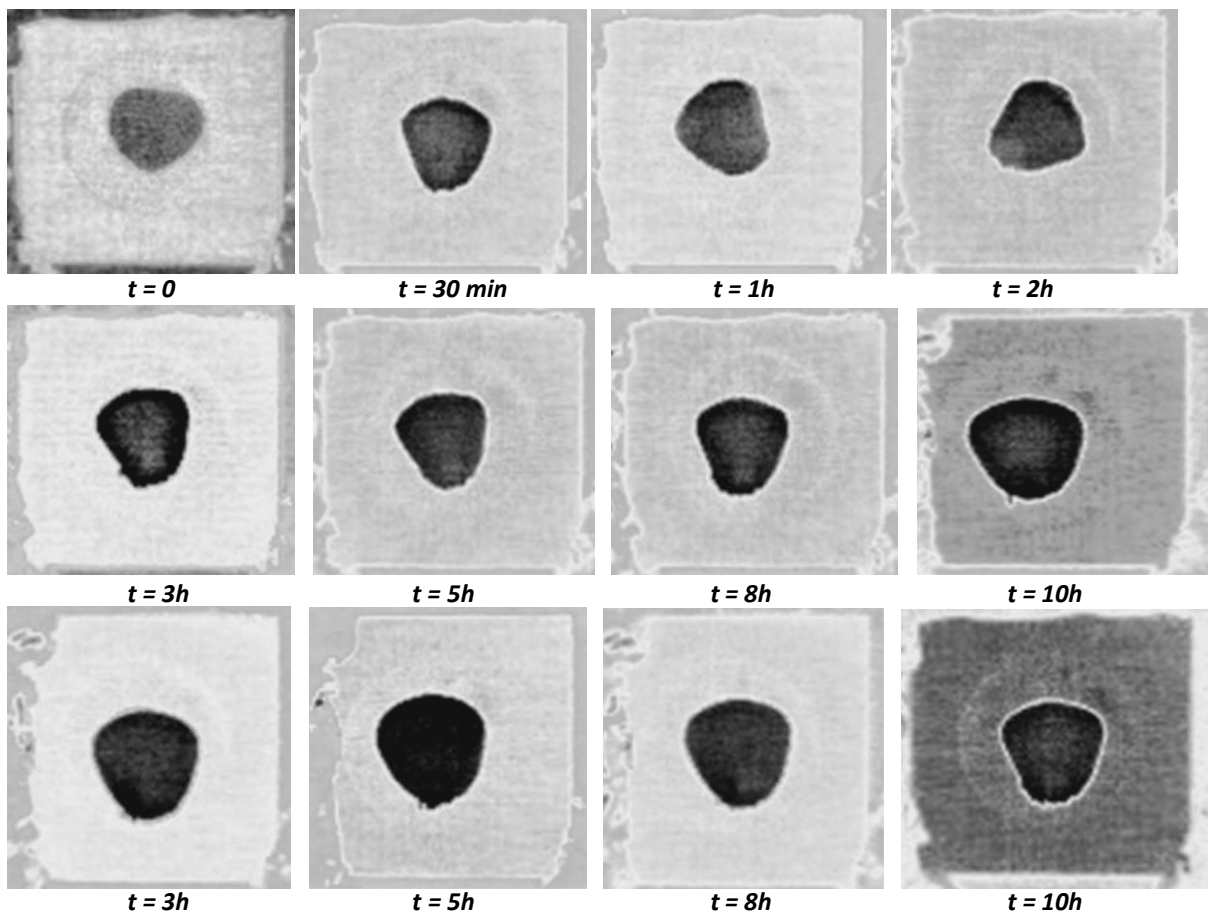
4. Se diseñó un algoritmo con la ayuda del software *Mathematica* para determinar la cantidad de energía que tiene una semilla. El procedimiento consiste en convertir la imagen a escala de grises, puesto que cada pixel ocupa un valor numérico definido y podemos suponer la idealidad entre la emisividad expresada en blanco y negro. Ahora bien, seleccionamos un área de transferencia, la cual tiene dimensiones constantes y finalmente mediante la conversión vectorial de cada valor, realizamos la sumatoria para determinar la energía acumulada.

Imagen térmica normal:

```
Imm1 = Import[IMG_1.jpg]
```

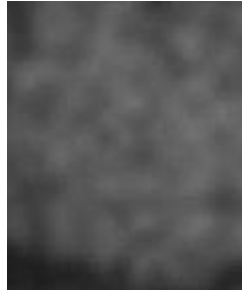
Imágenes termográficas de las semillas a blanco y negro:

```
ff1 = ColorConvert[Imm1,"Grayscale"]
```



Selección del área de transferencia:

```
rr1 = ImageTake[ff1, {580,430}, {750,630}]
```



Conversión de la imagen a valores numéricos:

```
gs1 = ImageData[ColorConvert[tt1, "Grayscale"]]
```

Out[12]=

A very large output was generated. Here is a sample of it:

```
{ {0.2, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2, 0.203922, 0.207843,  
  0.219608, <<106>>, 0.294118, 0.294118, 0.294118,  
  0.294118, 0.290196, 0.286275, 0.282353}, <<149>>, { <<1>> } }
```

Determinación del área de contacto:

```
dd1 = ImageDimensions[tt1]
```

```
{121,151}
```

Cálculo de la energía irradiada en función de la emisividad del cuerpo. A medida que la semilla permite la absorción de agua, disminuye la cantidad de emisividad y por ende el pixelaje de la imagen por lo cual, mientras más agua tiene, menor es la cantidad de su energía irradiada.

```
energia1 = Sum[gs1[[i,j]], {i, 1, dd1[[2]]}, {j, 1, dd1[[1]]}]
```

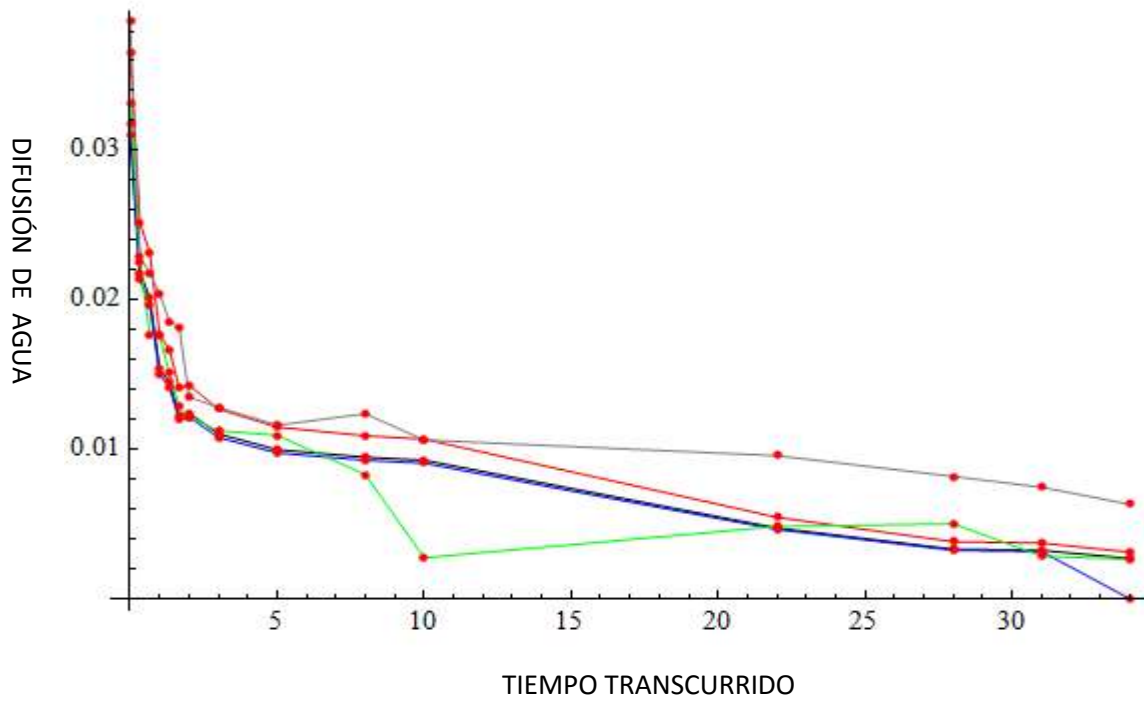


Figura 39. Tiempo vs Difusión de agua para 36 horas. 95% = Rojo; Control = Negro; C.A. = Azul; 99% = Verde; Dr. Lara = Gris.

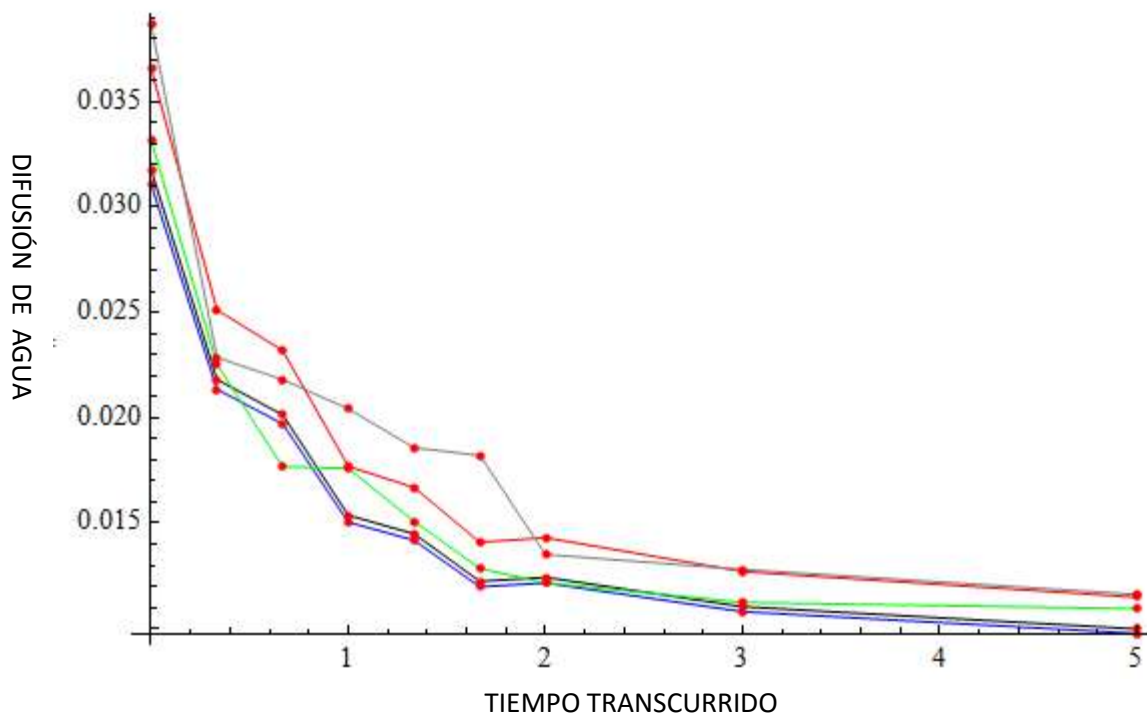


Figura 40. Tiempo vs. Difusión de agua para 5 horas.

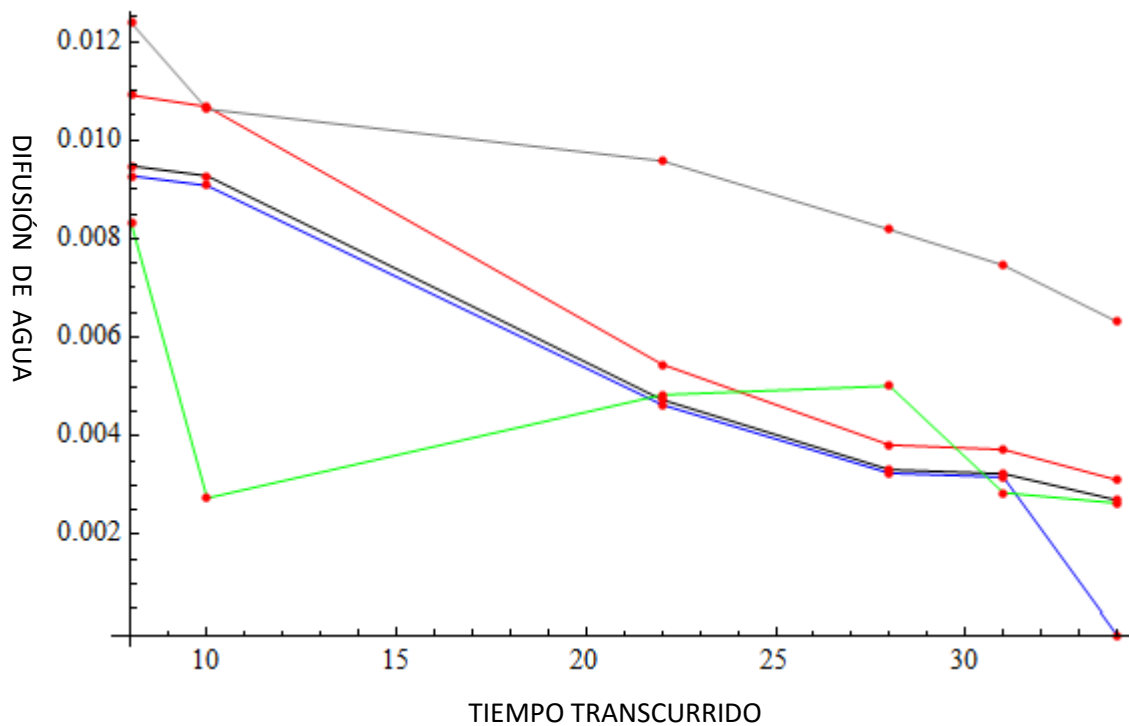


Figura 41. Tiempo vs. Difusión de agua de 5 a 36 horas

Conclusiones.

En la Figura 37 se muestra que después de las 36 horas, los NTCMP-95% y NTCMP-99% prístinos no muestra una diferencia significativa en la cantidad de agua absorbida por la semilla respecto a la solución Control. Por otro lado, el C.A, y los NTCMP-97% funcionalizados, muestran una disminución en la cantidad de agua absorbida, la cual es mayor en los NTCMP. La causa exacta es desconocida, pero podemos especular que los NTCMP-97% al ser solubles en agua, disminuyen la actividad termodinámica del agua. Ésta es el parámetro fundamental que dirige la difusión del agua a través de la testa de la semilla. Además, en el C.A., aunque es un compuesto insoluble, la morfología estructural es muy grande, pudiendo disminuir la actividad termodinámica del agua.

En la Figura 38, se muestra cómo la disminución de la emisividad de la semilla es causada por la absorción del agua, que incrementa el volumen de la semilla y hace modificaciones estructurales en la superficie de la misma, por lo tanto, podemos concluir que la absorción de agua es inversamente relacionada a la emisividad que reporta la cámara infrarroja.

La Figura 38 respalda los resultados de la Figura 37. Los NTCMP-95% y NTCMP-99% tienen un rendimiento cercano al Control. Para el caso del C.A, existen fluctuaciones muy grandes, pudiéndose relacionar a la topología de las semillas, debido al tamaño de partícula. Para los NTCMP-97%, como se reportó en la Figura 37, se muestra una baja absorción de agua. El análisis

termográfico respalda estos resultados, teniendo un método factible de análisis sin que sea un método destructivo.

En las Figuras 39 y 40 se muestran el cambio de emisividad de la superficie de la semilla para un tiempo mediano y corto respectivamente. En dichos tiempos, la absorción de agua no es tan significativa que pueda explicar las variaciones en la emisividad. Creemos que dichas variaciones fluctúan debido a los cambios estructurales en las superficies de las semillas, las cuales empiezan sus procesos biofísicoquímicas más tempranamente en comparación con el cambio de volumen de la semilla por la absorción de agua.

Estos cambios no se pueden interpretar por métodos clásicos, como el descrito en el segmento del análisis de pesos. Las imágenes termográficas, sin embargo, son capaces de mostrar estas diferencias significativas, teniendo un método de análisis factible y lo más importante: no destructivo. Además, estos resultados preliminares, fueron aceptados en el Congreso ISEB-2016 [REF] en Barcelona, España.

6. Conclusiones (resumen).

Reporte de la centrifugación de las dispersiones de NTCMP y C.A después de la interacción de las semillas de maíz con las dispersiones.

Conclusiones:

Propiedades fisicoquímicas de las dispersiones de los NTCMP y C.A, antes de la interacción con semillas:

La diferencia que existe entre la solución Control y el C.A. no varía significativamente, lo cual cumple con la expectativa, ya que el C.A. es insoluble en el agua. Respecto a las dispersiones de NTCMP-95% y NTCMP-99%, se esperaban los mismos resultados; sin embargo, sucedió lo contrario, es decir, las propiedades fisicoquímicas cambian significativamente por la interacción de los NTCMP. En el caso de NTCMP-95%, es mucho mayor, posiblemente por su morfología estructural y el grado de pureza, el cual deja mayores residuos iónicos.

En el caso de NTCMP-97%, también existe una diferencia entre sus propiedades fisicoquímicas respecto a la solución Control, la cual se esperaba, puesto que es el único de las cuatro enmiendas que es soluble en agua.

Propiedades fisicoquímicas de las dispersiones de los NTCMP y C.A después de la interacción con semillas:

Durante el periodo de germinación las semillas exudan aminoácidos, azúcares y compuestos volátiles como etileno; estos cambian las propiedades fisicoquímicas del agua, que se muestran en la diferencias de la solución Control, antes y después.

En el caso de las enmiendas, la diferencia entre las propiedades fisicoquímicas sigue marcada significativamente entre el Control y el resto de las dispersiones. En este caso, no solamente se realiza la interacción de los NTCMP y C.A. con el agua, sino que la interacción de los exudados disueltos de las semillas también interactúa con el medio y con las enmiendas.

Proceso de Germinación de la semilla de maíz con la interacción de dispersiones de NTCMP y C.A.

Análisis de longitud de plantas cosechadas.

Conclusiones (cosecha): Respecto a la solución de referencia correspondiente al Control se nota que los NTC-95% y NTC-99 de SIGMA ALDRICH® favorecen el crecimiento de la planta, por lo que se sugiere un mayor rendimiento cuidando las condiciones favorables de la cosecha. No hubo un cambio significativo con el valor del C.A. en los NTC-97% del Dr. Javier Lara. Hubo una disminución

en la longitud de la planta pero esto no quiere decir que los NTC no favorecen el crecimiento, sino indica que están funcionalizados, por lo cual son hidrofílicos.

Análisis estadístico.

Con los datos reportados, realizamos el análisis estadístico de nuestras muestras. Calculamos la varianza de nuestros datos como:

$$s^2 = \frac{\sum(X_i - \mu)^2}{N - 1}$$

Donde:

(S) representa la varianza, (Xi) representa cada uno de los valores, (\bar{X}) representa la media poblacional y (N) es el número de observaciones o tamaño de la población. Del mismo modo, determinamos la desviación estándar como:

$$S = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \mu)^2}{N - 1}}$$

Donde (S²) representa la varianza, (xi) representa cada uno de los valores, (X) representa la media de la muestra y (n) es el número de observaciones o tamaño de la muestra.

Para el propósito de este trabajo, la diferencia relativa (%DR) y la precisión (P%) han sido definidas como:

$$DR\% = \frac{VE - VC}{VC} * 100$$

Donde:

VE = Valor de Enmienda

VC = Valor de Control

$$P\% = 100 - CV$$

Donde:

CV = Coeficiente de Variación

$$CV\% = \frac{s}{\bar{X}} * 100$$

Donde:

$s = \text{Desviación estándar}$

$X = \text{Promedio}$

El subíndice 1 es referente a la solución Control, mientras que el subíndice 2 se refiere a la dispersión correspondiente.

Control vs 97% NTC JL		Control vs C.A	
n_1	9	n_1	9
n_2	9	n_2	12
d. o. f	16	d. o. f	19
X_1 (prom)	41.20	X_1 (prom)	41.20444444
X_2 (prom)	36.79	X_2 (prom)	41.61895833
S_1	11.06	S_1	11.06226963
S_2	12.34	S_2	12.60802743
P%	73%	P%	73%
P%. a 97	66%	P%. a C.A	70%

Control vs 95% NTC S.A		Control vs 99% NTC S.A	
n_1	9	n_1	9
n_2	7	n_2	3
d. o. f	14	d. o. f	10
X_1 (prom)	41.20	X_1 (prom)	41.20444444
X_2 (prom)	49.13	X_2 (prom)	45.8246429
S_1	11.03	S_1	11.06226963
S_2	6.02	S_2	6.498324257
P%	73%	P%	73%
P% a 95%	88%	P%. a 99%	86%

Nivel de confianza		0.95
	Muestra	Muestra 2
Media	41.2044	Media 36.7947
σ	11.0623	σ 12.3362
N	9	N 9

Z Estimada, Diferencia de Medias

	Muestra 1	Muestra 2
Media	41.2044	36.7947
σ	11.0623	12.3362
N	9	9
ES	5.5232	
Límite por la derecha	-6.4157	
Límite por la izquierda	15.2351	
Intervalo	4.4097 ± 10.8254	

Análisis de masa (g) de la planta cosechada.

Conclusiones (análisis estadístico):

Ordenamos las masas de menor a mayor:

Solución	Masa (g) Brote verde
NTC-97% J.L	1.25466667
Control	2.14602222
C.A	2.1729975
NTC-99% S.A	2.20106667
NTC-95% S.A	2.44321667

Determinamos la diferencia de masa –en gramos (g)– de las plantas cosechadas, contra la solución control de referencia, como se describe a continuación:

Dif. de masa (g) de plantas cosechadas respecto a Control	
NTC-95% S.A	0.29719444
NTC-99% S.A	0.05504444
C.A	0.02697528
NTC-97% J.L	-0.89135556

Los NTC-95% S.A favorecen el crecimiento de las plantas de maíz en mayor medida que los NTC-99% S.A., que si bien tienen una mayor pureza, debemos considerar que su concentración es menor respecto al resto (1:2) respectivamente, por cuestiones de toxicidad. El C.A. se encuentra en la misma medida que la solución control, por lo que se descarta como posible candidato para mejorar la cosecha y no influye en ella de manera significativa. Los NTC-97% del Dr. Javier Lara *et al* disminuyen significativamente la cosecha de maíz. No significa que no sean buenos, ya que de acuerdo con la Espectroscopía Ramman, se muestra que son superiores en cuanto a condiciones de cristalinidad a los mostrados por Sigma Aldrich®. Sin embargo, la funcionalización de dichos NTC, altera la interacción con la semilla de maíz, permitiendo que el conducto que libra la semilla al momento de emerger la radícula, se bloquee con los mismos NTC al ser hidrofílicos, de tal manera que el flujo de entrada a la semilla se ve obstaculizado. Bajo esta premisa, los NTC multipared favorecerán el aumento de plantas de maíz dulce, siempre y cuando no sean funcionalizados, su concentración se optimice con su pureza y costo, ya que los NTC-S.A de mayor pureza son más caros, y es más factible preparar una concentración mayor de 20 ppm para una pureza de 95% que la mitad, 10 ppm para una pureza de 99%.

Reporte de resultados de la cosecha de las plántulas de maíz dulce interactuados con dispersiones de NTCMP y C.A.

Discusión de los resultados de la influencia de las dispersiones de NTCMP y C.A. en el crecimiento de las plántulas de maíz dulce en su etapa fresca.

Longitud:

De acuerdo con lo mostrado en el análisis para longitudes (Tabla a.), en todos los casos se genera una influencia o alteración significativa, correspondiente a la longitud de la planta. Para las dispersiones de NTCMP-97%, NTCM-99% Y C.A., la longitud de la planta se presenta como menor respecto a la solución Control, mientras que para NTCMP-95%, el crecimiento es mayor. Los datos también reportan que los NTCMP-99% son más ordenados que el resto, al haber menores fluctuaciones que en los demás. La dispersión de C.A. ocasiona un incremento en la longitud de la planta, considerando que el tamaño de partícula viene dado en micras y no en nanómetros, como el resto de las dispersiones.

Brote verde:

En el reporte del análisis de masa fresca para brotes verdes sanos (Tabla b.) se muestra que en función de la masa de plantas con clorofila, las dispersiones también ocasionan cambios muy importantes, ya que los NTCMP-95%, favorecen un marcado rendimiento de estas plantas, obteniendo casi el doble de su masa, por lo que se concluye que la germinación tiene un alto rendimiento con el uso de dispersiones alotrópicas de Carbono, con alta pureza y composición hidrofóbica. Los NTCMP-97% del Dr. Lara *et al*, cuya importancia vital es que son funcionalizados, también generan un buen rendimiento, por lo que podrían ser dopados aún con otros macronutrientes, en función de lo que deseáramos nutrir a la semilla.

Brotes amarillos:

Correspondiente a los valores reportados en el análisis de masa fresca para brotes amarillos (Tabla c.), se nos indica que hay plantas que presentan daños oxidativos, debido a la ausencia de clorofila en sí mismas. Los valores reportan que todas las dispersiones alotrópicas de Carbono generan este tipo de plantas, aunque los NTCMP-97%, que a priori son funcionalizados, y el C.A, disparan este crecimiento. Los NTCMP-95% Y 99% generan este tipo de plantas aunque en menor medida.

Raíces:

Los valores tabulados en el análisis de masa para raíces en etapa fresca (Tabla d.) nos muestran que para las dispersiones de NTCMP funcionalizados, el C.A. y los NTCMP-95%, hay un desarrollo muy elevado respecto a la formación de raíces. Esto beneficia porque a fin de cuentas los procesos biológicos que se desencadenan en el crecimiento de la plántula, hasta su formación completa, van a ser nutridos por medio de la interacción de dichas raíces con el suelo donde se desarrollen. Respecto a los NTCMP-99%, no hay influencia en este rubro.

Discusión de los resultados de la influencia de las dispersiones de NTCMP y C.A. en el crecimiento de las plántulas de maíz dulce, en su etapa seca.

Las tablas α y β nos muestran los valores correspondientes a la masa de la plantas y de las raíces, respectivamente.

Tabla α . Peso de las hojas después del secado

Control vs NTCMP-97% J.L		Control vs C.A		Control vs 95% NTC S.A		Control vs 99% NTC S.A	
n_1 (CONTROL)	3	n_1 (CONTROL)	3	n_1 (CONTROL)	3	n_1 (CONTROL)	3
n_2 NTCMP-97%	6	n_2 NTCMP-97%	10	n_2 NTCMP-97%	10	n_2 NTCMP-97%	9
D.O.F	7	D.O.F	11	D.O.F	11	D.O.F	10
X_1 (prom)	0.0157	X_1 (prom)	0.0157	X_1 (prom)	0.0157	X_1 (prom)	0.0157
X_2 (prom)	0.0205	X_2 (prom)	0.0186	X_2 (prom)	0.0379	X_2 (prom)	0.0172
S_1	0.0031	S_1	0.0031	S_1	0.0031	S_1	0.0031
S_2	0.0041	S_2	0.0076	S_2	0.0076	S_2	0.0034
P% Control	80%	P% Control	80%	P% Control	80%	P% Control	80%
P% a 97	80%	P% a 97	59%	P% a 97	80%	P% a 97	80%
DR %	31%	DR %	19%	DR %	142%	DR %	10%

Tabla β . Peso de las raíces después del secado

Control vs NTCMP-97% J.L		Control vs C.A		Control vs 95% NTC S.A		Control vs 99% NTC S.A	
n_1 (CONTROL)	3	n_1 (CONTROL)	3	n_1 (CONTROL)	3	n_1 (CONTROL)	3
n_2 NTCMP-97%	6	n_2 NTCMP-97%	10	n_2 NTCMP-97%	10	n_2 NTCMP-97%	9
D.O.F	7	D.O.F	11	D.O.F	11	D.O.F	10
X_1 (prom)	0.0125	X_1 (prom)	0.0125	X_1 (prom)	0.0125	X_1 (prom)	0.0125
X_2 (prom)	0.0199	X_2 (prom)	0.0235	X_2 (prom)	0.0227	X_2 (prom)	0.0155
S_1	0.0031	S_1	0.0031	S_1	0.0031	S_1	0.0031
S_2	0.0041	S_2	0.0076	S_2	0.0045	S_2	0.0031
P% Control	75%	P% Control	75%	P% Control	75%	P% Control	75%
P% a 97	79%	P% a 97	68%	P% a 97	80%	P% a 97	80%
DR %	59%	DR %	88%	DR %	82%	DR %	24%

Cabe señalar que dichos resultados se concentran exclusivamente en el peso de las hojas, como un conjunto, ya que a fin de cuentas cuando entren al proceso de secado, las hojas serán un mismo componente, sin importar la presencia de clorofila, por un lado. Respecto a la longitud, no era necesario realizar un comparativo, ya que la deshidratación de las hojas no influye en absoluto en esta variable. En cambio, en las raíces, la masa sí presenta cambios significativos.

Peso de las hojas después del secado:

Los NTCMP-95% muestran un marcado crecimiento en las plantas, prueba de la aceleración metabólica de las mismas, por lo que su rendimiento es mucho mayor. El resto de las dispersiones favorece dicha aceleración, aunque en menor medida. En todas las dispersiones se presentan cambios dentro de las plantas.

Raíces después del secado:

El crecimiento de las raíces se ve alterado en todos los casos. En NTCMP-95% y C.A. Se muestra que el efecto en la aceleración metabólica de las raíces es más afectado por el tamaño de partícula, siendo la dispersión en micras, mayor que las dispersiones nano, en función del crecimiento de estas raíces.

Desarrollo tecnológico: influencia de la longitud de onda de luz a una intensidad constante en la interacción de los NTCMP y C.A. con las semillas de maíz durante el crecimiento.

Conclusiones: influencia de la luz en la semilla.

La luz sola no influye en el crecimiento morfológico de la semilla de maíz, pero sí en el tiempo que transcurre en desarrollarse. El crecimiento es mayor en la ausencia de luz, debido a que el tallo o la hoja ajustan su velocidad y dirección de crecimiento para desarrollarse hacia la fuente luminosa, obligándose a mantener su metabolismo acelerado, así como la orientación de las células fotosintéticas. Dichas plantas presentan más coloraciones amarillas en sus hojas, ya que no cuentan con suficiente luz para tener el mismo nivel de clorofila que su contraparte. En cambio, en las plantas expuestas a la luz, el crecimiento es más lento, aunque su tallo está enriquecido y la coloración es verde, ya que las plantas poseen suficiente luz para desarrollar la fotosíntesis.

Conclusiones: variación de la distancia vs. la longitud de onda.

En la Figura 35 se describen las características de la cámara de crecimiento con el cambio de onda de luz y su intensidad. Si se desea mantener una intensidad constante, se puede variar la distancia

(D) mostrada en la figura, correspondiente a la intensidad buscada para cada longitud de onda. En cuanto a los policarbonatos, demuestran que son materiales factibles de propiciar la intensidad de luz, protegiendo nuestras muestras, que no se ven afectadas con variables como la Temperatura y la Humedad Relativa, por lo que el color solamente se verá afectado con la distancia proporcional en la que fijemos nuestro emisor de luz. Con ello, desarrollamos un método factible para determinar la influencia de la luz con los NTCMP en la cuestión de germinación y crecimiento de la plántula de maíz.

Difusión de agua en la semilla de maíz: análisis con imágenes termográficas.

Conclusiones.

En la Figura 37 se muestra que después de las 36 horas, los NTCMP-95% y NTCMP-99% prístinos no muestra una diferencia significativa en la cantidad de agua absorbida por la semilla respecto a la solución Control. Por otro lado, el C.A, y los NTCMP-97% funcionalizados, muestran una disminución en la cantidad de agua absorbida, la cual es mayor en los NTCMP. La causa exacta es desconocida, pero podemos especular que los NTCMP-97% al ser solubles en agua, disminuyen la actividad termodinámica del agua. Ésta es el parámetro fundamental que dirige la difusión del agua a través de la testa de la semilla. Además, en el C.A., aunque es un compuesto insoluble, la morfología estructural es muy grande, pudiendo disminuir la actividad termodinámica del agua.

En la Figura 38, se muestra cómo la disminución de la emisividad de la semilla es causada por la absorción del agua, que incrementa el volumen de la semilla y hace modificaciones estructurales en la superficie de la misma, por lo tanto, podemos concluir que la absorción de agua es inversamente relacionada a la emisividad que reporta la cámara infrarroja.

La Figura 38 respalda los resultados de la Figura 37. Los NTCMP-95% y NTCMP-99% tienen un rendimiento cercano al Control. Para el caso del C.A, existen fluctuaciones muy grandes, pudiéndose relacionar a la topología de las semillas, debido al tamaño de partícula. Para los NTCMP-97%, como se reportó en la Figura 37, se muestra una baja absorción de agua. El análisis termográfico respalda estos resultados, teniendo un método factible de análisis sin que sea un método destructivo.

En las Figuras 39 y 40 se muestran el cambio de emisividad de la superficie de la semilla para un tiempo mediano y corto respectivamente. En dichos tiempos, la absorción de agua no es tan significativa que pueda explicar las variaciones en la emisividad. Creemos que dichas variaciones fluctúan debido a los cambios estructurales en las superficies de las semillas, las cuales empiezan sus procesos biofísicoquímicas más tempranamente en comparación con el cambio de volumen de la semilla por la absorción de agua.

Estos cambios no se pueden interpretar por métodos clásicos, como el descrito en el segmento del análisis de pesos. Las imágenes termográficas, sin embargo, son capaces de mostrar estas diferencias significativas, teniendo un método de análisis factible y lo más importante: no destructivo. Además, estos resultados preliminares, fueron aceptados en el Congreso ISEB-2016 [REF] en Barcelona, España.

7. Bibliografia.

- ✓ Adisa, O.O., Cox, B. J., Hill, J. M. (2011). Open Carbon Nanocones as Candidates for Gas Storage. *J. Phys. Chem. C.*, 115 (50), 24528-24533.
- ✓ Amelinckx, S., Bernaerts, D., Zhang, X.B., Tendeloo G. & Landuyt, J. (1995) A structure model and growth mechanism for multishell carbon nanotubes. *Science*, (267), 1334-1338.
- ✓ Baird, T., Fryer, J. R. & Grant, B. (1971). Structure of fibrous carbon. *Nature*, (233), 329.
- ✓ Balasubramanian, K. & Burghard, M. (2005). Chemically Functionalized Carbon Nanotubes. *Small*. 1 (2), 180-192.
- ✓ Bethune, D. S., Kiang, C. H., De Vries, M. S., Gorman, G., Savoy, R., Vazquez et al. (1993). Cobalt-catalysed growth of carbon nanotubes with single-atomic-layer walls. *Nature*, (363), 605.
- ✓ Calvert, P. (1999). Nanotube composites-A recipe for strength. *Nature*, 399 (6733), 210-211.
- ✓ Charlier, J. C. & Rignanese, G. M. (2001). Electronic Structure of Carbon Nanocones. *Physical Review Letters*, 86 (26), 25.
- ✓ Chen, I. C., Chen, L. H., Ye, X. R., Daraio, C. & Jin, S. (2006). Extremely Sharp carbon nanocone probes for atomic force microscopy imaging. *Applied Physics Letters*, 88 (15), 153.
- ✓ Harris, P. J. F. (2003). *Carbon Nanotubes and Related Structures*. Cambridge: Cambridge University Press.
- ✓ Hirlekar, R., Yamagar, M., Garse, H., Vij, M. & Kadam, V. (2009). Carbon nanotubes and its applications: A review. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 2 (4), 2009.
- ✓ Iijima, S. (1991). Helical microtubules of graphitic carbon. *Nature*, (354), 56.

- ✓ Kuhn, W., Hargitay, B., Katchalsky, A. & Eisenberg, H. (1950). Reversible dilation and contraction by changing the state of ionization of high-polymer acid networks. *Nature*, (165), 514-517.

- ✓ Kumar, M. & Ando, Y. (2010). Chemical Vapor Deposition of Carbon Nanotubes: A Review on Growth Mechanism and Mass Production. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, (10), 3739-3758.

- ✓ Krätshmer, W., Lamb, L. D., Fostiropoulos, K. & Huffman, D. R. (1990). Solid. C60: a new form of carbon, *Nature*, (347), 354.

- ✓ Lehman, J. H., Terrones, M., Mansfield, E., Hurst, K. E. & Meunier, V. (2011). Evaluating the characteristics of multiwall carbon nanotubes. *Carbon*, (49), 2581-2602.

- ✓ Paliwal, R.L. (1996). www.fao.org. Recuperado el 4 de Agosto de 2015 de <http://www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s00.htm>

- ✓ Popov, V.N. (2004). Carbon nanotubes: properties and application. *Materials Science and Engineering*, (43), 61-102.

- ✓ Prasek, J., Drbohlavova, J., Chomoucka, J., Hubalek, J., Jasek, O., Adamc, V. et al. (2011). Methods for carbon nanotubes synthesis—review, *J. Mater. Chem.*, (21), 15872-15884.

- ✓ Radushkevich, L. V. & Lukyanovich, V. M. (1952). The structure of carbon forming in thermal decomposition of carbon monoxide on an iron catalyst. *Soviet Journal of Physical Chemistry*, (26), 88-95.

- ✓ Saifuddin, N., Raziah, A. Z. & Junizah, A. R. (2013). Carbon Nanotubes: A Review on Structure and Their Interaction with Proteins. *Journal of Chemistry*, 1-18.

- ✓ Sauer, D.B. (1992) *Storage of cereal grains and their products*. St. Paul, MN: Am. Assoc. Cereal Chem., 1-38

- ✓ Serna, S.R. (2001) *Química, almacenamiento e industrialización de los cereales*. México: AGT editorial.

- ✓ Suárez, D. & Melgarejo, L.M. (2011). *Biología y germinación de semillas*. Artículo no publicado. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

- ✓ Terrones, M. & Terrones, H. (2003). The carbon nanocosmos: novel materials for the twenty-first century. *Philos Trans A Math Phys Eng Sci.*, 361 (1813), 2789-2806.

- ✓ Tiwari D. K. (2013) Efecto de Nanotubos de carbono en la germinación de plantas (Tesis de posgrado). UMSNH, Morelia

- ✓ Tovar, T. (2008) *Caracterización morfológica y térmica del almidón de maíz (Zea mays L) obtenido por diferentes métodos de aislamiento*. Tesis de licenciatura no publicada, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca de Soto.