



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Simulación experimental de un  
ambiente con radiación UV solar en  
Marte y sus efectos en la germinación  
y contenido de pigmentos  
fotosintéticos en *Chenopodium quinua*

Experimental Simulation of a Solar  
UV Radiation Environment on Mars  
and Its Effects on Germination and  
Photosynthetic Pigment Content in  
*Chenopodium quinua*

Erika Paola Puentes León

Universidad Nacional de Colombia  
Observatorio Astronómico Nacional  
Maestría en Ciencias - Astronomía  
Bogotá, Colombia

2024



# Simulación experimental de un ambiente con radiación UV solar en Marte y sus efectos en la germinación y contenido de pigmentos fotosintéticos en *Chenopodium quinua*

Erika Paola Puentes León

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:  
**Maestría en Ciencias - Astronomía**

Director:

Ph.D. Santiago Vargaz Domínguez

Línea de Investigación:

Astrofísica Solar

Grupo de Investigación:

Astronomía, Astrofísica y Cosmología

Universidad Nacional de Colombia

Codirectora:

Ph.D. Zaida Zarely Ojeda Pérez

Línea de Investigación:

Biotecnología Vegetal

Grupo de Investigación:

Bioplasma

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Universidad Nacional de Colombia

Observatorio Astronómico Nacional

Maestría en Ciencias - Astronomía

Bogotá, Colombia

2024



A mis abuelos

Por haber hecho que la vida fuera hermosa y sobre todo, por haberme dado una familia en donde fui feliz.



# Agradecimientos

A Dios, por haberme dado la fuerza que necesitaba para cumplir mis objetivos, a mi familia, por tenderme la mano y ayudarme a levantar cuando quise rendirme.

Al amor de mi vida, Luis Miguel Jaime, por ser incondicional y demostrarme que puedo ser grande, pues fue el primero que creyó en mi cuando empecé a trabajar en esta investigación.

A Islena Bonilla, secretaria del OAN, quien fue la persona que desde el comienzo me brindó toda la ayuda no solo para adaptarme sino para superar los inconvenientes de mi vida académica.

Al GoSA, por convertirse en mi segundo hogar. A mi director Santiago Vargas por haberme abierto el camino para seguir mis sueños. Al grupo Bioplasma, por brindarme un espacio en donde realizar mis experimentos de la parte biológica y a en cabeza de su directora Zaida Zarely Ojeda Pérez, quien supo orientarme desde la paciencia. Y por supuesto, a todos mis profesores y compañeros del OAN, porque me convirtieron en la científica que soy ahora.





## Resumen

Este trabajo de investigación tiene dos fases importantes, el primero analizar el comportamiento de la irradiación en la atmósfera de Marte y el segundo, evaluar los efectos de la radiación UV solar simulada en Marte en Quinoa real y Amarilla de maranganí.

Se pudo demostrar que el efecto de la radiación ultravioleta tanto en semillas de quinoa como en el contenido de clorofilas totales, produce una aceleración de las tasas de germinación y al aumento de clorofilas como una respuesta de supervivencia de esta especie.

**Quinoa real, Amarilla de maranganí, irradiación, radiación UV, germinación, clorofilas totales.**

## Abstract

This research work has two important phases. The first phase involves analyzing the behavior of irradiance in the atmosphere of Mars, and the second phase focuses on evaluating the effects of simulated solar UV radiation on Mars on Quinoa real and Amarilla de maranganí.

It was demonstrated that the impact of ultraviolet radiation on both quinoa seeds and total chlorophyll content leads to an acceleration of germination rates and an increase in chlorophyll levels as a survival response in this species.

**Quinoa real, Amarilla de maranganí, irradiance, UV radiation, germination, total chlorophylls**

# Contenido

<b>Agradecimientos</b>	<b>vii</b>
<b>Resumen</b>	<b>ix</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Marte: El planeta rojo y su interés astrobiológico</b>	<b>3</b>
2.1. Generalidades de Marte . . . . .	3
2.2. Breve recorrido por la exploración marciana . . . . .	5
<b>3. Radiación dentro y fuera de la atmósfera marciana</b>	<b>9</b>
3.1. Introducción . . . . .	9
3.1.1. Generalidades . . . . .	10
3.1.2. Estado del arte . . . . .	11
3.2. Materiales y métodos . . . . .	13
3.2.1. Irradiancia fuera de la atmósfera de Marte . . . . .	13
3.2.2. Irradiancia fuera de la atmósfera de Marte . . . . .	14
3.3. Resultados y discusión . . . . .	14
3.3.1. Cálculo y análisis de parámetros . . . . .	14
<b>4. Generalidades de la quinoa y efectos de la radiación UV solar marciana sobre el porcentaje de germinación y el contenido de clorofilas</b>	<b>21</b>
4.1. Introducción . . . . .	21
4.1.1. Generalidades de la quinoa . . . . .	22
4.1.2. Germinación y pigmentos fotosintéticos . . . . .	22
4.1.3. Estado del arte . . . . .	27
4.2. Materiales y métodos experimentales . . . . .	31
4.2.1. Material biológico y tratamientos de exposición a radiación UV . . . . .	31
4.2.2. Porcentaje de germinación y contenido de clorofilas totales. . . . .	32
4.2.3. Análisis estadístico . . . . .	32
4.3. Resultados y discusión . . . . .	33
4.3.1. Germinación . . . . .	33
4.3.2. Clorofilas totales . . . . .	36

---

4.4. Discusión . . . . .	38
4.4.1. Germinación . . . . .	38
4.4.2. Clorofilas totales . . . . .	40
<b>5. Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>41</b>
5.1. Conclusiones . . . . .	41
5.2. Recomendaciones . . . . .	42
<b>A. Anexo: Cálculo de la constante solar</b>	<b>43</b>
<b>B. Anexo: Función de flujo neto normalizado (<math>f</math>, <math>\tau</math>) en la superficie de Marte</b>	<b>61</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>62</b>

# 1. Introducción

La exploración marciana se ha convertido en los últimos años en una meta para el ser humano, ya que la posibilidad de colonizar Marte abre un espacio para la investigación y la innovación en los campos de la astronomía, la astrofísica, la astrobiología, entre otros; es por eso, que las agencias internacionales han destinado sus esfuerzos para llevar a cabo diferentes misiones de reconocimiento y han destinado miles de dólares con el fin de generar estudios que permitan estudiar no solamente la existencia del ser humano en el planeta rojo, sino la supervivencia alimenticia.

Considerando lo anterior, este trabajo tuvo como objetivo principal, simular un ambiente experimental que replique las condiciones ambientales de Marte relacionadas únicamente con los niveles de radiación ultravioleta solar y establecer su efecto sobre la germinación y contenido de pigmentos fotosintéticos en *Chenopodium quinoa*, a través de diferentes fases experimentales, estimando la irradiancia solar total para diversas latitudes y épocas de año en Marte, dentro y fuera de la atmósfera de este planeta, determinando el porcentaje de germinación de semillas bajo los efectos de la radiación *UV* solar simulada para la superficie marciana, comparando los resultados con los obtenidos bajo condiciones terrestres (control), y evaluando la respuesta fisiológica de plantas de un mes de crecimiento, bajo estas mismas condiciones, a través de la cuantificación de clorofilas totales (*ICC*).

En la dinámica del contexto social, es importante reconocer que existe un compromiso entre la ciencia, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (*ODS*) y los focos temáticos de la Misión de Sabios; por ende, este trabajo se enfoca en el objetivo 4, educación y calidad, el 9, industria, innovación e infraestructura y el 17, alianzas para lograr los objetivos; así mismo, en el foco de ciencias básicas y del espacio.

La metodología de este trabajo se divide en dos partes, la primera corresponde al cálculo de la irradiancia dentro y fuera de la atmósfera marciana, en donde se estimó la constante solar para cada estación del año en este planeta en diferentes latitudes, teniendo en cuenta la distancia entre el Sol y Marte, con el fin de cuantificar la irradiancia que entra a la atmósfera usando los datos de profundidad óptica de la tabla de la función de flujo normalizada de Appelbaum (1990) [1].

La segunda parte de la metodología incluyó dos experimentos, uno en donde se estudió la

germinación de semillas de *Chenopodium quinoa* y otro, en donde se analizó el contenido de pigmentos fotosintéticos (clorofilas totales) bajo las condiciones de irradiación determinadas en la primera parte. Para la realización de estos experimentos, se adecuaron cuatro cabinas, y en todas ellas, se colocaron bombillas de luz ultravioleta para simular las irradiancias marcianas así: la primera de 180 nm (200 lúmenes), la segunda de 250 nm (275 lúmenes), la tercera de 395 nm (260 lúmenes) y la cuarta con luz normal de 410 nm (250 lúmenes) como control. En cada una de las cabinas se colocaron 12 cajas de Petri con dos materiales de Quinoa: Quinoa real y Amarilla de maranganí. En cada caja de Petri se colocaron 20 semillas para un total de 240 semillas y se dejaron durante 84 horas, a una temperatura y humedad promedio de 14.1 °C y 72 % respectivamente.

En cuanto al contenido de pigmentos fotosintéticos en *Chenopodium quinoa*, en las cajas de 180 nm, 250 nm y 395 nm se colocaron plantas de un mes de crecimiento en condiciones normales y se radiaron durante 75 horas, registrando el *ICC* cada 5 horas, controlando la temperatura y la humedad con un promedio de 14.1°C y 72 %, respectivamente; y a través de un análisis de la distribución de los datos de *ICC* vs los tiempos de exposición a la radiación UV a diferentes longitudes, se pudo comparar los aumentos en los picos y las caídas del contenido de clorofilas totales para cada muestra.

Cabe resaltar que las semillas de los diferentes materiales de *Chenopodium quinoa*, fueron obtenidos del Banco de germoplasma de la Gobernación de Boyacá y aportadas por los grupos de investigación Bioplasma y CIDE de la UPTC.

## 2. Marte: El planeta rojo y su interés astrobiológico

### 2.1. Generalidades de Marte

Marte es un planeta rocoso que ocupa el cuarto lugar en distancia de separación respecto al Sol y el segundo respecto al tamaño comparado con los demás planetas del sistema solar. Tiene un radio de 3390 km, una masa de  $6.39 \times 10^{23}$  kg y su gravedad es de 3.721 m/s [7] [30], teniendo un color rojo característico que es consecuencia de la oxidación de los minerales en su superficie que tiene contenidos altos en hierro [20]. Algunas de las características más importantes se resumen en la tabla 2-1.

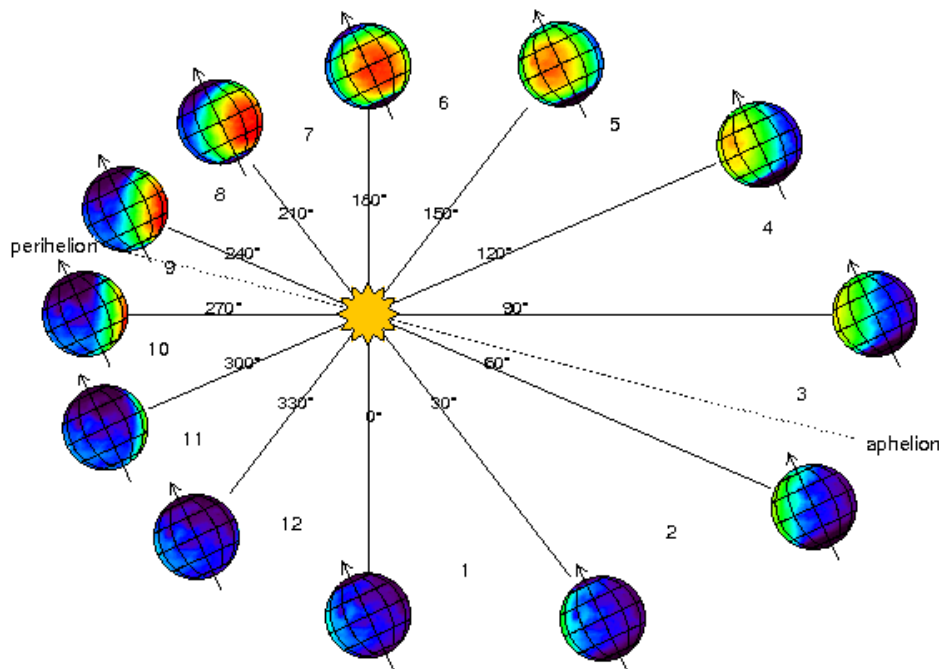
Propiedad	Valor
Diámetro	6772 km
Velocidad media	86868 km/h
Distancia media al Sol	228 millones de kilómetros
Periodo de la órbita	687 días terrestres

Tabla 2-1.: Características de Marte.

Debido a que la órbita de Marte tiene un radio mayor que la de la Tierra, y teniendo en cuenta las Leyes de Kepler, Marte tarda más tiempo en dar una vuelta alrededor del Sol que nuestro planeta (la duración del año marciano es de 687 días terrestres) y viaja a una velocidad media de 24 km/h. A diferencia de la Tierra, Marte no posee campo magnético y cuenta con dos lunas pequeñas, Fobos y Deimos, que presentan formas irregulares con radios de 11 y 12.4 km, respectivamente [20].

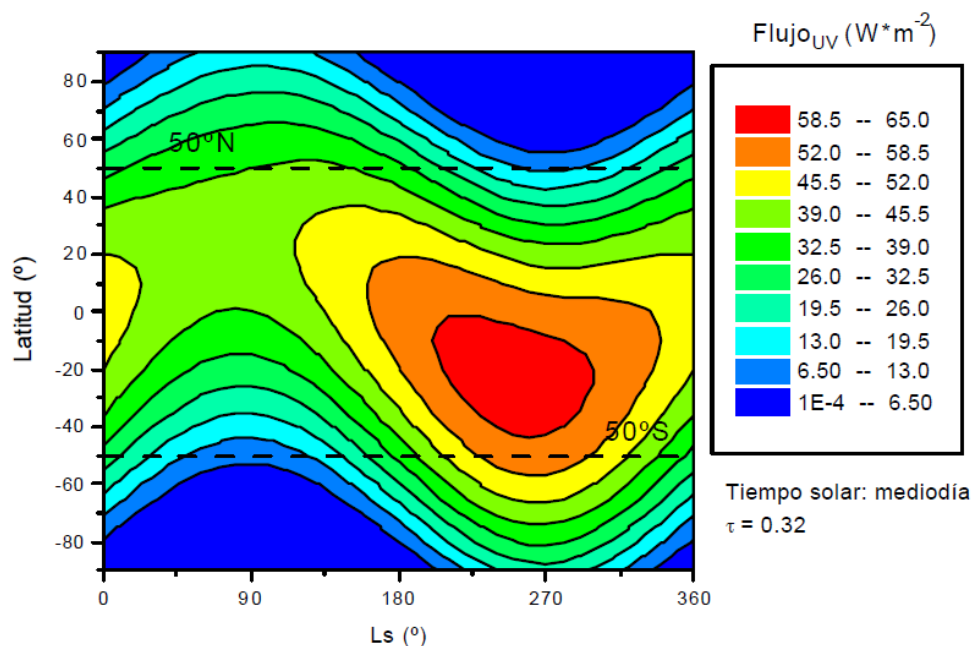
El eje de rotación de Marte está inclinado respecto al Sol ( $24.9^\circ$ ), y esta característica, junto con los cambios en la distancia respecto a la estrella, dan lugar a las estaciones del año, debido a que los rayos del Sol llegan con distinta orientación, de manera que según la época del año la luz incide perpendicularmente (en el verano) u oblicuamente (en el invierno) al planeta [48]. Como la órbita de Marte es significativamente elíptica, con una excentricidad mayor a la órbita terrestre, el planeta pasa mucho más tiempo alejado del Sol (afelio: 249.2 kilómetros) en el hemisferio norte, en donde se presentan veranos largos e inviernos cortos, mientras que

en el hemisferio sur los inviernos son largos y los veranos cortos. Adicionalmente, dado que la distancia al Sol es mayor durante el verano del hemisferio norte, los rayos del Sol son también más débiles, esto trae como consecuencia que en el hemisferio norte el verano sea largo pero poco intenso. En el hemisferio sur el verano es corto, debido a que tiene lugar cuando el planeta está más cerca del Sol (perihelio: 206.7 millones de kilómetros), por esta razón, los rayos tienen más intensidad, dando lugar a un verano más intenso,  $30^{\circ}\text{C}$  más caluroso que el verano en el hemisferio norte [1] [3] [15]. La estación de invierno en el hemisferio norte es corta pero más cálida, debido a la incidencia más directa de los rayos del Sol; mientras que en el sur, el invierno es más largo y severo con una menor incidencia de rayos solares [23] [37].



**Figura 2-1.:** Meses y estaciones en Marte. Tomado de Chassefiere. E., (2011).

En la figura 2-2 se muestra un mapa de la radiación UV que recibe la superficie de Marte en condiciones de bajo contenido de polvo atmosférico (espesor óptico del polvo = 0.32), con un perfil atmosférico, cuya presión y temperatura superficiales son de 6 mbar y 210 K, respectivamente [7]. La longitud aerocéntrica ( $L_s$ ) es un parámetro que define el año marciano, dividiendo la órbita sideral en  $360^{\circ}$ , de los que cada sector de  $90^{\circ}$  expresa una estación anual, con el origen ( $L_s = 0^{\circ}$ ) en el equinoccio de primavera (hemisferio norte). Como se puede observar en la siguiente figura, el hemisferio sur recibe más radiación UV que el hemisferio norte [7] 2-1.



**Figura 2-2.:** Radiación UV solar en la superficie de Marte. Tomado de Córdoba-Jabonero et al, (2004).

La delgada atmósfera de Marte no es capaz de frenar meteoritos o asteroides, dejando una gran cantidad de cráteres en su superficie [53]. Esta atmósfera se compone principalmente de  $CO_2$ , responsable del “corte” de la radiación UV a longitudes de onda  $\lambda < 200\text{nm}$  [42]. En Marte no existe una capa de ozono que proteja a la superficie, ya que las cantidades de  $O_2$  son muy bajas, por lo que la radiación UV de longitud de onda entre 200 y 300 nm consigue llegar al suelo marciano [7]. Este  $CO_2$  sufre ciclos estacionales de congelación-sublimación a lo largo del año, provocando que la presión atmosférica sea muy variable. La temperatura media registrada en Marte se encuentra entre  $-140$  y  $20^\circ\text{C}$  con una media de  $63^\circ\text{C}$ , dependiendo de la latitud y la época del año.

## 2.2. Breve recorrido por la exploración marciana

Desde la década de los sesenta, con la carrera espacial, comenzaron las exploraciones de Marte, los primeros en enviar misiones a este planeta fueron los soviéticos con el Programa Mars (incluidos los Sputnik 22 y 24), que a pesar de no tener un completo éxito, pudo recopilar 61 transmisiones de radio en las que se recogieron pocos datos interplanetarios con la Mars 1. Las Mars 2, 3, 4, 5, 6 y 7, tampoco lograron sus objetivos, sin embargo, algunas pudieron llegar a la superficie marciana, otras realizaron vuelos cercanos, y las que más obtuvieron



resultados, solamente transmitieron datos en un corto periodo de tiempo.

Dentro de esta competencia, Estados Unidos lanza la serie Mariner, de las cuales se destacan las Mariner 6 y 7, con las cuales se probaron nuevas tecnologías que luego serían usadas en sucesivas misiones y que obtuvieron imágenes de Marte y Phobos, con las cuales se pudieron descubrir los terrenos caóticos y las zonas de hundimiento, además se pudo determinar la presión atmosférica del planeta y se descubrió que estaba compuesta mayormente por dióxido de carbono (sobre todo en el casquete polar sur). Otros análisis importantes fueron la determinación de la masa y el radio del planeta. Así mismo, se concluyó que las formaciones observadas fueron producto de la fusión del permafrost. La Mariner 9 fue la primera sonda en orbitar con éxito otro planeta, también obtuvo el primer mapa global de Marte, reconociendo los volcanes, el Valle Marineris, los casquetes polares, Fobos y Deimos, y proporcionó información sobre las tormentas de polvo globales, el campo gravitatorio y evidencias de actividad erosiva del viento.

En la década de los setenta, el programa Viking (U.S.A.), logra con éxito el aterrizaje de las sondas, lo que permitió que se realizaran análisis biológicos y moleculares del suelo y la atmosfera, igualmente se pudo llevar a cabo un análisis inorgánico, y se obtuvieron imágenes y observaciones meteorológicas.

En los ochentas los soviéticos intentaron obtener resultados satisfactorios con el Programa Fobos, pero igual que con el Programa Mars, solo lograron recopilar pocos datos al entrar con la órbita marciana.

Desde la década de los noventa, se dispara el triunfo de Estados Unidos, gracias las misiones Mars Global Surveyor y Mars Pathfinder (primera de una serie de misiones a Marte que incluyó un rover), cuyos hallazgos fueron las manchas oscuras en las dunas debajo de la capa de hielo del polo sur de Marte y los procesos geológicos y las interacciones superficie-atmósfera respectivamente. Rusia y Japón entran en la carrera espacial con el Mars 96 y el Nozomi pero ninguno de los dos resultan satisfactorios.

A partir de los años 2000, Estados Unidos lanza las sondas Mars Odyssey (2001), Mars Reconnaissance Orbiter (2005), Curiosity (2011), MAVEN (2013), y Mars 2020 (2020), las cuales aún continúan operando. Lo más destacable de estas misiones es que la Mars Odyssey estudia el clima y actualmente realiza un mapa de la superficie marciana, además funciona como enlace de comunicaciones con los robots que están en el suelo; la Mars Reconnaissance Orbiter analiza las zonas potenciales para el aterrizaje, igualmente estudia el clima de Marte, la composición de su atmósfera, su geología y busca rastros de agua en los casquetes polares y su subsuelo; Curiosity es una de las misiones más importantes, ya que dentro de sus objetivos está determinar si existió vida alguna vez en Marte a partir de la determinación

y composición de componentes orgánicos, y al igual que las otras misiones, analiza el clima y la geología del planeta con el fin de una futura colonización y caracteriza el espectro de radiación de la superficie; MAVEN tiene como objetivos determinar el estado actual de la atmósfera superior, la ionosfera y las interacciones con el viento solar, con el fin de determinar el papel de la pérdida de sustancias volátiles de la atmósfera al espacio, el escape de gases neutros e iones y las relaciones estables de isótopos en la atmósfera marciana. La Misión Mars 2020 es la más reconocida actualmente debido a que busca condiciones habitables y agua ya sea en el pasado o presente del planeta rojo con la ayuda del Rover Perseverance y el Helicóptero Ingenuity. Cabe destacar también las misiones que ya han culminado como la Spirit, que pudo descubrir antiguos manantiales en ebullición, evidencias de una atmósfera densa, agua dulce hace miles de años, y el ciclo de activo del agua. La Opportunity que buscó y caracterizó regolitos para obtener pistas de actividad del agua en el pasado, determinó la composición de minerales, regolitos y rocas, los procesos geológicos, validó las observaciones de la superficie tomadas por otros instrumentos de misiones anteriores y evaluó el entorno con el fin de determinar si es propicio o no para la vida. La sonda Phoenix caracterizó el clima y la geología de Marte y efectuó estudios de la historia geológica del agua con el fin de determinar si hubo o puede haber vida en este planeta. La Misión InSight colocó un módulo de aterrizaje fijo en Marte para estudiar el suelo y el subsuelo con el fin de estudiar la historia evolutiva del planeta.

En el 2011 Rusia y China lanzaron sin éxito las sondas Fobos-Grunt y Yinghuo-1 (A Fobos), en el 2013 India obtiene el prestigio internacional con el orbitador de la Misión Mars Orbiter Mission que funciona actualmente estudiando las características de Marte. En 2016 Rusia intenta nuevamente con ayuda de la Unión Europea, obtener resultados con la Misión ExoMars 2016, y a pesar de que el aterrizador se estrelló, el orbitador continua activo actualmente. En 2020, Emiratos Árabes Unidos lanza la Misión Hope Mars, cuyo orbitador opera actualmente y estudia la atmósfera y el clima marciano con el fin de determinar la razón del cambio climático; China logra por fin figurar dentro de la carrera espacial con el éxito del Tianwen-1 que continúa operando en este momento, y tiene como meta encontrar vida tanto actual como antigua en el planeta rojo, evaluar su superficie y su medioambiente.

Hoy por hoy, se encuentra suspendida la misión conjunta entre Rusia y la Unión Europea, ExoMars 2022, que tendrá como objetivo buscar vida en Marte, tanto pasada como presente, investigar cómo el agua y el ambiente geoquímico marciano varía con el tiempo y el estudio de los gases atmosféricos, lo que hace que sea una misión netamente astrobiológica. En la siguiente figura se observa un breve resumen de la carrera espacial a Marte, con las principales características de las Misiones exitosas. Cabe resaltar que SPACEX intentará en el 2026, enviar una nave tripulada, la Cargo & Crew Missions, que permitirá transportar carga y pasajeros hacia la órbita terrestre, la Luna y Marte.

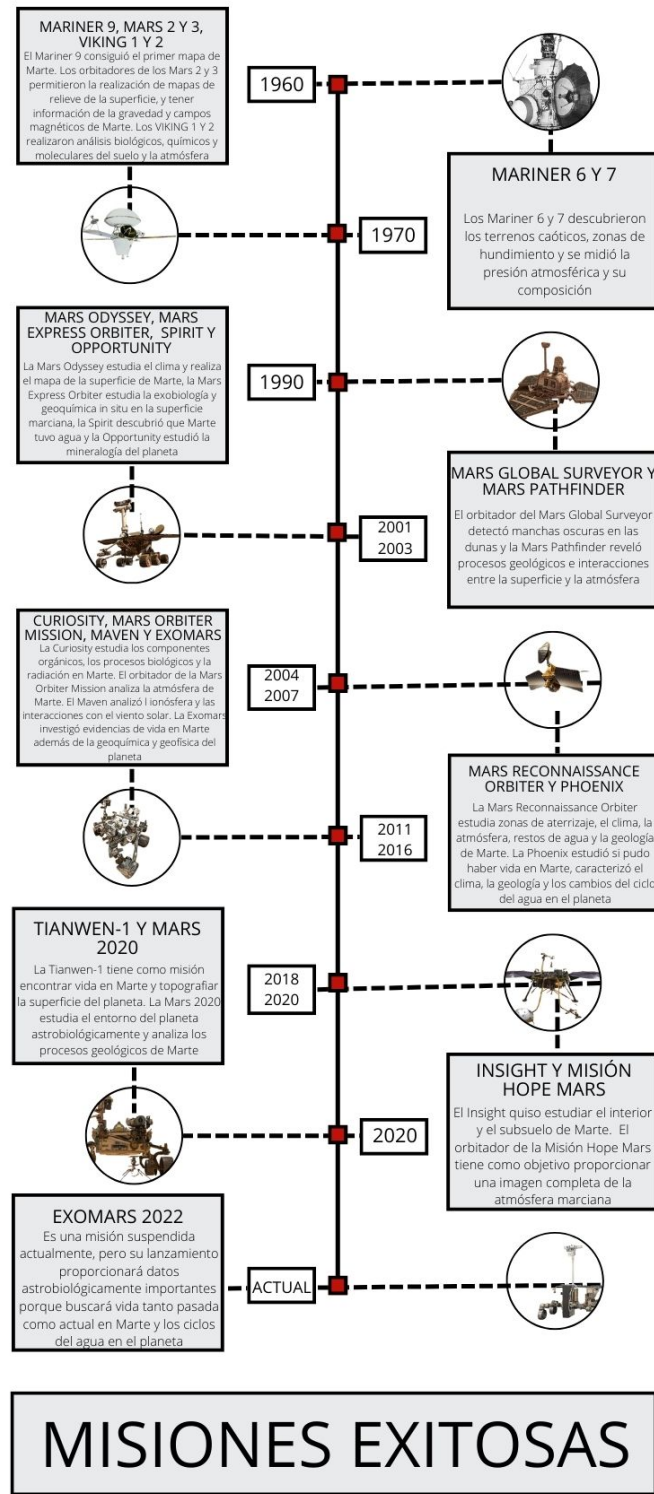


Figura 2-3.: Cronología de las misiones a Marte.

## 3. Radiación dentro y fuera de la atmósfera marciana

### 3.1. Introducción

Al igual que en la Tierra, la radiación solar que llega a la superficie de Marte está compuesta por dos componentes principales: el haz directo y el componente difuso. Estos componentes están sujetos a procesos de dispersión y absorción a medida que viajan a través de la tenue atmósfera marciana hacia la superficie del planeta. La variabilidad de la radiación solar en la parte superior de la atmósfera de Marte está influenciada por factores como la opacidad atmosférica, la posición orbital del planeta y el ángulo cenital solar.

La radiación solar ultravioleta extrema y el viento solar son las principales fuentes de energía para la atmósfera superior de Marte, contribuyendo al calentamiento de la termosfera y la creación de la ionosfera. Sin embargo, la atmósfera marciana, principalmente compuesta por dióxido de carbono y con una densidad mucho menor que la terrestre, tiene un efecto significativo en la radiación solar, absorbiendo fuertemente fotones con longitudes de onda inferiores reportados en la Tierra.

Los modelos de transferencia radiativa, junto con datos de telescopios y satélites, permiten simular y predecir la distribución y variabilidad de la radiación solar en Marte en diferentes condiciones atmosféricas y orbitales. La comprensión detallada de la radiación solar en Marte es esencial para una variedad de aplicaciones, que van desde la planificación de misiones espaciales y el diseño de sistemas de energía solar hasta la evaluación de los efectos de la radiación en la habitabilidad del planeta y la posible presencia de vida.

Este capítulo aborda un análisis de la irradiancia dentro y fuera de la atmósfera de Marte, a manera de ejercicio, con el fin de comprender la influencia de la composición atmosférica marciana en la distribución y variabilidad de la radiación solar en su superficie, explorando las interacciones entre la radiación solar incidente y los componentes atmosféricos de Marte, que afectan significativamente la cantidad y calidad de la radiación que alcanza la superficie marciana, y de esta manera de los procesos atmosféricos y sus implicaciones para el clima y la habitabilidad de Marte.

### 3.1.1. Generalidades

Al igual que en el planeta Tierra, la radiación solar en la superficie de Marte está conformada por dos componentes: el haz directo y el componente difuso. El haz directo se ve afectado por la dispersión y la absorción a lo largo del camino desde la parte superior de la atmósfera marciana hasta la superficie. La variación de la radiación solar en la parte superior de la atmósfera de Marte se rige por la opacidad, la ubicación de Marte en su órbita y por el ángulo cenital solar [1] [3]. Junto con el viento solar, la radiación solar ultravioleta extrema, son las principales entradas de energía a la atmósfera superior de Marte, calentando la termosfera, creando la ionosfera y limitando los procesos que conducen al escape atmosférico al espacio [1]. Los fotones con longitudes de onda inferiores a unos 100 nm son fuertemente absorbidos por el  $CO_2$  y el O neutros. La abundancia de estas especies da lugar a una absorción total del espectro solar de la radiación solar ultravioleta extrema por encima de los 100 km aproximadamente, con una deposición de energía máxima que se produce cerca de los 150 km. [1] [3] [15].

El espectro solar, está formado por ondas electromagnéticas en su modo ondulatorio. El 99% de la radiación emitida por el Sol está entre las longitudes de 150 a 4000 nm. La radiación visible o luz está en el intervalo de 380 a 830 nm [3]. Entonces, en cuanto a la distribución espectral de la radiación solar, la energía solar llega en forma de radiación electromagnética o luz, en forma de ondas producidas por la oscilación o la aceleración de una carga eléctrica [1] [3]. Las ondas electromagnéticas no necesitan un medio material para propagarse, por lo que estas ondas pueden atravesar el espacio interplanetario e interestelar y llegar a Marte desde el Sol y las estrellas. La longitud de onda ( $\lambda$ ) y la frecuencia ( $\nu$ ) de las ondas electromagnéticas, relacionadas mediante la expresión  $\lambda\nu = C$  (donde  $C$  es la velocidad de la luz), son importantes para determinar su energía, su visibilidad, su poder de penetración y otras características. Independientemente de su frecuencia y longitud de onda, todas las ondas electromagnéticas se desplazan en el vacío a una velocidad de  $C = 299.792$  km/s [1]. Es decir que, la radiación electromagnética se puede ordenar en un espectro en diferentes longitudes de onda, desde longitudes de onda corta de billonésimas de metro (frecuencias muy altas), como los rayos gama, hasta longitudes de onda larga de muchos kilómetros (frecuencias muy bajas) como las ondas de radio.

La radiación ultravioleta extrema o la radiación ultravioleta de alta energía es una radiación electromagnética en la parte del espectro electromagnético que abarca longitudes de onda de 124 nm a 10 nm [40], y en este caso en el que hablamos de la que llega a la superficie marciana, es generada naturalmente por la corona solar. Esta radiación varía significativamente en escalas de tiempo de minutos de las erupciones solares, días de la rotación solar y años del ciclo solar. El efecto de la actividad solar en el espectro de esta radiación solar ultravioleta extrema no es uniforme, y las longitudes de onda más cortas tienden a ser más

variables que las más largas. Esta dependencia espectral de la variabilidad es el resultado de que las longitudes de onda más cortas se originan principalmente en la corona más variable, en comparación con las longitudes de onda más largas que son principalmente de origen cromosférico [5].

La irradiancia, es la cantidad de energía proveniente del Sol, por unidad de área [34], que en este caso, llega a la superficie de Marte, en cada instante de tiempo, por lo tanto, es una cantidad que varía tanto espacial como temporalmente, de acuerdo a la posición de un punto en particular sobre Marte y de la posición de éste respecto del Sol [5, 34].

### 3.1.2. Estado del arte

#### Radiación en la superficie de Marte

Appelbaum (1990) [1], presenta un procedimiento y datos relacionados con la radiación solar, a partir de los cuales se calculó la variación diurna, horaria y diaria de la insolación global, directa y difusa en Marte. Los datos de radiación se basaron en la profundidad óptica medida de la atmósfera marciana derivada de las imágenes tomadas del sol con un diodo especial en las cámaras Viking, cabe resaltar que el cálculo se basó en la longitud de onda múltiple y la dispersión múltiple de la radiación solar. Estas estimaciones se obtuvieron a partir de imágenes tomadas del Sol y de Fobos con un diodo especial en las cámaras del módulo de aterrizaje Viking. En este trabajo se introdujo una función de flujo solar neto normalizado a partir de la cual, junto con la variación de las opacidades, se calcularon las características de la radiación solar sobre la superficie marciana.

Badescu en 1998 [3] presentó un estudio acerca de las inclinaciones y orientaciones óptimas de una superficie que recibe radiación solar en la superficie en Marte en el hemisferio norte, a través de un modelo para evaluar la irradiación directa, difusa y global en superficies inclinadas arbitrarias que estima las irradiaciones directa, difusa y global en diferentes intervalos de tiempo, como un día, una estación o un año usando los datos de las mediciones de Viking Landers en una superficie orientada al Sur cuyo ángulo de inclinación se ajustaba continuamente para recoger la máxima irradiación global.

Hassler (2014) [15] Informó y discutió las mediciones de las dosis absorbidas y equivalentes de los rayos cósmicos galácticos y las partículas energéticas solares en la superficie marciana para 300 días de observaciones durante el pasado máximo solar, permitiendo comprender los riesgos de radiación asociados a una misión humana en la superficie de Marte, y proporcionando un punto de anclaje para modelar el entorno de radiación subsuperficial, con implicaciones para los tiempos de supervivencia microbiana de cualquier posible vida existente o pasada, así como para la preservación de posibles biofirmas orgánicas del antiguo

entorno marciano a partir de mediciones in situ del entorno de radiación ionizante en la superficie de Marte, que pueden utilizarse para probar y validar modelos de transporte de radiación.

Kraemer (1977) [23] elaboró figuras y tablas que muestran la incidencia diaria de la radiación solar en la parte superior de la atmósfera terrestre y en la superficie de la Tierra en función de la temperatura a partir de cálculos de la incidencia diaria de la radiación solar en los planetas que se encuentran en el sistema solar en función de la latitud y la temporada del año en cada uno de ellos.

Patel (2002) [33] presentó un modelo simple de transferencia radiativa para la transmisión de la radiación UV en la superficie de Marte para el rango de longitudes de onda de 190-410 nm, teniendo en cuenta la presencia variable de aerosoles de polvo en la atmósfera marciana y sus efectos sobre la irradiación directa.

Rontó (2003) [37] modeló la transmisión de la radiación UV solar entre los 200 a 400 nm en la atmósfera marciana actual y temprana (hace 3,5 giga años) para una variedad de casos posibles, con resultados que sugieren que la irradiación UV en la superficie marciana primitiva hace 3,5 giga años puede haber sido comparable con la de la Tierra actual, y aunque el entorno UV marciano actual sigue siendo bastante severo desde el punto de vista biológico, también se evidencia que todavía se puede ofrecer una protección sustancial para la supervivencia bajo el polvo y el hielo del planeta.

Mischna (2012) [31] presentó los detalles de un modelo de transferencia radiativa en la atmósfera marciana con el fin de encontrar enfoques más sofisticados de la transferencia radiativa que no sean prohibitivos desde el punto de vista computacional, pero que sean lo suficientemente precisos y flexibles como para ser aplicados a una amplia gama de condiciones atmosféricas, demostrando la robustez del enfoque dentro del entorno atmosférico marciano.

Vicente-Retortillo (2015) [53] presentó un nuevo modelo integral de transferencia radiativa para estudiar la irradiación solar que llega a la superficie de Marte en el rango espectral cubierto por el sensor MetSIS que estará a bordo en la Misión Mars MetNet. Esta sonda medirá la irradiación solar en varias bandas desde el ultravioleta (UV) hasta el infrarrojo cercano. El modelo incluye propiedades radiativas actualizadas en función de la longitud de onda del polvo, las nubes de hielo de agua y las moléculas de gas y permite la caracterización del entorno radiativo en diferentes regiones espectrales bajo diferentes escenarios.

Thiemann (2017) [47] estableció los algoritmos utilizados para derivar el modelo FISM-M y sus incertidumbres asociadas, centrándose en las diferencias con el FISM original y presentó

ejemplos de salidas del modelo para la variabilidad de la irradiación ultravioleta extrema debido a las erupciones y las rotaciones solares, la excentricidad de la órbita de Marte y el ciclo solar, entre octubre de 2015 y noviembre de 2016.

### **Ambientes simulados**

Córdoba-Jabonero (2003) [7] abordó el problema de la protección de la superficie de Marte de la radiación UV solar altamente dañina introduciendo algunos otros gases que absorben eficazmente la radiación solar en el mismo rango de longitudes de onda a través de un modelo atmosférico fotoquímico.

Kolb (2005) [21] diseñó un aparato de radiación que simula el espectro superficial UV marciano previsto entre 200 y 400 nm (UVC-UVA) con el fin de construir el simulador Mars-UV que representa un dispositivo para diferentes instalaciones de simulación de Marte con énfasis específico en temas de investigación en el planeta.

López (2017) [26] ilustró el diseño, desarrollo e implementación de un simulador de ambiente marciano, el cuál cuenta con una cámara de vacío y módulos de irradiación UV, así mismo, mostró los criterios de diseño, así como detalles de su fabricación. La validación del dispositivo se hizo mediante el desarrollo de pruebas experimentales sobre el microorganismo *Bacillus Subtilis*.

Wamelink (2014) [54] presentó el primer experimento controlado a gran escala para investigar la posibilidad de cultivar plantas en simulantes de suelo lunar y marciano, mostrando resultados en donde las plantas son capaces de germinar y crecer tanto en el simulante de suelo marciano como en el lunar durante un periodo de 50 días sin adición de nutrientes.

## **3.2. Materiales y métodos**

### **3.2.1. Irradiancia fuera de la atmósfera de Marte**

Estimar la irradiancia solar en Marte implica considerar una serie de factores orbitales y atmosféricos. A continuación, se presenta de manera general de cómo se llevó a cabo esta estimación:

1. **Cálculo de constantes solares:** Se calcularon las constantes solares en el afelio y el perihelio de Marte utilizando una función que toma el radio de la esfera (distancia



Marte-Sol) como entrada y devuelve la constante solar, utilizando la ley de Stefan-Boltzmann.

2. **Definición de rangos de días y distancias:** Se establecieron rangos de días correspondientes a diferentes estaciones en la órbita marciana. y se definieron los rangos de distancias asociados con cada estación.
3. **Cálculo de distancias y latitudes:** Se generó una lista de días y se calcularon las distancias y latitudes correspondientes para cada día dentro de los rangos definidos.
4. **Cálculo de constantes solares e irradiancia:** Utilizando las distancias y latitudes calculadas, se determinaron las constantes solares y la irradiancia para cada combinación de día y distancia.
5. **Cálculo del valor medio de constantes solares:** Se calculó el valor medio de las constantes solares en el afelio y el perihelio.

Siguiendo estas etapas se pudo establecer cómo la constante solar y la irradiancia en Marte varían a lo largo de su órbita, teniendo en cuenta diferentes estaciones y condiciones orbitales.

### 3.2.2. Irradiancia fuera de la atmósfera de Marte

#### Relación entre la irradiancia en la superficie y fuera de la atmósfera en Marte:

Se utilizó la ecuación de la Ley de Beer  $I_f = I_i \cdot e^{-\tau}$  para modelar la relación entre la irradiancia en la superficie y fuera de la atmósfera, esta ecuación describe la atenuación de la intensidad de la luz (o cualquier otra forma de radiación electromagnética) a medida que atraviesa un medio absorbente, como un líquido, una solución o un gas.

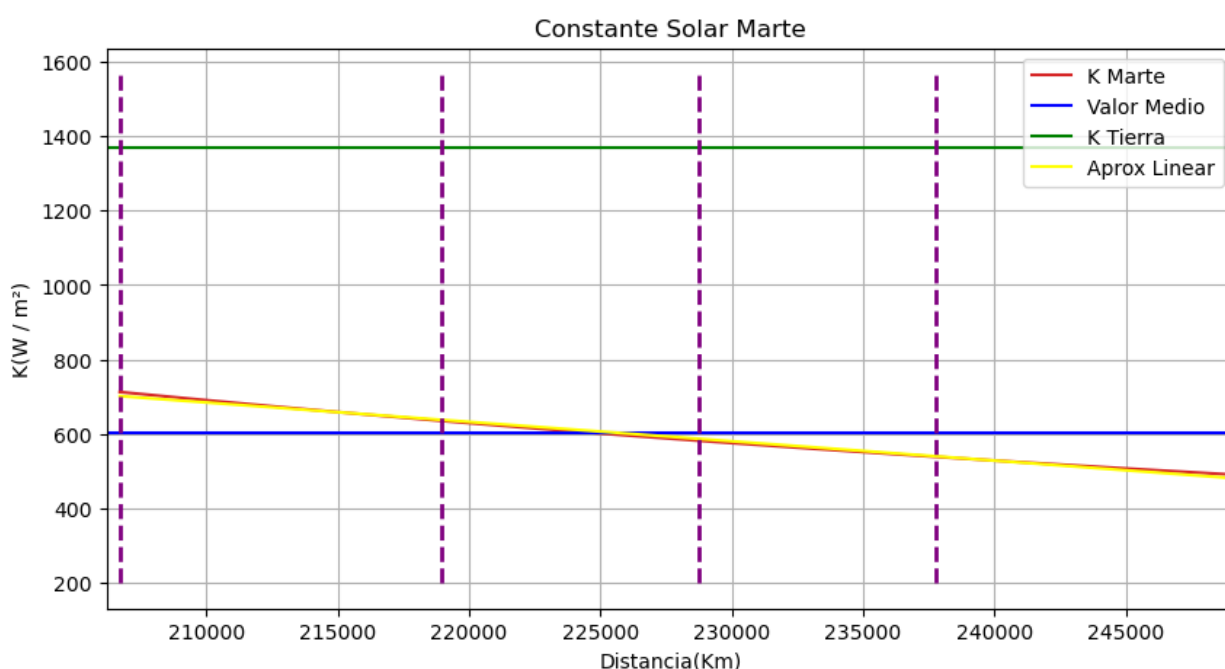
## 3.3. Resultados y discusión

### 3.3.1. Cálculo y análisis de parámetros

#### Cálculo de la irradiancia dentro de la atmósfera de Marte

Primero se llevó a cabo el cálculo de la constante solar en Marte, teniendo en cuenta que es la cantidad de radiación solar que llega a la atmósfera marciana por unidad de área, y que además, la intensidad de la radiación solar de este planeta es diferente de la de la Tierra debido a varias razones; la primera razón es la mayor distancia promedio entre Marte y el Sol, pues la órbita de Marte es más elíptica que la de la Tierra, lo que significa que la distancia entre Marte y el Sol varía significativamente durante su año marciano, esto afecta la cantidad de radiación solar que Marte recibe en diferentes momentos del año; la segunda, es que la inclinación del eje de rotación de Marte también afecta la cantidad de radiación

solar recibida en diferentes latitudes y estaciones, y por esto, la variación estacional en Marte es más pronunciada que en la Tierra; la tercera, es que la atmósfera marciana es mucho más delgada que la de la Tierra y compuesta principalmente de dióxido de carbono, esto afecta la forma en que la radiación solar interactúa con la atmósfera y llega a la superficie marciana; y la cuarta razón tiene que ver con que la presencia de polvo atmosférico en Marte puede afectar la cantidad de radiación solar que llega a la superficie, ya que el polvo puede dispersar o absorber la luz. (El código se encuentra al final del documento) (A). La siguiente gráfica muestra el comparativo de la constante solar ( $K$ ) entre la Tierra y Marte:

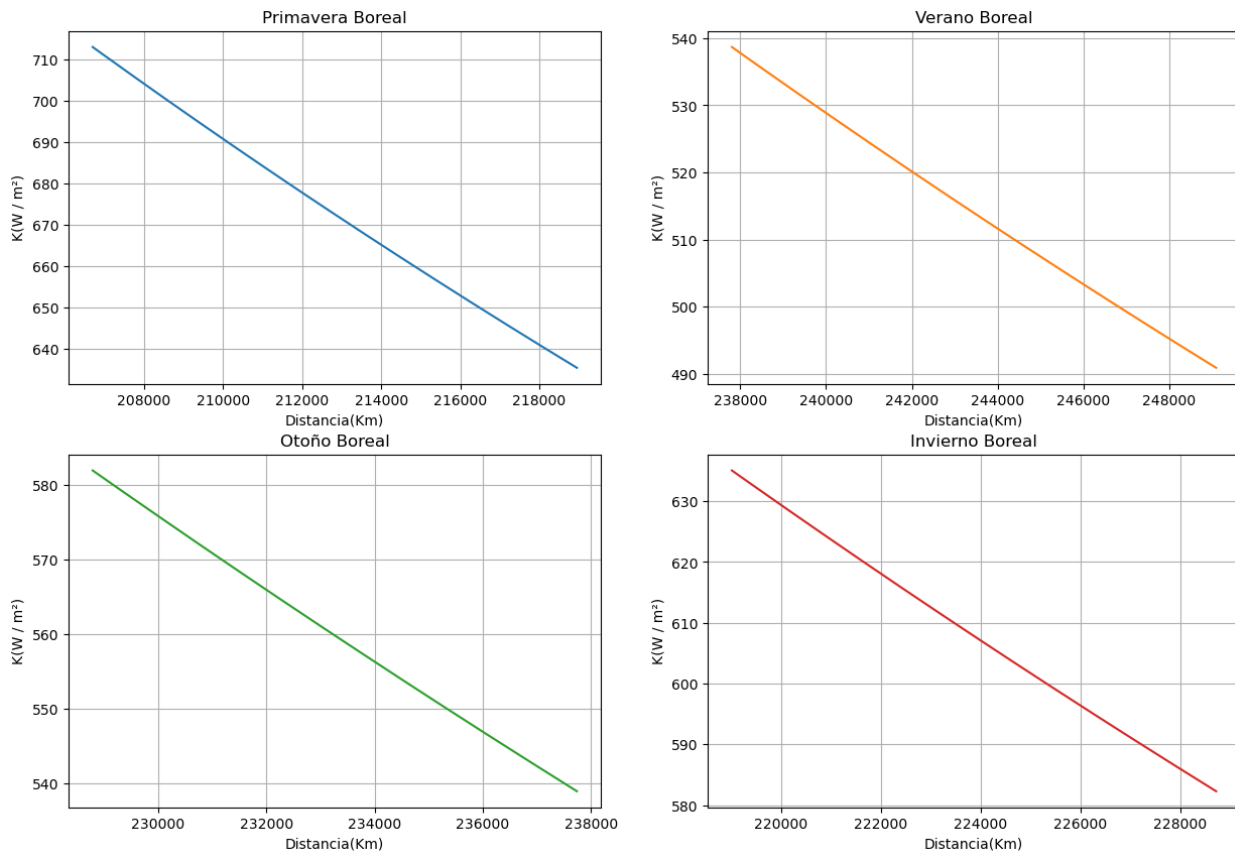


**Figura 3-1.:** Constante solar.

Como se puede observar, en el perihelio, Marte se encuentra en su posición más cercana al Sol en su órbita elíptica; esto implica que, en el perihelio, la distancia entre Marte y el Sol es menor en comparación con otros puntos de su órbita. Esta mayor proximidad al Sol tiene un efecto en la cantidad de radiación solar que recibe Marte, pues experimenta un aumento en la radiación recibida debido a su proximidad a esta estrella en ese momento, tal como lo indican [3] [23] [31] [37] [47].

Es importante destacar que aunque la cantidad de radiación solar varía a lo largo de la órbita marciana, esto no se debe a cambios en la constante solar, sino a la geometría de la órbita del planeta alrededor del Sol, así pues, como lo vemos en la siguiente imagen, en cada estación, la radiación solar también se ve afectada por la inclinación axial de Marte. Durante el verano en el hemisferio norte de Marte, el polo norte experimenta días largos y una mayor cantidad

de radiación solar, mientras que en el hemisferio sur es invierno con noches más largas. En el equinoccio, la radiación solar se distribuye de manera más uniforme entre los hemisferios norte y sur. A continuación en la siguiente imagen se detalla la variación entre la distancia al Sol y la constante solar en cada estación del año en Marte:

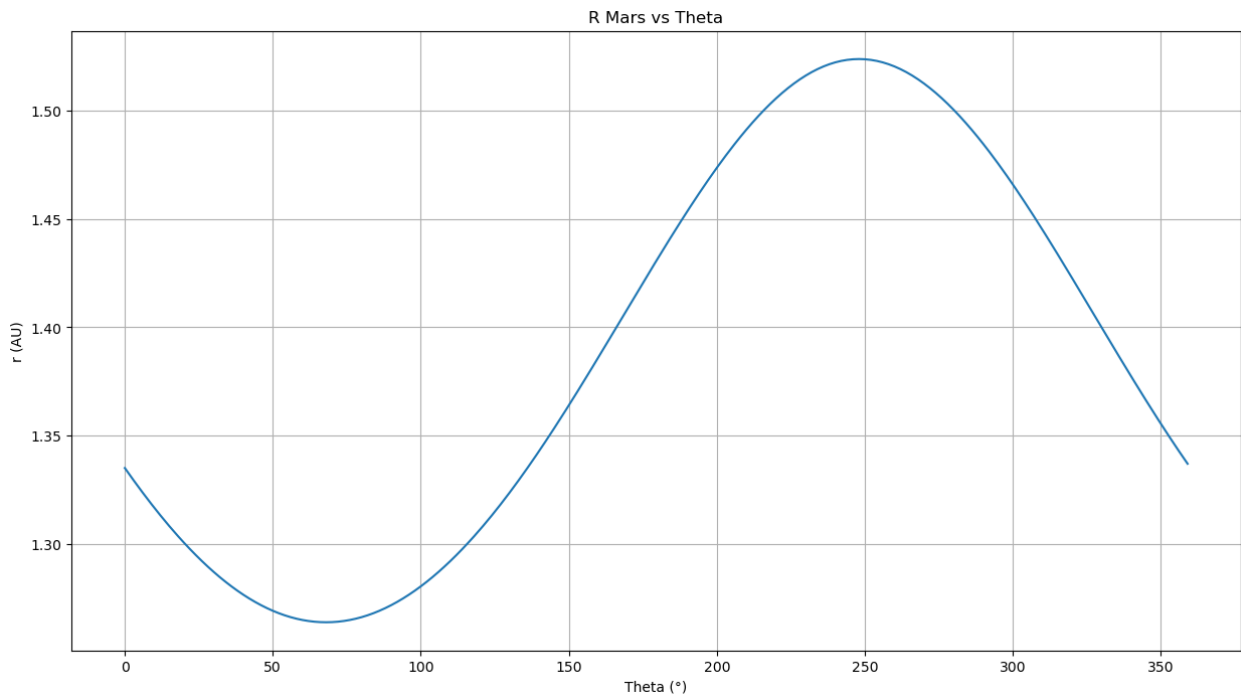


**Figura 3-2.:** Constante solar en cada estación del año en Marte.

En la figura **3-2** se puede observar que durante la primavera marciana, la irradiancia tiende a aumentar a medida que Marte se acerca a su perihelio, por lo tanto, hay una mayor recepción de radiación solar. En el verano la irradiancia puede alcanzar niveles máximos, especialmente cerca del perihelio, sin embargo, la inclinación axial de Marte también juega un papel importante, como lo indica [47]; las regiones polares pueden experimentar días más largos de radiación solar continua, mientras que las regiones ecuatoriales pueden tener variaciones diurnas más pronunciadas. Durante el otoño marciano, la irradiancia comienza a disminuir a medida que Marte se aleja del perihelio, la inclinación axial y la posición orbital afectan la distribución de la radiación solar en diferentes latitudes y longitudes. El invierno marciano se asocia con irradiancia más baja, ya que Marte se encuentra más alejado del Sol en su órbita elíptica, las regiones polares pueden experimentar noches más largas y temperaturas más frías. La irradiancia solar en Marte varía a lo largo de su órbita alrededor del Sol

y en relación con la rotación del planeta. La distancia entre Marte y el Sol (medida en AU) cambia a lo largo del año marciano debido a su órbita elíptica, y este cambio de distancia afecta la cantidad de energía solar que llega a la superficie marciana.

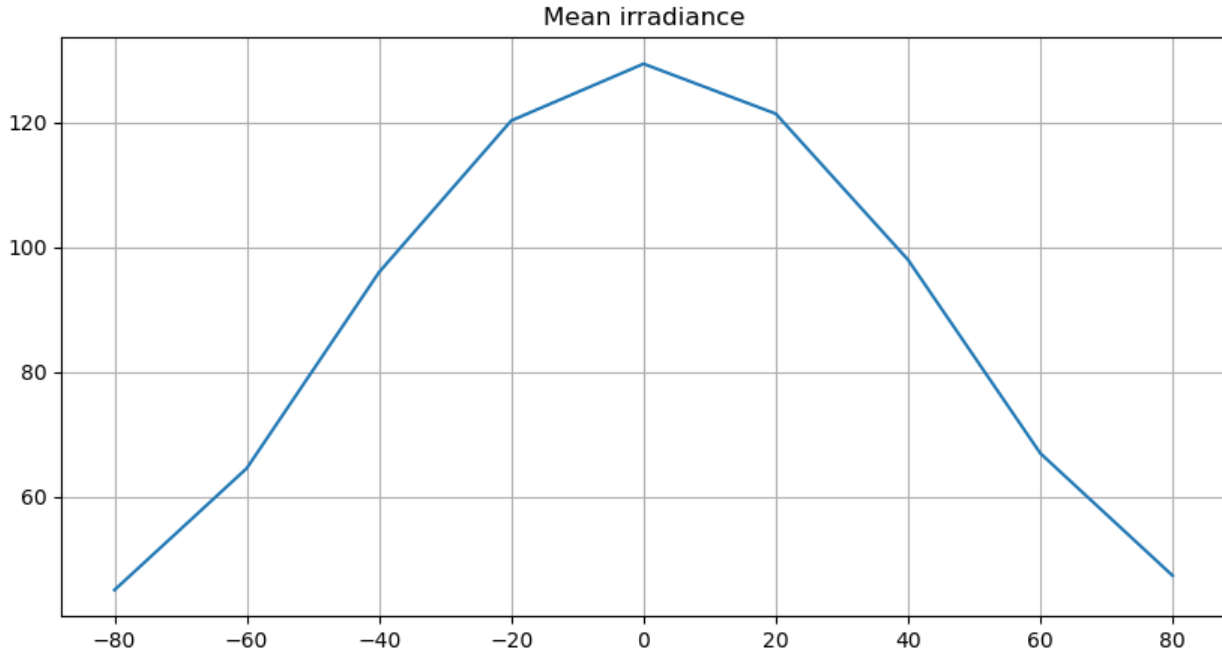
En el contexto de la irradiancia solar, especialmente al considerar la radiación solar que incide en la superficie de un planeta, el ángulo  $\theta$  generalmente se refiere al ángulo de incidencia solar o ángulo zenital solar. Este ángulo representa la inclinación del sol sobre el cenit y está relacionado con la posición del sol en el cielo en un lugar y momento específicos; en la gráfica **3-3** se puede describir cómo la irradiancia solar en Marte cambia en función de la distancia radial desde el centro de Marte, la velocidad angular de su rotación y la posición angular o dirección en la que se está midiendo la irradiancia. Este tipo de análisis es crucial para comprender la distribución de la radiación solar en la superficie de Marte en diferentes momentos y ubicaciones:



**Figura 3-3.:**  $r$  Marte vs  $\Theta$ .

La irradiancia media en Marte, al igual que en la Tierra, está influenciada por diversos factores, incluyendo la inclinación del planeta, la distancia al Sol, la presencia de la atmósfera y la reflectividad de la superficie. Aunque Marte tiene una atmósfera más tenue que la Tierra, todavía tiene un impacto significativo en la radiación solar. Teniendo en cuenta la oblicuidad de la órbita de Marte, la irradiancia solar es más intensa en el Ecuador debido a su ubicación más cercana al Sol tal como se puede observar en la gráfica **3-4** en donde

se ha determinado esta cantidad de energía fuera de la atmósfera de este planeta (K), sin embargo, hay que tener en cuenta que en la superficie, influyen factores como la presencia de polvo atmosférico que puede dispersar la luz solar y afectar la cantidad de radiación que llega a la superficie; y condiciones meteorológicas, que también pueden afectar la irradiancia.



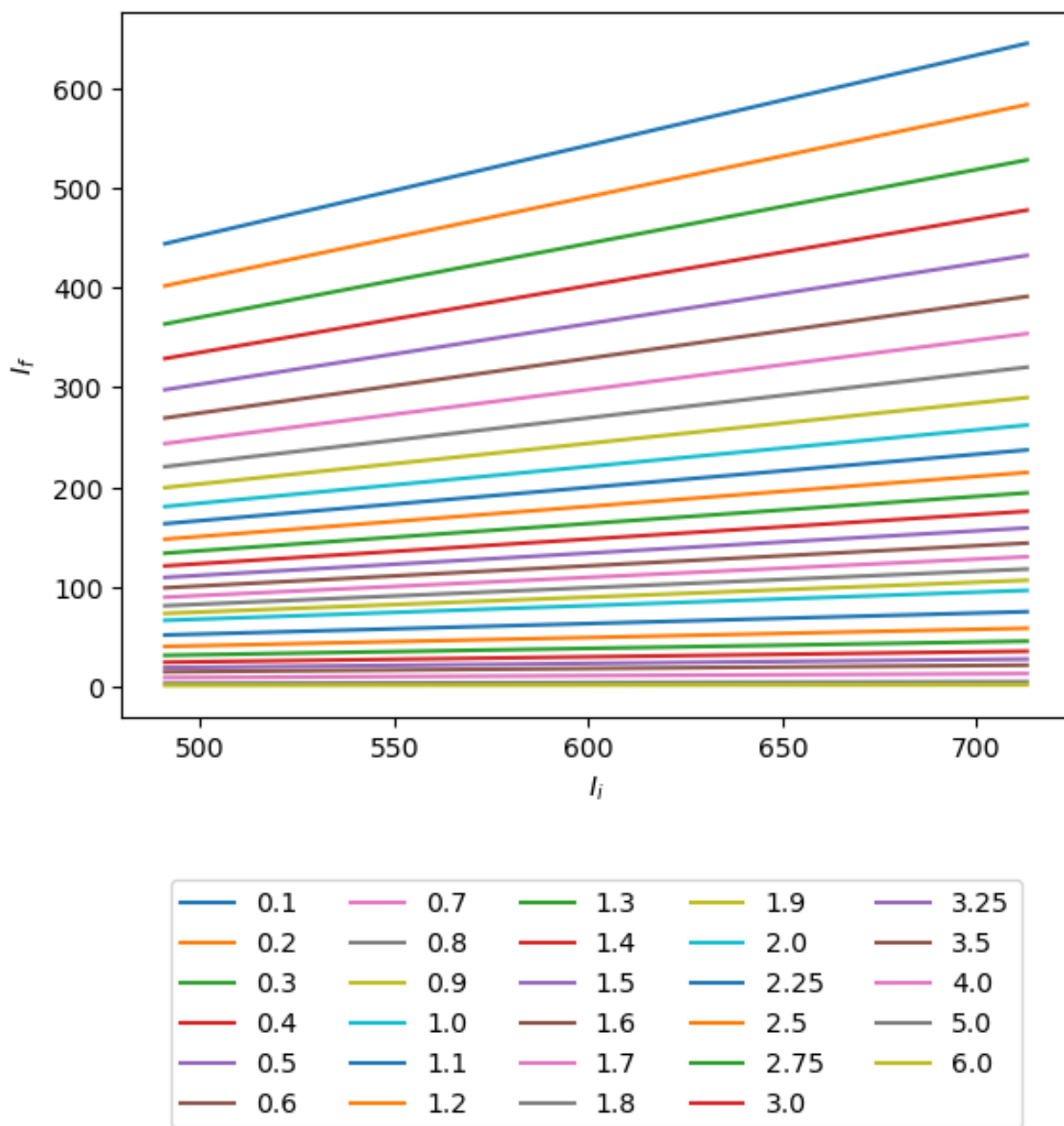
**Figura 3-4.:** Irradiancia media fuera de la atmósfera de Marte

### Cálculo de la irradiancia dentro de la atmósfera de Marte

Con el cálculo de la constante solar para cada estación del año en Marte en diferentes latitudes, se logró cuantificar la irradiancia que entra a la atmósfera usando los datos de profundidad óptica de la tabla de la función de flujo normalizada de Appelbaum. (1989). (B), usando la siguiente solución de la ecuación de transferencia radiativa, teniendo en cuenta que sólo se habla de absorción para este caso:

$$I_V(S) = I_V(S_0) \cdot e^{-t_V} \quad (3-1)$$

Siendo  $I_V(S)$  la profundidad óptica de la tabla de la función de flujo normalizada de Appelbaum (1990) [1], y  $-t_V$  la constante solar calculada anteriormente **3-5**.



**Figura 3-5.:** Irradiancia dentro de la atmósfera de Marte

En la **3-5**, se puede identificar que a irradiancia dentro de la atmósfera de Marte se ve afectada por la absorción y dispersión de la radiación solar por parte de los componentes de la atmósfera marciana, ya que esta es mucho más delgada que la de la Tierra y está compuesta principalmente de dióxido de carbono  $\text{CO}_2$  con trazas de nitrógeno y argón, tal como lo describe Badescu (1998) [3].

La irradiancia solar que alcanza la superficie de Marte es significativamente menor que la irradiancia fuera de la atmósfera debido a varios factores, incluida la absorción de luz solar por parte de las moléculas, y la presencia de partículas, como polvo y aerosoles, que también puede influir en la cantidad de luz solar que llega a la superficie marciana.

La variabilidad de la irradiancia en la superficie de Marte también se debe a factores como la posición relativa del planeta con respecto al Sol y las variaciones estacionales en la inclinación del eje de Marte. Estos factores pueden afectar la cantidad de luz solar que llega a diferentes regiones del planeta en diferentes momentos del año marciano.

En general, la irradiancia solar en la superficie de Marte es considerablemente menor que en la Tierra debido a la combinación de la mayor distancia promedio entre Marte y el Sol, la atmósfera más tenue y otros factores atmosféricos.

Cabe resaltar que en este estudio no se tuvo en cuenta la contribución de la emisión de la atmósfera marciana, ya que es prácticamente nula y por ende, la función fuente es igual a cero simplificando entonces la solución a la decaída exponencial tanto del haz solar entrante como de la luz solar reflejada. [43].

# 4. Generalidades de la quinoa y efectos de la radiación UV solar marciana sobre el porcentaje de germinación y el contenido de clorofilas

## 4.1. Introducción

La radiación ultravioleta (UV) es un factor ambiental que puede alterar significativamente el proceso de germinación y el crecimiento de las plantas. Estudios han demostrado que diferentes variedades de quinoa responden de manera diferente a la radiación UV, implementando diversas estrategias defensivas para proteger su sistema fotosintético del daño inducido por esta radiación [35, 16, 14]. Sin embargo, la germinación de semillas de quinoa bajo exposición directa a radiación ultravioleta aún no ha sido ampliamente estudiada [44].

Además de la germinación, otro aspecto crucial en la fisiología vegetal es la síntesis de pigmentos fotosintéticos, como las clorofilas, que son esenciales para la captura de la luz solar y la producción de energía química durante la fotosíntesis. El contenido de clorofilas totales en las plantas puede proporcionar información valiosa sobre su salud, eficiencia fotosintética y respuesta al estrés ambiental, incluida la exposición a la radiación UV [35, 11].

La quinoa destaca no solo por su valor nutricional y adaptabilidad, sino también por su capacidad de respuesta frente a factores ambientales como la radiación UV, lo que la convierte en un objeto de estudio relevante en la investigación agrícola y la biología vegetal.

El estudio del efecto de la radiación en Marte y su impacto en los sistemas biológicos es un campo fascinante que ha generado un considerable interés en la comunidad científica. En este contexto, este capítulo se centra en comprender los efectos en la germinación y contenidos de pigmentos fotosintéticos de la radiación ultravioleta (UV) solar en semillas y plantas de un mes de crecimiento de amarilla de maranganí y quinoa real, con el fin de proporcionar información valiosa sobre cómo estos materiales, responden a estas condiciones, permitiendo analizar las respuestas defensivas y/o adaptativas.



### 4.1.1. Generalidades de la quinoa

La quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*), es una especie vegetal originaria de la región andina. Es un cultivo en expansión, dadas sus características nutritivas, medicinales y de adaptación a diferentes zonas agroecológicas [22]. Se documenta, como el único vegetal que provee todos los aminoácidos esenciales; contiene ácidos grasos, vitaminas y minerales, convirtiéndola en un superalimento por su contenido nutricional, útil para el desarrollo de múltiples funciones del organismo [27] [25] [51]. Esta es una planta dicotiledónea, de la familia Amarantaceae, que tiene una alta plasticidad para adaptarse a diferentes condiciones ambientales y agroecológicas tales como sequía, heladas, salinidad, entre otros [29]. Con respecto a la adaptabilidad a radiaciones, existen muy pocos estudios que revelen la respuesta a la radiación ultravioleta de (*Chenopodium quinoa Willd.*); sin embargo, se ha documentado que la sensibilidad de la quinoa a la radiación solar, puede variar entre las variedades, haciendo que se adapte a diversas altitudes [17] [19, 35].

El periodo vegetativo de esta planta puede variar desde 90 hasta 240 días, se desarrolla, adecuadamente, con precipitaciones de 200 a 280 mm anuales, se adapta a cualquier textura de los suelos y niveles de pH, entre 4,5 y 9,0 y en su madurez fisiológica presenta varias coloraciones, dependiendo del genotipo [17, 28].

### 4.1.2. Germinación y pigmentos fotosintéticos

#### Germinación

La germinación es un proceso fisiológico en el que el embrión de una semilla reinicia su crecimiento después de un periodo de descanso, implicando una serie de eventos fisiológicos y bioquímicos coordinados que ocurren en respuesta a ciertos estímulos ambientales [2].

Cuando una semilla germina, la primera estructura que emerge, de la mayoría de las especies, después de la rehidratación de los diferentes tejidos es la radícula. En aquellas semillas, en las que la radícula no es el primer acontecimiento morfológico, se consideran otros criterios para definir la germinación como: la emergencia del coleoptilo, la obtención de plantas normales, o el aumento de la actividad enzimática tras la rehidratación de los tejidos. A continuación se muestran las tres fases de la germinación [49]:

1. **Fase de imbibición:** Se produce una absorción de agua por parte de los tejidos de la semilla provocando un incremento de la actividad respiratoria.
2. **Fase de germinación:** Se producen las transformaciones metabólicas para el desarrollo de la plántula, en esta fase se reduce hasta incluso detenerse la absorción de agua.

3. **Fase de crecimiento:** La radícula emerge y el agua vuelve a ser absorbida y la actividad respiratoria aumenta.

En la quinoa, la relación de estas fases puede apreciarse en que la primera fase se produce tanto en semillas vivas como en muertas, ya que es independiente de la actividad metabólica de la semilla, pero en aquellas viables, el metabolismo se activa por la hidratación; en la segunda fase existe un proceso de metabolismo activo previo a la germinación en las semillas viables, y en la tercera fase se produce sólo en semillas que germinan e inician el proceso de crecimiento de la plántula [45]. De acuerdo con lo anterior, se pueden identificar dos tipos de germinación [39], hipogea y epigea, en el caso de las semillas de *Chenopodium quinoa Willd.*, la germinación es epigea, pues los cotiledones emergen del suelo debido al crecimiento del hipocótilo, luego, los cotiledones se diferencian en cloroplastos los cuales son el órgano fotosintético de la plántula porque actúan como hojas, finalmente, comienza el desarrollo del epicótilo; cada fase se explica a continuación [38].

1. **Cotiledones visibles:** Los cotiledones, las primeras hojas que emergen de la semilla, se vuelven visibles en la superficie del suelo. Estos cotiledones son parte esencial del sistema de germinación y a menudo desempeñan un papel importante en la fotosíntesis inicial hasta que las hojas verdaderas se desarrollan completamente.
2. **Elevación de la plántula:** A diferencia de la germinación hipogea, donde la plántula permanece bajo la superficie del suelo, en la germinación epigea, la plántula se eleva hacia arriba y se expone a la luz solar. Esto implica que el tallo de la plántula se alarga y transporta los cotiledones hacia arriba.
3. **Fotosíntesis temprana:** Dado que la plántula está expuesta a la luz desde el principio, puede realizar la fotosíntesis de manera más eficiente, utilizando la energía solar para producir sus propios nutrientes y sustentar su crecimiento.

La germinación de semillas está influenciada por factores internos como la viabilidad del embrión, la cantidad y calidad del tejido de reserva y los diferentes tipos de dormancia, y también de factores externos como por ejemplo los que regulan el proceso del grosor de la testa, disponibilidad de agua, temperatura y tipos de luz. Se ha reportado que condiciones extremas de temperatura, luz, humedad, entre otras, pueden no ser favorables para este proceso [46] [50]. En quinua, existen algunos reportes de germinación bajo condiciones de radiación gamma, como por ejemplo el llevado a cabo por Song (2022) [44] en donde encontró que la tasa de germinación y la velocidad de germinación fueron más altas en las semillas tratadas con longitudes de onda más cortas. Sin embargo, no existen reportes en donde se haya evaluado la germinación de semillas de quinua bajo exposición a radiación ultravioleta.

### Porcentaje de germinación

El porcentaje de germinación es una medida que indica la proporción de semillas que han germinado con éxito en relación con el total de semillas sembradas. Esta métrica se expresa como un porcentaje y es comúnmente utilizada en la investigación agrícola, horticultura, y estudios de biología vegetal para evaluar la viabilidad y la eficiencia del proceso de germinación [13]. La fórmula básica para calcular el porcentaje de germinación es:

$$\text{Porcentaje de Germinación} = \left( \frac{\text{Número de Semillas Germinadas}}{\text{Total de Semillas Sembradas}} \right) \times 100 \quad (4-1)$$

### Pigmentos fotosintéticos: Clorofilas totales

Las clorofilas son un conjunto de pigmentos verdes que desempeñan un papel fundamental en el proceso de la fotosíntesis, el cual es esencial para la vida de las plantas. Estas moléculas son responsables de capturar la luz solar y convertirla en energía química, que luego se utiliza para la síntesis de carbohidratos y otros compuestos orgánicos [35]. En la fotosíntesis, hay varios tipos de clorofila, siendo las dos formas principales la clorofila a y la clorofila b. Estos dos tipos de clorofila difieren en la composición de sus grupos laterales, pero comparten una estructura básica que les permite absorber diferentes longitudes de onda de luz [6] [35].

Las clorofilas totales son a la suma de todas las clorofilas presentes en un sistema biológico, ya que a menudo se miden como un indicador general de la capacidad fotosintética. Medir las clorofilas totales es una forma común de evaluar la salud y la eficiencia fotosintética de las plantas, además pueden proporcionar información valiosa sobre el estado fisiológico de las plantas, además pueden proporcionar información valiosa sobre el estado fisiológico de las mismas, su respuesta al estrés ambiental, incluida la exposición a la radiación ultravioleta (UV) [11].

Una de las principales mediciones que se tienen en cuenta para evaluar los efectos del estrés sobre las plantas es el contenido de clorofilas, es así que, dependiendo de la planta y la condición de estrés, su contenido puede aumentar o disminuir, indicando una afectación del aparato fotosintético. Se han reportado estudios como los llevados a cabo por Prado (2016) [35], en donde se estudian los efectos de la radiación UVB en la síntesis de pigmentos fotosintéticos protectores y azúcares solubles, observando que las diversas variedades de quinoa reaccionan ante la radiación UVB mediante la implementación de distintas estrategias defensivas, ya sean de índole morfológica, fisiológica o bioquímica, recurriendo principalmente al aumento de la concentración de compuestos absorbentes de UVB, lo cual es interpretado como la formación de un “escudo químico” destinado a salvaguardar el sistema fotosintético de las plantas contra la sobrecarga energética generada por la radiación aplicada. Huarancca

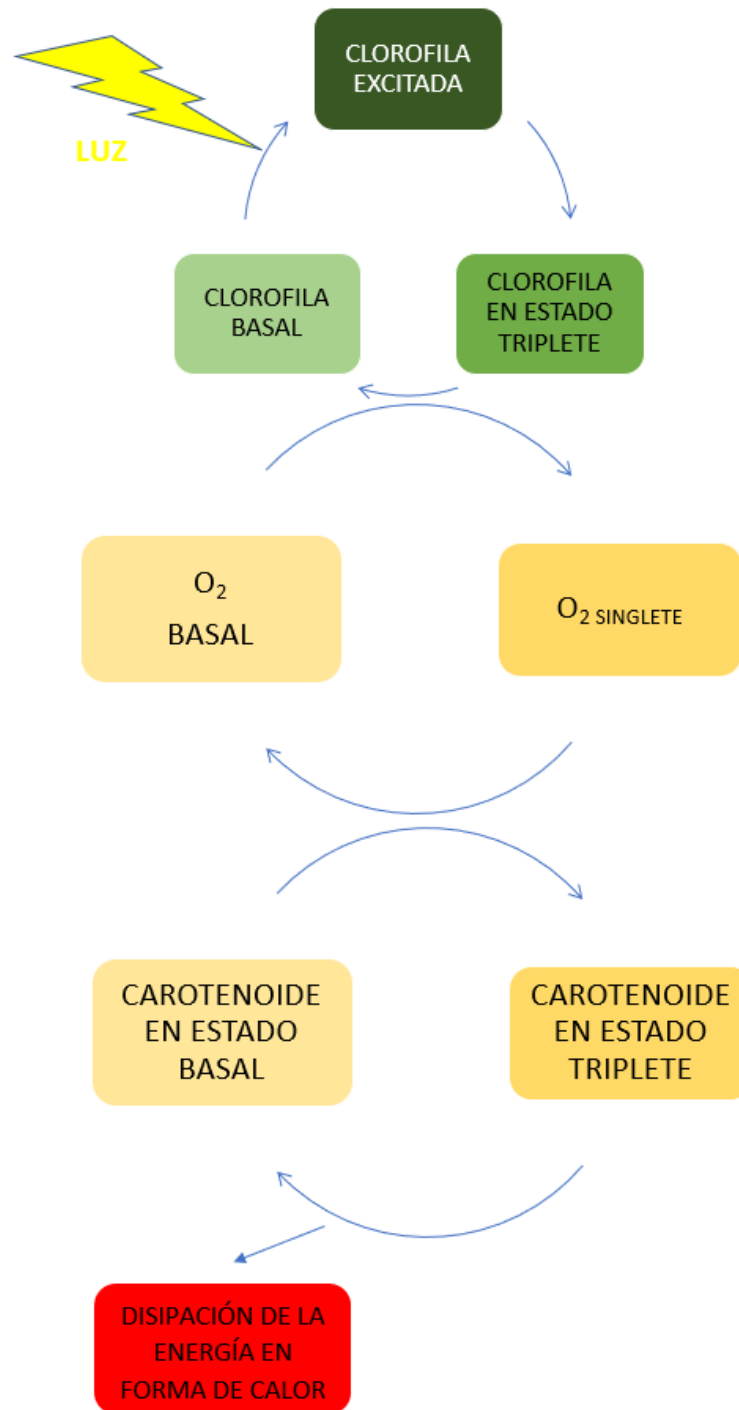
(2018) [16] evaluó la capacidad de la quinoa para resistir la irradiación aguda de UVB a corto plazo, exponiendo a la planta a 30 o 60 minutos diarios de UVB. La exposición de 30 minutos no causó alteraciones graves, pero aumentó la capacidad antioxidante. La exposición de 60 minutos redujo la mayoría de los parámetros y llevó a la muerte de las plantas. Se observó una disminución en la conductancia estomática y la inhibición del transporte electrónico fotosintético con 30 minutos de UVB, posiblemente asociados a la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS). Con 60 minutos de UVB, se encontró daño irreversible en el aparato fotosintético, comprometiendo el transporte electrónico. Estos resultados indican que la quinoa modula diferentes mecanismos de respuesta según la dosis de UVB. González (2009) [14], evaluó las respuestas morfológicas y fisiológicas de plántulas de dos variedades de quinoa expuestas a diferentes niveles de radiación solar UVB. La variedad Cristalina mostró un aumento en el área del cotiledón y la altura de las plántulas bajo radiación UVB, mientras que la variedad Chucapaca no se vio afectada. Hubo diferencias en el contenido de clorofila y compuestos absorbentes de UVB entre las variedades y tratamientos de UVB. El trabajo destaca su utilidad para comprender la plasticidad metabólica en la tolerancia de las plantas a la radiación UVB.

Los pigmentos clorofílicos tienen la capacidad de absorber espectros en el rojo y en el azul, en las plantas vasculares las moléculas de clorofila están organizadas en estructuras captadoras de luz (complejos antena) [36], constituidos por pigmentos unidos a proteínas y que a su vez están conectados con sendos fotosistemas (PS I y PS II) a través de un centro de reacción y que contienen los aceptores y transportadores de electrones necesarios para llevar los electrones excitados por los fotones absorbidos hasta sus finales aceptores, [24].

La mayor parte de la fluorescencia que es emitida por la clorofila proviene de la clorofila a del fotosistema dos (PSII), que incrementa si la transferencia o el proceso fotoquímico está limitado por algún factor o en condiciones de luz excesiva, produciéndose una sobrecarga de electrones excitados cuyo destino puede ser muy dañino para la propia célula [12, 36] .

En presencia de luz el oxígeno reacciona con la clorofila excitada originándose un singlete de oxígeno que es muy reactivo pudiendo oxidar las clorofilas (blanqueamiento). En presencia de luz en exceso el oxígeno se hace tóxico y la fotosíntesis autodestructiva. Los carotenoides disipan el radical peróxido y también la clorofila excitada adquiriendo el estado triplete que a su vez se disipa desprendiendo calor que cede al medio como lo vemos en la figura 4-1.

La sensibilidad, el tiempo de exposición y la intensidad de la radiación UV, determinan los efectos sobre las plantas. Además, dependiendo del lugar donde se desarrolle la especie y la latitud, es factible encontrar una tolerancia más alta o menor como respuesta a la radiación [8]. Según el efecto en la planta expuesta a radiaciones de longitud de onda corta se pueden clasificar en directas (relacionado con el crecimiento, la asimilación fotosintética, la división



**Figura 4-1.:** Mecanismo de disipación de energía por los carotenoides. Tomado de Demmig-Adams et al. (1992).

celular y el desarrollo, entre otros) o indirectas (a nivel metabólico como por ejemplo, la síntesis de metabolitos secundarios) [35].

En las plantas del desierto las cuales están expuestas naturalmente a condiciones extremas de radiación, se ha observado que estas ajustan sus niveles de pigmentos fotosintéticos y otras moléculas en respuesta a la radiación UV para protegerse contra el estrés inducido por esta. La adaptabilidad de estas plantas proporciona información valiosa sobre la interacción entre las plantas y su entorno, especialmente en condiciones de alta radiación UV [41].

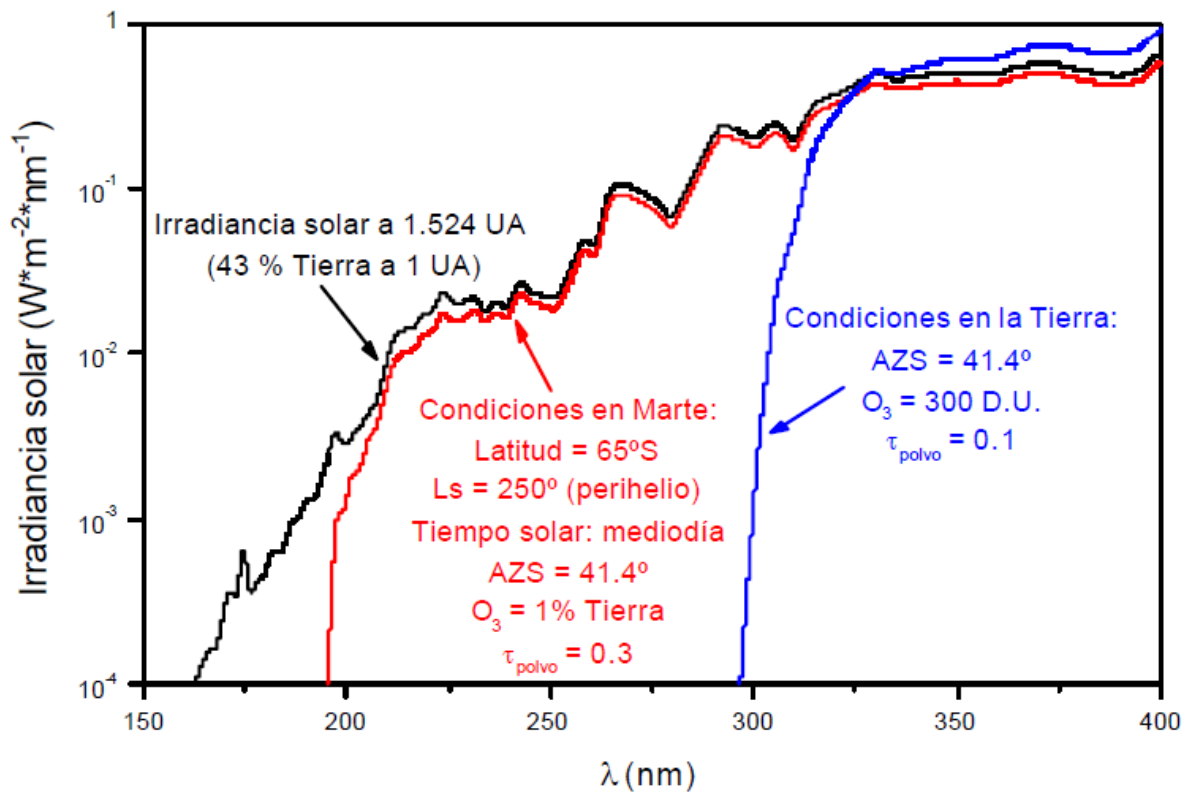
### 4.1.3. Estado del arte

#### Efectos biológicos de la radiación en Marte

La radiación ultravioleta solar que se recibe en la superficie de Marte es de tipo UVC y UVB, haciendo de este un planeta esterilizante, sin embargo, muchos investigadores se hacen la pregunta de si existe alguna posibilidad de que, dependiendo de las condiciones estacionales, en algún momento en ciertas latitudes del planeta se puedan tener condiciones aptas para el surgimiento de la vida, al menos temporalmente [7] [48] [1]. Los gases junto con la dispersión por los aerosoles, influyen en la propagación de la radiación UV hasta la superficie, estos pueden llegar a tener una distribución espacial y temporal muy variable, por lo que los niveles de UV en el planeta pueden sufrir también variaciones [7] [15]. Otros factores que afectan los niveles de UV en la superficie son la distancia al Sol, ya que influye en la cantidad de radiación solar que llega a Marte, así como el ángulo zenital solar (AZS) que se calcula por medio de determinados parámetros geométricos y orbitales [23, 37]. En la figura 4-2 se muestra la irradiancia UV solar que reciben Marte y la Tierra en la superficie, junto con el espectro solar que Marte recibe a 1.524 UA; esta diferencia es importante por la implicación biológica que conlleva ya que la exposición de los organismos a la radiación UV-C ( $\lambda < 280$  nm) y a parte del UVB (280-320 nm) es perjudicial para los procesos biológicos. Es importante resaltar que la sensibilidad de los organismos es determinada por el espectro de acción biológico (BAS) que expresa el daño relativo producido por la exposición a la radiación UV en determinado proceso de desarrollo (normalizado a 300 nm) [7].

Un ejemplo para describir los cambios que suceden en un organismo lo encontramos en las plantas, que son organismos sésiles y por tener esta característica están sometidas a diferentes condiciones abióticas que afectan procesos del desarrollo como la germinación, establecimiento, crecimiento y productividad, que pueden convertirse en estresores, produciendo alteraciones en la fisiología de estas especies vegetales.

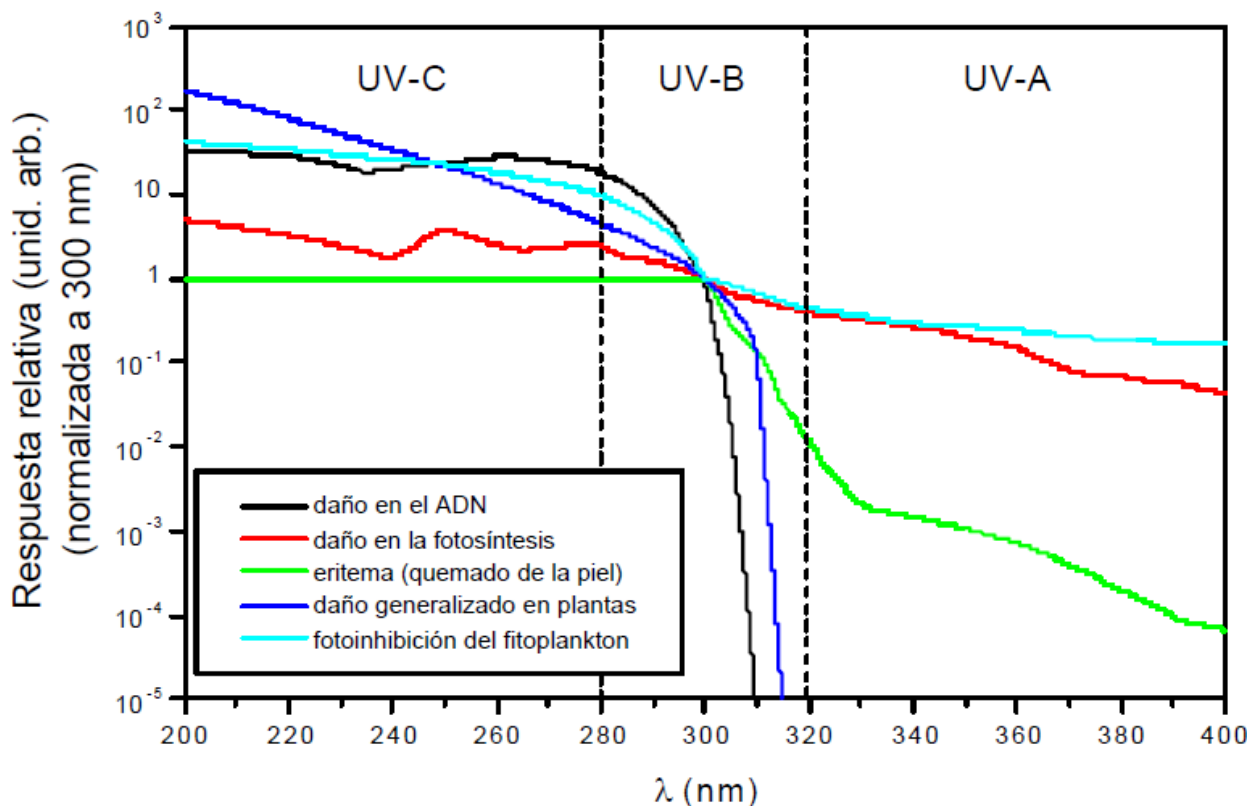
En la figura 4-3 se pueden ver varios ejemplos de los espectros de acción de los blancos biológicos más importantes. Es evidente que el daño es mayor cuanto menor sea la longitud



**Figura 4-2.:** Irradiación UV recibida en la superficie de Marte y de la Tierra. Tomado de Córdoba-Jabonero, (2004).

de onda de la radiación recibida por un organismo y afectará de una manera diferente a cada especie, esta dosis biológica efectiva dependerá del tiempo de exposición a la radiación UV [7].

Existe la idea de que en el pasado, la atmósfera marciana pudiera haber tenido una presión mayor, esto indica que el “corte” espectral de la radiación UV en el planeta habría sido a longitudes de onda mayores, pero aún así hubiera seguido llegando suficiente radiación UV-C a la superficie para no permitir el desarrollo de materia biológica [7] [15]. Estas ideas han hecho que uno de los objetivos de múltiples investigaciones actuales sea estudiar la evolución de las condiciones del planeta y las posibilidades para el desarrollo y mantenimiento de la vida en suelo marciano. Por esta razón, en la exploración espacial, se han destinado recursos que intentan profundizar en el estudio de cómo el ser humano puede adaptarse al planeta rojo y asegurar la supervivencia a largo plazo de nuestra especie más allá de la Tierra. A pesar de los esfuerzos, aún existen dificultades técnicas que han hecho que dos tercios de las misiones destinadas a Marte hayan fracasado. Sin embargo, se ha podido descubrir que las condiciones en este planeta pudieron ser favorables para la vida hace millones de años y es posible encontrar indicios de vida en la antigüedad, ya que se ha descubierto que por



**Figura 4-3.:** Espectros de Acción Biológica (BAS). Tomado de Jabonero , (2004).

su superficie fluyeron corrientes de agua; de hecho aún se puede encontrar en los casquetes polares en forma de hielo, que en caso de derretirse, podría cubrir el planeta con un océano de 35 metros de profundidad [1] [7] .

### Efectos de la radiación UV solar en modelos biológicos

Cuadra (1997) [8] presentó un enfoque novedoso para el momento de su publicación el cual está de la mano con los descubrimientos de esa misma época sobre el deterioro de la capa de ozono. A raíz de esos hallazgos se abrió un interrogante en la comunidad científica de todas las áreas, planteándose los efectos en las especies a la exposición a niveles mayores de radiación según el daño del ozono. En el presente artículo se aplicó ese interrogante a las especies de (*Gnaphalium luteo-album*), en condiciones de alta radiación, evidenciándose diferentes cambios enfocados en que se aumenta las concentraciones de pigmentos como respuesta defensiva a la radiación. Aunque deberán hacerse estudios más avanzados conforme se descubren mayores hitos en a fisiología vegetal.



Barsig (2000) [4] buscó determinar los efectos de la radiación UB-V en la estructura celular, los carbohidratos y los pigmentos en plantas de maíz de azúcar en condiciones de Europa central. Para lograr tal fin se dispuso de un simulador solar y un medio simulado que emulara las condiciones ambientales y de radiación de la región de Europa central, y se colocaron muestras de hojas bajo estas condiciones. Durante el estudio no se logró evidenciar cambios significativos a nivel macroscópico, y a nivel microscópico llamó la atención un colapso a nivel celular de la epidermis de las hojas, no obstante, sin alteraciones organulares significativas. A su vez, se evidenciaron ambos a nivel metabólico, con carbohidratos en niveles disminuidos tras la exposición a la radiación, y a su vez los pigmentos fueron analizados, observándose una leve disminución en la composición de la clorofila sin otros hallazgos de relevancia.

Cockell (2000) [6] utilizó un modelo de transferencia radiativa para investigar cuantitativamente aspectos del entorno marciano de radiación ultravioleta en el pasado y el presente, además analiza los espectros de acción biológica para la inactivación del ADN y la inhibición del cloroplasto (fotosistema) para estimar las irradiaciones biológicamente efectivas para la superficie marciana bajo cielos sin nubes.

Patel (2004) [32] investigó el entorno ultravioleta (UV) de Marte para comprender la variación de la exposición a lo largo de un año marciano y relacionó este flujo con los efectos biológicos y la posible supervivencia de los organismos en la superficie marciana, modelando el flujo total de UV solar en la superficie a lo largo de un año marciano para dos escenarios de polvo diferentes. Para comprender el grado de estrés de la radiación UV solar sobre los microorganismos y/o las moléculas esenciales para la vida en la superficie de Marte, calculó la dosis biológicamente efectiva (BED) en regiones de longitud de onda relevantes en la superficie marciana en función de la estación y la latitud, y discutió las tasas de supervivencia biológica en presencia de la radiación UV solar marciana, concluyendo que el entorno de radiación sigue siendo hostil para la vida debido a la persistencia del componente UV-C.

Salama (2011) [41] buscó analizar el efecto de la radiación ultravioleta sobre la clorofila, los carotenoides y las proteínas en plantas desérticas, plantando varios géneros en el medio de estudio y se mantuvieron allí por 15 días en etapa de crecimiento y desarrollo, luego se dividieron en 3 grupos y en cada una se aplicaron condiciones diferentes de radiación para analizar su respuesta. La extracción de los pigmentos se realizó con métodos estandarizados. El resultado evidenció como hallazgo relevante un aumento de clorofila en algunas variedades mientras que en otras hubo un aumento de carotenoides, y a su vez en otros aumentó la de concentración de proteínas, lo que se puede interpretar como diferentes respuestas a la radiación según la necesidad de la planta de defenderse de la misma.

Prado (2016) [35] analizaró los efectos de la radiación sobre las diferentes variedades de qui-

noa en base a morfología, pigmentos y proteínas. Para lograrlo, reunió diferentes variedades de esta especie y las sometieron a irradiación UVB artificial. En cada cultivo se aplicaron condiciones controladas de temperatura, iluminación y humedad. A su vez, extrajeron clorofila y carotenoides de acuerdo a técnicas estandarizadas. Llamó la atención en los resultados que los diferentes grupos de quinua presentaron gran variedad de reacciones secundarias a la radiación, todas como estrategia de la misma planta para protegerse de la exposición, generando cambios morfológicos y a su vez en su fisiología y bioquímica. Dentro de las principales estrategias observadas, es que la planta aumentó los absorbentes de UVB, lo que puede interpretarse como una estrategia de protección para el aparato fotosintético.

Deoli (2018) [10] estudió la tolerancia de las semillas de (*Brassica rapa*) y las plántulas expuestas a la radiación, exponiendo semillas secas e hidratadas a iones de protón de 1, 2 y 3 MeV de diversas fluencias y examinando el efecto sobre la germinación y el crecimiento de las raíces, encontrando que el porcentaje de germinación disminuyó con el aumento de la fluencia para los iones que podían penetrar la cubierta de la semilla (> 1 MeV).

## 4.2. Materiales y métodos experimentales

### 4.2.1. Material biológico y tratamientos de exposición a radiación UV

Se utilizaron semillas y plantas de un mes de crecimiento de (*Chenopodium quinoa Willd.*), de las variedades Amarilla de maranganí y Quinoa real de la colección del Laboratorio de Biotecnología Vegetal de la Secretaría de Agricultura de la Gobernación de Boyacá. El material Quinoa real se colectó del municipio de Ventaquemada y el de Amarilla de maranganí del municipio de Pasca. Ver Tabla ??.

Código del banco de semillas	Lugar de colección	Tiempo de almacenamiento (años)	Georeferenciación	Nombre común de la variedad
BGQ0009	Ventaquemada	7	5°22' 00.4" N, 73°31' 16.9" W	Quiona real
BGQ0020	Pasca	9	4°18' 32.8" N, 74°17' 59.6" W	Amarilla de maranganí

Tabla 4-1.: Información de Semillas. Tomado de Manjarres, (2020)

Las semillas y las plantas de los dos materiales de quinua fueron expuestos a cuatro diferentes tratamientos de exposición a UV, los cuales fueron: 180 nm (200 lúmenes), 250 nm (275 lúmenes), 395 nm (260 lúmenes) y un tratamiento con luz blanca de 410 nm (250 lúmenes). Los experimentos fueron realizados en cabinas independientes localizadas en invernadero. Las condiciones de temperatura y la humedad se midieron con un termo higrómetro digital con sonda certificada, marca Termo, ref. Ta 318; con una temperatura y humedad promedio de 14.1 °C y 72%, respectivamente.

#### **4.2.2. Porcentaje de germinación y contenido de clorofilas totales.**

Para determinar el porcentaje de germinación de las semillas, se colocaron 80 semillas de cada material con tres repeticiones, las cuales fueron evaluadas bajo la observación a estereoscopio. En este estudio el criterio de germinación fue la emergencia de la radícula con una longitud entre 0.5 y 1mm. Todas las semillas se colocaron en cajas de Petri con medio húmedo y en cada una de ellas se sembró a capacidad máxima (20 semillas) hasta completar las 80; estas se colocaron en tres cabinas experimentales de 80 cm de largo, 50 cm de alto y 50 cm de ancho, en la primera caja se colocaron bombillas de luz UV de 180 nm (200 lúmenes), en la segunda de 250 nm (275 lúmenes), en la tercera de 395 nm (260 lúmenes); y una caja de control con luz normal de 410 nm (250 lúmenes). Las cajas de Petri se dejaron en cada cabina, de acuerdo al tratamiento, durante 84 horas, controlando el tiempo en el que germinaba cada una de ellas. Por último, se calculó el porcentaje de germinación tomando el número de semillas germinadas sobre el número de semillas totales multiplicado por cien.

Para la cuantificación de pigmentos fotosintéticos de (*Chenopodium quinoa Willd.*) bajo efectos de radiación UV solar simulada en la superficie de Marte se colocaron en las cabinas de 180 nm, 250 nm y 395 nm plantas de un mes de crecimiento en condiciones normales y se irradiaron durante 75 horas. Se midió el contenido de de clorofilas totales (ICC) cada 5 horas con un clorofilómetro marca Apogee MC-100, y controlando la temperatura y la humedad interna, las cuales registraron en promedio 14.1 °C y 72% de humedad relativa, respectivamente. A través de un análisis de la distribución de los datos de ICC vs los tiempos de exposición a la radiación UV a diferentes longitudes, se pudo comparar los aumentos en los picos y el contenido de clorofilas totales para cada muestra.

#### **4.2.3. Análisis estadístico**

Los datos fueron analizados y procesados con el software estadístico IBM SPSS Statistics Base v22.0 y tomando como valor de significancia estadística  $p < 0,05$ . Para evaluar la normalidad de los datos se llevó a cabo un análisis de las pruebas de Kolmogorov- Smirnov.

Para estudiar las disparidades significativas entre los grupos se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis. Para identificar diferencias entre sí se elaboró un análisis de correlación para cada material vegetal, entre los tratamientos de radiación UV y los tiempos de observación (T0 a T14).

Adicionalmente, se implementaron bibliotecas de Python, como NumPy, Pandas, SciPy, Seaborn y Matplotlib, con el objetivo de visualizar datos y obtener resultados más detallados.

## 4.3. Resultados y discusión

### 4.3.1. Germinación

Los resultados de las pruebas de normalidad a un valor de significancia de  $p < 0,05$  indicaron que los datos no son normales. Al aplicar la prueba de Kruskal-Wallis, se determinó que hay diferencias significativas en el índice de contenido de clorofila (ICC) entre los tratamientos de radiación UV (395 nm, 250 y 180 nm) para los dos materiales vegetales utilizados, desde el tiempo cero (0h) hasta el tiempo 14 (70 h). Al llevar a cabo un análisis de correlación, entre la radiación UV y los tiempos de observación (T0 a T14), se observó que existen relaciones significativas, lo que indica la dependencia entre sí.

Analizando el tiempo de germinación de cada semilla, teniendo en cuenta que este proceso comienza al emerger la radícula, se puede observar que varía entre las longitudes de onda UV (180 nm, 250 nm, 395 nm y 410 nm, siendo este último el control) y los materiales de quinoa (Quinoa real y Amarilla de Maranganí).

Se pudo observar que para Quinoa real la tendencia general indica un aumento en el tiempo de germinación en los tratamientos de 395 nm y 410 nm) Ver figura 4-4.

Para amarilla de maranganí, los tratamientos 180 nm y 250 nm muestran una tendencia homogénea (Ver figura 4-5). En 395 nm este tiempo tiende a aumentar en cada tratamiento; sin embargo, el control presenta tiempos de germinación elevados, lo que sugiere que la radiación de longitudes de onda menores aceleran el proceso de emergencia de la radícula para ambos materiales. Cabe resaltar que este hallazgo no se ha reportado hasta el momento en ningún estudio con materiales de quinoa, y es importante resaltar que este resultado es significativo, pues evidenciaría que existe algún mecanismo de supervivencia en la semilla que haga que la radícula emerja más rápido.

En cuanto a mayor cantidad de semillas germinadas en un tiempo determinado, se evidenció que en la variedad Amarilla de maranganí, las semillas emergen más rápido a comparación con Quinoa real para los diferentes tratamientos, sin embargo, como se puede observar, en

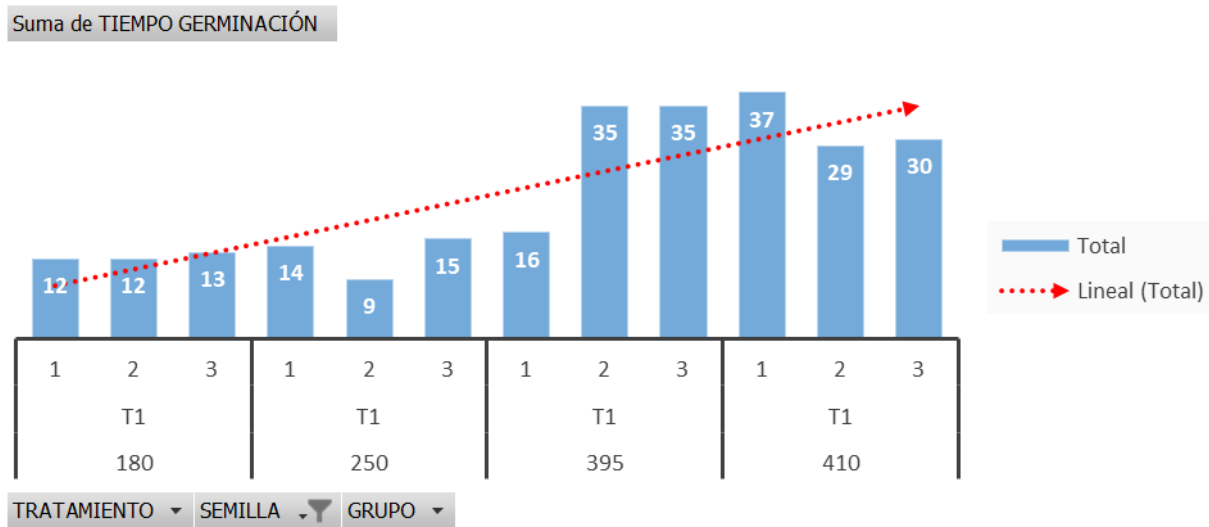


Figura 4-4.: Tiempo de germinación para Quinoa real.

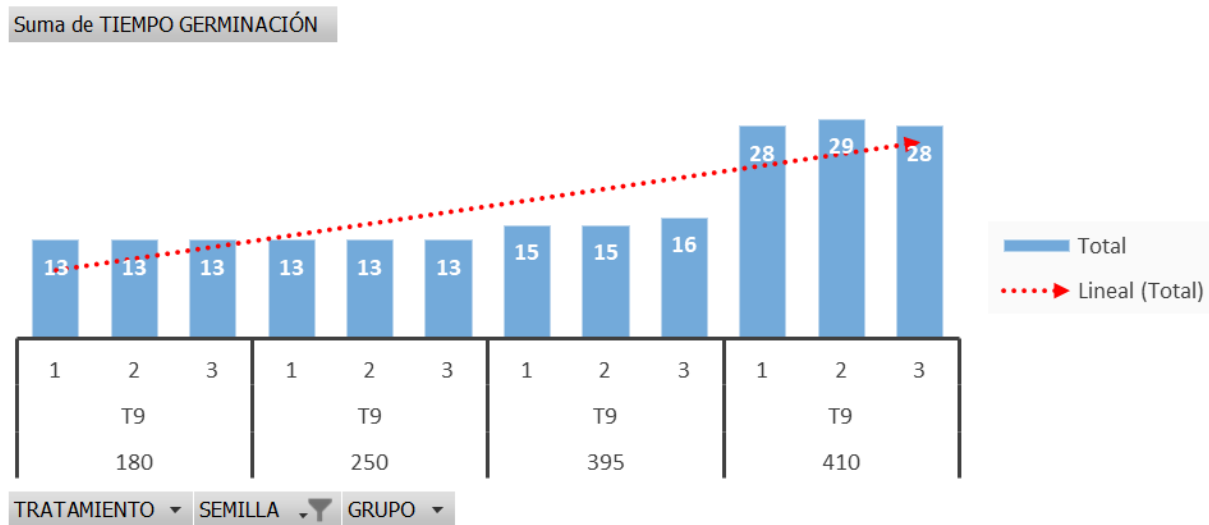


Figura 4-5.: Tiempo de germinación para Amarilla de maranganí

el tratamiento control, ambas variedades emergen relativamente en el mismo tiempo y a la misma cantidad. Ver figura 4-6

Se logró identificar que las semillas emergen más rápido en longitudes de onda más corta, demostrando que la radiación ultravioleta constituye una señal que las plantas utilizan para programar procesos específicos, los cuales desempeñan un papel crucial en la productividad; en este sentido, la luz ultravioleta actúa como una introducción "programada" para la emergencia de las semillas. Ver figura 4-7.

Parámetro	180 nm					
	Quinoa real			Amarilla de marangani		
	Grupo 1 (80 semillas)	Grupo 2 (80 semillas)	Grupo 3 (80 semillas)	Grupo 1 (80 semillas)	Grupo 2 (80 semillas)	Grupo 3 (80 semillas)
Tiempo de germinación de la mayor cantidad de semillas (h)	12	12	13	13	13	13
Cantidad de semillas germinadas	60	42	42	52	50	75
semillas germinadas (%)	75	52.5	52.5	65	63	94
Parámetro	250 nm					
	Quinoa real			Amarilla de marangani		
	Grupo 1 (80 semillas)	Grupo 2 (80 semillas)	Grupo 3 (80 semillas)	Grupo 1 (80 semillas)	Grupo 2 (80 semillas)	Grupo 3 (80 semillas)
Tiempo de germinación de la mayor cantidad de semillas (h)	14	9	15	13	13	13
Cantidad de semillas germinadas	56	34	44	78	73	76
semillas germinadas (%)	70	43	55	98	91	95
Parámetro	395 nm					
	Quinoa real			Amarilla de marangani		
	Grupo 1 (80 semillas)	Grupo 2 (80 semillas)	Grupo 3 (80 semillas)	Grupo 1 (80 semillas)	Grupo 2 (80 semillas)	Grupo 3 (80 semillas)
Tiempo de germinación de la mayor cantidad de semillas (h)	16	35	35	15	15	16
Cantidad de semillas germinadas	37	48	44	73	80	90
semillas germinadas (%)	16	48	55	91	86	72
Parámetro	410 nm					
	Quinoa real			Amarilla de marangani		
	Grupo 1 (80 semillas)	Grupo 2 (80 semillas)	Grupo 3 (80 semillas)	Grupo 1 (80 semillas)	Grupo 2 (80 semillas)	Grupo 3 (80 semillas)
Tiempo de germinación de la mayor cantidad de semillas (h)	37	29	30	28	29	28
Cantidad de semillas germinadas	24	80	23	52	29	38

**Figura 4-6.:** Tiempo en el que germinaron la mayor cantidad de semillas.

En cuanto al porcentaje de germinación se pudo observar diferencias entre ambas variedades, que sugieren que la respuesta de los dos materiales a la exposición a la luz UV varía, y cambia con diferentes niveles de exposición a la luz UV. Ver figura 4-8

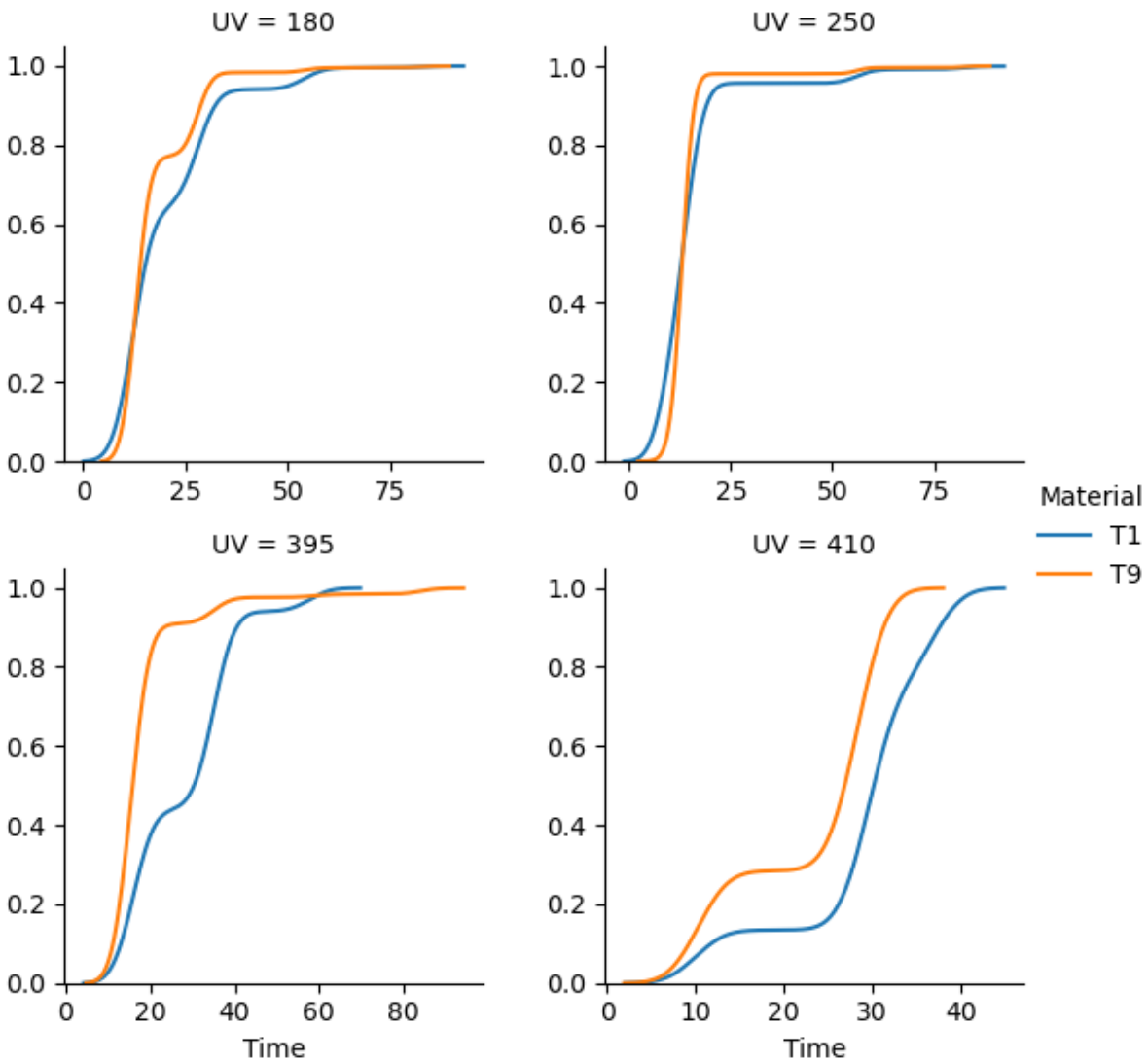
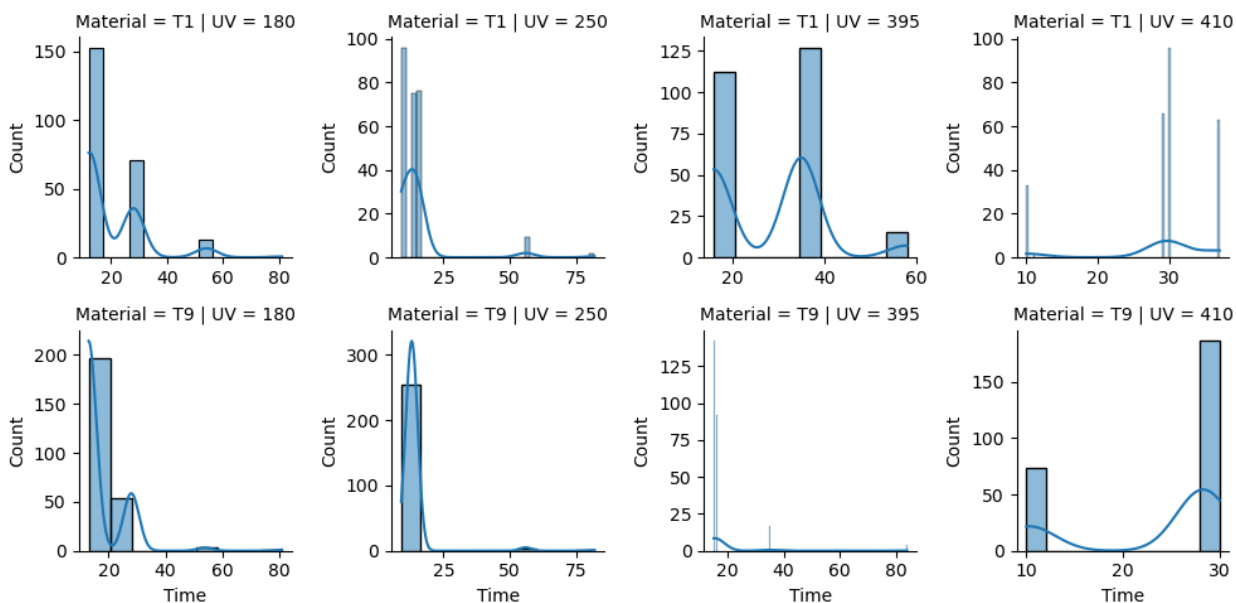


Figura 4-7.: Emergencia de Quinoa real y Amarilla de maranganí en diferentes longitudes de onda.

### 4.3.2. Clorofilas totales

Los resultados de las pruebas de normalidad a un valor de significancia de  $p < 0,05$  indicaron que los datos no son normales. Al aplicar la prueba de Kruskal-Wallis, se determinó que hay diferencias significativas en los tiempos de emergencia de la radícula entre los tratamientos de radiación UV (410 nm, 395 nm, 250 y 180 nm) para los dos materiales vegetales utilizados. Al llevar a cabo un análisis de correlación, entre la radiación UV y los tiempos de germinación, se observó que existen relaciones significativas, lo que indica la dependencia entre sí.

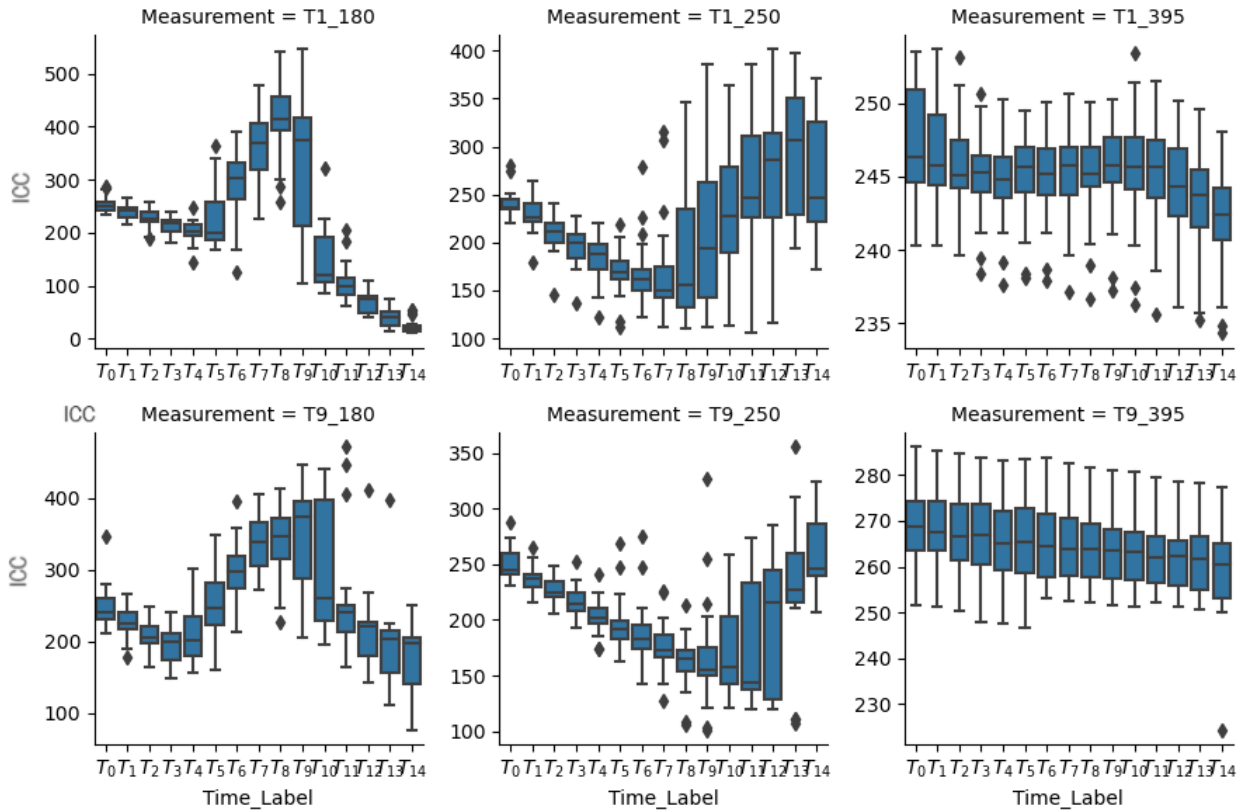


**Figura 4-8.:** Respuesta germinativa a la exposición a radiación ultravioleta.

En la figura 4-9 se observa que los diagramas de Quinoa real a 180 nm, Amarilla de maranganí a 180 nm y Amarilla de maranganí a 250 nm, muestran una tendencia general a la baja en los valores medianos de ICC a lo largo del tiempo, mientras que los diagramas de Quinoa real a 250 nm, Amarilla de maranganí a 395 nm y Amarilla de maranganí a 395 nm muestran valores medianos más estables en los diferentes puntos temporales. Además, los diagramas de Quinoa real a 180 nm y Amarilla de maranganí a 180 nm muestran un rango más amplio de valores de ICC en comparación con los otros diagramas, lo que indica una mayor variabilidad en las mediciones en estas condiciones. En el análisis de contenido de pigmentos fotosintéticos tanto en Quinoa real como en Amarilla de maranganí, podría indicar que el aumento observado de contenido de clorofilas es una respuesta rápida frente a la condición de estrés que podría estar relacionado con un incremento en la producción de metabolitos secundarios, que contribuyen a reducir la penetración de radiación UV, desempeñando así un papel protector para las proteínas asociadas al aparato fotosintético, ayudando así a prevenir la degradación de los pigmentos y a mantener la estabilidad de los fotosistemas, especialmente los complejos cosechadores de luz. Tal y como lo demuestran Jansen (1998) [18] y Vera (2014) [52], en algunos casos, la respuesta de las plantas bajo una condición alta de estrés, muestra que el contenido de clorofilas puede resultar en un aumento esporádico de su síntesis, el cual tiende a decrecer a medida que el tiempo de exposición aumenta y la eficiencia fotosintética disminuye.

Se calculó la función de distribución acumulativa empírica (ECDF) para Quinoa real y Amarilla de Maranganí con el fin de analizar la distribución del conjunto de datos de ICC para





**Figura 4-9.:** Comparación entre la distribución y la variabilidad de Quinoa real y Amarilla de Maranganí en diferentes momentos de tiempo para las longitudes de onda de luz UV de 180 nm, 250 nm y 180 nm).

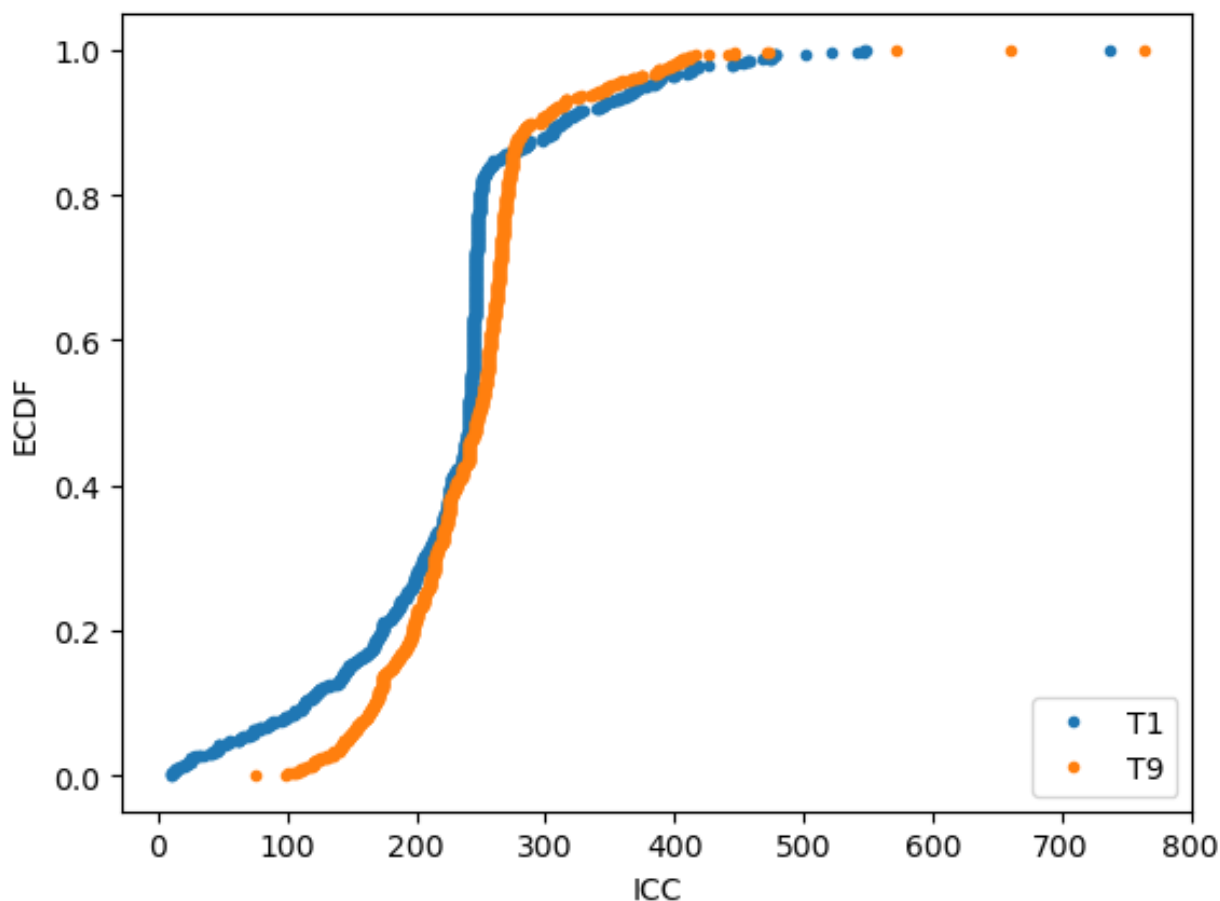
ambos materiales. Ver figura 4-10.

La anterior figura sugiere que hay un cambio en la distribución de los valores de ICC entre ambos materiales de quinoa, siendo Amarilla de maranganí generalmente la que tiene valores de ICC más altos que Quinoa real. Esta variación podrá indicar posibles diferencias en la consistencia de la concentración de clorofila entre ambas variedades.

## 4.4. Discusión

### 4.4.1. Germinación

Cabe resaltar que aunque a la fecha no se reportan estudios que expliquen la influencia de la radiación UV en las semillas de quinoa, se puede decir que este estudio confirma que la radiación UV puede influir en la producción y la señalización de fitohormonas, como auxinas y giberelinas, que desempeñan un papel clave en la germinación y el crecimiento de las



**Figura 4-10.:** ECDF de Quinoa real y Amarilla de Maranganí con respecto al ICC.

plantas como lo determinó Patel (2004)[33].

Las plantas utilizan la duración de la luz (fotoperiodo) como una señal ambiental para regular sus procesos fisiológicos, incluida la germinación. La radiación UV puede afectar el fotoperiodismo y modular la respuesta de la planta al ambiente luminoso, influyendo así en la germinación tal como se demostró en Foroughbakhch (2015)[11]. La radiación UV puede estimular el metabolismo de las plantas, lo que puede tener un impacto positivo en la germinación al acelerar la conversión de reservas en energía utilizable para el crecimiento de la plántula, esto mismo fue lo hallado en Sax (1955)[42]

Es importante tener en cuenta que la respuesta de las plantas a la radiación UV puede ser compleja y depender de varios factores, como la intensidad y la duración de la exposición, el tipo de planta y las condiciones ambientales específicas. La investigación en este campo continúa para comprender mejor los mecanismos subyacentes a estos efectos.

#### **4.4.2. Clorofilas totales**

El aumento en el índice de contenido de clorofila en respuesta a longitudes de onda cortas de radiación ultravioleta (UV), como UV-A y UV-B, puede deberse a varias respuestas adaptativas de las plantas a la radiación UV, confirmando lo reportado por Vera (2014)[52].

La radiación UV puede generar estrés oxidativo en las células de las plantas al inducir la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS). Para contrarrestar este estrés, las plantas pueden aumentar la producción de clorofila, ya que actúa como un antioxidante que ayuda a neutralizar los ROS y protege a las células contra el daño oxidativo, por lo tanto, tal como se reportó en Salama (2011)[41], este comportamiento es completamente esperado. La clorofila puede tener propiedades fotoprotectoras. En respuesta a la radiación UV, las plantas pueden aumentar la síntesis de clorofila para absorber y disipar la energía de la radiación UV antes de que cause daño a las estructuras celulares sensibles, tal como lo reportó Cuadra (1999)[9].

# 5. Conclusiones y recomendaciones

## 5.1. Conclusiones

1. Aunque no existen estudios específicos sobre la influencia de la radiación UV en las semillas de quinoa, este estudio sugiere que la radiación UV puede afectar la producción y señalización de fitohormonas clave para la germinación y crecimiento de las plantas, como auxinas y giberelinas.
2. La duración de la luz (fotoperiodo) es una señal crucial para regular la germinación, y la radiación UV puede modular la respuesta de las plantas al fotoperiodo, influyendo en la germinación.
3. La radiación UV puede estimular el metabolismo de las plantas, acelerando la conversión de reservas en energía utilizable para el crecimiento de las plántulas.

### Clorofilas Totales:

1. El aumento en el índice de contenido de clorofila en respuesta a longitudes de onda cortas de radiación UV-A y UV-B confirma investigaciones previas y sugiere respuestas adaptativas de las plantas a esta radiación.
2. La radiación UV puede generar estrés oxidativo, y el aumento en la producción de clorofila actúa como un antioxidante, protegiendo las células contra el daño oxidativo.
3. La síntesis adicional de clorofila puede tener propiedades fotoprotectoras, absorbiendo y disipando la energía de la radiación UV para evitar daños a las estructuras celulares sensibles.

### Consideraciones:

- La complejidad de la respuesta de las plantas a la radiación UV depende de diversos factores, como intensidad y duración de la exposición, tipo de planta y condiciones ambientales específicas.
- La investigación continua en este campo busca comprender mejor los mecanismos subyacentes a los efectos observados en la germinación y el contenido de clorofila en respuesta a la radiación UV.

## 5.2. Recomendaciones

Basándonos en los hallazgos de este estudio y considerando el contexto de la exploración de Marte y el estudio de las condiciones de habitabilidad en ese planeta, se formulan las siguientes recomendaciones:

Considerar la radiación UV en diseño de experimentos en Marte: Dada la similitud de las condiciones de radiación UV en Marte con algunas longitudes de onda estudiadas, se recomienda considerar este factor al diseñar experimentos de cultivo de alimentos en entornos marcianos simulados.

Optimización de condiciones para la habitabilidad en Marte: Para futuras misiones de exploración y colonización en Marte, se sugiere optimizar las condiciones de cultivo, tomando en cuenta la radiación UV como un factor clave que podría afectar el crecimiento de plantas.

Investigación de respuestas de otras especies vegetales: Además de la Quinoa, se recomienda investigar las respuestas de otras especies vegetales a la radiación UV en contextos marcianos, con el objetivo de diversificar las opciones de cultivo y maximizar la opciones de habitabilidad.

Validación de resultados en simuladores de Marte: Los resultados obtenidos en este estudio podrían validarse y extrapolarse utilizando simuladores de condiciones marcianas para mejorar la aplicabilidad práctica de los hallazgos. En el contexto de investigación actual en entornos de simulación análoga, Colombia cuenta con el Hábitat Análogo de Exploración Espacial Simulada en Colombia (HAdEES-C), el primero en el país y segundo en Latinoamérica.

Desarrollo de sistemas de protección UV: Considerando los posibles efectos negativos de la radiación UV en Marte, se sugiere el desarrollo de sistemas de protección UV para plantas cultivadas, garantizando así la sostenibilidad y éxito de los cultivos en el planeta rojo.

Este estudio no solo aporta a la comprensión de la respuesta de la Quinoa a la radiación UV, sino que también ofrece perspectivas valiosas para la investigación agrícola en el contexto de la exploración espacial, especialmente en la búsqueda de condiciones habitables en entornos extraterrestres como el planeta Marte.

# A. Anexo: Cálculo de la constante solar

Tabla A-1.: Descripción de datos

Day	Distance	K	Latitude	Irradiance
193	249100	490.9231	-90	1095.6305
194	249036.5269	491.1734	-89.731	2532.9703
195	248973.0539	491.4239	-89.461	6619.0019
196	248909.5808	491.6745	-89.192	1458.7907
197	248846.1078	491.9254	-88.922	854.7554
198	248782.6347	492.1764	-88.653	637.1596
199	248719.1617	492.4277	-88.383	538.9716
200	248655.6886	492.6791	-88.114	498.2125
201	248592.2156	492.9307	-87.844	496.5182
202	248528.7425	493.1825	-87.575	533.1666
203	248465.2695	493.4345	-87.305	624.2219
204	248401.7964	493.6867	-87.036	824.3188
205	248338.3234	493.9391	-86.766	1356.5932
206	248274.8503	494.1917	-86.497	4796.819
207	248211.3772	494.4445	-86.228	2987.7923
208	248147.9042	494.6975	-85.958	1172.108
209	248084.4311	494.9507	-85.689	763.6156
210	248020.9581	495.204	-85.419	598.4355
211	247957.485	495.4576	-85.15	523.1274
212	247894.012	495.7113	-84.88	496.5245
213	247830.5389	495.9653	-84.611	507.3476
214	247767.0659	496.2194	-84.341	559.9306
215	247703.5928	496.4738	-84.072	679.2565
216	247640.1198	496.7283	-83.802	950.0414
217	247576.6467	496.983	-83.533	1793.7999
218	247513.1737	497.238	-83.263	44130.302
219	247449.7006	497.4931	-82.994	1948.3998
220	247386.2275	497.7484	-82.725	988.5608
221	247322.7545	498.0039	-82.455	696.1746

Continúa en la siguiente página

222	247259.2814	498.2597	-82.186	569.0808
223	247195.8084	498.5156	-81.916	512.5752
224	247132.3353	498.7717	-81.647	499.0721
225	247068.8623	499.028	-81.377	523.0365
226	247005.3892	499.2845	-81.108	594.4291
227	246941.9162	499.5412	-80.838	751.0068
228	246878.4431	499.7981	-80.569	1129.7962
229	246814.9701	500.0552	-80.299	2664.558
230	246751.497	500.3125	-80.03	6208.5007
231	246688.024	500.57	-79.76	1459.2884
232	246624.5509	500.8277	-79.491	862.4473
233	246561.0778	501.0856	-79.222	645.332
234	246497.6048	501.3436	-78.952	547.1931
235	246434.1317	501.6019	-78.683	506.7614
236	246370.6587	501.8604	-78.413	505.912
237	246307.1856	502.1191	-78.144	544.2605
238	246243.7126	502.378	-77.874	638.6961
239	246180.2395	502.6371	-77.605	846.4789
240	246116.7665	502.8964	-77.335	1404.0637
241	246053.2934	503.1559	-77.066	5203.4323
242	245989.8204	503.4156	-76.796	2930.9768
243	245926.3473	503.6755	-76.527	1177.321
244	245862.8743	503.9356	-76.257	771.7272
245	245799.4012	504.1959	-75.988	606.6961
246	245735.9281	504.4564	-75.719	531.4942
247	245672.4551	504.7171	-75.449	505.371
248	245608.982	504.978	-75.18	517.2864
249	245545.509	505.2391	-74.91	572.0216
250	245482.0359	505.5004	-74.641	695.752
251	245418.5629	505.7619	-74.371	977.4738
252	245355.0898	506.0236	-74.102	1867.6618
253	245291.6168	506.2855	-73.832	103156.2055
254	245228.1437	506.5476	-73.563	1937.248
255	245164.6707	506.81	-73.293	995.7116
256	245101.1976	507.0725	-73.024	704.4895
257	245037.7246	507.3352	-72.754	577.4317
258	244974.2515	507.5982	-72.485	521.1319
259	244910.7784	507.8613	-72.216	508.2898

Continúa en la siguiente página

260	244847.3054	508.1247	-71.946	533.6469
261	244783.8323	508.3882	-71.677	607.7773
262	244720.3593	508.652	-71.407	770.2183
263	244656.8862	508.9159	-71.138	1165.4569
264	244593.4132	509.1801	-70.868	2806.6591
265	244529.9401	509.4445	-70.599	5860.9057
266	244466.4671	509.709	-70.329	1460.5252
267	244402.994	509.9738	-70.06	870.454
268	244339.521	510.2388	-69.79	653.7593
269	244276.0479	510.504	-69.521	555.6569
270	244212.5749	510.7694	-69.251	515.5621
271	244149.1018	511.035	-68.982	515.5886
272	244085.6287	511.3008	-68.713	555.7021
273	244022.1557	511.5669	-68.443	653.6551
274	243958.6826	511.8331	-68.174	869.476
275	243895.2096	512.0995	-67.904	1453.8905
276	243831.7365	512.3662	-67.635	5669.9598
277	243768.2635	512.633	-67.365	2879.6589
278	243704.7904	512.9001	-67.096	1183.0116
279	243641.3174	513.1674	-66.826	780.1262
280	243577.8443	513.4349	-66.557	615.2072
281	243514.3713	513.7026	-66.287	540.1073
282	243450.8982	513.9705	-66.018	514.4802
283	243387.4251	514.2386	-65.749	527.5287
284	243323.9521	514.5069	-65.479	584.4997
285	243260.479	514.7754	-65.21	712.8195
286	243197.006	515.0442	-64.94	1006.0151
287	243133.5329	515.3131	-64.671	1945.956
288	243070.0599	515.5823	-64.401	355134.7772
289	243006.5868	515.8517	-64.132	1927.6167
290	242943.1138	516.1212	-63.862	1003.2356
291	242879.6407	516.391	-63.593	713.0765
292	242816.1677	516.6611	-63.323	586.0321
293	242752.6946	516.9313	-63.054	529.9411
294	242689.2216	517.2017	-62.784	517.7838
295	242625.7485	517.4723	-62.515	544.5866
296	242562.2754	517.7432	-62.246	621.5635
297	242498.8024	518.0143	-61.976	790.1248

Continúa en la siguiente página



298	242435.3293	518.2856	-61.707	1202.6965
299	242371.8563	518.5571	-61.437	2960.4644
300	242308.3832	518.8288	-61.168	5563.4672
301	242244.9102	519.1007	-60.898	1462.4901
302	242181.4371	519.3728	-60.629	878.7839
303	242117.9641	519.6452	-60.359	662.45
304	242054.491	519.9177	-60.09	564.372
305	241991.018	520.1905	-59.82	524.6241
306	241927.5449	520.4635	-59.551	525.5589
307	241864.0719	520.7367	-59.281	567.5053
308	241800.5988	521.0101	-59.012	669.1195
309	241737.1257	521.2838	-58.743	893.3504
310	241673.6527	521.5576	-58.473	1506.2264
311	241610.1796	521.8317	-58.204	6210.0999
312	241546.7066	522.106	-57.934	2833.3256
313	241483.2335	522.3805	-57.665	1189.1831
314	241419.7605	522.6552	-57.395	788.8216
315	241356.2874	522.9302	-57.126	623.9778
316	241292.8144	523.2053	-56.856	548.9759
317	241229.3413	523.4807	-56.587	523.862
318	241165.8683	523.7563	-56.317	538.0862
319	241102.3952	524.0321	-56.048	597.3807
320	241038.9222	524.3081	-55.778	730.4841
321	240975.4491	524.5843	-55.509	1035.7224
322	240911.976	524.8608	-55.24	2029.0413
323	240848.503	525.1375	-54.97	67226.3915
324	240785.0299	525.4144	-54.701	1919.4378
325	240721.5569	525.6915	-54.431	1011.1399
326	240658.0838	525.9688	-54.162	721.9447
327	240594.6108	526.2464	-53.892	594.8912
328	240531.1377	526.5242	-53.623	539.0124
329	240467.6647	526.8022	-53.353	527.565
330	240404.1916	527.0804	-53.084	555.8686
331	240340.7186	527.3588	-52.814	635.8062
332	240277.2455	527.6375	-52.545	810.758
333	240213.7725	527.9164	-52.275	1241.605
334	240150.2994	528.1955	-52.006	3127.3456
335	240086.8263	528.4748	-51.737	5306.6914

Continúa en la siguiente página

336	240023.3533	528.7543	-51.467	1465.1744
337	239959.8802	529.0341	-51.198	887.4455
338	239896.4072	529.3141	-50.928	671.4135
339	239832.9341	529.5943	-50.659	573.3478
340	239769.4611	529.8747	-50.389	533.9573
341	239705.988	530.1554	-50.12	535.8345
342	239642.515	530.4362	-49.85	579.6848
343	239579.0419	530.7173	-49.581	685.1111
344	239515.5689	530.9987	-49.311	918.1444
345	239452.0958	531.2802	-49.042	1561.2367
346	239388.6228	531.562	-48.772	6842.038
347	239325.1497	531.844	-48.503	2791.5346
348	239261.6766	532.1262	-48.234	1195.8399
349	239198.2036	532.4086	-47.964	797.8224
350	239134.7305	532.6913	-47.695	633.0171
351	239071.2575	532.9742	-47.425	558.1096
352	239007.7844	533.2573	-47.156	533.527
353	238944.3114	533.5407	-46.886	548.9717
354	238880.8383	533.8242	-46.617	610.6814
355	238817.3653	534.108	-46.347	748.7725
356	238753.8922	534.3921	-46.078	1066.6564
357	238690.4192	534.6763	-45.808	2117.3138
358	238626.9461	534.9608	-45.539	37750.799
359	238563.4731	535.2455	-45.269	1912.6515
360	238500	535.5304	-45	1019.4327
361	238436.5269	535.8156	-44.731	731.1034
362	238373.0539	536.101	-44.461	604.0184
363	238309.5808	536.3866	-44.192	548.3558
364	238246.1078	536.6724	-43.922	537.6445
365	238182.6347	536.9585	-43.653	567.5068
366	238119.1617	537.2448	-43.383	650.5246
367	238055.6886	537.5313	-43.114	832.1518
368	237992.2156	537.8181	-42.844	1282.2783
369	237928.7425	538.1051	-42.575	3308.891
370	237865.2695	538.3923	-42.305	5083.365
371	237801.7964	538.6798	-42.036	1468.5712
372	237738.3234	538.9674	-41.766	896.4482
373	237674.8503	539.2554	-41.497	680.6593

Continúa en la siguiente página

374	237611.3772	539.5435	-41.228	582.5939
375	237547.9042	539.8319	-40.958	543.5722
376	237484.4311	540.1205	-40.689	546.4274
377	237420.9581	540.4093	-40.419	592.2561
378	237357.485	540.6984	-40.15	701.6529
379	237294.012	540.9877	-39.88	943.9031
380	237230.5389	541.2772	-39.611	1619.1002
381	237167.0659	541.567	-39.341	7590.4441
382	237103.5928	541.857	-39.072	2753.9026
383	237040.1198	542.1472	-38.802	1202.987
384	236976.6467	542.4376	-38.533	807.1385
385	236913.1737	542.7283	-38.263	642.3349
386	236849.7006	543.0193	-37.994	567.5184
387	236786.2275	543.3104	-37.725	543.4863
388	236722.7545	543.6018	-37.455	560.1982
389	236659.2814	543.8935	-37.186	624.4193
390	236595.8084	544.1853	-36.916	767.7126
391	236532.3353	544.4774	-36.647	1098.8816
392	236468.8623	544.7698	-36.377	2211.2118
393	236405.3892	545.0623	-36.108	26550.0159
394	236341.9162	545.3552	-35.838	1907.2049
395	236278.4431	545.6482	-35.569	1028.1226
396	236214.9701	545.9415	-35.299	740.5626
397	236151.497	546.235	-35.03	613.4237
398	236088.024	546.5287	-34.76	557.9817
399	236024.5509	546.8227	-34.491	548.0341
400	235961.0778	547.117	-34.222	579.5157
401	235897.6048	547.4114	-33.952	665.7391
402	235834.1317	547.7061	-33.683	854.3417
403	235770.6587	548.0011	-33.413	1324.8195
404	235707.1856	548.2963	-33.144	3506.9492
405	235643.7126	548.5917	-32.874	4887.9106
406	235580.2395	548.8873	-32.605	1472.6755
407	235516.7665	549.1832	-32.335	905.8017
408	235453.2934	549.4794	-32.066	690.1975
409	235389.8204	549.7757	-31.796	592.1205
410	235326.3473	550.0724	-31.527	553.4798
411	235262.8743	550.3692	-31.257	557.3504

Continúa en la siguiente página

412	235199.4012	550.6663	-30.988	605.2355
413	235135.9281	550.9636	-30.719	718.7689
414	235072.4551	551.2612	-30.449	970.674
415	235008.982	551.559	-30.18	1680.0107
416	234945.509	551.8571	-29.91	8489.6434
417	234882.0359	552.1554	-29.641	2720.0967
418	234818.5629	552.4539	-29.371	1210.6306
419	234755.0898	552.7527	-29.102	816.7801
420	234691.6168	553.0517	-28.832	651.9415
421	234628.1437	553.351	-28.563	577.2129
422	234564.6707	553.6505	-28.293	553.7513
423	234501.1976	553.9503	-28.024	571.7796
424	234437.7246	554.2503	-27.754	638.6128
425	234374.2515	554.5505	-27.485	787.334
426	234310.7784	554.851	-27.216	1132.4668
427	234247.3054	555.1518	-26.946	2311.2217
428	234183.8323	555.4527	-26.677	20658.3169
429	234120.3593	555.754	-26.407	1903.0512
430	234056.8862	556.0554	-26.138	1037.2189
431	233993.4132	556.3571	-25.868	750.3328
432	233929.9401	556.6591	-25.599	623.1176
433	233866.4671	556.9613	-25.329	567.9011
434	233802.994	557.2637	-25.06	558.7462
435	233739.521	557.5664	-24.79	591.9104
436	233676.0479	557.8694	-24.521	681.4711
437	233612.5749	558.1726	-24.251	877.3654
438	233549.1018	558.476	-23.982	1369.3388
439	233485.6287	558.7797	-23.713	3723.6842
440	233422.1557	559.0836	-23.443	4715.9493
441	233358.6826	559.3878	-23.174	1477.4842
442	233295.2096	559.6922	-22.904	915.5165
443	233231.7365	559.9969	-22.635	700.0386
444	233168.2635	560.3018	-22.365	601.9384
445	233104.7904	560.607	-22.096	563.6914
446	233041.3174	560.9124	-21.826	568.6166
447	232977.8443	561.2181	-21.557	618.6399
448	232914.3713	561.524	-21.287	736.4847
449	232850.8982	561.8302	-21.018	998.5078

Continúa en la siguiente página

450	232787.4251	562.1366	-20.749	1744.1788
451	232723.9521	562.4433	-20.479	9588.8484
452	232660.479	562.7502	-20.21	2689.8268
453	232597.006	563.0574	-19.94	1218.7776
454	232533.5329	563.3648	-19.671	826.7579
455	232470.0599	563.6725	-19.401	661.8475
456	232406.5868	563.9805	-19.132	587.2041
457	232343.1138	564.2886	-18.862	564.3343
458	232279.6407	564.5971	-18.593	583.7303
459	232216.1677	564.9058	-18.323	653.2813
460	232152.6946	565.2147	-18.054	807.6679
461	232089.2216	565.5239	-17.784	1167.4849
462	232025.7485	565.8334	-17.515	2417.8846
463	231962.2754	566.1431	-17.246	17029.6836
464	231898.8024	566.453	-16.976	1900.1497
465	231835.3293	566.7633	-16.707	1046.7315
466	231771.8563	567.0737	-16.437	760.425
467	231708.3832	567.3845	-16.168	633.1108
468	231644.9102	567.6954	-15.898	578.1255
469	231581.4371	568.0067	-15.629	569.7937
470	231517.9641	568.3182	-15.359	604.7071
471	231454.491	568.6299	-15.09	697.743
472	231391.018	568.9419	-14.82	901.2626
473	231327.5449	569.2542	-14.551	1415.9546
474	231264.0719	569.5667	-14.281	3961.6455
475	231200.5988	569.8795	-14.012	4563.9965
476	231137.1257	570.1925	-13.743	1482.9958
477	231073.6527	570.5058	-13.473	925.6034
478	231010.1796	570.8194	-13.204	710.1938
479	230946.7066	571.1332	-12.934	612.0587
480	230883.2335	571.4472	-12.665	574.2193
481	230819.7605	571.7616	-12.395	580.2402
482	230756.2874	572.0761	-12.126	632.4872
483	230692.8144	572.391	-11.856	754.8269
484	230629.3413	572.7061	-11.587	1027.458
485	230565.8683	573.0215	-11.317	1811.8332
486	230502.3952	573.3371	-11.048	10961.2058
487	230438.9222	573.653	-10.778	2662.8395

Continúa en la siguiente página

488	230375.4491	573.9691	-10.509	1227.4359
489	230311.976	574.2855	-10.24	837.0833
490	230248.503	574.6022	-9.97	672.0642
491	230185.0299	574.9191	-9.701	597.5036
492	230121.5569	575.2363	-9.431	575.248
493	230058.0838	575.5538	-9.162	596.0656
494	229994.6108	575.8715	-8.892	668.4453
495	229931.1377	576.1895	-8.623	828.7471
496	229867.6647	576.5078	-8.353	1204.0141
497	229804.1916	576.8263	-8.084	2531.8036
498	229740.7186	577.145	-7.814	14574.3628
499	229677.2455	577.4641	-7.545	1898.4649
500	229613.7725	577.7834	-7.275	1056.6711
501	229550.2994	578.103	-7.006	770.8505
502	229486.8263	578.4228	-6.737	643.4151
503	229423.3533	578.7429	-6.467	588.6669
504	229359.8802	579.0633	-6.198	581.1903
505	229296.4072	579.3839	-5.928	617.9225
506	229232.9341	579.7048	-5.659	714.5787
507	229169.4611	580.026	-5.389	926.0753
508	229105.988	580.3474	-5.12	1464.7939
509	229042.515	580.6691	-4.85	4223.8566
510	228979.0419	580.9911	-4.581	4429.2458
511	228915.5689	581.3133	-4.311	1489.2104
512	228852.0958	581.6358	-4.042	936.0742
513	228788.6228	581.9586	-3.772	720.6747
514	228725.1497	582.2816	-3.503	622.4933
515	228661.6766	582.6049	-3.234	585.076
516	228598.2036	582.9285	-2.964	592.2358
517	228534.7305	583.2524	-2.695	646.7964
518	228471.2575	583.5765	-2.425	773.8238
519	228407.7844	583.9009	-2.156	1057.5815
520	228344.3114	584.2255	-1.886	1883.2229
521	228280.8383	584.5505	-1.617	12720.3526
522	228217.3653	584.8757	-1.347	2638.9128
523	228153.8922	585.2011	-1.078	1236.6143
524	228090.4192	585.5269	-0.808	847.7683
525	228026.9461	585.8529	-0.539	682.6035

Continúa en la siguiente página

526	227963.4731	586.1792	-0.269	608.1236
527	227900	586.5057	0	586.5057
528	227836.5269	586.8326	0.269	608.8015
529	227773.0539	587.1597	0.539	684.1261
530	227709.5808	587.4871	0.808	850.6064
531	227646.1078	587.8147	1.078	1242.1372
532	227582.6347	588.1427	1.347	2653.6533
533	227519.1617	588.4709	1.617	12805.6642
534	227455.6886	588.7993	1.886	1897.9663
535	227392.2156	589.1281	2.156	1067.0492
536	227328.7425	589.4571	2.425	781.6216
537	227265.2695	589.7864	2.695	654.0423
538	227201.7964	590.116	2.964	599.538
539	227138.3234	590.4459	3.234	592.9502
540	227074.8503	590.776	3.503	631.5743
541	227011.3772	591.1064	3.772	732.003
542	226947.9042	591.4371	4.042	951.8482
543	226884.4311	591.7681	4.311	1515.9935
544	226820.9581	592.0993	4.581	4513.9307
545	226757.485	592.4308	4.85	4309.413
546	226694.012	592.7626	5.12	1496.1299
547	226630.5389	593.0947	5.389	946.9411
548	226567.0659	593.4271	5.659	731.4936
549	226503.5928	593.7597	5.928	633.2545
550	226440.1198	594.0926	6.198	596.2749
551	226376.6467	594.4258	6.467	604.6188
552	226313.1737	594.7593	6.737	661.5872
553	226249.7006	595.0931	7.006	793.5054
554	226186.2275	595.4271	7.275	1088.9386
555	226122.7545	595.7614	7.545	1958.6191
556	226059.2814	596.096	7.814	15052.923
557	225995.8084	596.4309	8.084	2617.8523
558	225932.3353	596.7661	8.353	1246.3228
559	225868.8623	597.1015	8.623	858.8254
560	225805.3892	597.4373	8.892	693.4778
561	225741.9162	597.7733	9.162	619.0769
562	225678.4431	598.1096	9.431	598.1217
563	225614.9701	598.4462	9.701	621.9548

Continúa en la siguiente página

564	225551.497	598.783	9.97	700.3465
565	225488.024	599.1202	10.24	873.2825
566	225424.5509	599.4576	10.509	1281.9432
567	225361.0778	599.7954	10.778	2784.1898
568	225297.6048	600.1334	11.048	11473.5039
569	225234.1317	600.4717	11.317	1898.6279
570	225170.6587	600.8102	11.587	1077.878
571	225107.1856	601.1491	11.856	792.751
572	225043.7126	601.4883	12.126	665.0052
573	224980.2395	601.8277	12.395	610.7522
574	224916.7665	602.1674	12.665	605.0885
575	224853.2934	602.5074	12.934	645.6812
576	224789.8204	602.8477	13.204	750.0424
577	224726.3473	603.1883	13.473	978.6284
578	224662.8743	603.5292	13.743	1569.7002
579	224599.4012	603.8704	14.012	4836.2197
580	224535.9281	604.2119	14.281	4202.6213
581	224472.4551	604.5536	14.551	1503.7578
582	224408.982	604.8956	14.82	958.217
583	224345.509	605.238	15.09	742.6633
584	224282.0359	605.5806	15.359	644.3554
585	224218.5629	605.9235	15.629	607.8298
586	224155.0898	606.2667	15.898	617.4054
587	224091.6168	606.6102	16.168	676.8805
588	224028.1437	606.954	16.437	813.9029
589	223964.6707	607.2981	16.707	1121.5935
590	223901.1976	607.6424	16.976	2038.3182
591	223837.7246	607.9871	17.246	18288.3589
592	223774.2515	608.3321	17.515	2599.4873
593	223710.7784	608.6773	17.784	1256.5721
594	223647.3054	609.0228	18.054	870.2678
595	223583.8323	609.3687	18.323	704.7001
596	223520.3593	609.7148	18.593	630.377
597	223456.8862	610.0612	18.862	610.1106
598	223393.4132	610.408	19.132	635.5434
599	223329.9401	610.755	19.401	717.1303
600	223266.4671	611.1023	19.671	896.8143
601	223202.994	611.4499	19.94	1323.5266

Continúa en la siguiente página



602	223139.521	611.7978	20.21	2924.2639
603	223076.0479	612.146	20.479	10436.2083
604	223012.5749	612.4945	20.749	1900.4277
605	222949.1018	612.8433	21.018	1089.1705
606	222885.6287	613.1924	21.287	804.252
607	222822.1557	613.5418	21.557	676.3172
608	222758.6826	613.8915	21.826	622.3234
609	222695.2096	614.2415	22.096	617.6211
610	222631.7365	614.5918	22.365	660.2627
611	222568.2635	614.9424	22.635	768.7246
612	222504.7904	615.2933	22.904	1006.4659
613	222441.3174	615.6445	23.174	1626.0724
614	222377.8443	615.996	23.443	5196.0132
615	222314.3713	616.3478	23.713	4107.3156
616	222250.8982	616.6999	23.982	1512.0991
617	222187.4251	617.0523	24.251	969.9157
618	222123.9521	617.405	24.521	754.1974
619	222060.479	617.758	24.79	655.8096
620	221997.006	618.1113	25.06	619.7556
621	221933.5329	618.4649	25.329	630.6128
622	221870.0599	618.8188	25.599	692.6984
623	221806.5868	619.1731	25.868	835.0497
624	221743.1138	619.5276	26.138	1155.6145
625	221679.6407	619.8824	26.407	2122.6442
626	221616.1677	620.2375	26.677	23067.7838
627	221552.6946	620.593	26.946	2583.6682
628	221489.2216	620.9487	27.216	1267.3741
629	221425.7485	621.3048	27.485	882.1097
630	221362.2754	621.6611	27.754	716.2842
631	221298.8024	622.0178	28.024	642.0379
632	221235.3293	622.3747	28.293	622.488
633	221171.8563	622.732	28.563	649.5857
634	221108.3832	623.0896	28.832	734.5026
635	221044.9102	623.4475	29.102	921.2429
636	220981.4371	623.8057	29.371	1366.9887
637	220917.9641	624.1642	29.641	3074.8355
638	220854.491	624.523	29.91	9607.5195
639	220791.018	624.8822	30.18	1903.3479

Continúa en la siguiente página

640	220727.5449	625.2416	30.449	1100.9404
641	220664.0719	625.6013	30.719	816.1388
642	220600.5988	625.9614	30.988	687.9921
643	220537.1257	626.3218	31.257	634.2663
644	220473.6527	626.6824	31.527	630.5644
645	220410.1796	627.0434	31.796	675.3395
646	220346.7066	627.4047	32.066	788.079
647	220283.2335	627.7664	32.335	1035.4137
648	220219.7605	628.1283	32.605	1685.2806
649	220156.2874	628.4905	32.874	5599.8034
650	220092.8144	628.8531	33.144	4022.1975
651	220029.3413	629.216	33.413	1521.1604
652	219965.8683	629.5791	33.683	982.0517
653	219902.3952	629.9426	33.952	766.1101
654	219838.9222	630.3065	34.222	667.6314
655	219775.4491	630.6706	34.491	632.0677
656	219711.976	631.035	34.76	644.2589
657	219648.503	631.3998	35.03	709.0641
658	219585.0299	631.7649	35.299	856.981
659	219521.5569	632.1303	35.569	1191.0741
660	219458.0838	632.496	35.838	2211.9519
661	219394.6108	632.862	36.108	30826.7415
662	219331.1377	633.2283	36.377	2570.2637
663	219267.6647	633.595	36.647	1278.7416
664	219204.1916	633.962	36.916	894.3656
665	219140.7186	634.3293	37.186	728.2445
666	219077.2455	634.6969	37.455	654.0745
667	219013.7725	635.0648	37.725	635.2704
668	218950.2994	635.4331	37.994	664.1016
0	218886.8263	635.8017	38.263	752.49
1	218823.3533	636.1706	38.533	946.6116
2	218759.8802	636.5398	38.802	1412.4377
3	218696.4072	636.9094	39.072	3236.9914
4	218632.9341	637.2792	39.341	8931.9191
5	218569.4611	637.6494	39.611	1907.3744
6	218505.988	638.0199	39.88	1113.2027
7	218442.515	638.3908	40.15	828.4263
8	218379.0419	638.7619	40.419	700.0447

Continúa en la siguiente página

9	218315.5689	639.1334	40.689	646.5965
10	218252.0958	639.5052	40.958	643.9362
11	218188.6228	639.8773	41.228	690.9334
12	218125.1497	640.2498	41.497	808.1366
13	218061.6766	640.6226	41.766	1065.5281
14	217998.2036	640.9957	42.036	1747.509
15	217934.7305	641.3691	42.305	6055.6459
16	217871.2575	641.7429	42.575	3946.1756
17	217807.7844	642.1169	42.844	1530.95
18	217744.3114	642.4914	43.114	994.6403
19	217680.8383	642.8661	43.383	778.4164
20	217617.3653	643.2412	43.653	679.836
21	217553.8922	643.6166	43.922	644.7823
22	217490.4192	643.9923	44.192	658.3627
23	217426.9461	644.3683	44.461	726.0019
24	217363.4731	644.7447	44.731	879.7337
25	217300	645.1214	45	1228.0496
26	217236.5269	645.4985	45.269	2306.6306
27	217173.0539	645.8759	45.539	45577.7873
28	217109.5808	646.2536	45.808	2559.1587
29	217046.1078	646.6316	46.078	1290.6886
30	216982.6347	647.01	46.347	907.0511
31	216919.1617	647.3887	46.617	740.5962
32	216855.6886	647.7677	46.886	666.5024
33	216792.2156	648.1471	47.156	648.4749
34	216728.7425	648.5268	47.425	679.1116
35	216665.2695	648.9068	47.695	771.1204
36	216601.7964	649.2872	47.964	972.9667
37	216538.3234	649.6679	48.234	1459.9897
38	216474.8503	650.0489	48.503	3411.9668
39	216411.3772	650.4303	48.772	8372.0597
40	216347.9042	650.812	49.042	1912.4965
41	216284.4311	651.194	49.311	1125.973
42	216220.9581	651.5764	49.581	841.13
43	216157.485	651.9591	49.85	712.4905
44	216094.012	652.3422	50.12	659.3302
45	216030.5389	652.7256	50.389	657.7547
46	215967.0659	653.1093	50.659	707.0673

Continúa en la siguiente página

47	215903.5928	653.4934	50.928	828.9299
48	215840.1198	653.8778	51.198	1096.8687
49	215776.6467	654.2625	51.467	1812.9567
50	215713.1737	654.6476	51.737	6573.6588
51	215649.7006	655.033	52.006	3878.327
52	215586.2275	655.4188	52.275	1541.4776
53	215522.7545	655.8049	52.545	1007.6977
54	215459.2814	656.1914	52.814	791.1321
55	215395.8084	656.5782	53.084	692.4393
56	215332.3353	656.9653	53.353	657.9166
57	215268.8623	657.3528	53.623	672.9441
58	215205.3892	657.7406	53.892	743.5378
59	215141.9162	658.1287	54.162	903.3473
60	215078.4431	658.5173	54.431	1266.6233
61	215014.9701	658.9061	54.701	2407.1082
62	214951.497	659.2953	54.97	84400.8372
63	214888.024	659.6848	55.24	2550.2529
64	214824.5509	660.0747	55.509	1303.2302
65	214761.0778	660.4649	55.778	920.1825
66	214697.6048	660.8555	56.048	753.3553
67	214634.1317	661.2464	56.317	679.3382
68	214570.6587	661.6377	56.587	662.1197
69	214507.1856	662.0293	56.856	694.6377
70	214443.7126	662.4213	57.126	790.4233
71	214380.2395	662.8136	57.395	1000.3567
72	214316.7665	663.2063	57.665	1509.7687
73	214253.2934	663.5993	57.934	3601.1708
74	214189.8204	663.9926	58.204	7901.8975
75	214126.3473	664.3864	58.473	1918.707
76	214062.8743	664.7804	58.743	1139.2678
77	213999.4012	665.1748	59.012	854.2664
78	213935.9281	665.5696	59.281	725.3459
79	213872.4551	665.9647	59.551	672.4846
80	213808.982	666.3602	59.82	672.0395
81	213745.509	666.756	60.09	723.7653
82	213682.0359	667.1522	60.359	850.4938
83	213618.5629	667.5487	60.629	1129.4989
84	213555.0898	667.9456	60.898	1881.8387

Continúa en la siguiente página

85	213491.6168	668.3428	61.168	7166.7253
86	213428.1437	668.7404	61.437	3817.8674
87	213364.6707	669.1383	61.707	1552.7547
88	213301.1976	669.5366	61.976	1021.2411
89	213237.7246	669.9353	62.246	804.2738
90	213174.2515	670.3343	62.515	705.4581
91	213110.7784	670.7336	62.784	671.4885
92	213047.3054	671.1334	63.054	688.0241
93	212983.8323	671.5334	63.323	761.6989
94	212920.3593	671.9339	63.593	927.8632
95	212856.8862	672.3347	63.862	1306.8829
96	212793.4132	672.7358	64.132	2513.856
97	212729.9401	673.1373	64.401	463659.2237
98	212666.4671	673.5392	64.671	2543.4588
99	212602.994	673.9415	64.94	1316.3828
100	212539.521	674.344	65.21	933.7773
101	212476.0479	674.747	65.479	766.5387
102	212412.5749	675.1503	65.749	692.599
103	212349.1018	675.554	66.018	676.224
104	212285.6287	675.958	66.287	710.7028
105	212222.1557	676.3624	66.557	810.4301
106	212158.6826	676.7672	66.826	1028.8336
107	212095.2096	677.1723	67.096	1561.9078
108	212031.7365	677.5778	67.365	3806.2178
109	211968.2635	677.9837	67.635	7502.7203
110	211904.7904	678.3899	67.904	1926.0018
111	211841.3174	678.7965	68.174	1153.1049
112	211777.8443	679.2034	68.443	867.8529
113	211714.3713	679.6108	68.713	738.628
114	211650.8982	680.0184	68.982	686.0777
115	211587.4251	680.4265	69.251	686.8111
116	211523.9521	680.8349	69.521	741.0532
117	211460.479	681.2437	69.79	872.8646
118	211397.006	681.6529	70.06	1163.4862
119	211333.5329	682.0624	70.329	1954.3881
120	211270.0599	682.4723	70.599	7851.5049
121	211206.5868	682.8825	70.868	3764.127
122	211143.1138	683.2932	71.138	1564.7943

Continúa en la siguiente página

123	211079.6407	683.7042	71.407	1035.2884
124	211016.1677	684.1155	71.677	817.859
125	210952.6946	684.5273	71.946	718.91
126	210889.2216	684.9394	72.216	685.5173
127	210825.7485	685.3519	72.485	703.6249
128	210762.2754	685.7648	72.754	780.5141
129	210698.8024	686.178	73.024	953.3256
130	210635.3293	686.5916	73.293	1348.9222
131	210571.8563	687.0056	73.563	2627.394
132	210508.3832	687.42	73.832	140062.5338
133	210444.9102	687.8347	74.102	2538.7008
134	210381.4371	688.2498	74.371	1330.1637
135	210317.9641	688.6653	74.641	947.8534
136	210254.491	689.0811	74.91	780.164
137	210191.018	689.4974	75.18	706.3034
138	210127.5449	689.914	75.449	690.8079
139	210064.0719	690.331	75.719	727.3313
140	210000.5988	690.7484	75.988	831.1737
141	209937.1257	691.1661	76.257	1058.4521
142	209873.6527	691.5842	76.527	1616.5501
143	209810.1796	692.0027	76.796	4028.9654
144	209746.7066	692.4216	77.066	7160.7411
145	209683.2335	692.8409	77.335	1934.3801
146	209619.7605	693.2605	77.605	1167.5032
147	209556.2874	693.6806	77.874	881.9078
148	209492.8144	694.101	78.144	752.3549
149	209429.3413	694.5218	78.413	700.1287
150	209365.8683	694.943	78.683	702.0911
151	209302.3952	695.3645	78.952	758.9577
152	209238.9222	695.7865	79.222	896.0811
153	209175.4491	696.2088	79.491	1198.9022
154	209111.976	696.6315	79.76	2030.8575
155	209048.503	697.0546	80.03	8649.9223
156	208985.0299	697.4781	80.299	3716.5315
157	208921.5569	697.902	80.569	1577.611
158	208858.0838	698.3262	80.838	1049.8589
159	208794.6108	698.7509	81.108	831.9062
160	208731.1377	699.1759	81.377	732.8136

Continúa en la siguiente página

161	208667.6647	699.6013	81.647	700.0228
162	208604.1916	700.0271	81.916	719.77
163	208540.7186	700.4533	82.186	800.0137
164	208477.2455	700.8799	82.455	979.781
165	208413.7725	701.3069	82.725	1392.8411
166	208350.2994	701.7342	82.994	2748.2971
167	208286.8263	702.162	83.263	62317.487
168	208223.3533	702.5901	83.533	2535.9138
169	208159.8802	703.0187	83.802	1344.5919
170	208096.4072	703.4476	84.072	962.4302
171	208032.9341	703.8769	84.341	794.25
172	207969.4611	704.3067	84.611	720.4704
173	207905.988	704.7368	84.88	705.8928
174	207842.515	705.1673	85.15	744.5488
175	207779.0419	705.5982	85.419	852.6889
176	207715.5689	706.0295	85.689	1089.2705
177	207652.0958	706.4612	85.958	1673.8488
178	207588.6228	706.8932	86.228	4271.5616
179	207525.1497	707.3257	86.497	6865.5813
180	207461.6766	707.7586	86.766	1943.8438
181	207398.2036	708.1919	87.036	1182.4824
182	207334.7305	708.6256	87.305	896.4504
183	207271.2575	709.0596	87.575	766.5457
184	207207.7844	709.4941	87.844	714.6577
185	207144.3114	709.929	88.114	717.9023
186	207080.8383	710.3642	88.383	777.5075
187	207017.3653	710.7999	88.653	920.1843
188	206953.8922	711.236	88.922	1235.8232
189	206890.4192	711.6725	89.192	2111.5212
190	206826.9461	712.1093	89.461	9591.4211
191	206763.4731	712.5466	89.731	3674.5872
192	206700	712.9843	90	1591.2214

## B. Anexo: Función de flujo neto normalizado ( $f, \tau$ ) en la superficie de Marte

TABLE III. - NORMALIZED NET FLUX FUNCTION  $f(z, \tau)$  AT THE MARTIAN SURFACE

Optical depth $\tau$	Zenith angle Z, deg									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	85
0.1	0.885	0.883	0.882	0.880	0.876	0.870	0.857	0.830	0.755	0.635
0.2	.866	.865	.860	.858	.851	.836	.813	.758	.640	.470
0.3	.847	.846	.841	.836	.826	.806	.774	.708	.562	.412
0.4	.828	.827	.821	.815	.802	.778	.740	.667	.502	.373
0.5	.810	.810	.802	.796	.778	.752	.708	.628	.452	.342
0.6	.793	.791	.785	.775	.755	.725	.677	.593	.414	.318
0.7	.776	.773	.766	.755	.733	.700	.646	.555	.383	.298
0.8	.760	.756	.750	.736	.710	.675	.616	.520	.360	.280
0.9	.745	.740	.733	.717	.690	.650	.587	.487	.336	.264
1.0	.732	.725	.717	.700	.670	.628	.560	.455	.317	.252
1.1	.713	.709	.700	.682	.651	.604	.539	.433	.300	.239
1.2	.697	.692	.683	.662	.632	.585	.518	.413	.288	.230
1.3	.682	.677	.667	.646	.613	.567	.498	.394	.273	.220
1.4	.666	.661	.650	.629	.596	.546	.478	.379	.262	.210
1.5	.651	.646	.633	.612	.580	.530	.460	.362	.251	.202
1.6	.637	.630	.618	.597	.563	.512	.441	.348	.240	.195
1.7	.622	.615	.601	.581	.546	.494	.424	.332	.232	.188
1.8	.609	.600	.586	.568	.531	.480	.408	.318	.224	.181
1.9	.596	.587	.571	.551	.514	.464	.393	.304	.217	.176
2.0	.582	.573	.558	.537	.500	.448	.378	.293	.208	.170
2.25	.552	.542	.522	.501	.462	.410	.343	.265	.190	.156
2.50	.518	.509	.492	.469	.430	.378	.316	.242	.174	.145
2.75	.486	.478	.462	.440	.401	.353	.293	.224	.158	.136
3.00	.460	.450	.434	.414	.376	.330	.273	.206	.150	.128
3.25	.434	.424	.410	.390	.354	.308	.254	.193	.140	.120
3.50	.411	.400	.387	.367	.333	.290	.240	.180	.132	.110
4.00	.370	.360	.347	.330	.296	.258	.212	.160	.118	.100
5.00	.294	.286	.275	.258	.230	.203	.166	.130	.094	.080
6.00	.228	.223	.215	.200	.178	.153	.130	.103	.080	.068

Figura B-1.: Función de flujo neto normalizado ( $f, \tau$ ) en la superficie de Marte



# Bibliografía

- [1] APPELBAUM, J. ; FLOOD, D: Solar Radiation on Mars. En: *Solar Energy* (1990)
- [2] AZCÓN-BIETO, J. ; TALÓN, M.: *Chapter 27: Desarrollo y germinación de las semillas*. 2. Fundamentos de Fisiología Vegetal, 2008
- [3] BADESCU, V.: Different strategies for maximum solar radiation collection on Mars surface. En: *Acta Astronautica* (1998)
- [4] BARSIG, M. ; MALZ, R.: Fine structure, carbohydrates and photosynthetic pigments of sugar maize leaves under UV-B radiation. En: *Environmental and Experimental Botany* (2000)
- [5] CAPLIN, N. ; WILLEY, N.: Ionizing Radiation, Higher Plants, and Radioprotection: From Acute High Doses to Chronic Low Doses. En: *Frontiers in Plant Science* (2018)
- [6] COCKELL, C. S. ; CATLING, D. C. ; DAVIS, W. L. ; SNOOK, K. ; KEPNER, R. L. ; LEE, P. ; MCKAY, C. P.: The ultraviolet environment of Mars: biological implications past, present, and future. En: *Icarus* (2000)
- [7] CÓRDOBA-JABONERO, C. ; LARA, L. M. ; MANCHO, A. M. ; MÁRQUEZ, A. ; RODRIGO, R.: Solar ultraviolet transfer in the Martian atmosphere: biological and geological implication. En: *Planetary and Space Science* (2003)
- [8] CUADRA, P. ; HARBORNE, J. B. ; WATERMAN, P. G.: Increases in Surface Flavonols and Photosynthetic Pigments in (*Gnaphalium luteo-album*) in Response to UV-B Radiation. En: *Phytochemistry* (1997)
- [9] *Germinación, latencia y dormición de las semillas*
- [10] DEOLI, N. T. ; HASENSTEIN, K. H.: Irradiation effects of MeV protons on dry and hydrated (*Brassica rapa seeds*). En: *Life Sciences in Space Research* (2018)
- [11] FOROUGHBAKHCH-POURNAVAB, R. ; BACÓPULOS-MEJÍA, E. ; BENAVIDES-MENDOZA, A.: Efecto de la irradiación con UV-C en la germinación y vigor de tres especies vegetales. En: *Ecosistemas y recursos agropecuarios* (2015)
- [12] FRANK, H. A. ; COGDELL, R. J.: Carotenoids in photosynthesis. En: *Photochemistry and Photobiology* (1996). – *Carotenoids in photosynthesis*

- [13] Técnicas Para Evaluar Germinación, Vigor y Calidad Fisiológica de Semillas Sometidas a Dosis de Nanopartículas, 2016
- [14] GONZÁLEZ, J. ; ROSA, M. ; PARRADO, R. ; HILAL, M. ; PRADO, F.: Morphological and physiological responses of two varieties of a highland species *Chenopodium quinoa Willd.* growing under near-ambient and strongly reduced solar UV-B in a lowland location. En: *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* (2009)
- [15] HASSLER, D. M. ; ZEITLIN, C. ; WIMMER-SCHWEINGRUBER, R. F. ; EHRESMANN, B. ; RAFKIN, S. ; EIGENBRODE, J. L. ; ... ; GROTZINGER, J. P.: Mars surface radiation environment measured with the Mars Science Laboratory's Curiosity rover. En: *Science* (2014)
- [16] HUARANCCA REYES, T. ; SCARTAZZA, A. ; CASTAGNA, A.: Physiological effects of short acute UVB treatments in *Chenopodium quinoa Willd.* En: *Scientific Reports* (2018)
- [17] JACOBSEN, S. E. ; MUJICA, A. ; JENSEN, C. R.: The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) to adverse abiotic factors. En: *Food Reviews International* (2003)
- [18] JANSEN, M. ; GABA, V. ; GREENBERG, B.: Higher plants and UV-B radiation: balancing damage, repair and acclimation. En: *Trends in Plant Science* (1998)
- [19] JARVIS, D. E. ; HO, Y. S. ; LIGHTFOOT, D. J. ; SCHMACKEL, S. M. ; LI, B. ; BORM, T. J. ; TESTER, M.: The genome of *Chenopodium quinoa*. En: *Nature* (2017)
- [20] JORGE, P. L. A. ; RAFKIN, S. C.: *Meteorología mesoescalar en Marte*. 1. Física de la Tierra, 2016
- [21] KOLB, C. ; ABART, R. ; BÉRCES, A. ; GARRY, J. R. C. ; HANSEN, A. A. ; HOHENAU, W. ; STAN-LOTTER, H.: An Ultraviolet Simulator for the Incident Martian Surface Radiation and Its Applications. En: *International Journal of Astrobiology* (2005)
- [22] KOZIOL, M. J.: Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*). En: *Journal of food composition and analysis* (1992)
- [23] KRAEMER, D. R. ; KUHN, W. R.: Solar radiation incident on Mars and the outer planets: Latitudinal, seasonal, and atmospheric effects. En: *Icarus* (1977)
- [24] L., Carrasco.: EFFECT OF ULTRAVIOLET-B RADIATION IN PLANTS. En: *Idesia* (2009)
- [25] LÓPEZ, M. ; RECALDE, A.: The first quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) macrobotanical remains at Sierras del Norte (Central Argentina) and their implications in pre-Hispanic subsistence practices. En: *Journal of Archaeological Science: Reports* (2016)

- [26] LÓPEZ, O. ; MÉNDEZ, Y. ; OJEDA, O. ; PÁEZ, J.: Desarrollo de una Cámara de Simulación de Condiciones Atmosféricas Marcianas. En: *IX Congreso Argentino de Tecnología Espacial*, 2017
- [27] MANJARRES, E. H. ; ARIAS-MORENO, S. M. ; MORILLO-CORONADO, A. C. ; OJEDA PÉREZ, Z. Z. ; CÁRDENAS-CHAPARRO, A.: Phenotypic Characterization of Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) for the Selection of Promising Materials for Breeding Programs. En: *Plant* (2021)
- [28] MANJARRES, E. H. ; MORILLO-CORONADO, A. C. ; OJEDA PÉREZ, Z. Z. ; CÁRDENAS-CHAPARRO, A. ; ARIAS-MORENO, S. M.: Characterization of the yield components and selection of materials for breeding programs of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*). En: *Euphytica* (2021)
- [29] MAUGHAN, P. J. ; BONIFACIO, A. ; COLEMAN, C. E. ; JELLEN, E. N. ; STEVENS, M. R. ; FAIRBANKS, D. J.: *Quinoa (Chenopodium quinoa)*. 1. In *Pulses, Sugar and Tuber Crops*, 2007
- [30] MCKAY, C. P. ; STOKER, C. R.: The early environment and its evolution on Mars: Implications for life. En: *Reviews of Geophysics* (1989)
- [31] MISCHNA, M. A. ; LEE, C. ; RICHARDSON, M.: Development of a Fast, Accurate Radiative Transfer Model for the Martian Atmosphere, Past and Present. En: *Journal of Geophysical Research: Planets* (2012)
- [32] PATEL, M. R. ; BÉRCES, A. ; KERÉKGYÁRTO, T. ; RONTÓ, G. ; LAMMER, H. ; ZARNECKI, J. C.: Annual solar UV exposure and biological effective dose rates on the Martian surface. En: *Advances in Space Research* (2004)
- [33] PATEL, M. R. ; ZARNECKI, J. C. ; CATLING, D. C.: Ultraviolet Radiation on the Surface of Mars and the Beagle 2 UV Sensor. En: *Planetary and Space Science* (2002)
- [34] PLASENCIA, E. ; MATOS, L. ; POSADAS, A. ; CABRERA, C.: Estimación Horaria de la Irradiancia Solar Total Extraterrestre. En: *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica* (2007)
- [35] PRADO, F. E. ; PÁEZ, M. L. ; GONZÁLEZ, Y. J.: Efectos de la radiación ultravioleta B (UV-B) sobre diferentes variedades de Quinoa: II.-efectos sobre la síntesis de pigmentos fotosintéticos, protectores y azúcares solubles en condiciones controladas. En: *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* (2016)
- [36] REOL, E. M.: Los pigmentos fotosintéticos, algo más que la captación de luz para la fotosíntesis. En: *Ecosistemas* (2003)

- [37] RONTÓ, G. ; BÉRCES, A. ; LAMMER, H. ; COCKELL, C. S. ; MOLINA CUBEROS, G. J. ; PATEL, M. R. ; SELSIS, F.: Solar UV Irradiation Conditions on the Surface of Mars. En: *Photochemistry and Photobiology* (2003)
- [38] ROSABAL AYAN, L. ; MARTÍNEZ GONZÁLEZ, L. ; REYES GUERRERO, Y. ; DELL'AMICO RODRÍGUEZ, J. ; NÚÑEZ VÁZQUEZ, M.: ASPECTOS FISIOLÓGICOS, BIOQUÍMICOS Y EXPRESIÓN DE GENES EN CONDICIONES DE DÉFICIT HÍDRICO. INFLUENCIA EN EL PROCESO DE GERMINACIÓN. En: *Cultivos Tropicales* (2014)
- [39] ROSABAL AYAN, L. ; MARTÍNEZ GONZÁLEZ, L. ; REYES GUERRERO, Y. ; DELL'AMICO RODRÍGUEZ, J. ; NÚÑEZ VÁZQUEZ, M.: Responses of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) seeds stored under different germination temperatures. En: *Acta Scientiarum. Agronomy* (2017)
- [40] RUELAS, M. E. G. ; ESPINOZA, S. A. H. ; HOSTEIN, N. ; GONZÁLEZ, F. M. C.: Estudio de los parámetros y factores que modifican los niveles de radiación ultravioleta. En: *Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa* (2014)
- [41] SALAMA, H. M. ; AL WATBAN, A. A. ; AL-FUGHOM, A. T.: Effect of ultraviolet radiation on chlorophyll, carotenoid, protein and proline contents of some annual desert plants. En: *Saudi Journal of Biological Sciences* (2011)
- [42] SAX, K: The effect of ionizing radiation on plant growth. En: *American Journal of Botany* (1955)
- [43] SIEGEL, R. ; HOWELL, J.: CHAPTER 1. FUNDAMENTALS OF RADIATION IN ABSORBING, EMITTING, AND SCATTERING MEDIA. 1. THERMAL RADIATION HEAT TRANSFER, 1971
- [44] SONG, K. ; PARK, C. ; HONG, S. ; CHUNG, J. ; KIM, M. ; SHIM, S.: Beneficial effects of gamma-irradiation of quinoa seeds on germination and growth. En: *Radiation and Environmental Biophysics* (2022)
- [45] STRENSKE, A. ; VASCONCELOS, E. S. D. ; EGEWARTH, V. A. ; HERZOG, N. F. M. ; MALAVASI, M. D. M.: Responses of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) seeds stored under different germination temperatures. En: *Acta Scientiarum. Agronomy* (2017)
- [46] SUÁREZ, D. ; MELGAREJO, L. M.: Biología y germinación de semillas. En: *Experimentos en fisiología vegetal*, 2010
- [47] THIEMANN, E. M. ; CHAMBERLIN, P. C. ; EPARVIER, F. G. ; TEMPLEMAN, B. ; WOODS, T. N. ; BOUGHER, S. W. ; JAKOSKY, B. M.: The MAVEN EUVM Model of Solar Spectral Irradiance Variability at Mars: Algorithms and Results. En: *Journal of Geophysical Research: Space Physics* (2017)

- 
- [48] VAN HEMELRIJCK, E.: The influence of global dust storms on the mean seasonal daily insulations at the Martian surface. En: *Earth, Moon, and Planets* (1985)
- [49] VARELA, A.: *Desarrollo y germinación de las semillas*. 1. Fundamentos de fisiología vegetal, 2007
- [50] VARELA, S. A. ; ARANA, V.: *Latencia y germinación de semillas. Tratamientos pregerminativos*. 1. Sistemas Forestales Integrados, 2011
- [51] VARGAS, P. ; ARTEAGA, R. ; CRUZ, L.: Bibliographical analysis about nutritional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa*) as a functional food. En: *Centro Azúcar* (2019)
- [52] VERA, C. ; HINOJOSA, A. ; TAPIA, M. ; GONZÁLEZ, D. ; BUSTAMANTE, A. ; LUCHSINGER, L. ; ESCALONA, V.: Efecto de la radiación UVB sobre los pigmentos y compuestos funcionales en dos cultivares de acelga tipo Baby. En: *Tecnología Postcosecha* (2014)
- [53] VICENTE-RETORTILLO, Á. ; VALERO, F. ; VÁZQUEZ, L. ; MARTÍNEZ, G. M.: A model to calculate solar radiation fluxes on the Martian surface. En: *Journal of Space Weather and Space Climate* (2015)
- [54] WAMELINK, G. W. ; FRISSEL, J. Y. ; KRIJNEN, W. H. ; VERWOERT, M. R. ; GOEDHART, P. W.: Can Plants Grow on Mars and the Moon: A Growth Experiment on Mars and Moon Soil Simulants. En: *PLoS ONE* (2014)

# Constante\_Solar-Copy1

May 9, 2024

En el afelio Marte se encuentra a 249,1 millones de km del Sol.

En el perihelio Marte se encuentra a 206,7 millones de km del Sol.

```
[1]: #Librerías a utilizar
import matplotlib.pyplot as plt
import pandas as pd
import numpy as np

import math

[2]: #Precisión decimal.
float_precision = 4

[3]: def constante_solar(ao, Sigma = 5.670373e-8 , Teff = 5772, Ts = 695.700e3):
    """
    Constantes

    Sigma: Constante de Stefan-Boltzmann
    Teff: Temperatura efectiva
    Ts: Radio solar

    ao: Radio de esfera valor a ingresar (En Kilómetros) para realizar cálculo

    Retorna: Constante Solar
    """
    ao = ao*1e3 #Convertir Km -> m
    return Sigma*(Teff**4)*((Ts/ao)**2)

[4]: """Teff = 5772
Sigma = 5.670373e-8
Ts = 695.700e3
"""
perihelio = 206.7*1e3 #Distancia en metros
afelio = 249.1*1e3 #Distancia en metros

[5]: K_afelio = constante_solar(ao = afelio)
K_perihelio = constante_solar(ao = perihelio)
```

```
k_tierra = 1367.7
```

```
[6]: K_afelio
```

```
[6]: 490.9231014756434
```

```
[7]: K_perihelio
```

```
[7]: 712.9843071398398
```

```
[8]: rangos = [(193.3, 257.8),
              (257.8, 317.5),
              (317.5, 371.9),
              (371.9, 421.6),
              (421.6, 468.5),
              (468.5, 514.6),
              (514.6, 562.0),
              (562.0, 612.9),
              (612.9, 668.6),
              (0.0, 61.2),
              (61.2, 126.6),
              (126.6, 193.3)
            ]
#index = [rango[0] for rango in rangos]

dias = []

for rango in rangos:
    dias = dias + list(range(round(rango[0]), round(rango[1])))

"""for idx in range(len(index)):
    print(idx)"""
distancias = np.linspace(afelio, perihelio, num=len(dias))

cant_dias = [193, 179, 142, 154]
theta_init = 24.9
#0:179
#179+1:321
#321:475
#475:
"""latitude = []
latitude.append(193.3 - 24.9)
latitude = np.array(latitude)

aux_array = np.ones_like(dias[1:179])*(193.3 - 24.9/179)
latitude = np.append(latitude, aux_array)
```

```

aux_array = np.ones_like(dias[179:321])*(193.3 - 24.9/142)
latitude = np.append(latitude, aux_array)

aux_array = np.ones_like(dias[321:475])*(193.3 - 24.9/154)
latitude = np.append(latitude, aux_array)

aux_array = np.ones_like(dias[475:])*(193.3 - 24.9/193)
latitude = np.append(latitude, aux_array)"""
latitude = np.linspace(-90, 90 , num=len(dias))

estaciones = [distancias[179], distancias[321], distancias[475], distancias[668]]
estaciones

```

[8]: [237738.3233532934, 228725.1497005988, 218950.2994011976, 206700.0]

```

[9]: #Calculo constante solar
K = constante_solar(ao = distancias)
K.round(float_precision)

#Cálculo Irradiancia
irradiance = np.divide(K,np.abs(np.cos(latitude)))

df = pd.DataFrame(data={'Day':dias, 'Distance':distancias, 'K':K, 'Latitude':
    ↳latitude, 'Irradiance': irradiance})

df.Distance = df.Distance.round(float_precision)
df.K = df.K.round(float_precision)
df.Latitude = df.Latitude.round(3)
df.Irradiance = df.Irradiance.round(float_precision)

df

```

[9]:

	Day	Distance	K	Latitude	Irradiance
0	193	249100.0000	490.9231	-90.000	1095.6305
1	194	249036.5269	491.1734	-89.731	2532.9703
2	195	248973.0539	491.4239	-89.461	6619.0019
3	196	248909.5808	491.6745	-89.192	1458.7907
4	197	248846.1078	491.9254	-88.922	854.7554
...	...	...	...	...	...
664	188	206953.8922	711.2360	88.922	1235.8232
665	189	206890.4192	711.6725	89.192	2111.5212
666	190	206826.9461	712.1093	89.461	9591.4211
667	191	206763.4731	712.5466	89.731	3674.5872
668	192	206700.0000	712.9843	90.000	1591.2214



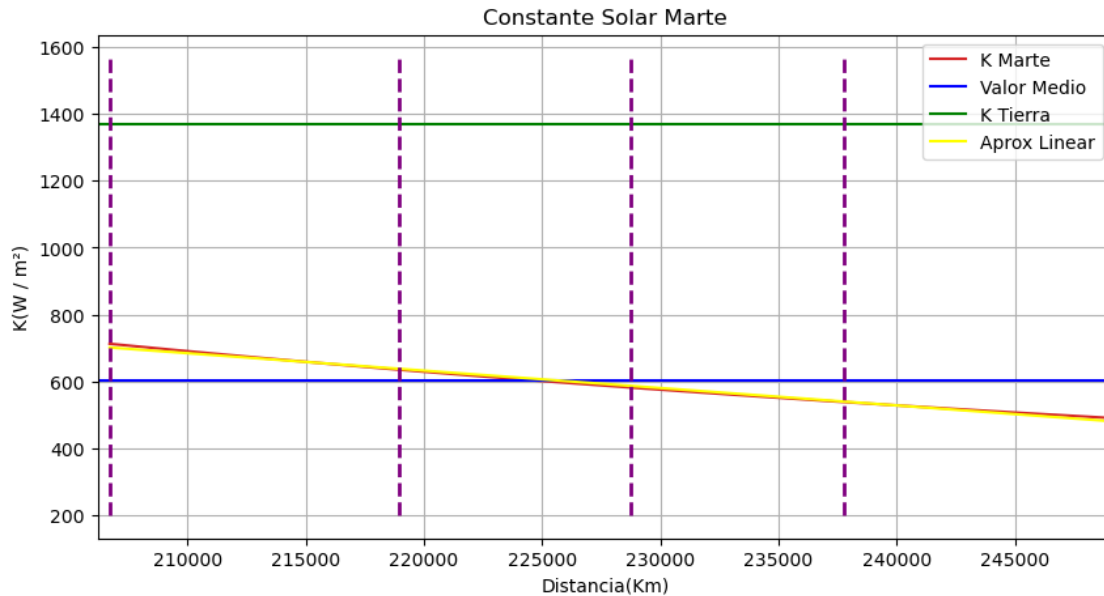
[669 rows x 5 columns]

```
[10]: valor_medio = abs((K_afelio + K_perihelio)/2)
valor_medio
```

[10]: 601.9537043077416

```
[11]: # Plotting:
def plot_df_K(df, x, y, valor_medio, k_tierra, estaciones, title="",
↳ xlabel='Date', ylabel='Value', dpi=100):
    """
    """
    plt.figure(figsize=(10,5), dpi=dpi)
    plt.plot(x, y, color='tab:red')
    plt.gca().set(title=title, xlabel=xlabel, ylabel=ylabel)
    plt.axhline(y=valor_medio, color='b', linestyle='-')
    plt.axhline(y=k_tierra, color='g', linestyle='-')
    m, b = np.polyfit(x, y, 1)
    plt.plot(x, m*x + b, color='yellow')
    plt.grid()
    plt.xlim(np.min(x)-500, np.max(x))
    plt.legend(["K Marte", "Valor Medio", "K Tierra", "Aprox Linear"], loc = 1)
    plt.vlines(x=estaciones, ymin=200, ymax=k_tierra + 200, colors='purple',
↳ ls='--', lw=2)
    plt.show()
```

```
[12]: plot_df_K(df, x=df.Distance, y=df.K, valor_medio = valor_medio, k_tierra =
↳ k_tierra, estaciones = estaciones, xlabel='Distancia(Km)', ylabel='K(W / m²)',
↳ title='Constante Solar Marte')
```

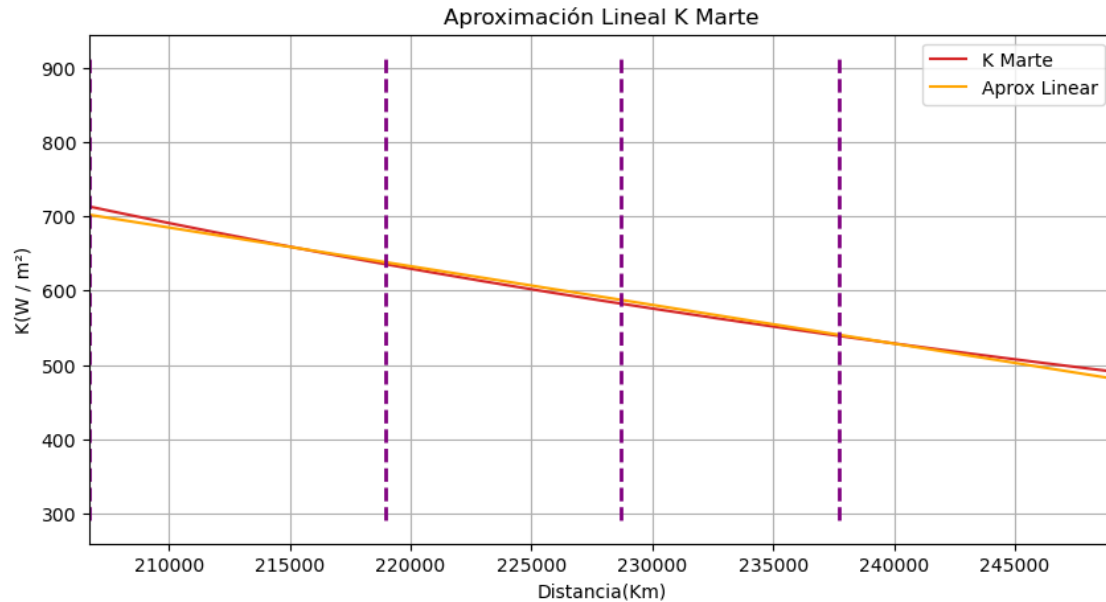


```
[13]: # Plotting:
def plot_df_mars(df, x, y, estaciones, title="", xlabel='Date', ylabel='Value',
↳dpi=100):
    """
    """
    plt.figure(figsize=(10,5), dpi=dpi)
    plt.plot(x, y, color='tab:red')
    plt.gca().set(title=title, xlabel=xlabel, ylabel=ylabel)
    m, b = np.polyfit(x, y, 1)
    plt.plot(x, m*x + b, color='orange')
    plt.grid()
    print(f"Aproximación lineal:\n K = {m}x+{b}\n")
    plt.legend(["K Marte", "Aprox Linear"])
    plt.xlim(np.min(x), np.max(x))
    plt.vlines(x=estaciones, ymin=np.min(y) - 200, ymax=np.max(y) + 200,
↳colors='purple', ls='--', lw=2)
    plt.show()
```

```
[14]: plot_df_mars(df, x=df.Distance, y=df.K, estaciones = estaciones,
↳xlabel='Distancia(Km)', ylabel='K(W / m²)', title='Aproximación Lineal K
↳Marte')
```

Aproximación lineal:

$$K = -0.005201154495165166x + 1776.9838469668264$$



```
[15]: # Plotting:
def plot_df_seasons(df, x, y, title="", xlabel='Date', ylabel='Value', dpi=100):
    #0:179
    #179:321
    #321:475
    #475:
    fig, axs = plt.subplots(2, 2, figsize=(15,10))
    axs[0, 0].plot(x[475:], y[475:])
    axs[0, 0].set_title('Primavera Boreal')
    axs[0, 0].grid(True)
    axs[0, 0].set_xlabel(xlabel)
    axs[0, 0].set_ylabel(ylabel)

    axs[0, 1].plot(x[0:179], y[0:179], 'tab:orange')
    axs[0, 1].set_title('Verano Boreal')
    axs[0, 1].grid(True)
    axs[0, 1].set_xlabel(xlabel)
    axs[0, 1].set_ylabel(ylabel)

    axs[1, 0].plot(x[179:321], y[179:321], 'tab:green')
    axs[1, 0].set_title('Otoño Boreal')
    axs[1, 0].grid(True)
    axs[1, 0].set_xlabel(xlabel)
    axs[1, 0].set_ylabel(ylabel)

    axs[1, 1].plot(x[321:475], y[321:475], 'tab:red')
```

```

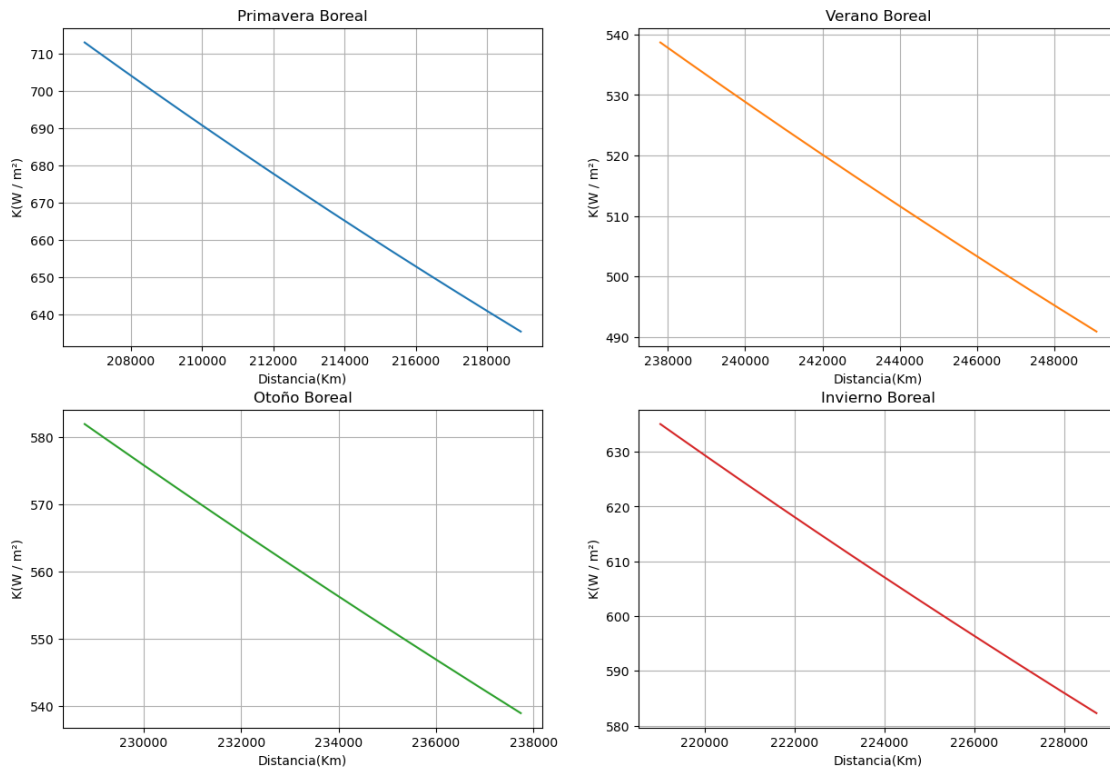
axs[1, 1].set_title('Invierno Boreal')
axs[1, 1].grid(True)
axs[1, 1].set_xlabel(xlabel)
axs[1, 1].set_ylabel(ylabel)

```

```

[16]: plot_df_seasons(df, x=df.Distance, y=df.K, xlabel='Distancia(Km)', ylabel='K(W / m²) → m²', title='')

```

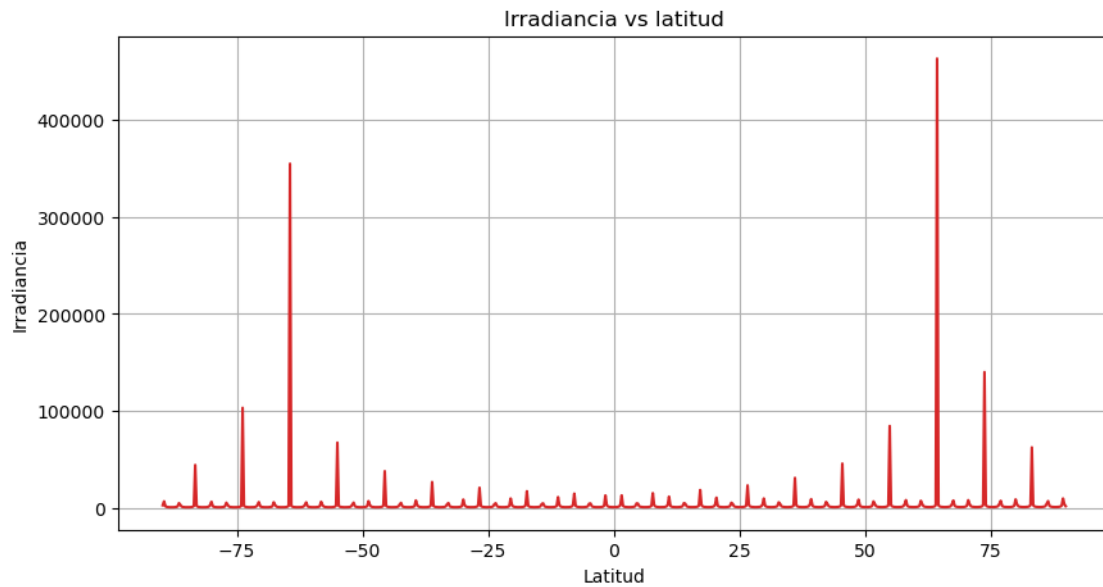


```

[17]: # Plotting:
def plot_df_Irradiance(df, x, y, title="", xlabel='Date', ylabel='Value', dpi=100):
    """
    """
    plt.figure(figsize=(10,5), dpi=dpi)
    plt.plot(x[1:], y[1:], color='tab:red') #
    #plt.stem(x[1:], y[1:], linefmt='r--', markerfmt='r--', basefmt='r')
    plt.gca().set(title=title, xlabel=xlabel, ylabel=ylabel)
    plt.grid()
    plt.show()

```

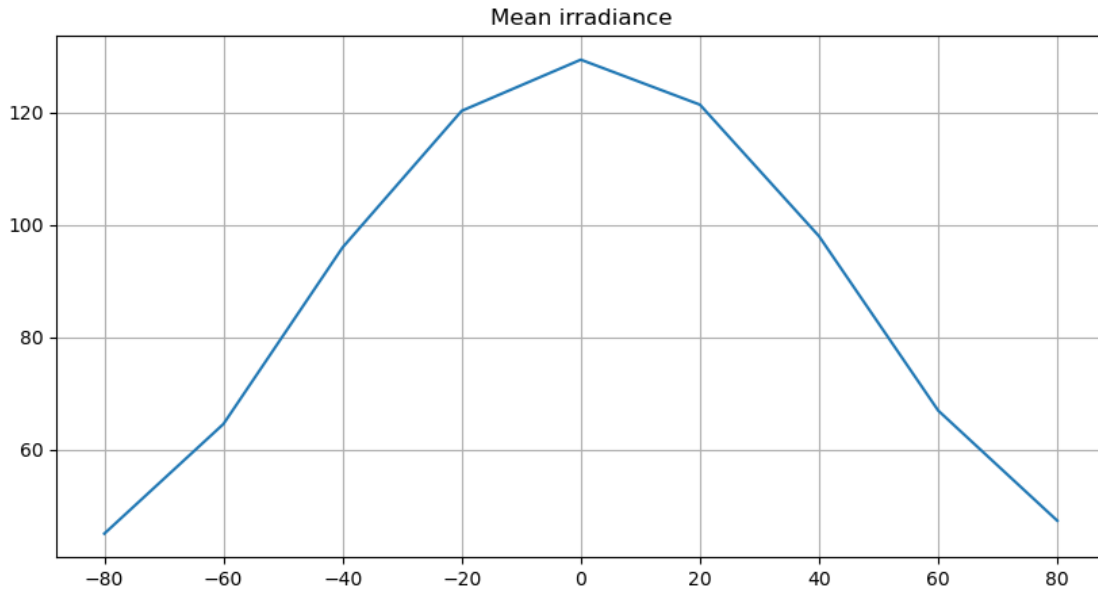
```
[18]: plot_df_Irradiance(df, x=df.Latitude, y=df.Irradiance, xlabel='Latitud',
→ylabel='Irradiancia', title='Irradiancia vs latitud')
```



```
[19]: #Mean irradiance:

latitude_tags =      ["80° S",      "60° S",      "40° S",      "20°
→S",      "0° N",      "20° N",      "40° N",      "60° N",      "80°
→N"]
latitude = [-80, -60, -40, -20, 0, 20, 40, 60, 80]
mean_irradiance = [45.1,      64.6,      96.0,      120.3,      129.
→4,      121.4,      98.0,      67.0,      47.4]
```

```
[20]: f, ax = plt.subplots(figsize=(10,5), dpi=100)
ax.plot(latitude, mean_irradiance)
ax.set_title('Mean irradiance')
ax.grid()
```



```
[21]: latitude = [-90, -80, -70, -60, -50, -40, -30, -20, -10, 0, 10, 20, 30, 40, 50,
↳60, 70, 80, 90]
mean_irradiance = [[57.94, 60.17, 67.40, 81.35, 99.52, 117.124, 132.178, 143.63,
↳150.87, 153.53, 151.49, 144.85, 133.95, 119.38, 102.15, 84.22, 70.33, 63.15,
↳60.91],
                    [51.82, 54.07, 61.30, 74.72, 92.03, 108.99, 123.607 , 134.77,
↳141.84, 144.43, 142.44, 135.95, 125.31, 111.15, 94.53, 77.41, 63.99, 56.77, 54.
↳5],
                    [46.90, 49.18, 56.34, 69.23, 85.73, 102.054, 116.205, 127.
↳064, 133.95, 136.48, 134.53, 128.20, 117.84, 104.119, 88.109, 71.75, 58.83, 51.
↳653, 49.36],
                    [42.88, 45.14, 52.18, 64.57, 80.32, 96.02, 109.718, 120.264,
↳126.96, 129.43, 127.528, 121.36, 111.297, 98.0052, 82.59, 66.95, 54.50, 47.42,
↳45.15],
                    [30.14, 32.18, 38.39, 48.66, 61.48, 74.54, 86.18, 95.27, 101.
↳113, 103.267, 101.59, 96.21, 87.50, 76.18, 63.30, 50.51, 40.13, 33.83, 31.74]]
```

[ ]:

```
[22]: Ls = [angle for angle in range(360)]
Theta = [L-248 for L in Ls]

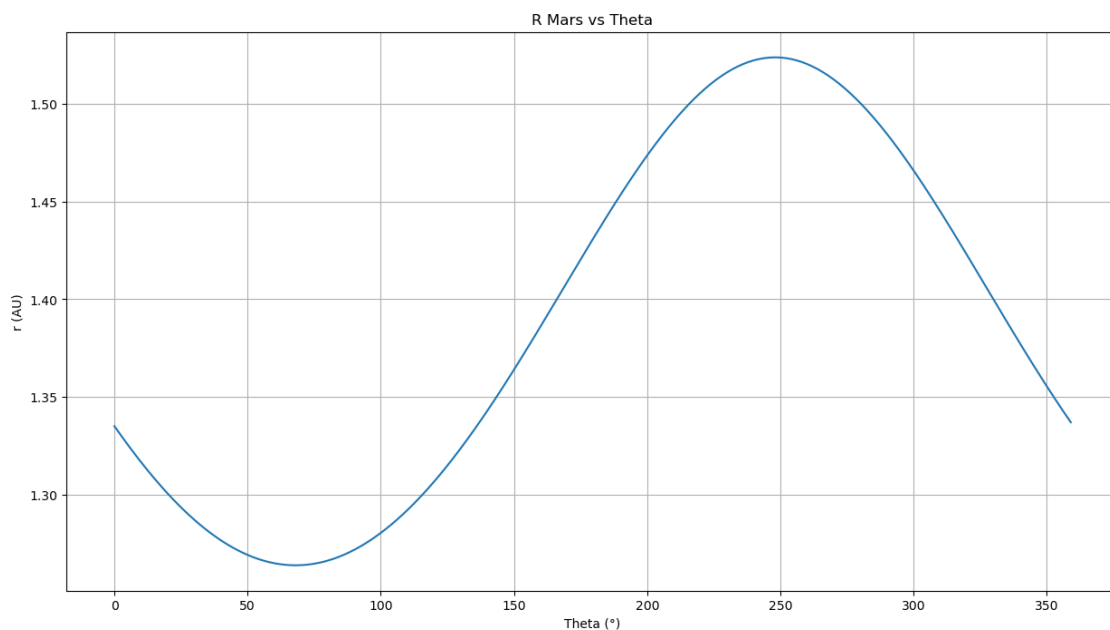
Ls = np.array(Ls)
Theta = np.array(Theta)
```

```
[23]: def r_mars(a,theta,excentricity):  
      num = a*(1-excentricity)  
      den = 1 - excentricity*np.cos(np.radians(Theta))  
      return num/den
```

```
[24]: r = r_mars(1.524, Theta, 0.093377)
```

```
[25]: plt.figure(figsize=(15,8))  
  
plt.grid()  
plt.title("R Mars vs Theta")  
plt.xlabel("Theta (°)")  
plt.ylabel("r (AU)")  
#plt.xlim(np.min(Ls), np.max(Ls))  
plt.plot(Ls, r)  
#plt.show()
```

```
[25]: [<matplotlib.lines.Line2D at 0x1dba26c5610>]
```



```
[26]: seasons_duration = [199, 183, 147, 158]  
degree_delta = [round(90/duration,4) for duration in seasons_duration]  
degree_delta
```

```
[26]: [0.4523, 0.4918, 0.6122, 0.5696]
```

```
[27]: day_angle=[]
angle = 0
for idx, season in enumerate(seasons_duration):
    for i in range(season+1):
        day_angle.append(round(angle,2))
        angle += degree_delta[idx]
```

```
[28]: mars_days = [x for x in range(len(day_angle))]
```

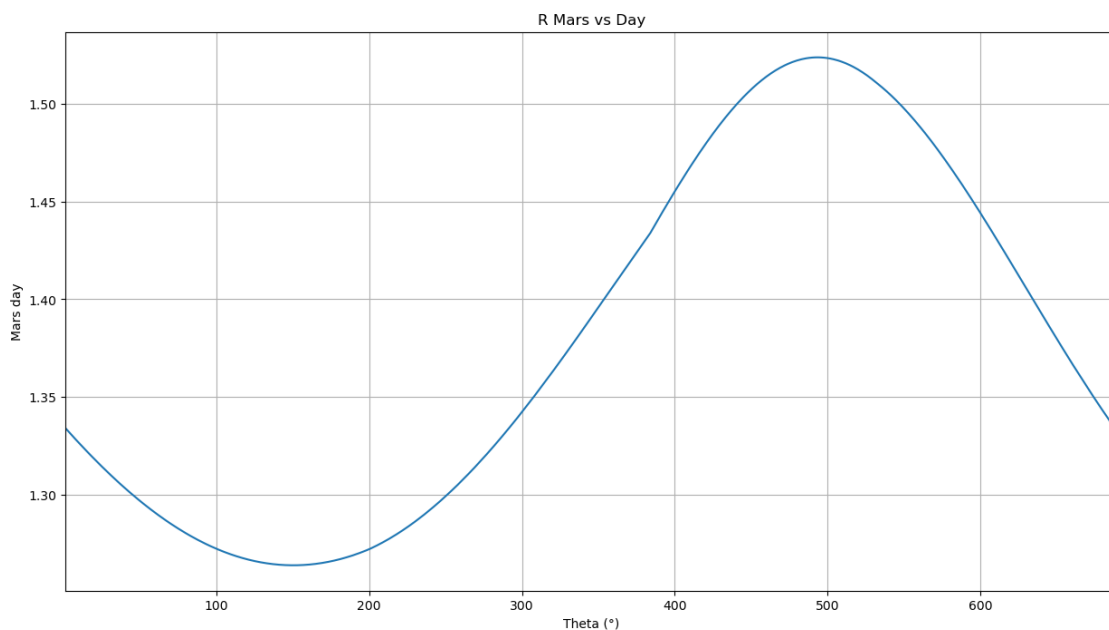
```
[29]: Theta = [day-248 for day in day_angle]
Theta = np.array(Theta)
```

```
[30]: r = r_mars(1.524, Theta, 0.093377)
```

```
[31]: plt.figure(figsize=(15,8))

plt.grid()
plt.title("R Mars vs Day")
plt.xlabel("Theta (°)")
plt.ylabel("Mars day")
plt.xlim(np.min(r), np.max(mars_days))
plt.plot(mars_days, r)
plt.show()
```

```
[31]: [
```





[ ]:

# Irradiancia dentro de la atmósfera de Marte

May 9, 2024

## 1 Gráfica Irradiancia Superficie vs fuera Atmosfera en Marte

---

Librerías y dependencias

```
[7]: import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
```

### 1.0.1 Descripción de datos

```
[3]: I_i = pd.read_excel('irradiancia.xlsx', header=0)
I_i
```

```
[3]:
```

	Day	Distance	K	Latitude	Irradiance
0	193	249100.0000	490.9231	-90.000	1095.6305
1	194	249036.5269	491.1734	-89.731	2532.9703
2	195	248973.0539	491.4239	-89.461	6619.0019
3	196	248909.5808	491.6745	-89.192	1458.7907
4	197	248846.1078	491.9254	-88.922	854.7554
..	...	...	...	...	...
664	188	206953.8922	711.2360	88.922	1235.8232
665	189	206890.4192	711.6725	89.192	2111.5212
666	190	206826.9461	712.1093	89.461	9591.4211
667	191	206763.4731	712.5466	89.731	3674.5872
668	192	206700.0000	712.9843	90.000	1591.2214

[669 rows x 5 columns]

```
[4]: tao = pd.read_excel('prof óptica.xlsx', header=0)
tao
```

```
[4]:
```

	Profundidad óptica
0	0.10
1	0.20
2	0.30
3	0.40

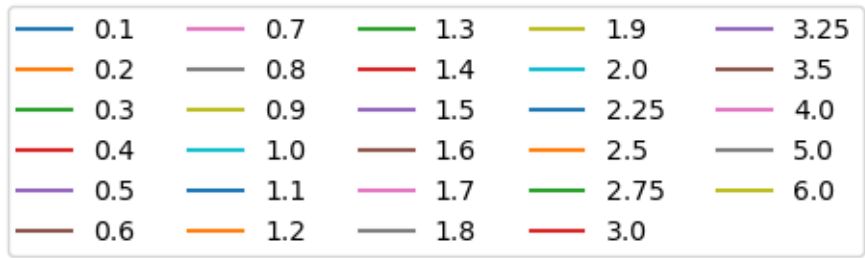
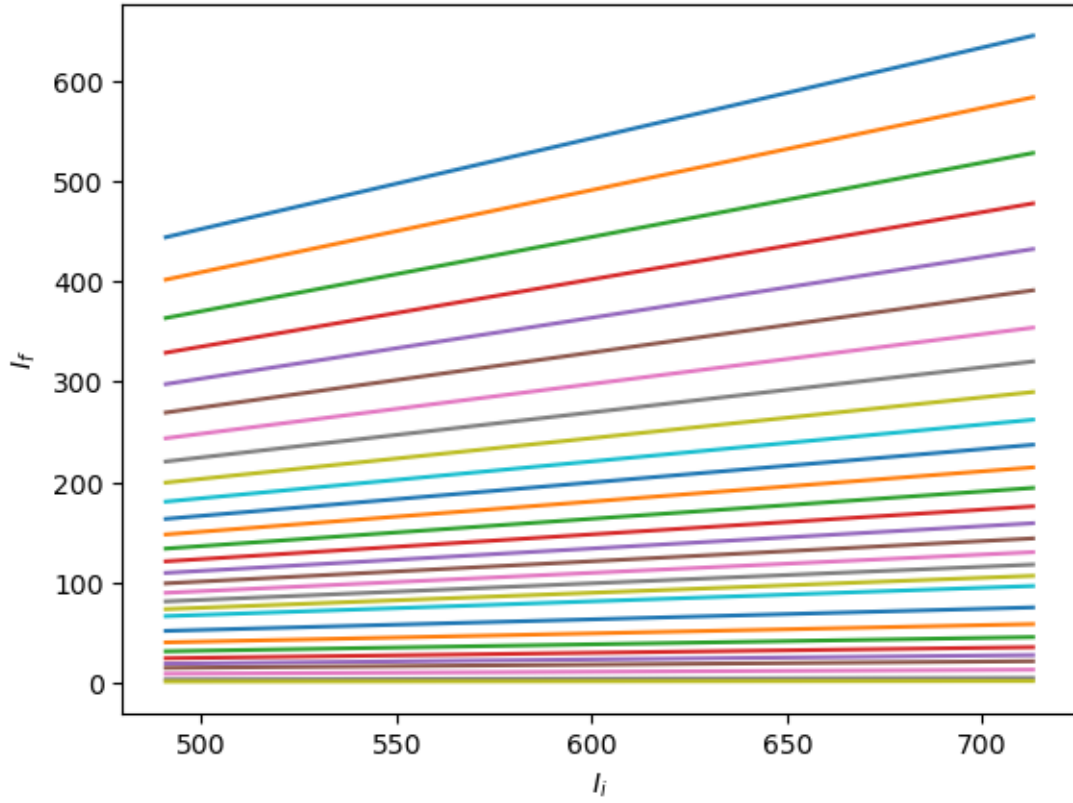
4	0.50
5	0.60
6	0.70
7	0.80
8	0.90
9	1.00
10	1.10
11	1.20
12	1.30
13	1.40
14	1.50
15	1.60
16	1.70
17	1.80
18	1.90
19	2.00
20	2.25
21	2.50
22	2.75
23	3.00
24	3.25
25	3.50
26	4.00
27	5.00
28	6.00

### 1.0.2 Ecuación:

$$I_f = I_i \exp(-\tau)$$

```
[27]: for i,tau in enumerate(tao['Profundidad óptica']):
      plt.plot(I_i['K'],I_i['K']*np.exp(-tau), label=tau)

plt.xlabel(r'$I_{i}$')
plt.ylabel(r'$I_{f}$')
plt.legend(loc='lower center',bbox_to_anchor=(0.5,-0.6),ncol=5)
plt.show()
```



# Germinación de *Chenopodium quinoa* bajo efectos de radiación UV solar simulada en la superficie de Marte.

May 9, 2024

**Evento :** Germinación de la semilla

**Survival:** El evento de interes no ocurre

**Survival duration:** Tiempo hasta que ocurra el evento de interés (o el final de nuestras observaciones)

96 horas (fin de observaciones-> NA)

```
[119]: import numpy as np
import pandas as pd
import seaborn as sns
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
[120]: # Read the Excel sheet
df = pd.read_excel('DATOS T1 Y T9_V3-2.xlsx', sheet_name='Germina',
                 usecols=['T1_180', 'T9_180', 'T1_250', 'T9_250', 'T1_395',
                        'T9_395', 'T1_410', 'T9_410'])#, parse_dates=['H'])

df.head()
```

```
[120]:   T1_180 T9_180 T1_250 T9_250 T1_395 T9_395 T1_410 T9_410
0    12 h   28 h   14 h   13 h   16 h   15 h   10 h   10 h
1    28 h   28 h   14 h   13 h   16 h   35 h   29 h   28 h
2    12 h   28 h    9 h   13 h   16 h   35 h   30 h   11 h
3    12 h   13 h    9 h   13 h   16 h   15 h   30 h   28 h
4    28 h   28 h    9 h   13 h   16 h   15 h   30 h   28 h
```

```
[121]: df.info()

<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 260 entries, 0 to 259
Data columns (total 8 columns):
#   Column      Non-Null Count  Dtype
---  -
0   T1_180      238 non-null   object
1   T9_180      255 non-null   object
2   T1_250      258 non-null   object
3   T9_250      259 non-null   object
```

```

4  T1_395  254 non-null  object
5  T9_395  257 non-null  object
6  T1_410  260 non-null  object
7  T9_410  260 non-null  object
dtypes: object(8)
memory usage: 16.4+ KB

```

```

[122]: # Remove 'h' from values while preserving non-string values
for col in df.columns:
    df[col] = df[col].apply(lambda x: x.replace(' h', '') if isinstance(x, str)
    ↪else x)

#df.tail(30)

```

```

[123]: df[['T1_180', 'T9_180', 'T1_250', 'T9_250', 'T1_395',
          'T9_395', 'T1_410', 'T9_410']] = df[['T1_180', 'T9_180', 'T1_250',
    ↪'T9_250', 'T1_395',
          'T9_395', 'T1_410', 'T9_410']].astype('float')

print(df.dtypes)
df.describe()

```

```

T1_180    float64
T9_180    float64
T1_250    float64
T9_250    float64
T1_395    float64
T9_395    float64
T1_410    float64
T9_410    float64
dtype: object

```

```

[123]:

```

	T1_180	T9_180	T1_250	T9_250	T1_395	T9_395	\
count	238.000000	255.000000	258.000000	259.000000	254.000000	257.000000	
mean	19.571429	16.925490	14.426357	13.822394	27.964567	18.097276	
std	11.669913	8.391875	10.354251	6.846555	11.865298	10.334743	
min	12.000000	13.000000	9.000000	9.000000	16.000000	15.000000	
25%	12.000000	13.000000	9.000000	13.000000	16.000000	15.000000	
50%	13.000000	13.000000	14.000000	13.000000	35.000000	15.000000	
75%	28.000000	13.000000	15.000000	13.000000	35.000000	16.000000	
max	81.000000	81.000000	82.000000	82.000000	58.000000	84.000000	

	T1_410	T9_410
count	260.000000	260.000000
mean	28.757692	23.196154
std	8.023550	8.151319
min	10.000000	10.000000
25%	29.000000	11.000000

```
50%    30.000000    28.000000
75%    30.000000    28.000000
max     37.000000    30.000000
```

```
[124]: # Melt the DataFrame to create 'Measurement' and 'Value' columns
melted_df = pd.melt(df, var_name="Measurement", value_name="Time")
```

```
[125]: # Extract the measurement type (T1 or T9) from the column name
melted_df["Material"] = melted_df["Measurement"].str.split("_").str[0]
melted_df["UV"] = melted_df["Measurement"].str.split("_").str[1]
```

```
[126]: melted_df.info()
```

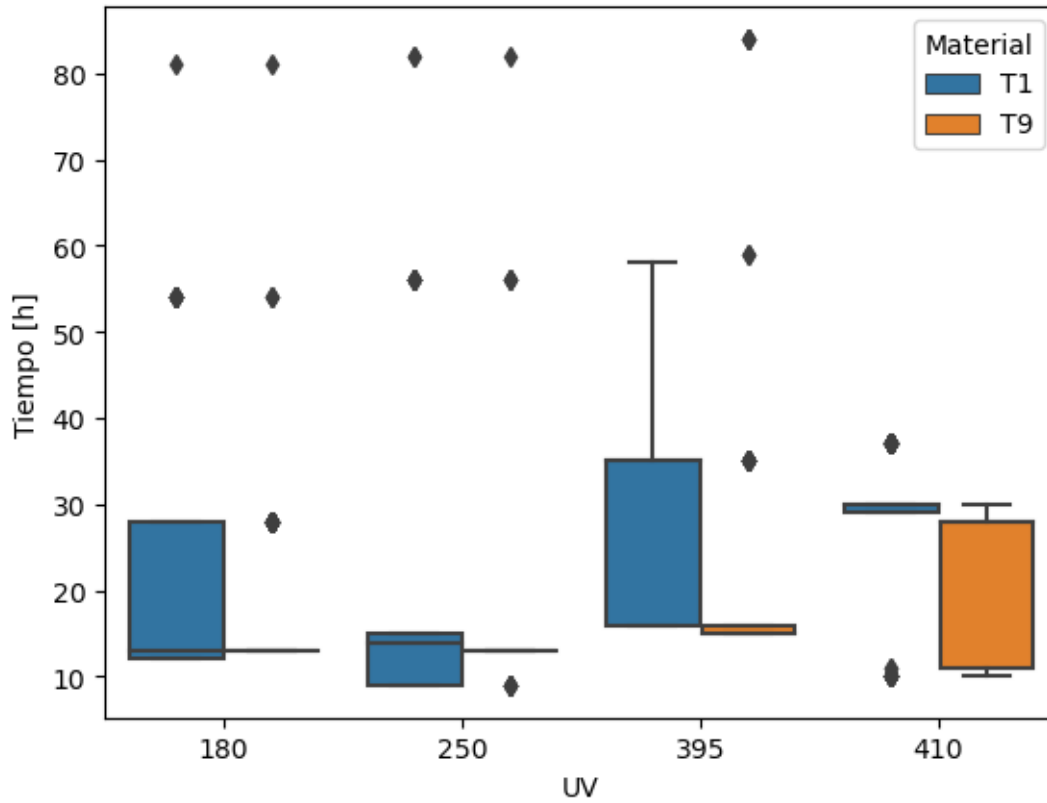
```
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 2080 entries, 0 to 2079
Data columns (total 4 columns):
#   Column          Non-Null Count  Dtype
---  -
0   Measurement     2080 non-null   object
1   Time            2041 non-null   float64
2   Material        2080 non-null   object
3   UV              2080 non-null   object
dtypes: float64(1), object(3)
memory usage: 65.1+ KB
```

```
[127]: melted_df['UV']=melted_df['UV'].astype('category')
melted_df['Time']=melted_df['Time'].astype('float')
```

## 1 EDA

```
[128]: sns.boxplot(data=melted_df, x="UV", y="Time", hue="Material")
plt.xlabel('UV')
plt.ylabel('Tiempo [h]')
#plt.title('Sales by Quarter')
```

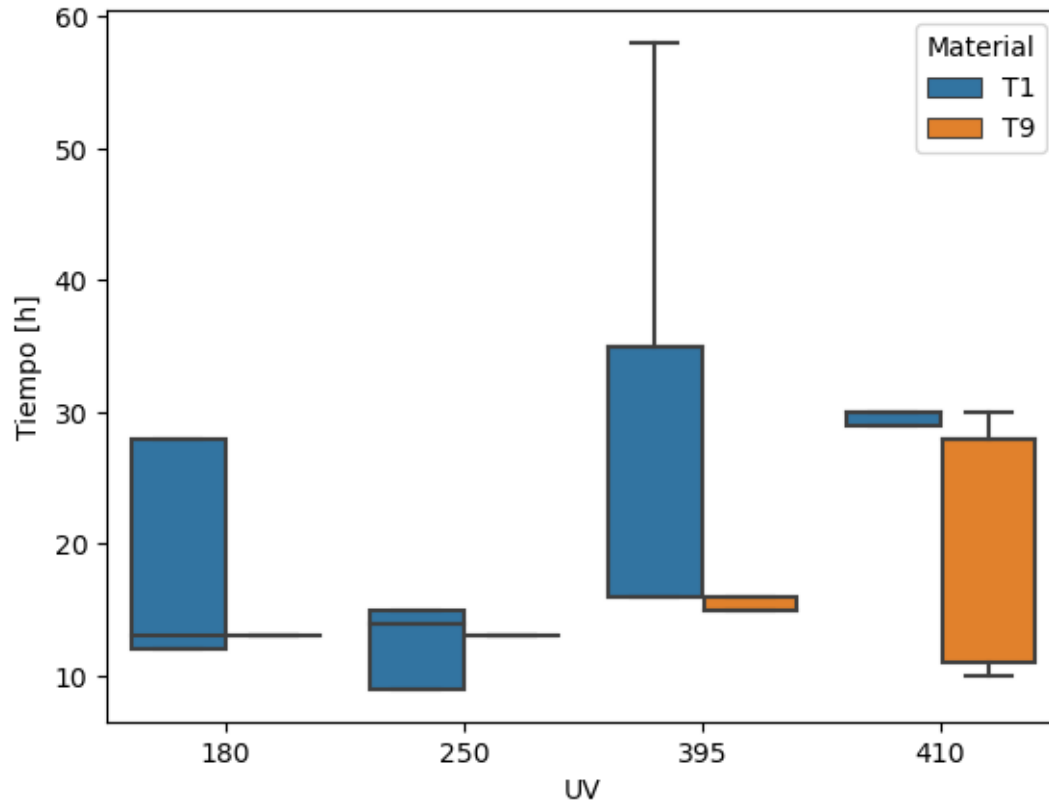
```
[128]: Text(0, 0.5, 'Tiempo [h]')
```



```
[129]: sns.boxplot(data=melted_df, x="UV", y="Time", hue="Material", showliers = False)
plt.xlabel('UV')
plt.ylabel('Tiempo [h]')
```

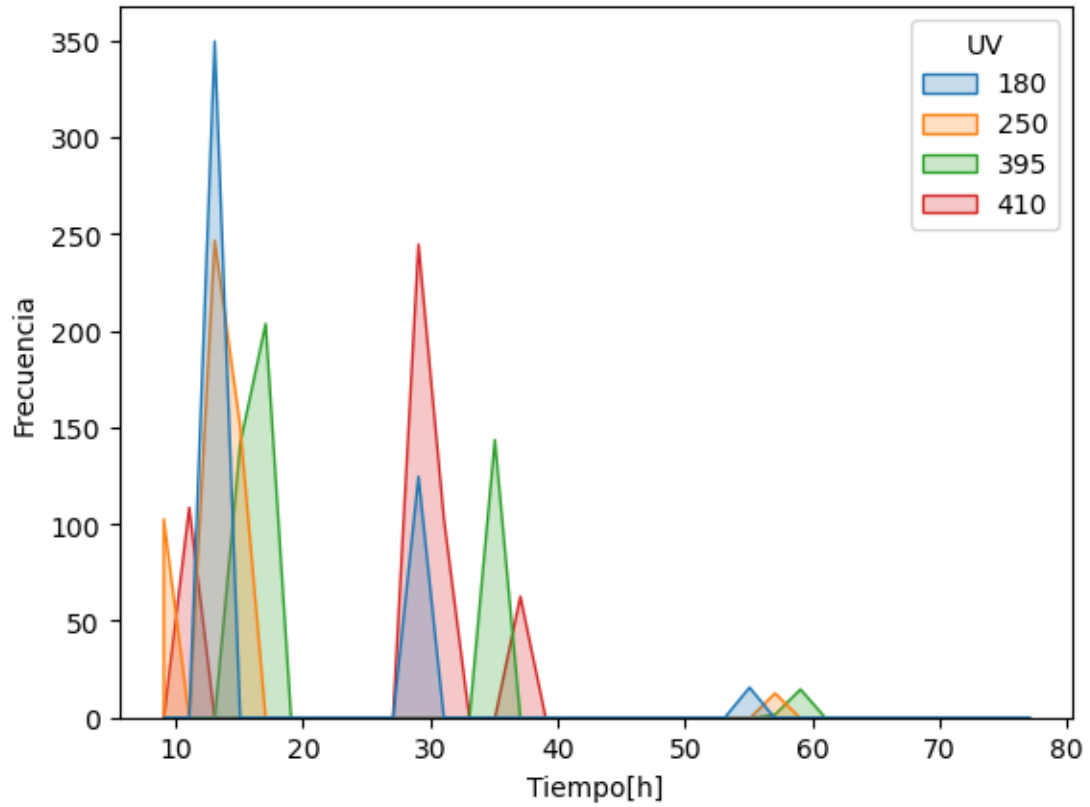
```
[129]: Text(0, 0.5, 'Tiempo [h]')
```





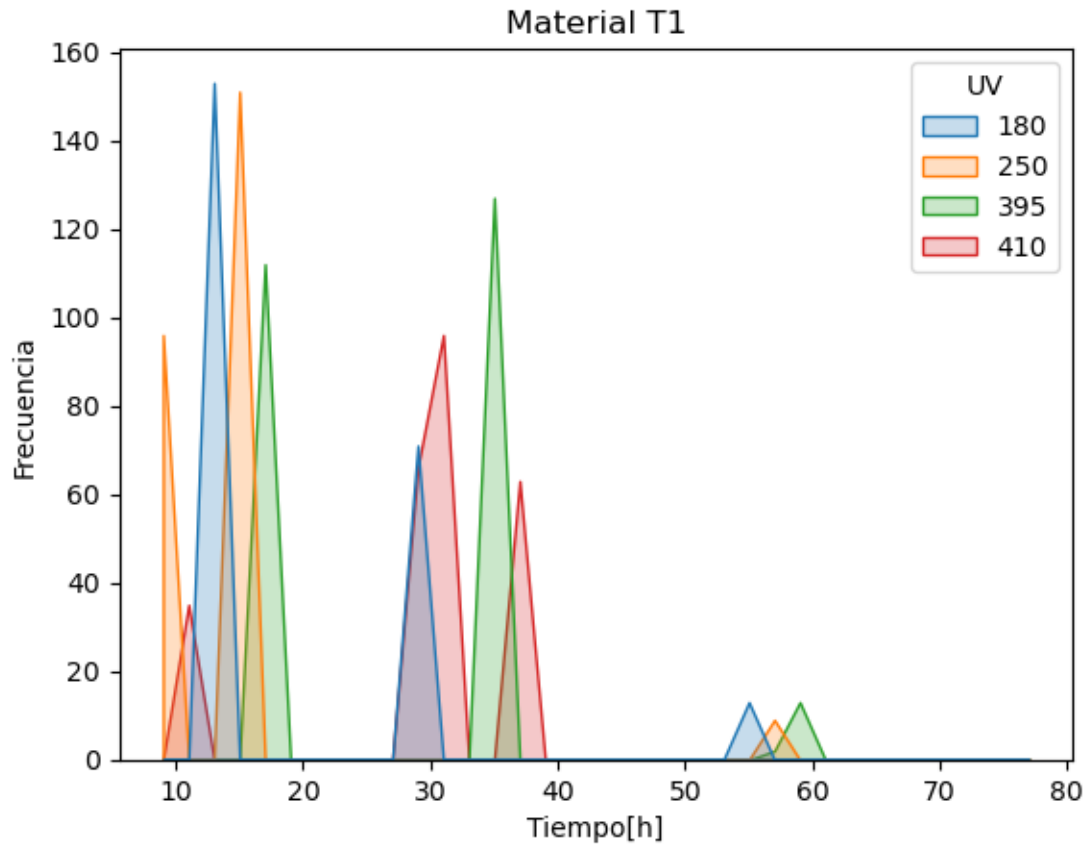
```
[130]: sns.histplot(data=melted_df, x="Time", hue="UV", element="poly",
    ↪ bins=range(8, 80, 2))
plt.xlabel('Tiempo[h]')
plt.ylabel('Frecuencia')
```

```
[130]: Text(0, 0.5, 'Frecuencia')
```



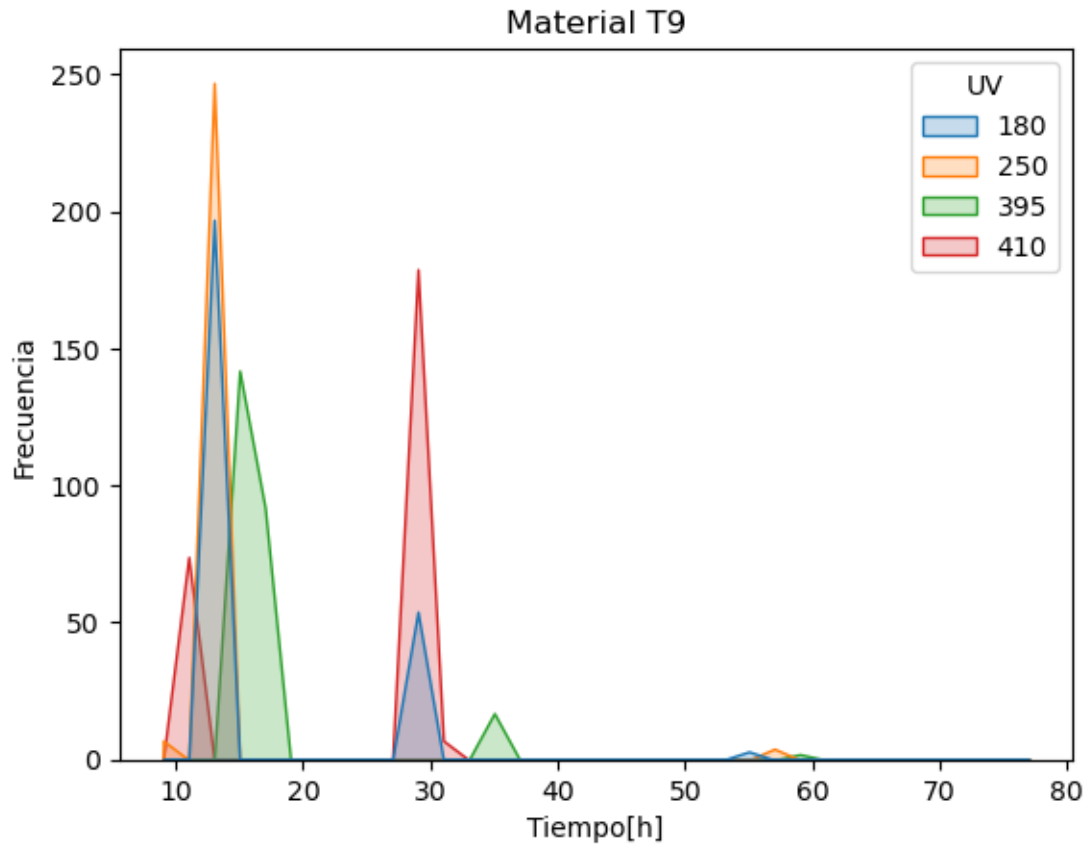
```
[131]: sns.histplot(data=melted_df[melted_df['Material']=='T1'],x="Time",
    ↪hue="UV",element="poly", bins=range(8,80,2))
plt.xlabel('Tiempo[h]')
plt.ylabel('Frecuencia')
plt.title('Material T1')
```

[131]: Text(0.5, 1.0, 'Material T1')



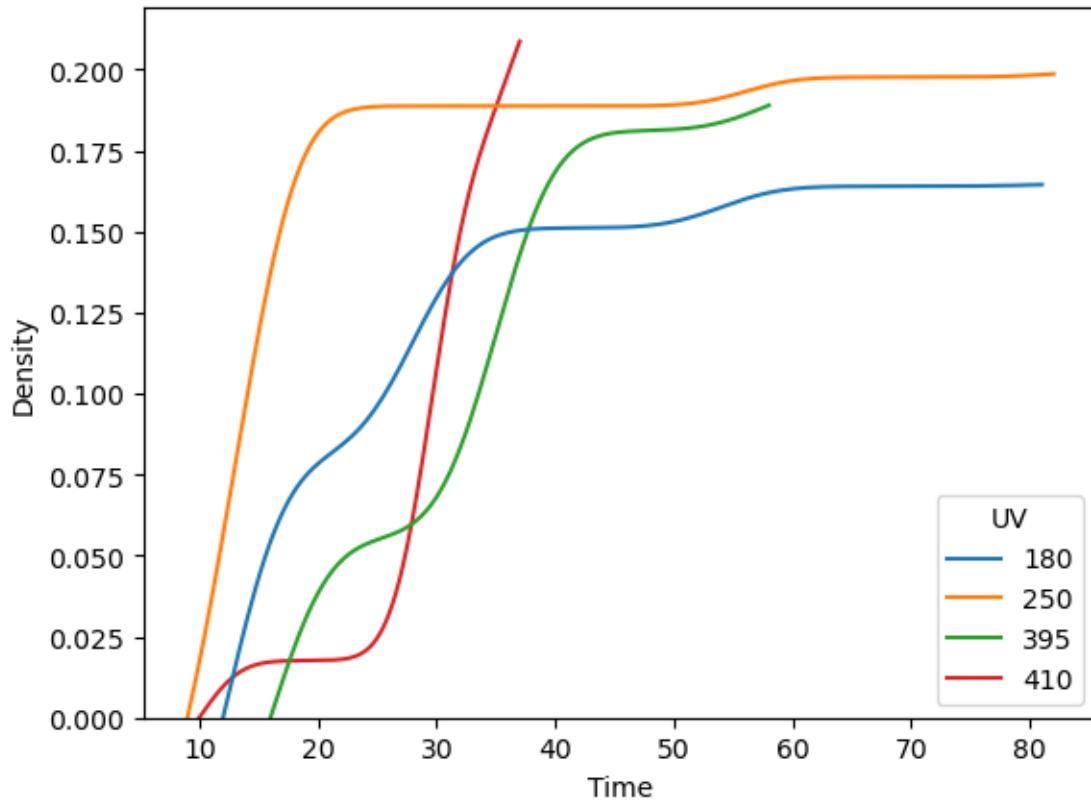
```
[132]: sns.histplot(data=melted_df[melted_df['Material']=='T9'],x="Time",
    ↪hue="UV",element="poly", bins=range(8,80,2))
plt.xlabel('Tiempo[h]')
plt.ylabel('Frecuencia')
plt.title('Material T9')
```

[132]: Text(0.5, 1.0, 'Material T9')



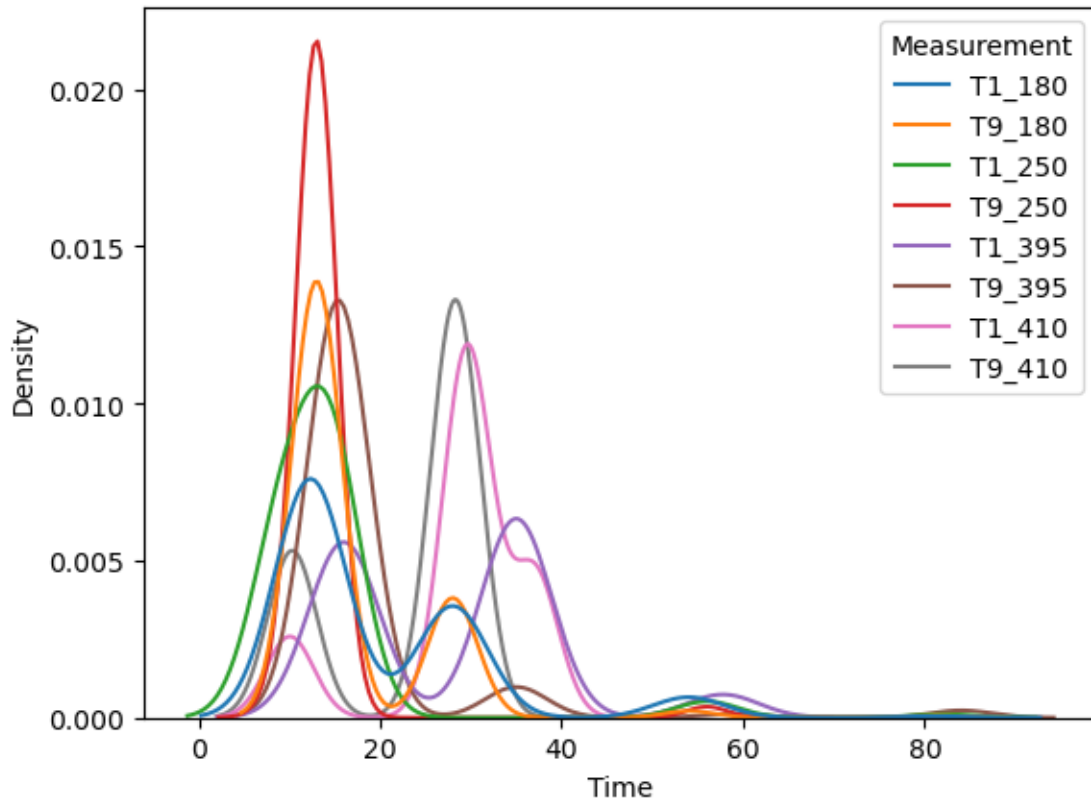
```
[133]: sns.kdeplot(data=melted_df[melted_df['Material']=='T1'], x='Time', hue='UV',
→cut=0, cumulative=True)
```

```
[133]: <Axes: xlabel='Time', ylabel='Density'>
```



```
[134]: sns.kdeplot(data=melted_df, x='Time', hue='Measurement')
```

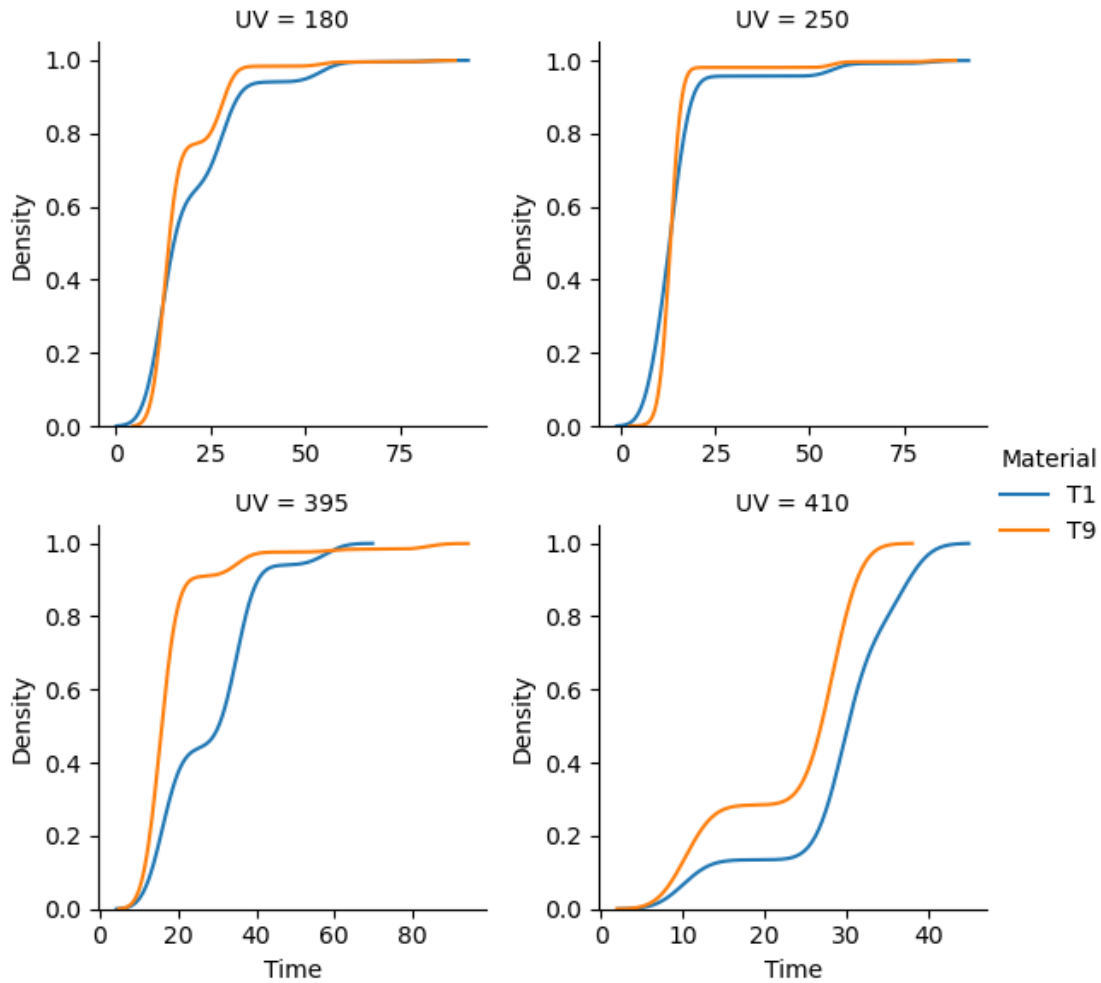
```
[134]: <Axes: xlabel='Time', ylabel='Density'>
```



```
[135]: g = sns.FacetGrid(melted_df, col="UV", col_wrap=2, hue="Material", sharex=False,
↳ sharey=False, margin_titles=True)
g.map(sns.kdeplot, "Time", cumulative=True)
g.add_legend()
```

```
/Users/Mila/anaconda3/lib/python3.11/site-packages/seaborn/axisgrid.py:118:
UserWarning: The figure layout has changed to tight
  self._figure.tight_layout(*args, **kwargs)
```

```
[135]: <seaborn.axisgrid.FacetGrid at 0x17be7cbd0>
```



```
sns.histplot( melted_df, x="Time", hue="UV", element="step", stat="density", common_norm=False, )
```

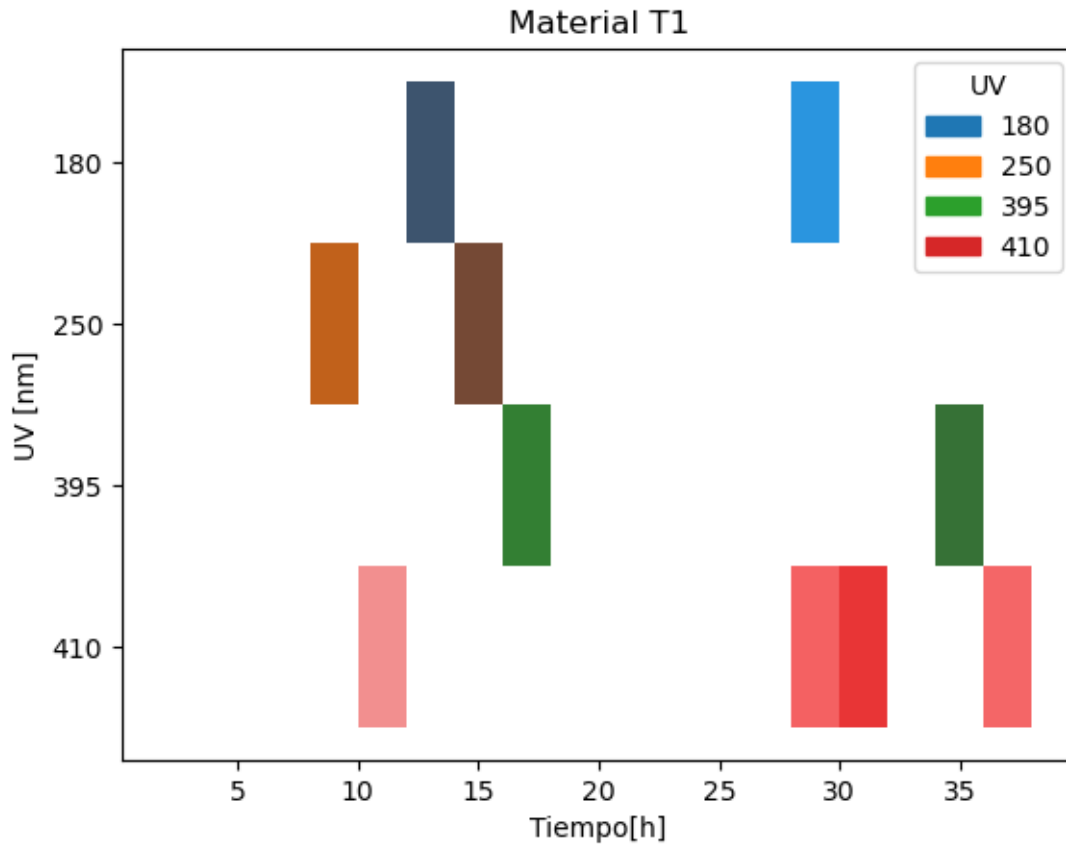
```
sns.histplot(data=melted_df, x="Time", y="UV", hue="UV", bins=range(2,40,2))
```

```
sns.histplot(data=melted_df, x="Time", y="UV", hue="Material", bins=range(2,40,2))
```

```
sns.histplot(data=melted_df, x="Time", y="Material", hue="UV", bins=range(2,40,2))
```

```
[136]: sns.histplot(data=melted_df[melted_df['Material']=='T1'], x="Time", y="UV",
    ↪ hue="UV", bins=range(2,40,2))
plt.xlabel('Tiempo[h]')
plt.ylabel('UV [nm]')
plt.title('Material T1')
```

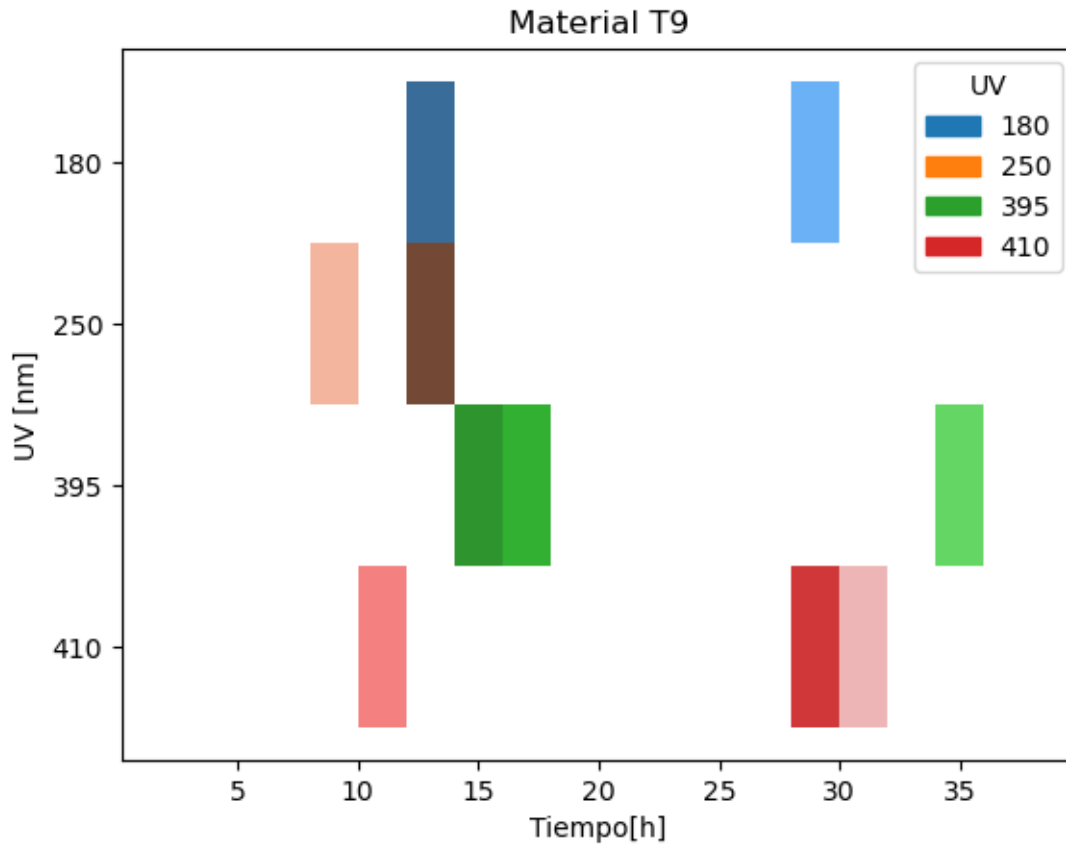
```
[136]: Text(0.5, 1.0, 'Material T1')
```



```
[137]: sns.histplot(data=melted_df[melted_df['Material']=='T9'], x="Time", y="UV",
    ↪ hue="UV", bins=range(2,40,2))
plt.xlabel('Tiempo[h]')
plt.ylabel('UV [nm]')
plt.title('Material T9')
```

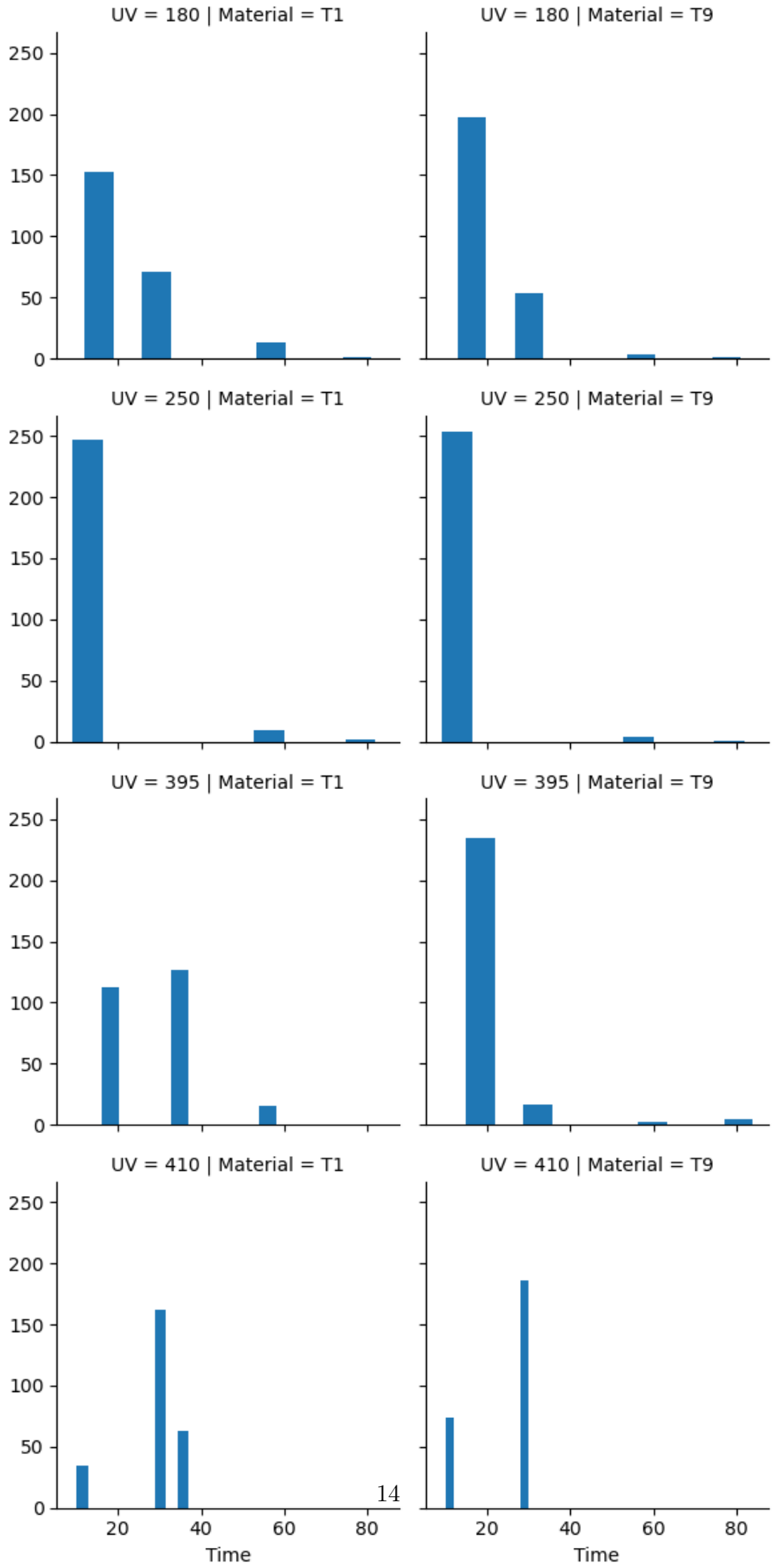
```
[137]: Text(0.5, 1.0, 'Material T9')
```





```
[138]: # Plot histograms grouped by 'Measurement_Type', using FacetGrid
g = sns.FacetGrid(melted_df, col="Material",row="UV")
g.map(plt.hist, "Time")
#g.set_titles(col_template="{col_name}")
plt.show()
```

/Users/Mila/anaconda3/lib/python3.11/site-packages/seaborn/axisgrid.py:118:  
 UserWarning: The figure layout has changed to tight  
 self.\_figure.tight\_layout(\*args, \*\*kwargs)



```
[139]: # Filter the rows based on the condition
rows_to_remove = melted_df[melted_df['Measurement'] == 'T1_180'].tail(20)

# Remove the filtered rows from the DataFrame
melted_df = melted_df.drop(rows_to_remove.index)

# Print the updated DataFrame
#print(melted_df)
```

```
[140]: melted_df.head()
```

```
[140]: Measurement Time Material UV
0      T1_180  12.0      T1  180
1      T1_180  28.0      T1  180
2      T1_180  12.0      T1  180
3      T1_180  12.0      T1  180
4      T1_180  28.0      T1  180
```

```
[141]: # Create a function to return 1 if observed 0 otherwise
def check_observed(row):
    if pd.isna(row['Time']):
        flag = 0
    else:
        flag = 1
    return flag
```

```
[142]: # Create a censorship flag column
melted_df['observed'] =melted_df.apply(check_observed, axis=1)

# Print average of observed: the proportion of censored data in the melted_df
print(np.average(melted_df['observed']))

# Count censored data
count = len(melted_df[melted_df['observed'] == 0])

# Print the count to console
print(count)
```

```
0.9907766990291262
19
```

```
[143]: 200/238
```

```
[143]: 0.8403361344537815
```

```
[144]: 100-melted_df.Time.isnull().groupby(melted_df['Measurement']).mean()*100
```

```
[144]: Measurement
      T1_180    99.166667
      T1_250    99.230769
      T1_395    97.692308
      T1_410   100.000000
      T9_180    98.076923
      T9_250    99.615385
      T9_395    98.846154
      T9_410   100.000000
      Name: Time, dtype: float64
```

```
[145]: melted_df.Time.isnull().groupby(melted_df['Measurement']).sum().astype(int)
```

```
[145]: Measurement
      T1_180    2
      T1_250    2
      T1_395    6
      T1_410    0
      T9_180    5
      T9_250    1
      T9_395    3
      T9_410    0
      Name: Time, dtype: int64
```

```
[146]: #print('Valor mínimo de germinación:')
      print(melted_df['Time'].min())
      #print('Valor máximo de germinación:')
      print(melted_df['Time'].max())
```

```
9.0
84.0
```

La última semilla que germino ocurrió a las 84 horas. Para todas las semillas que no germinaron vamos a asignarles el valor de 96 horas (el término right censored nos dice que el evento de interés, Germinación, no ha ocurrido dentro de nuestra ventana de observación.) como el fin de las observaciones. FILLNA

```
[147]: #melted_df.dropna(subset=['Time', 'observed'], inplace= True)

      melted_df.Time.fillna(96,inplace= True)

      melted_df.describe()
```

```
[147]:
```

	Time	observed
count	2060.000000	2060.000000
mean	21.049515	0.990777

std	13.114413	0.095617
min	9.000000	0.000000
25%	13.000000	1.000000
50%	15.000000	1.000000
75%	28.000000	1.000000
max	96.000000	1.000000

## 2 Non-Parametric

```
[148]: from lifelines import KaplanMeierFitter
       from lifelines.statistics import pairwise_logrank_test
```

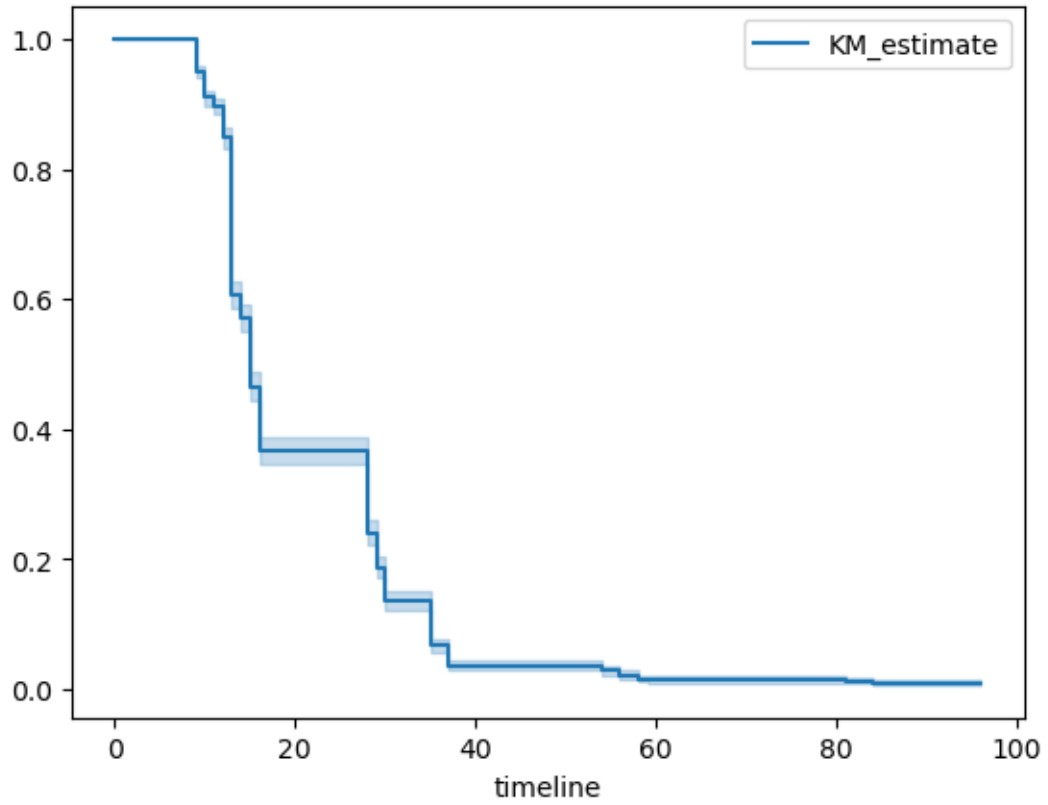
```
[149]: # Calculate Median Survival Time
       kmf = KaplanMeierFitter(alpha=0.05) # calculate a 95% confidence interval
       kmf.fit(melted_df['Time'], melted_df['observed'])

       median_ = kmf.median_survival_time_
       median_
```

```
[149]: 15.0
```

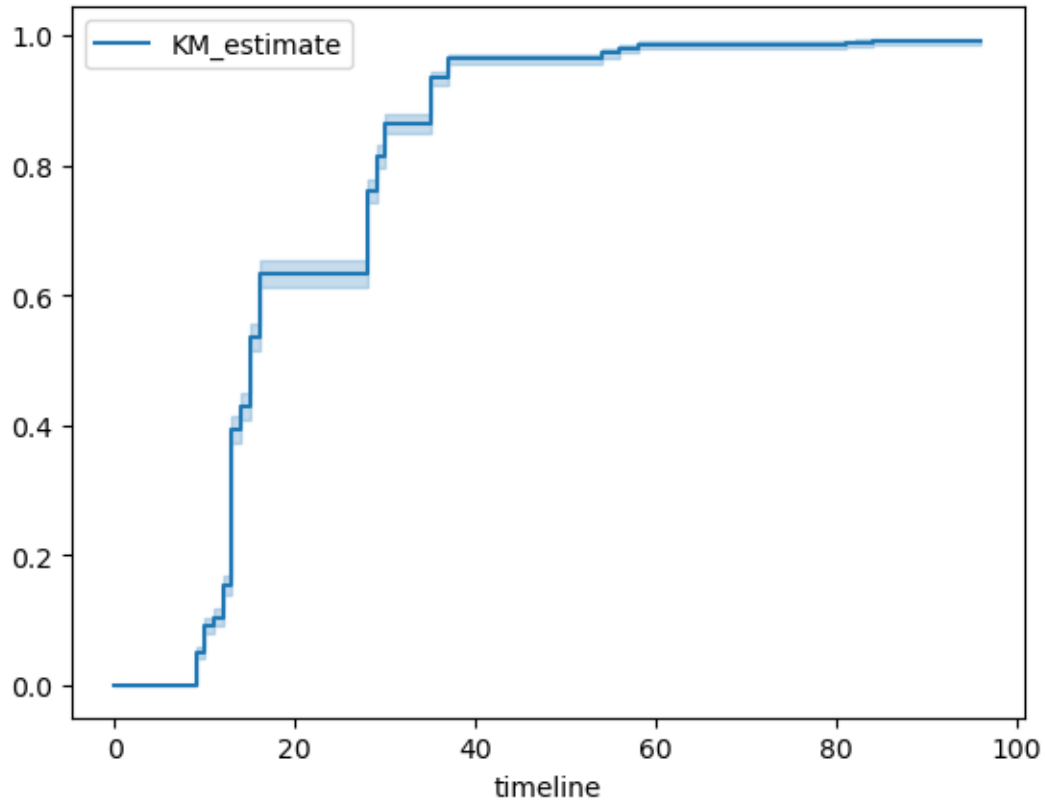
```
[150]: kmf.plot_survival_function()
```

```
[150]: <Axes: xlabel='timeline'>
```



```
[151]: kmf.plot_cumulative_density()
```

```
[151]: <Axes: xlabel='timeline'>
```



Porción de la población que sobrevive (no-germina) en un momento dado

```
[152]: kmf.predict([10, 15, 20, 25])
```

```
[152]: 10    0.909709
      15    0.465049
      20    0.366019
      25    0.366019
      Name: KM_estimate, dtype: float64
```

Porción de la población que No-sobrevive (germina) en un momento dado

```
[153]: print(1-kmf.predict(20))
```

```
0.6339805825242719
```

### 2.0.1 Examinar como varía la supervivencia

El patrón general de supervivencia cuenta una historia bastante convincente sobre la germinación de las semillas de quinoa, pero puede ser interesante examinar cómo este patrón varía según el material T1, T9 y el tratamiento UV al que fue sometido.

T1 :

T9 :

UV : 180 nm, 250 nm, 395 nm y 410 nm

Al centrarnos en los atributos de las semillas y los tratamientos, es posible que podamos identificar variables que nos digan algo sobre la probabilidad de no germinación de las semillas de quinoa.

```
[154]: def plot_survival(ax, label, time, observed):
        kmf = KaplanMeierFitter()
        kmf.fit(time, observed, label=label)
        kmf.plot_survival_function(ax=ax, label=label)

        def median_survival(label, time, observed):
            kmf = KaplanMeierFitter()
            kmf.fit(time, observed, label=label)
            print(label, kmf.median_survival_time_)

[155]: # Data for different measurements
mat = ['T1', 'T9']

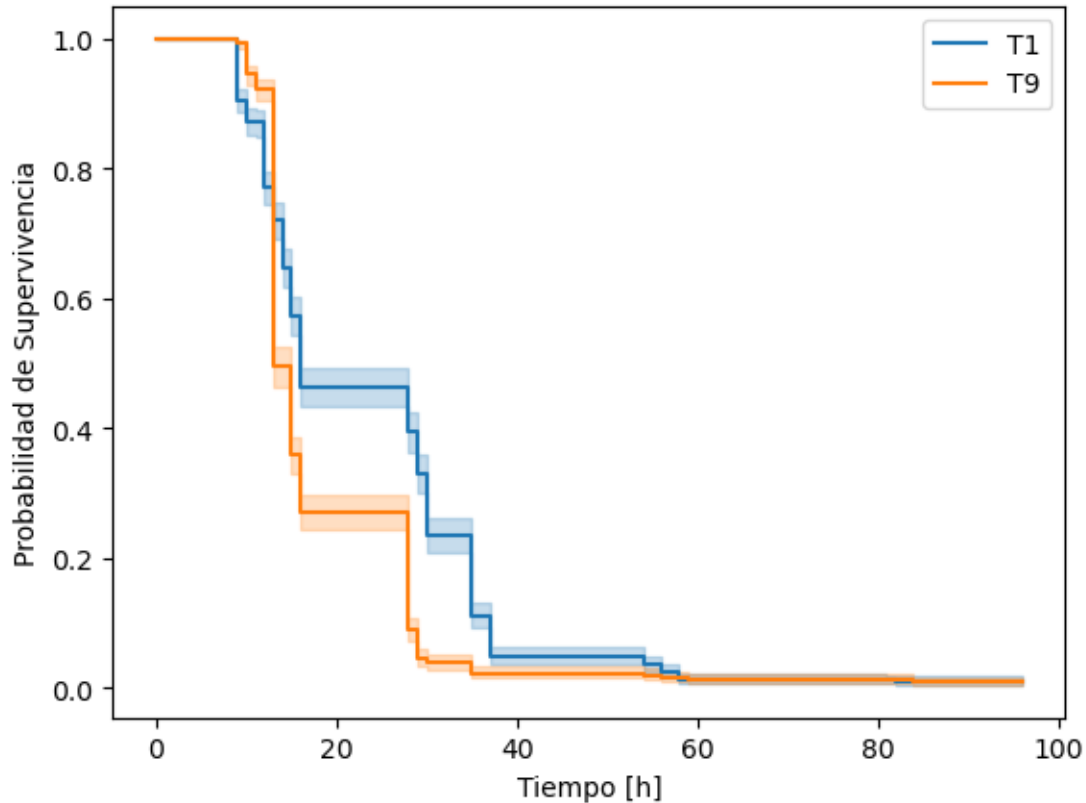
# Create a subplot
fig, ax = plt.subplots()

for ma in mat:
    time_data = melted_df[melted_df['Material'] == ma]['Time']
    observed_data = melted_df[melted_df['Material'] == ma]['observed']
    plot_survival(ax, ma, time_data, observed_data)

# Customize the plot
ax.set_xlabel('Tiempo [h]')
ax.set_ylabel('Probabilidad de Supervivencia')
#ax.set_title('Material T1')
ax.legend()

# Show the plot
plt.show()
```





Antes de intentar interpretar estas diferentes curvas, es importante que evaluemos si son estadísticamente diferentes entre sí. Comparando cada curva con las demás, podemos calcular la probabilidad de que estas curvas no difieran entre sí utilizando el **log-rank test**.

- NOTA: Al agregar un argumento para  $t_0$  a la siguiente llamada, puede calcular las mismas métricas para cada curva en un momento específico, en lugar de hacerlo en todos los momentos, como se muestra aquí

```
[156]: from lifelines.statistics import logrank_test
#results = logrank_test(durations_A=melted_df[melted_df['Material'] == 'T1']['Time'],
↳ durations_B=melted_df[melted_df['Material'] == 'T9']['Time'],
↳ event_observed_A=melted_df[melted_df['Material'] == 'T1']['observed'],
↳ event_observed_B=melted_df[melted_df['Material'] == 'T9']['observed'])
log_ = pairwise_logrank_test(melted_df['Time'], melted_df['Material'],
↳ melted_df['observed'])#, t_0=13)
log_.summary

#results.p_value
```

```
[156]:      test_statistic      p  -log2(p)
T1 T9      123.36587  1.159665e-28  92.800278
```

- Un p-value grande indica evidencia débil contra la hipótesis nula. (No se puede rechazar la hipótesis nula a un nivel de significancia de 0.05)
- Un p-value pequeño indica evidencia fuerte contra la hipótesis nula. (Rechazas la hipótesis nula a un nivel de significancia de 0.05.)

La hipótesis nula es que las semillas T1 y T9 tienen las mismas curvas de supervivencia. Dada esta hipótesis nula y el valor p que acabas de calcular, ¿qué puedes concluir? **Rechazas la hipótesis nula a un nivel de significancia de 0.05**

En general y específicamente en la hora 15, el tiempo medio de supervivencia identificado anteriormente, la mayoría de estas curvas son significativamente diferentes entre sí (como lo indica que casi todos los valores de p son  $<0,05$ ).

```
[157]: for ma in mat:
        time_data = melted_df[melted_df['Material'] == ma]['Time']
        observed_data = melted_df[melted_df['Material'] == ma]['observed']
        median_survival(ma, time_data, observed_data)
```

T1 16.0

T9 13.0

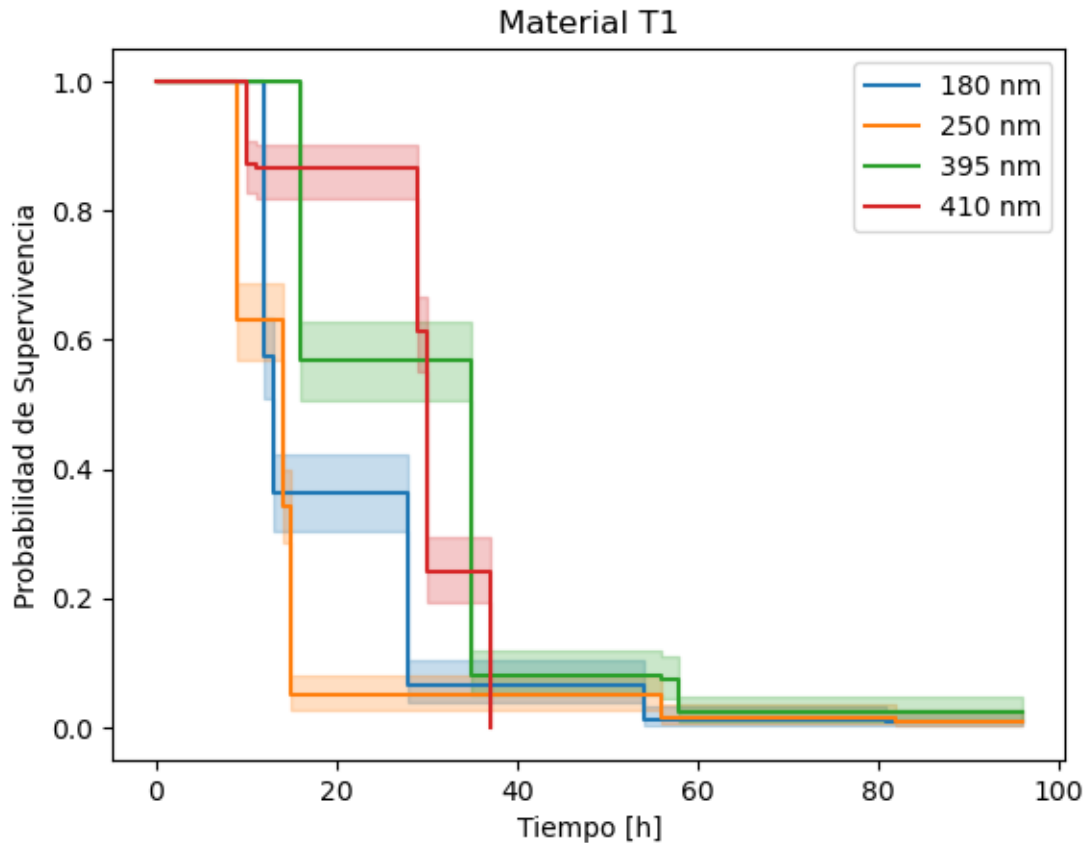
```
[158]: # Data for different measurements
measurements = ['T1_180', 'T1_250', 'T1_395', 'T1_410']
colors = ['180 nm', '250 nm', '395 nm', '410 nm']

# Create a subplot
fig, ax = plt.subplots()

for measurement, color in zip(measurements, colors):
    time_data = melted_df[melted_df['Measurement'] == measurement]['Time']
    observed_data = melted_df[melted_df['Measurement'] ==
    ↪measurement]['observed']
    plot_survival(ax, color, time_data, observed_data)

# Customize the plot
ax.set_xlabel('Tiempo [h]')
ax.set_ylabel('Probabilidad de Supervivencia')
ax.set_title('Material T1')
ax.legend()

# Show the plot
plt.show()
```



[ ]:

```
[159]: for measurement, color in zip(measurements, colors):
        time_data = melted_df[melted_df['Measurement'] == measurement]['Time']
        observed_data = melted_df[melted_df['Measurement'] ==
        ↪measurement]['observed']
        median_survival(color, time_data, observed_data)
```

```
180 nm 13.0
250 nm 14.0
395 nm 35.0
410 nm 30.0
```

```
[160]: # Data for different measurements
measurements = ['T9_180', 'T9_250', 'T9_395', 'T9_410']
colors = ['180 nm', '250 nm', '395 nm', '410 nm']

# Create a subplot
fig, ax = plt.subplots()
```

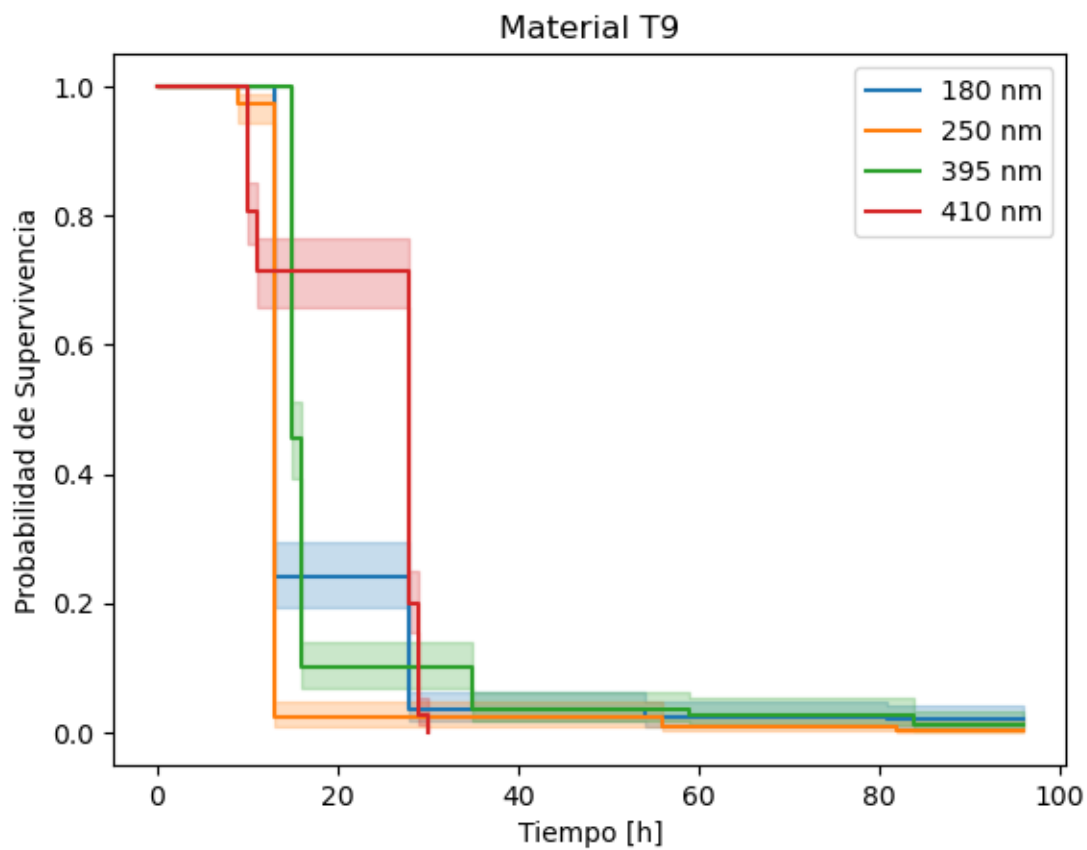
```

for measurement, color in zip(measurements, colors):
    time_data = melted_df[melted_df['Measurement'] == measurement]['Time']
    observed_data = melted_df[melted_df['Measurement'] ==
    ↪measurement]['observed']
    plot_survival(ax, color, time_data, observed_data)

# Customize the plot
ax.set_xlabel('Tiempo [h]')
ax.set_ylabel('Probabilidad de Supervivencia')
ax.set_title('Material T9')
ax.legend()

# Show the plot
plt.show()

```



```

[161]: for measurement, color in zip(measurements, colors):
        time_data = melted_df[melted_df['Measurement'] == measurement]['Time']
        observed_data = melted_df[melted_df['Measurement'] ==
        ↪measurement]['observed']

```

```
median_survival(color, time_data, observed_data)
```

```
180 nm 13.0  
250 nm 13.0  
395 nm 15.0  
410 nm 28.0
```

- Use the **log-rank test** to determine if survival curves are statistically equivalent
- The log-rank test is a chi-square test that is used to test the **null hypothesis** that two or more survival curves are statistically equivalent

```
[162]: # Run log-rank test to compare seeds with different treatments  
log_rank = pairwise_logrank_test(melted_df['Time'], melted_df['Measurement'],  
↳melted_df['observed'])#, t_0=184)  
log_rank.summary
```

```
[162]:
```

		test_statistic	p	-log2(p)
T1_180	T1_250	9.703162	1.839512e-03	9.086461
	T1_395	150.462909	1.373346e-34	112.487860
	T1_410	137.157343	1.113990e-31	102.824035
	T9_180	7.970547	4.754457e-03	7.716504
	T9_250	0.054454	8.154868e-01	0.294266
	T9_395	9.566677	1.981411e-03	8.979256
	T9_410	12.037968	5.212776e-04	10.905660
T1_250	T1_395	358.483359	6.023238e-80	263.163708
	T1_410	200.959817	1.289379e-45	149.120087
	T9_180	4.038386	4.447633e-02	4.490818
	T9_250	41.957216	9.329249e-11	33.319448
	T9_395	185.934596	2.453411e-42	138.226191
	T9_410	110.796263	6.557521e-26	83.656980
T1_395	T1_410	3.471292	6.244252e-02	4.001328
	T9_180	208.035566	3.685182e-47	154.248885
	T9_250	405.434042	3.614363e-90	297.119787
	T9_395	163.823966	1.652789e-37	122.186437
	T9_410	128.603285	8.282317e-30	96.607808
T1_410	T9_180	203.258460	4.062477e-46	150.786333
	T9_250	196.622993	1.139728e-44	145.976147
	T9_395	137.093983	1.150108e-31	102.778001
	T9_410	249.948540	2.664762e-56	184.613967
T9_180	T9_250	40.763253	1.718341e-10	32.438265
	T9_395	40.107151	2.404074e-10	31.953800
	T9_410	28.687705	8.504194e-08	23.487250
T9_250	T9_395	369.535961	2.361729e-82	271.158260
	T9_410	70.564286	4.455097e-17	54.317321
T9_395	T9_410	24.439667	7.667362e-07	20.314766

Esto nos dice que las diferentes representaciones en el cuadro anterior son significativas. Es muy interesante que algunos tratamientos en la semillas tienen tasas de germinación muy diferentes.

Aquí está la comparación pairwise, limitada a aquellas **curvas que no difieren lo suficiente entre sí** como para ser consideradas estadísticamente diferentes.

```
[163]: # Probability Curves are the same
summary = log_rank.summary
summary[summary['p']>=0.05]
```

```
[163]:          test_statistic      p  -log2(p)
T1_180 T9_250      0.054454  0.815487  0.294266
T1_395 T1_410      3.471292  0.062443  4.001328
```

A partir de los resultados del Log Rank test, parecería que las semillas con estos tratamientos T1\_180 y T9\_250, T1\_250 y T9\_180 no están diferenciados estadísticamente (al igual que T1\_395 y T1\_410)

### 3 Parametric

Model time-to-event data with parametric models. Select the best survival model for your data.

#### 3.0.1 The Weibull distribution

A continuous probability distribution that models time-to-event data very well ( but originally applied to model particle size distribution)

$$f(x; \lambda, k) = \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-(x/\lambda)^k}$$

$$x \geq 0, k > 0, \lambda > 0$$

- k (or

$$\rho$$

): Determines the shape

- 

$$\lambda$$

: Determines the scale (indicates when 63.2% of the population has experienced the event)

Survival function

$$S(t) = e^{-(t/\lambda)^\rho}$$

- When

$$k < 1$$

, germinación/event rate decreases over time

- When

$$k = 1$$

, germinación/event rate is constant over time

- When

$$k > 1$$

, germinación/event rate increases over time

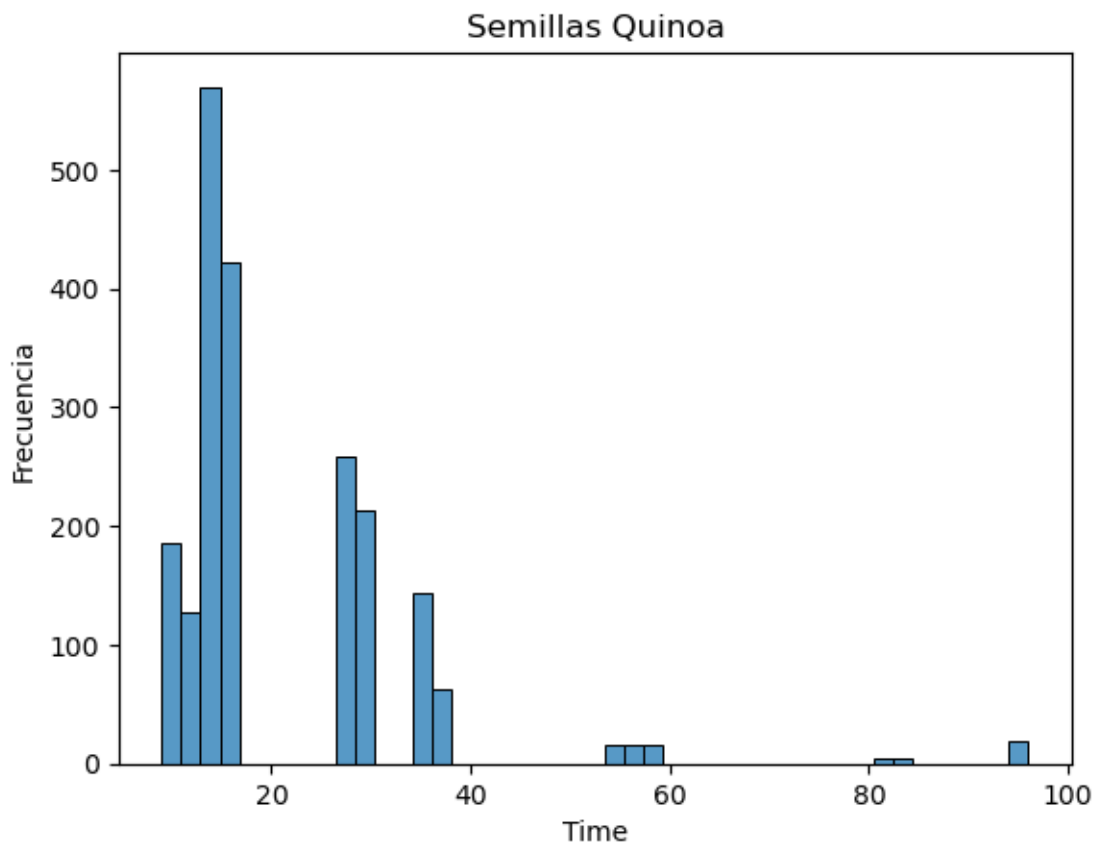
```
[164]: # Histograma de germinación de semillas
```

```
melted_df.head()
```

```
[164]: Measurement Time Material UV observed
0      T1_180  12.0         T1  180         1
1      T1_180  28.0         T1  180         1
2      T1_180  12.0         T1  180         1
3      T1_180  12.0         T1  180         1
4      T1_180  28.0         T1  180         1
```

```
[165]: sns.histplot(data= melted_df, x='Time', bins=int(np.sqrt(len(melted_df))))
      ↪#binwidth=1)
plt.xlabel('Time')
plt.ylabel('Frecuencia')
plt.title('Semillas Quinoa')
```

```
[165]: Text(0.5, 1.0, 'Semillas Quinoa')
```

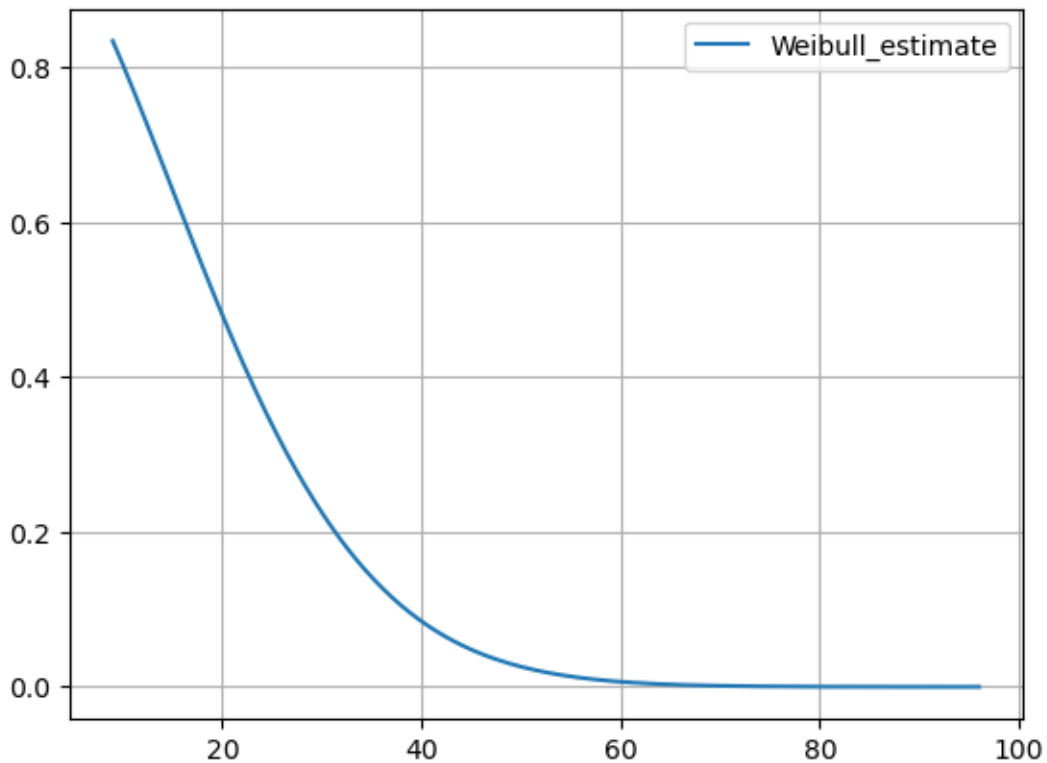


```
[166]: from lifelines import WeibullFitter
```

```
[167]: wb = WeibullFitter()  
wb.fit(melted_df['Time'], melted_df['observed'])
```

```
[167]: <lifelines.WeibullFitter:"Weibull_estimate", fitted with 2060 total  
observations, 19 right-censored observations>
```

```
[168]: # Access .survival_function_, .lambda_, .rho_, .summary, .predict()  
wb.survival_function_.plot()  
plt.grid()
```



```
[169]: # Event increases as time goes on  
print(wb.lambda_, wb.rho_)
```

```
23.88689111462736 1.7517294507735066
```

```
[170]: print(wb.predict(15))
```

```
0.642351352451179
```



```

[171]: def plot_weibull(ax, label, time, observed):
        wb = WeibullFitter()
        wb.fit(time, observed, label=label)
        wb.plot_survival_function(ax=ax, label=label)

        # Data for different measurements
        measurements = ['T1_180', 'T1_250', 'T1_395', 'T1_410']
        colors = ['180 nm', '250 nm', '395 nm', '410 nm']

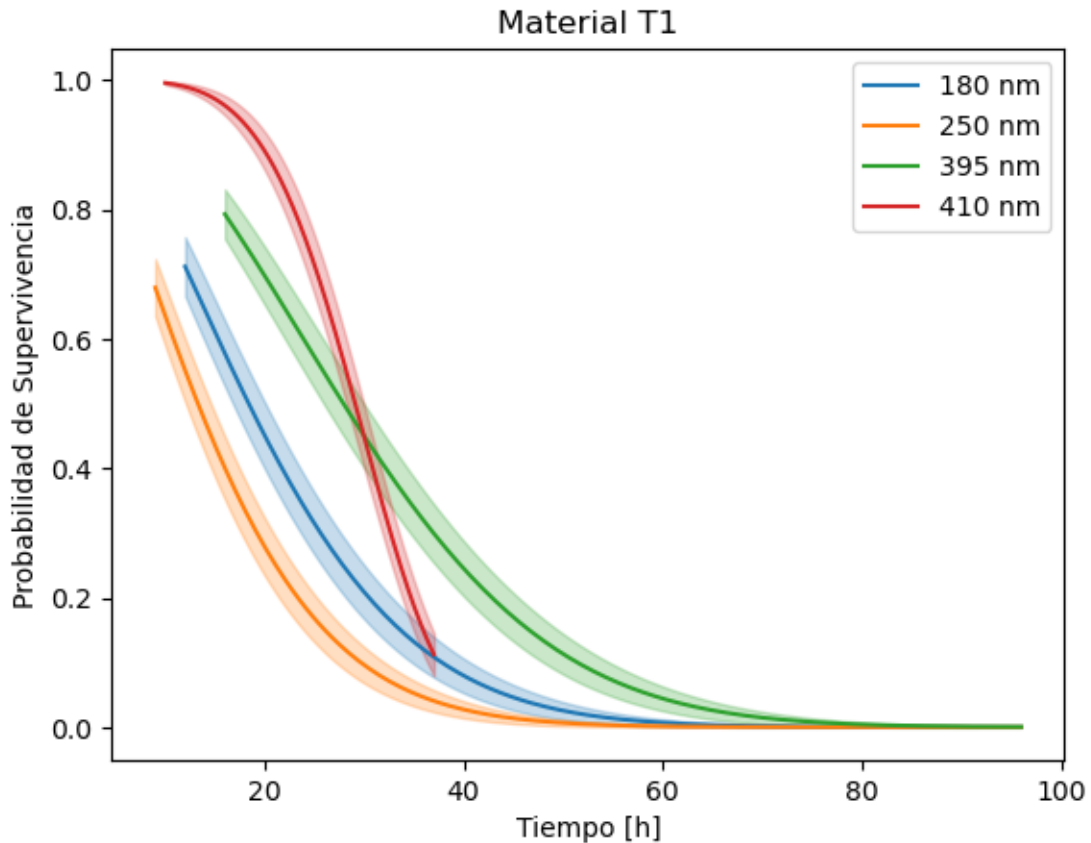
        # Create a subplot
        fig, ax = plt.subplots()

        for measurement, color in zip(measurements, colors):
            time_data = melted_df[melted_df['Measurement'] == measurement]['Time']
            observed_data = melted_df[melted_df['Measurement'] ==
            ↪measurement]['observed']
            plot_weibull(ax, color, time_data, observed_data)

        # Customize the plot
        ax.set_xlabel('Tiempo [h]')
        ax.set_ylabel('Probabilidad de Supervivencia')
        ax.set_title('Material T1')
        ax.legend()

        # Show the plot
        plt.show()

```



```
[172]: def weibull_lr(label, time, observed):
        wb = WeibullFitter()
        wb.fit(time, observed, label=label)
        print(label,wb.lambda_, wb.rho_)
```

```
[173]: for measurement, color in zip(measurements, colors):
        time_data = melted_df[melted_df['Measurement'] == measurement]['Time']
        observed_data = melted_df[melted_df['Measurement'] ==
        ↪measurement]['observed']
        weibull_lr(color, time_data, observed_data)
```

```
180 nm 22.916620770454397 1.6681841255570593
250 nm 16.9793341437924 1.4967863751857562
395 nm 33.628373570595 1.9663027181096342
410 nm 31.41080860885849 4.773741410656731
```

```
[174]: # Data for different measurements
measurements = ['T9_180', 'T9_250', 'T9_395', 'T9_410']
colors = ['180 nm', '250 nm', '395 nm', '410 nm']
```

```

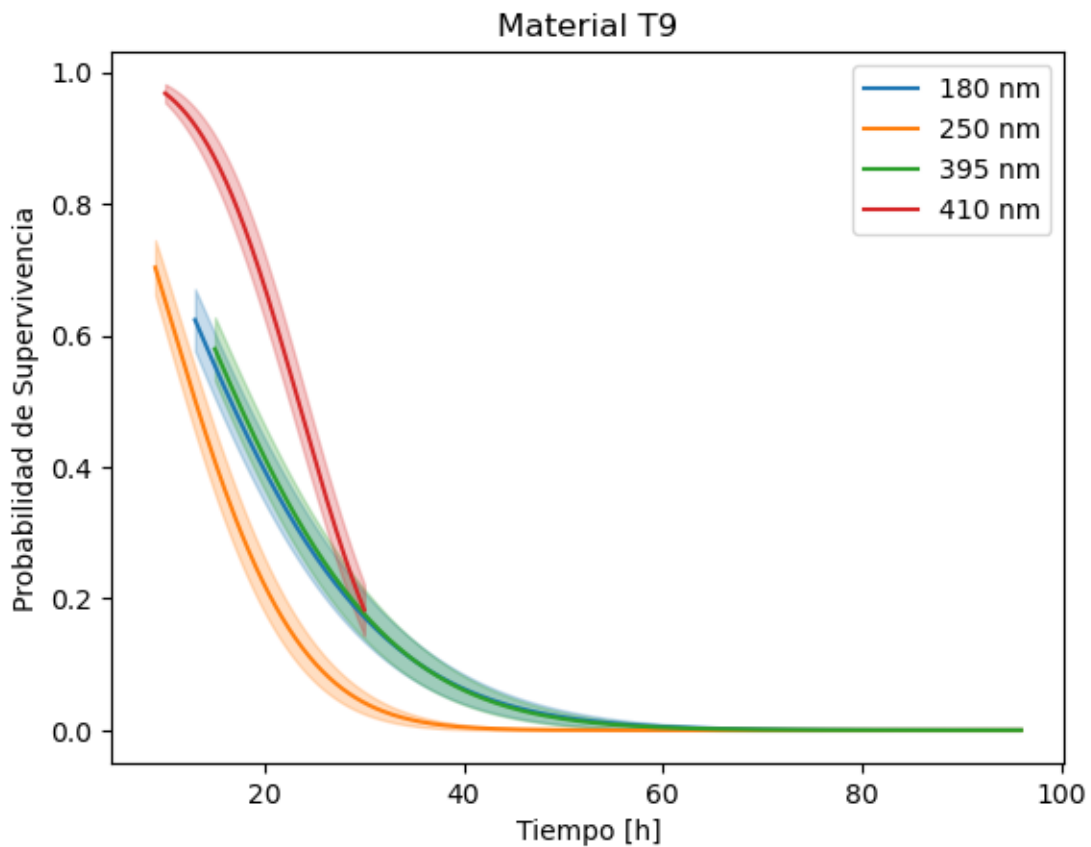
# Create a subplot
fig, ax = plt.subplots()

for measurement, color in zip(measurements, colors):
    time_data = melted_df[melted_df['Measurement'] == measurement]['Time']
    observed_data = melted_df[melted_df['Measurement'] ==
    ↪measurement]['observed']
    plot_weibull(ax, color, time_data, observed_data)

# Customize the plot
ax.set_xlabel('Tiempo [h]')
ax.set_ylabel('Probabilidad de Supervivencia')
ax.set_title('Material T9')
ax.legend()

# Show the plot
plt.show()

```



```
[175]: for measurement, color in zip(measurements, colors):
        time_data = melted_df[melted_df['Measurement'] == measurement]['Time']
        observed_data = melted_df[melted_df['Measurement'] ==
        ↪measurement]['observed']
        weibull_lr(color, time_data, observed_data)
```

```
180 nm 20.938228413468643 1.5735776373148826
250 nm 15.934397693341255 1.8263470643805169
395 nm 21.56661218355623 1.6669923302399037
410 nm 25.886891873123965 3.5951479122346903
```

## 4 The Accelerated Failure Time (AFT) model

Population A:

$$S_A(t)$$

Population B:

$$S_B(t)$$

$$S_A(t) = S_B(t * \lambda)$$

•

$$S_B(t)$$

is speeding up (accelerating) or slowing down (decelerating) along

$$S_A(t)$$

by a factor of

$$\lambda$$

```
[176]: from lifelines import WeibullAFTFitter
```

```
[177]: melted_df[['Measurement', 'Material']] = melted_df[['Measurement', 'Material']].
        ↪astype('category')
```

```
[178]: melted_df['Mat_dummy'] = melted_df.Material.cat.codes
        melted_df['Measu_dummy'] = melted_df.Measurement.cat.codes
        melted_df['UV_dummy'] = melted_df.UV.cat.codes
        #.dtypes#
```

```
[179]: #melted_aft=melted_df[['Time', 'observed', 'Mat_dummy', 'Measu_dummy',
        ↪'UV_dummy']].copy()

        melted_aft=melted_df[['Time', 'observed', 'Measu_dummy']].copy()
```

```
[180]: aft = WeibullAFTFitter()
```

```
[181]: aft.fit(df=melted_aft, duration_col='Time', event_col='observed')
```

[181]: <lifelines.WeibullAFTFitter: fitted with 2060 total observations, 19 right-censored observations>

```
[182]: print(aft.summary)
```

param	covariate	coef	exp(coef)	se(coef)	coef lower 95%	\
lambda_	Measu_dummy	-0.019882	0.980315	0.005685	-0.031025	
	Intercept	3.243571	25.625069	0.024314	3.195916	
rho_	Intercept	0.565984	1.761180	0.015149	0.536293	

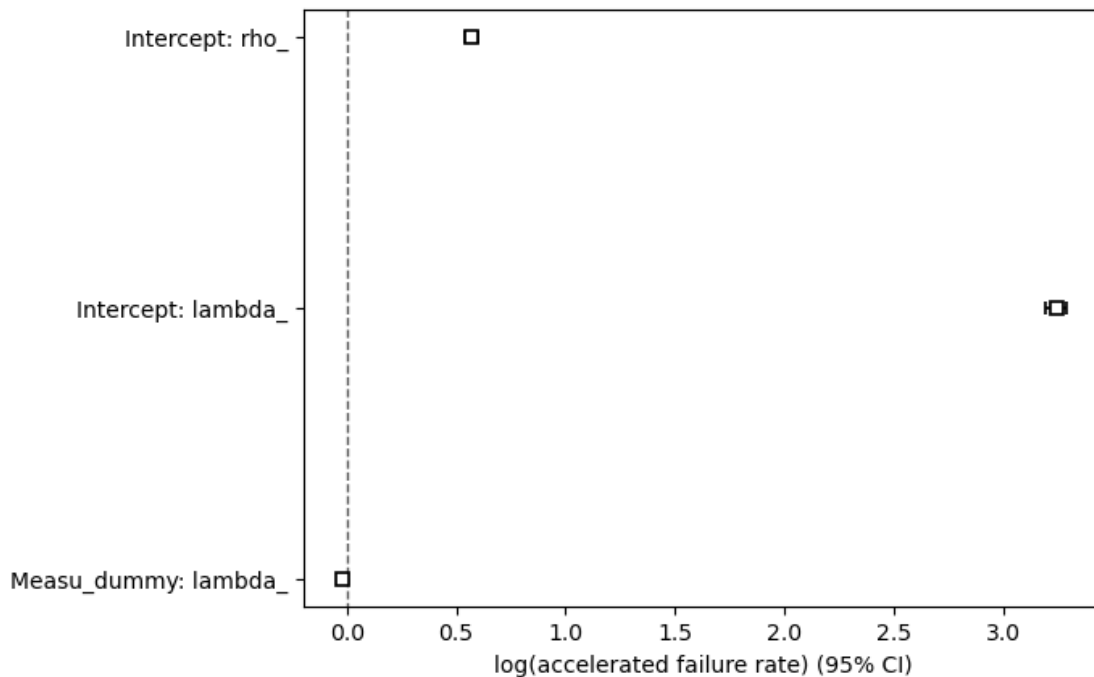
param	covariate	coef upper 95%	exp(coef) lower 95%	exp(coef) upper 95%	\
lambda_	Measu_dummy	-0.008739	0.969452	0.991299	
	Intercept	3.291226	24.432546	26.875799	
rho_	Intercept	0.595675	1.709657	1.814255	

param	covariate	cmp to	z	p	-log2(p)
lambda_	Measu_dummy	0.0	-3.497045	4.704420e-04	11.053696
	Intercept	0.0	133.402053	0.000000e+00	inf
rho_	Intercept	0.0	37.361379	1.656962e-305	1012.459529

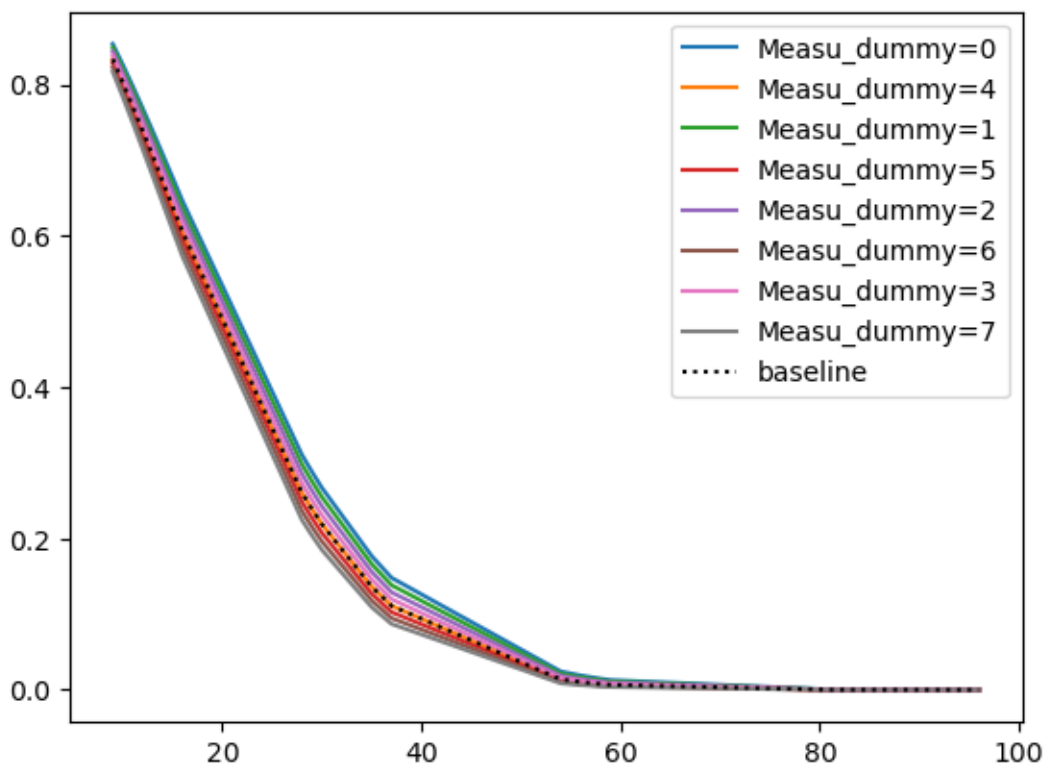
```
[183]: aft.plot()
```

[183]: <Axes: xlabel='log(accelerated failure rate) (95% CI)'\>



```
[184]: #aft.plot_partial_effects_on_outcome(covariates='Mat_dummy', values=[0, 1])
#aft.plot_partial_effects_on_outcome(covariates='UV_dummy', values=[0, 1, 2, 3])
aft.plot_partial_effects_on_outcome(covariates='Measu_dummy', values=[0, 4, 1, 5, 2, 6, 3, 7])
```

[184]: <Axes: >



```
[185]: melted_aft.Measu_dummy.unique()
```

[185]: array([0, 4, 1, 5, 2, 6, 3, 7], dtype=int8)

#### 4.1 Other distributios and model selection

Many parametric models are commonly used for survival analysis, including the **Weibull model**, the **exponential model**, the **gamma model**, the **log normal model**, and the **log logistic model**.

The **Akaike Information Criterion**, or **AIC metric**, is an estimator of prediction error and the quality of a model. It estimates the amount of information loss by any model and penalizes models with many parameters. Given a set of models, we could **compare their AIC values**. The model with the **lowest AIC value** is the preferred model.

```
[186]: from lifelines.utils import find_best_parametric_model

best_model, best_aic_ = find_best_parametric_model(event_times=melted_df['Time'],
                                                    ↵
                                                    ↪event_observed=melted_df['observed'],
                                                    scoring_method="AIC")

print(best_model)

#best_model.plot_hazard()
```

```
<lifelines.SplineFitter:"SplineFitter: 3 internal knot", fitted with 2060 total
observations, 19 right-censored observations>
```

```
[187]: def bestmodel(ax,label, time, observed):
        best_model, best_aic_ = find_best_parametric_model(event_times=time,
                                                            event_observed=observed,
                                                            scoring_method="BIC")

        best_model.plot_survival_function(ax=ax)
        print(label,best_model)

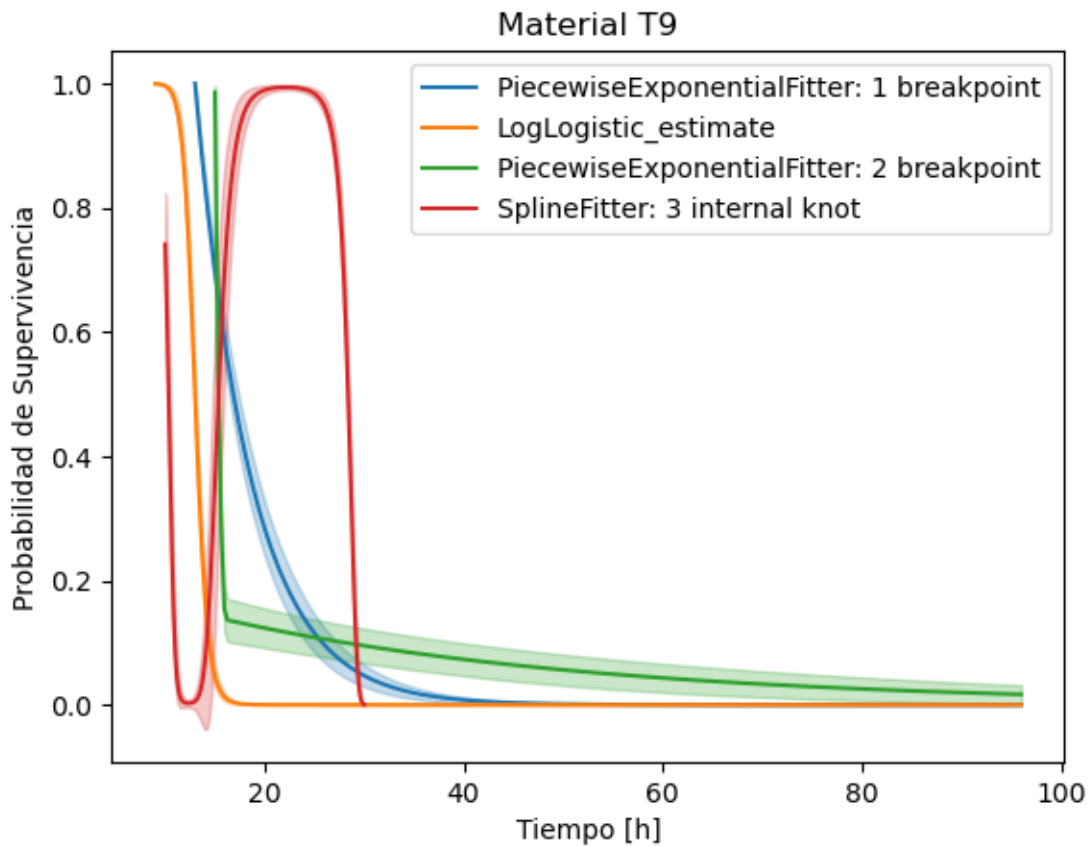
# Create a subplot
fig, ax = plt.subplots()

for measurement, color in zip(measurements, colors):
    time_data = melted_df[melted_df['Measurement'] == measurement]['Time']
    observed_data = melted_df[melted_df['Measurement'] == ↵
    ↪measurement]['observed']
    bestmodel(ax, color, time_data, observed_data)

# Customize the plot
ax.set_xlabel('Tiempo [h]')
ax.set_ylabel('Probabilidad de Supervivencia')
ax.set_title('Material T9')
ax.legend()
```

```
180 nm <lifelines.PiecewiseExponentialFitter:"PiecewiseExponentialFitter: 1
breakpoint", fitted with 260 total observations, 5 right-censored observations>
250 nm <lifelines.LogLogisticFitter:"LogLogistic_estimate", fitted with 260
total observations, 1 right-censored observations>
395 nm <lifelines.PiecewiseExponentialFitter:"PiecewiseExponentialFitter: 2
breakpoint", fitted with 260 total observations, 3 right-censored observations>
410 nm <lifelines.SplineFitter:"SplineFitter: 3 internal knot", fitted with 260
total observations, 0 right-censored observations>
```

[187]: <matplotlib.legend.Legend at 0x17c59ff10>



```
[188]: measurements
```

```
[188]: ['T9_180', 'T9_250', 'T9_395', 'T9_410']
```

```
[189]: colors
```

```
[189]: ['180 nm', '250 nm', '395 nm', '410 nm']
```

```
[190]: # Data for different measurements
measurements = ['T1_180', 'T1_250', 'T1_395', 'T1_410']
colors = ['180 nm', '250 nm', '395 nm', '410 nm']

# Create a subplot
fig, ax = plt.subplots()

for measurement, color in zip(measurements, colors):
    time_data = melted_df[melted_df['Measurement'] == measurement]['Time']
```



```

observed_data = melted_df[melted_df['Measurement'] ==
↳measurement]['observed']
bestmodel(ax, color, time_data, observed_data)

# Customize the plot
ax.set_xlabel('Tiempo [h]')
ax.set_ylabel('Probabilidad de Supervivencia')
ax.set_title('Material T1')
ax.legend()

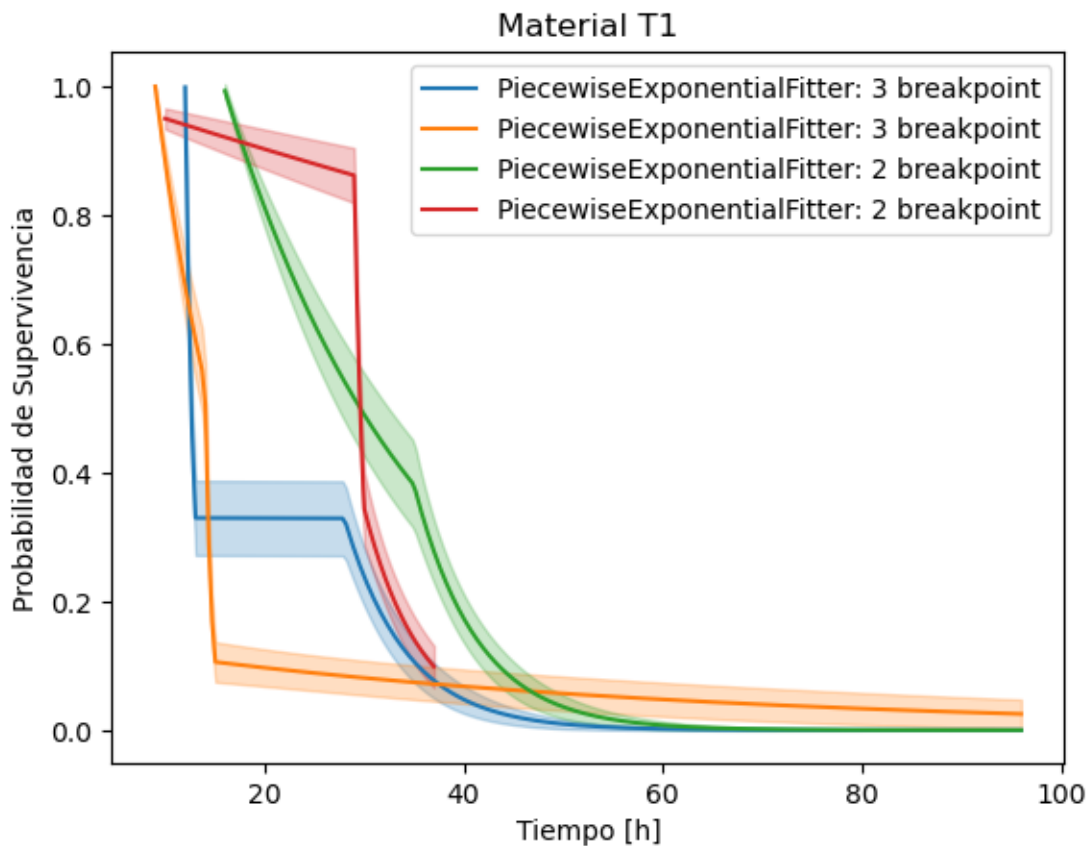
```

```

180 nm <lifelines.PiecewiseExponentialFitter:"PiecewiseExponentialFitter: 3
breakpoint", fitted with 240 total observations, 2 right-censored observations>
250 nm <lifelines.PiecewiseExponentialFitter:"PiecewiseExponentialFitter: 3
breakpoint", fitted with 260 total observations, 2 right-censored observations>
395 nm <lifelines.PiecewiseExponentialFitter:"PiecewiseExponentialFitter: 2
breakpoint", fitted with 260 total observations, 6 right-censored observations>
410 nm <lifelines.PiecewiseExponentialFitter:"PiecewiseExponentialFitter: 2
breakpoint", fitted with 260 total observations, 0 right-censored observations>

```

[190]: <matplotlib.legend.Legend at 0x17c77abd0>



```
[109]: find_best_parametric_model?
```

```
[113]: # Data for different measurements

def bestmodel1(ax,label, time, observed):
    best_model, best_aic_=find_best_parametric_model(event_times=time,
                                                    event_observed=observed,
                                                    scoring_method="AIC")

    best_model.plot_survival_function(ax=ax)
    print(label,best_model, best_aic_)

measurements = ['T9_410']
colors = ['410 nm']

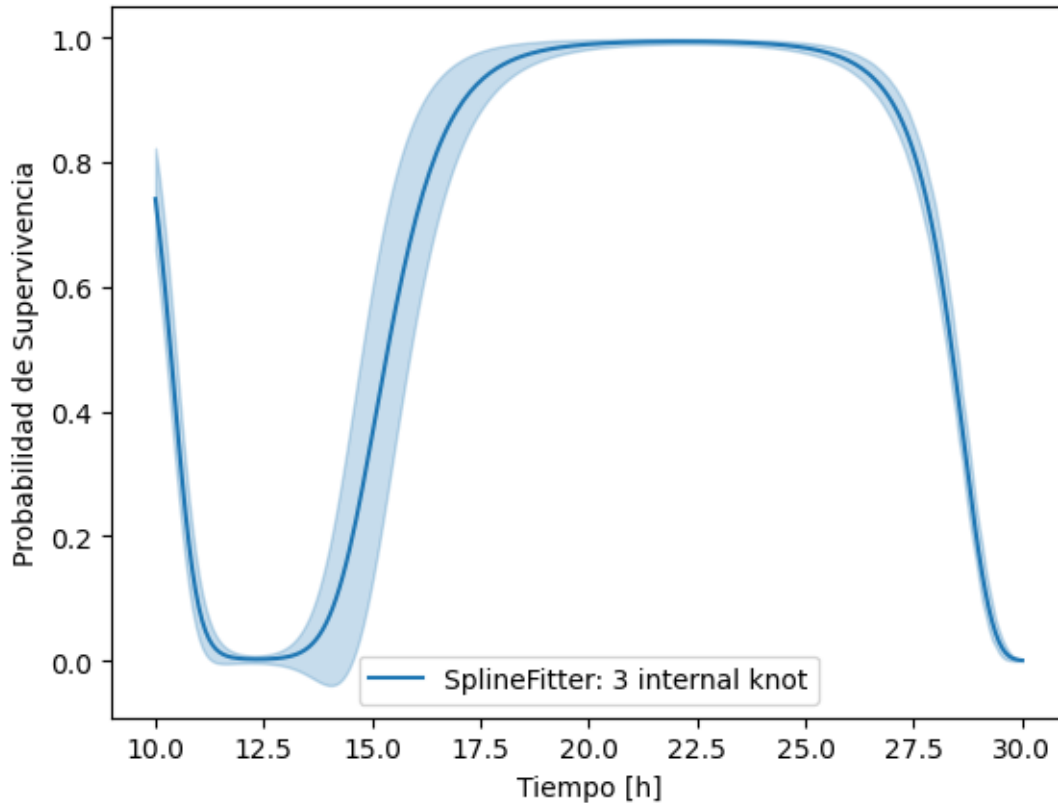
# Create a subplot
fig, ax = plt.subplots()

for measurement, color in zip(measurements, colors):
    time_data = melted_df[melted_df['Measurement'] == measurement]['Time']
    observed_data = melted_df[melted_df['Measurement'] ==
    ↪measurement]['observed']
    bestmodel1(ax, color, time_data, observed_data)

# Customize the plot
ax.set_xlabel('Tiempo [h]')
ax.set_ylabel('Probabilidad de Supervivencia')
#ax.set_title('Material T1')
ax.legend()
```

```
410 nm <lifelines.SplineFitter:"SplineFitter: 3 internal knot", fitted with 260
total observations, 0 right-censored observations> 528.8589020137697
```

```
[113]: <matplotlib.legend.Legend at 0x17b8cf010>
```



```
[116]: from lifelines import KaplanMeierFitter, WeibullFitter, ExponentialFitter, \
↳ LogNormalFitter, LogLogisticFitter, GeneralizedGammaFitter
```

```
fig, axes = plt.subplots(3, 2, figsize=(13.5, 7.5))
```

```
T = melted_df[melted_df['Measurement'] == measurement]['Time']
E = melted_df[melted_df['Measurement'] == measurement]['observed']
```

```
kmf = KaplanMeierFitter().fit(T, E, label='KaplanMeierFitter')
wbf = WeibullFitter().fit(T, E, label='WeibullFitter')
exf = ExponentialFitter().fit(T, E, label='ExponentialFitter')
lnf = LogNormalFitter().fit(T, E, label='LogNormalFitter')
llf = LogLogisticFitter().fit(T, E, label='LogLogisticFitter')
#ggf = GeneralizedGammaFitter().fit(T, E, label='GeneralizedGammaFitter')
```

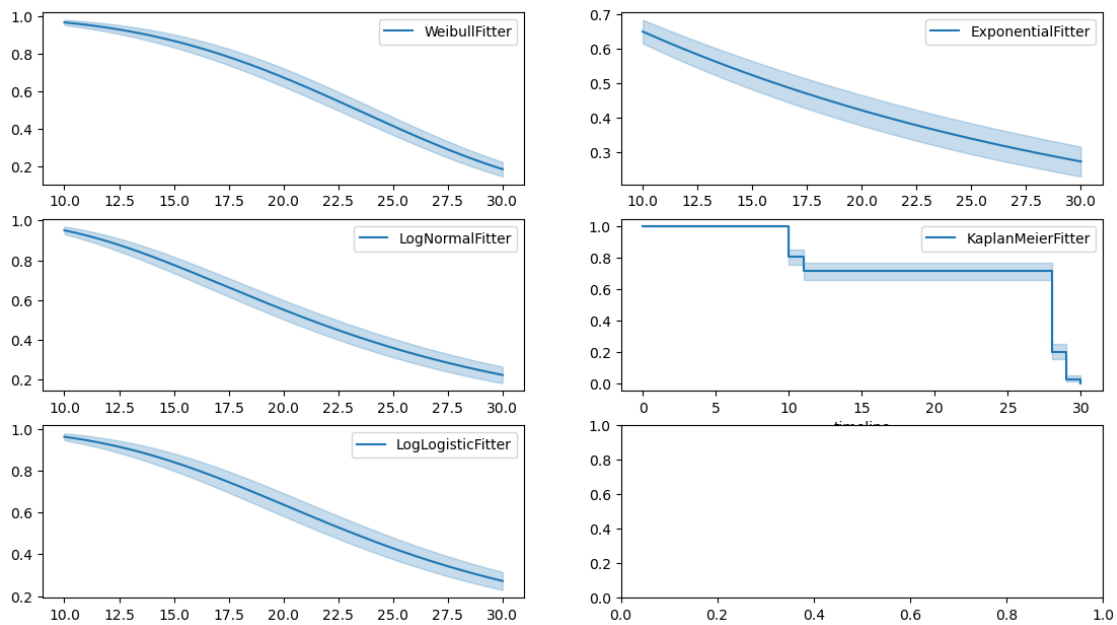
```
wbf.plot_survival_function(ax=axes[0][0])
```

```

exf.plot_survival_function(ax=axes[0][1])
lnf.plot_survival_function(ax=axes[1][0])
kmf.plot_survival_function(ax=axes[1][1])
llf.plot_survival_function(ax=axes[2][0])
#ggf.plot_survival_function(ax=axes[2][1])

```

[116]: <Axes: >



[118]: `#print(wbf.AIC_, exf.AIC_, lnf.AIC_, llf.AIC_, ggf.AIC_)`

1817.5489779983086 2156.872970867119 1923.1993843970267 1936.391906847997  
1569.1860683554523

[ ]:

# ICC (1)

May 9, 2024

## 1 Índice de contenido de clorofilas : ICC

```
[2]: import numpy as np
import pandas as pd
import seaborn as sns
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
[3]: # Read the Excel sheet
UV180 = pd.read_excel('DATOS T1 Y T9_V3.xlsx', sheet_name='UV180',
↳parse_dates=['H'])
UV250 = pd.read_excel('DATOS T1 Y T9_V3.xlsx', sheet_name='UV250',
↳parse_dates=['H'])
UV395 = pd.read_excel('DATOS T1 Y T9_V3.xlsx', sheet_name='UV395',
↳parse_dates=['H'])

df = pd.concat([UV180, UV250, UV395], ignore_index=True)

# Remove the '°C' suffix from the 'Temperatura' column
df['Temperatura'] = df['Temperatura'].str.replace('°C', '')

df['Temperatura'] = df['Temperatura'].astype('float')

# Display the dataframe
print(df.head())
```

```
/var/folders/n_/jr7n3tyn6l9bdfkx3fyszj1c0000gn/T/ipykernel_97407/1751100231.py:2
: UserWarning: Could not infer format, so each element will be parsed
individually, falling back to `dateutil`. To ensure parsing is consistent and
as-expected, please specify a format.
```

```
UV180 = pd.read_excel('DATOS T1 Y T9_V3.xlsx', sheet_name='UV180',
parse_dates=['H'])
```

```
/var/folders/n_/jr7n3tyn6l9bdfkx3fyszj1c0000gn/T/ipykernel_97407/1751100231.py:3
: UserWarning: Could not infer format, so each element will be parsed
individually, falling back to `dateutil`. To ensure parsing is consistent and
as-expected, please specify a format.
```

```
UV250 = pd.read_excel('DATOS T1 Y T9_V3.xlsx', sheet_name='UV250',
parse_dates=['H'])
```

	Temperatura	Hr	UV	DIA	H	Muestra	T1	T9	
0	15.0	0.79	180	nm	1	2023-10-27	1	280.8	274.6
1	15.0	0.79	180	nm	1	2023-10-27	2	243.2	280.4
2	15.0	0.79	180	nm	1	2023-10-27	3	242.6	265.0
3	15.0	0.79	180	nm	1	2023-10-27	4	251.6	274.1
4	15.0	0.79	180	nm	1	2023-10-27	5	247.6	249.2

```
/var/folders/n_/jr7n3tyn6l9bdfkx3fyszj1c0000gn/T/ipykernel_97407/1751100231.py:4
: UserWarning: Could not infer format, so each element will be parsed
individually, falling back to `dateutil`. To ensure parsing is consistent and
as-expected, please specify a format.
```

```
UV395 = pd.read_excel('DATOS T1 Y T9_V3.xlsx', sheet_name='UV395',
parse_dates=['H'])
```

```
[4]: df.info()
```

```
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 1215 entries, 0 to 1214
Data columns (total 8 columns):
#   Column          Non-Null Count  Dtype
---  -
0   Temperatura     1215 non-null   float64
1   Hr              1215 non-null   float64
2   UV             1215 non-null   object
3   DIA            1215 non-null   int64
4   H              1215 non-null   datetime64[ns]
5   Muestra        1215 non-null   int64
6   T1             1215 non-null   float64
7   T9             1215 non-null   float64
dtypes: datetime64[ns](1), float64(4), int64(2), object(1)
memory usage: 76.1+ KB
```

```
[5]: df['H'] = df['H'].dt.time
```

```
[6]: df['H'].unique()
```

```
[6]: array([datetime.time(0, 0), datetime.time(5, 0), datetime.time(10, 0),
datetime.time(15, 0), datetime.time(20, 0), datetime.time(1, 0),
datetime.time(6, 0), datetime.time(11, 0), datetime.time(16, 0),
datetime.time(21, 0), datetime.time(2, 0), datetime.time(7, 0),
datetime.time(12, 0), datetime.time(17, 0), datetime.time(22, 0)],
dtype=object)
```

```
[7]: # Combine 'day' and 'hour' into a single datetime column
df['Time'] = df['DIA'].astype(str) + ' ' + pd.to_datetime(df['H'], format='%H:%M:
→%S').dt.strftime('%H:%M:%S')
```

```
df['Time'] = pd.to_datetime(df['Time'], format='%d %H:%M:%S')

df.head()
```

```
[7]:
```

	Temperatura	Hr	UV	DIA	H	Muestra	T1	T9	Time
0	15.0	0.79	180 nm	1	00:00:00	1	280.8	274.6	1900-01-01
1	15.0	0.79	180 nm	1	00:00:00	2	243.2	280.4	1900-01-01
2	15.0	0.79	180 nm	1	00:00:00	3	242.6	265.0	1900-01-01
3	15.0	0.79	180 nm	1	00:00:00	4	251.6	274.1	1900-01-01
4	15.0	0.79	180 nm	1	00:00:00	5	247.6	249.2	1900-01-01

```
[8]: df.info()
```

```
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 1215 entries, 0 to 1214
Data columns (total 9 columns):
#   Column          Non-Null Count  Dtype
---  -
0   Temperatura     1215 non-null   float64
1   Hr              1215 non-null   float64
2   UV              1215 non-null   object
3   DIA             1215 non-null   int64
4   H               1215 non-null   object
5   Muestra         1215 non-null   int64
6   T1              1215 non-null   float64
7   T9              1215 non-null   float64
8   Time            1215 non-null   datetime64[ns]
dtypes: datetime64[ns](1), float64(4), int64(2), object(2)
memory usage: 85.6+ KB
```

```
[9]: time_difference = df['Time'] - df['Time'].iloc[0]

# Convert the time difference to hours
df['HOUR'] = time_difference.dt.total_seconds() / 3600
```

```
[10]: #len(df['Time'].unique())
df['HOUR'].unique()
```

```
[10]: array([ 0.,  5., 10., 15., 20., 25., 30., 35., 40., 45., 50., 55., 60.,
        65., 70.]
```

```
[11]: df['UV'].value_counts()
```

```
[11]: UV
180 nm    405
250 nm    405
395 nm    405
```

Name: count, dtype: int64

```
[12]: print(df['UV'].unique())
print(df['DIA'].unique())
print(df['Muestra'].unique())
```

```
['180 nm' '250 nm' '395 nm']
```

```
[1 2 3]
```

```
[ 1  2  3  4  5  6  7  8  9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
 25 26 27]
```

```
[13]: df[['Temperatura', 'Hr', 'T1', 'T9']].describe()
```

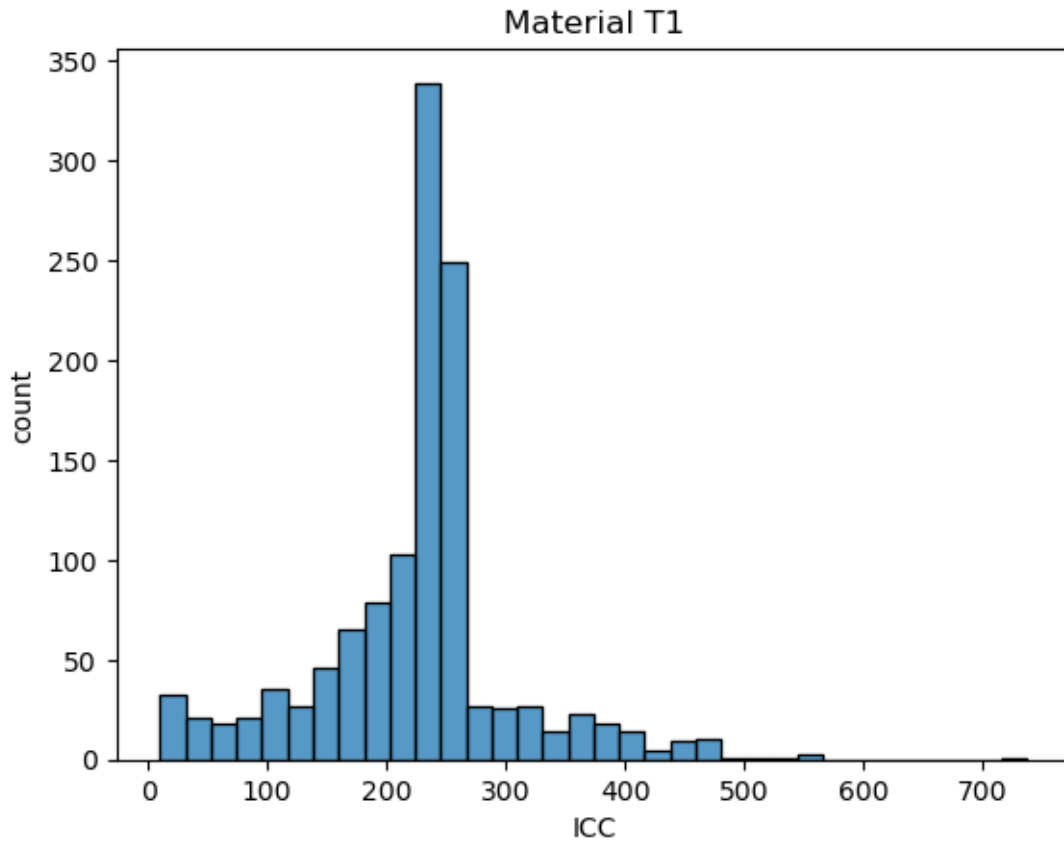
```
[13]:
```

	Temperatura	Hr	T1	T9
count	1215.000000	1215.000000	1215.000000	1215.000000
mean	14.246667	0.729400	225.888642	241.781811
std	3.054678	0.119549	84.437622	60.501606
min	9.500000	0.530000	10.200000	76.300000
25%	11.200000	0.610000	193.200000	206.750000
50%	14.700000	0.750000	241.200000	248.600000
75%	17.000000	0.840000	247.600000	267.250000
max	20.000000	0.910000	737.000000	763.800000

```
[14]: sns.histplot(data= df, x='T1', bins=int(np.sqrt(len(df)))) #binwidth=1
plt.xlabel('ICC')
plt.ylabel('count')
plt.title('Material T1')
```

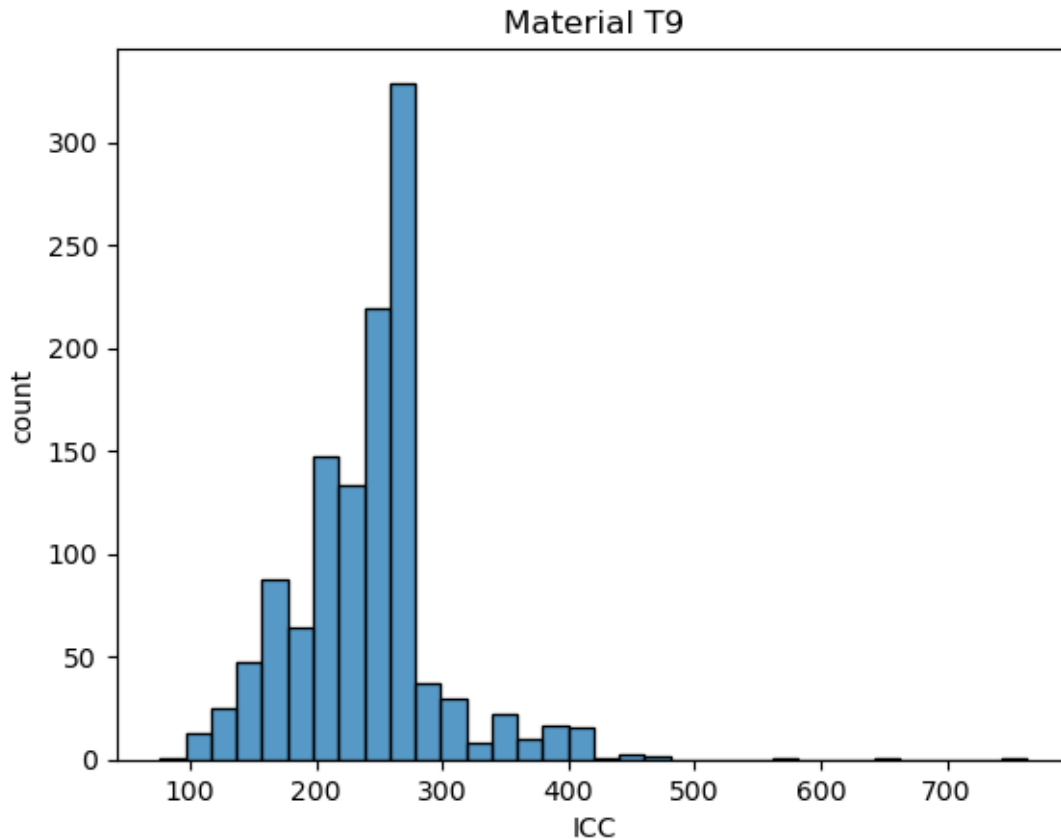
```
[14]: Text(0.5, 1.0, 'Material T1')
```





```
[15]: sns.histplot(data= df, x='T9', bins=int(np.sqrt(len(df)))) #binwidth=1  
plt.xlabel('ICC')  
plt.ylabel('count')  
plt.title('Material T9')
```

```
[15]: Text(0.5, 1.0, 'Material T9')
```



```
[16]: def ecdf(data):
    """Compute ECDF for a one-dimensional array of measurements."""
    # Number of data points: n
    n = len(data)

    # x-data for the ECDF: x
    x = np.sort(data)

    # y-data for the ECDF: y
    y = np.arange(1, n+1) / n

    return x, y
```

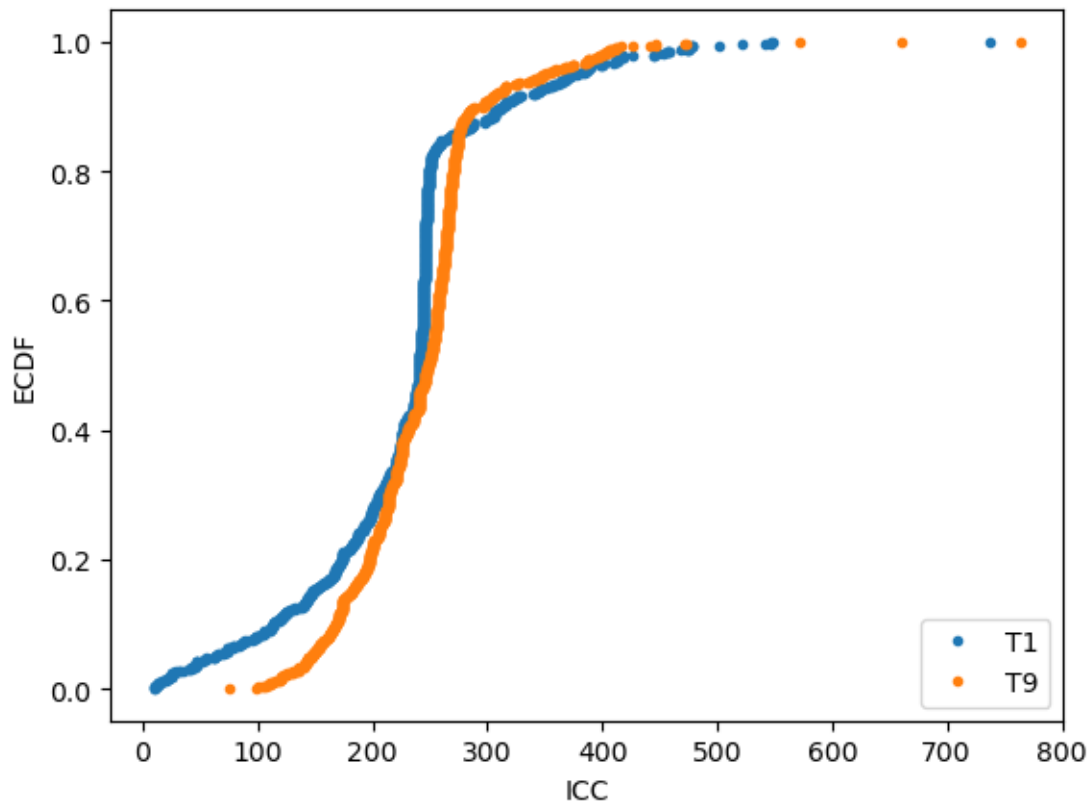
```
[17]: # Compute ECDFs
x_set, y_set = ecdf(df['T1'])
x_vers, y_vers = ecdf(df['T9'])

# Plot all ECDFs on the same plot
_ = plt.plot(x_set, y_set, marker='.', linestyle='none')
_ = plt.plot(x_vers, y_vers, marker='.', linestyle='none')
```

```

# Annotate the plot
plt.legend(('T1', 'T9'), loc='lower right')
_ = plt.xlabel('ICC')
_ = plt.ylabel('ECDF')

```



```
[ ]:
```

```

[18]: #g = sns.stripplot(x="Time", y="T1", data=df[df["UV"]=="180 nm"])
#g = sns.stripplot(x="Time", y="T9", data=df[df["UV"]=="180 nm"])
#g = sns.stripplot(x="Time", y="T1", data=df[df["UV"]=="250 nm"])
#g = sns.stripplot(x="Time", y="T9", data=df[df["UV"]=="250 nm"])
#g = sns.stripplot(x="Time", y="T1", data=df[df["UV"]=="395 nm"])
g = sns.stripplot(x="Time", y="T9", data=df[df["UV"]=="395 nm"])

```

```

g.set_xlabel('Tiempo')
g.set_ylabel('ICC')
g.set_title('Material T1 - 395 nm')

```

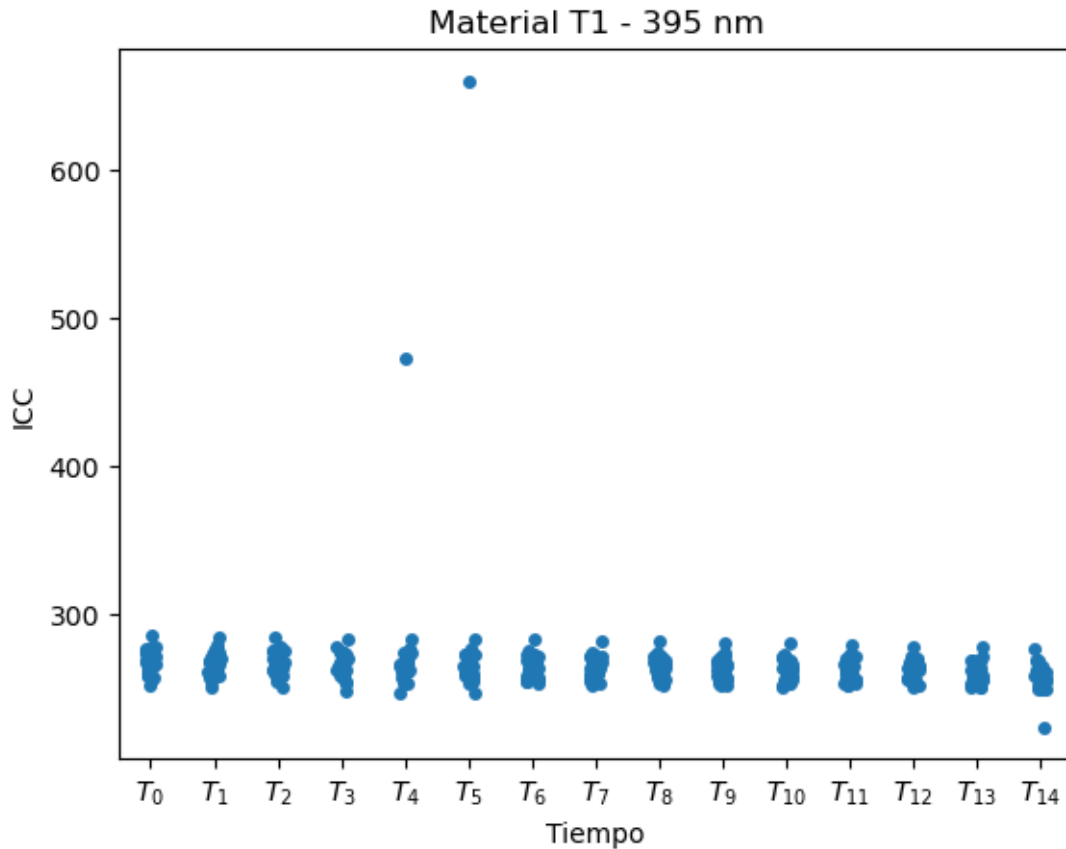
```
g.set_xticklabels(['$T_0$', '$T_1$', '$T_2$', '$T_3$', '$T_4$', '$T_5}$', '$T_6$',  
↳ '$T_7$', '$T_8$',  
↳ '$T_9$', '$T_{10}$', '$T_{11}$', '$T_{12}$', '$T_{13}$', '$T_{14}$'])
```

/var/folders/n\_/jr7n3tyn6l9bdfkx3fyszj1c0000gn/T/ipykernel\_97407/2634114768.py:1

2: UserWarning: FixedFormatter should only be used together with FixedLocator

```
g.set_xticklabels(['$T_0$', '$T_1$', '$T_2$', '$T_3$', '$T_4$', '$T_5}$', '$T_6$',  
'$T_7$', '$T_8$',  
'$T_9$', '$T_{10}$', '$T_{11}$', '$T_{12}$', '$T_{13}$', '$T_{14}$'])
```

```
[18]: [Text(0, 0, '$T_0$'),  
Text(1, 0, '$T_1$'),  
Text(2, 0, '$T_2$'),  
Text(3, 0, '$T_3$'),  
Text(4, 0, '$T_4$'),  
Text(5, 0, '$T_5}$'),  
Text(6, 0, '$T_6$'),  
Text(7, 0, '$T_7$'),  
Text(8, 0, '$T_8$'),  
Text(9, 0, '$T_9$'),  
Text(10, 0, '$T_{10}$'),  
Text(11, 0, '$T_{11}$'),  
Text(12, 0, '$T_{12}$'),  
Text(13, 0, '$T_{13}$'),  
Text(14, 0, '$T_{14}$')]
```



```
[19]: #g = sns.boxplot(x="Time", y="T1", data=df[df["UV"]=="180 nm"])
#g = sns.boxplot(x="Time", y="T9", data=df[df["UV"]=="180 nm"])
#g = sns.boxplot(x="Time", y="T1", data=df[df["UV"]=="250 nm"])
g = sns.boxplot(x="Time", y="T9", data=df[df["UV"]=="250 nm"])
#g = sns.boxplot(x="Time", y="T1", data=df[df["UV"]=="395 nm"])
#g = sns.boxplot(x="Time", y="T9", data=df[df["UV"]=="395 nm"])

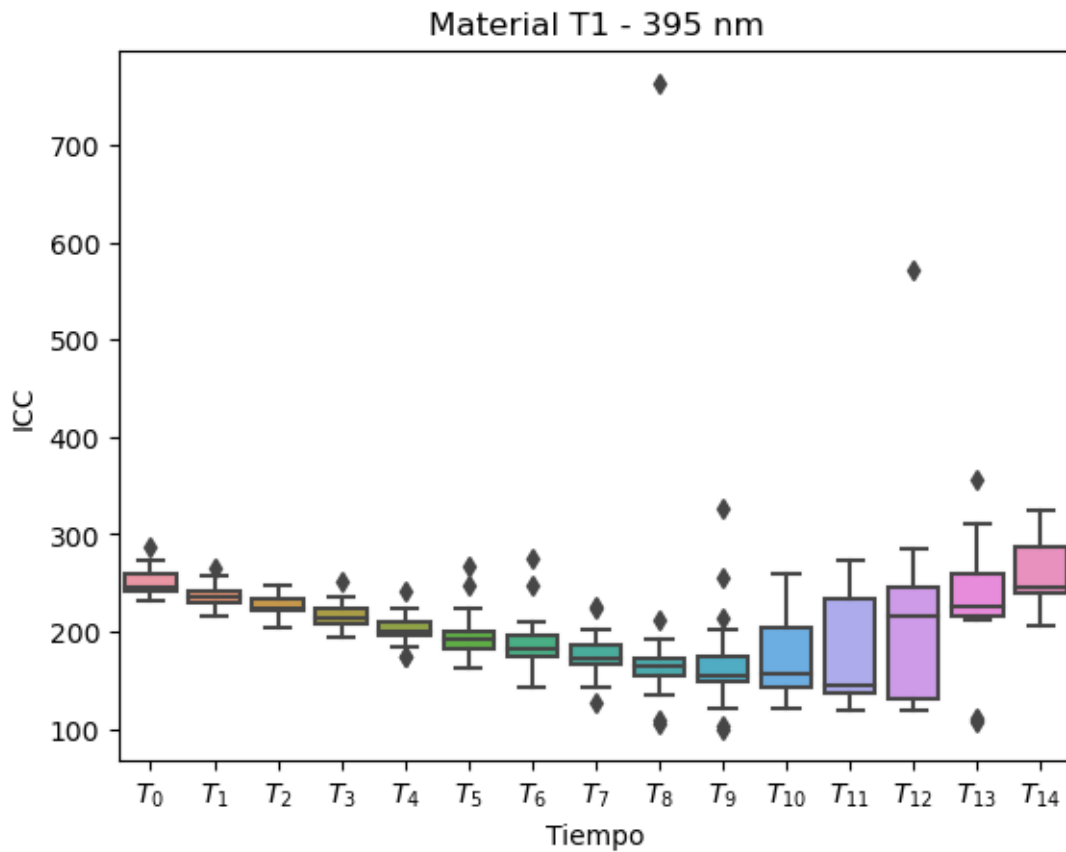
g.set_xlabel('Tiempo')
g.set_ylabel('ICC')
g.set_title('Material T1 - 395 nm')
g.set_xticklabels(['$T_0$', '$T_1$', '$T_2$', '$T_3$', '$T_4$', '$T_5$', '$T_6$', '␣
↳ '$T_7$', '$T_8$', '␣
↳ '$T_9$', '$T_{10}$', '$T_{11}$', '$T_{12}$', '$T_{13}$', '$T_{14}$'])
```

```
[19]: [Text(0, 0, '$T_0$'),
Text(1, 0, '$T_1$'),
Text(2, 0, '$T_2$'),
Text(3, 0, '$T_3$'),
Text(4, 0, '$T_4$'),
```

```

Text(5, 0, '$T_5$'),
Text(6, 0, '$T_6$'),
Text(7, 0, '$T_7$'),
Text(8, 0, '$T_8$'),
Text(9, 0, '$T_9$'),
Text(10, 0, '$T_{10}$'),
Text(11, 0, '$T_{11}$'),
Text(12, 0, '$T_{12}$'),
Text(13, 0, '$T_{13}$'),
Text(14, 0, '$T_{14}$')]

```



```

[20]: # Melt the DataFrame
melted_df = pd.melt(df, id_vars=["Temperatura", "Hr",
↳ "UV", "Muestra", "Time", "HOUR"] , value_vars=["T1", "T9"], var_name="Material",
↳ value_name="Value")

melted_df.head()

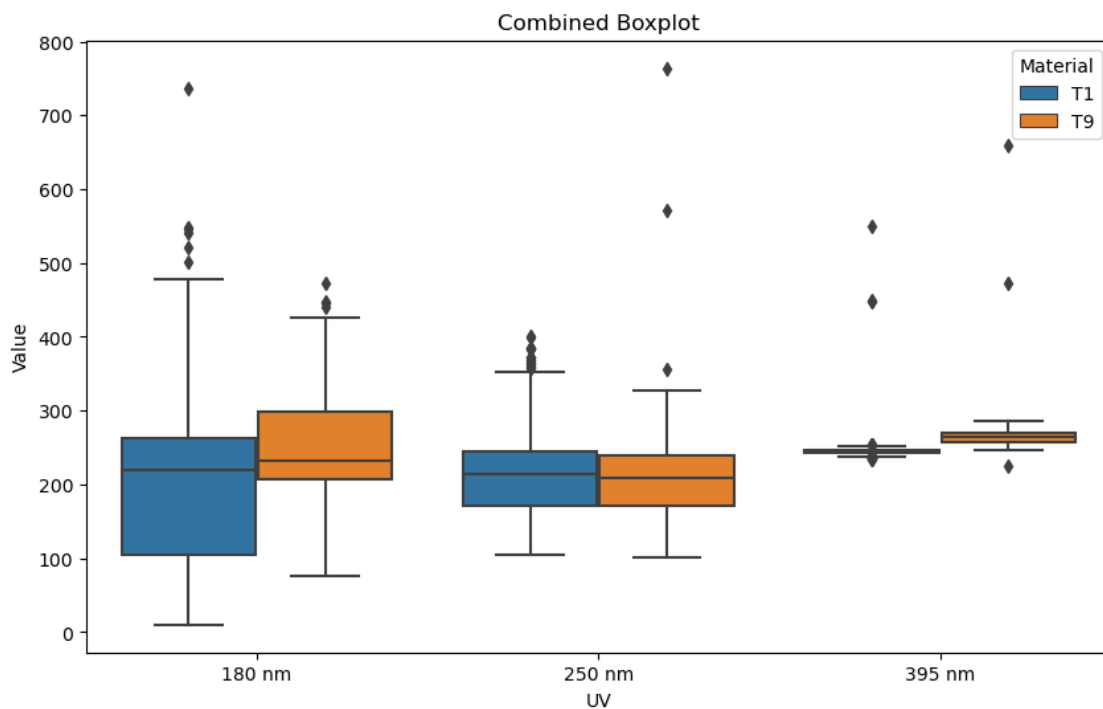
```

```
[20]:  Temperatura  Hr    UV  Muestra      Time  HOUR Material  Value
0      15.0  0.79  180 nm      1 1900-01-01  0.0    T1  280.8
1      15.0  0.79  180 nm      2 1900-01-01  0.0    T1  243.2
2      15.0  0.79  180 nm      3 1900-01-01  0.0    T1  242.6
3      15.0  0.79  180 nm      4 1900-01-01  0.0    T1  251.6
4      15.0  0.79  180 nm      5 1900-01-01  0.0    T1  247.6
```

```
[21]: # Combine 'Clase' and 'UV' into a single column
#df['Time'] = df['DIA'].astype(str) + ' ' + pd.to_datetime(df['H'], format='%H:
->%M:%S').dt.strftime('%H:%M:%S')
melted_df['Measurement'] = melted_df['Material'] + '_' + melted_df['UV'].str.
->replace(' nm', '')
```

```
[22]: # Create a combined boxplot
plt.figure(figsize=(10, 6))
sns.boxplot(data=melted_df, x="UV", y="Value", hue="Material")
plt.title("Combined Boxplot")
```

```
[22]: Text(0.5, 1.0, 'Combined Boxplot')
```



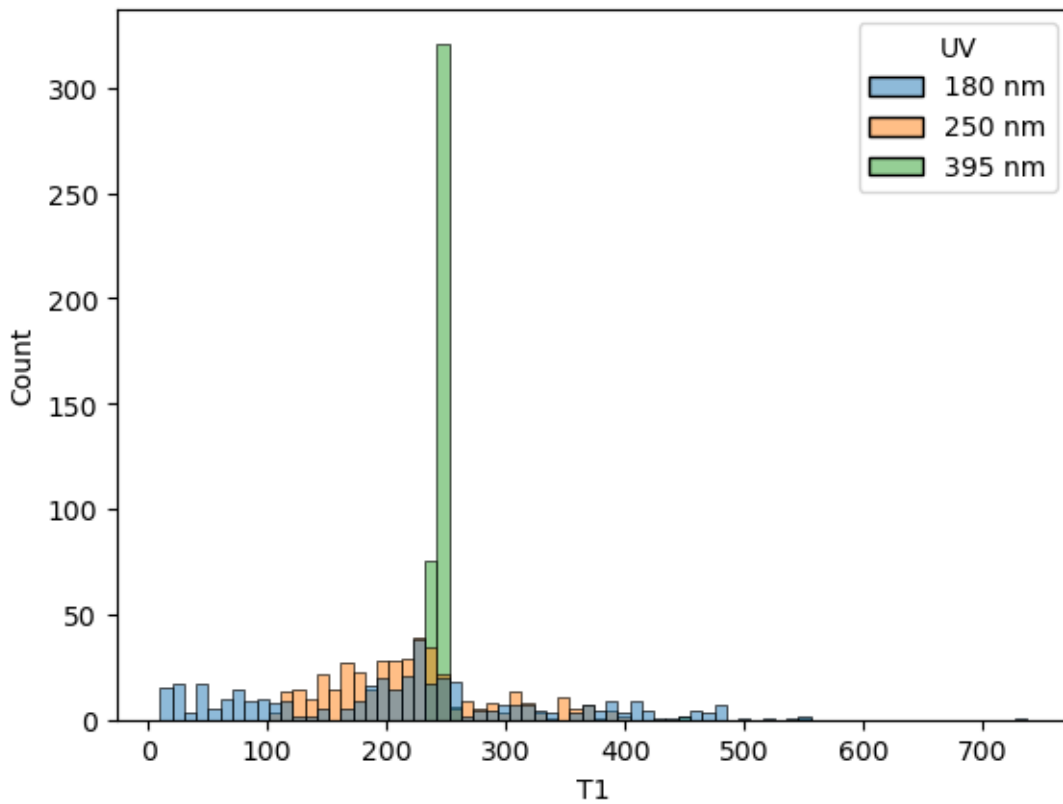
```
[23]: melted_df['Value'].describe()
```

```
[23]: count    2430.000000
mean      233.835226
```

```
std      73.864953
min      10.200000
25%     200.400000
50%     243.100000
75%     262.000000
max      763.800000
Name: Value, dtype: float64
```

```
[24]: sns.histplot(data=df, x="T1", hue="UV")
```

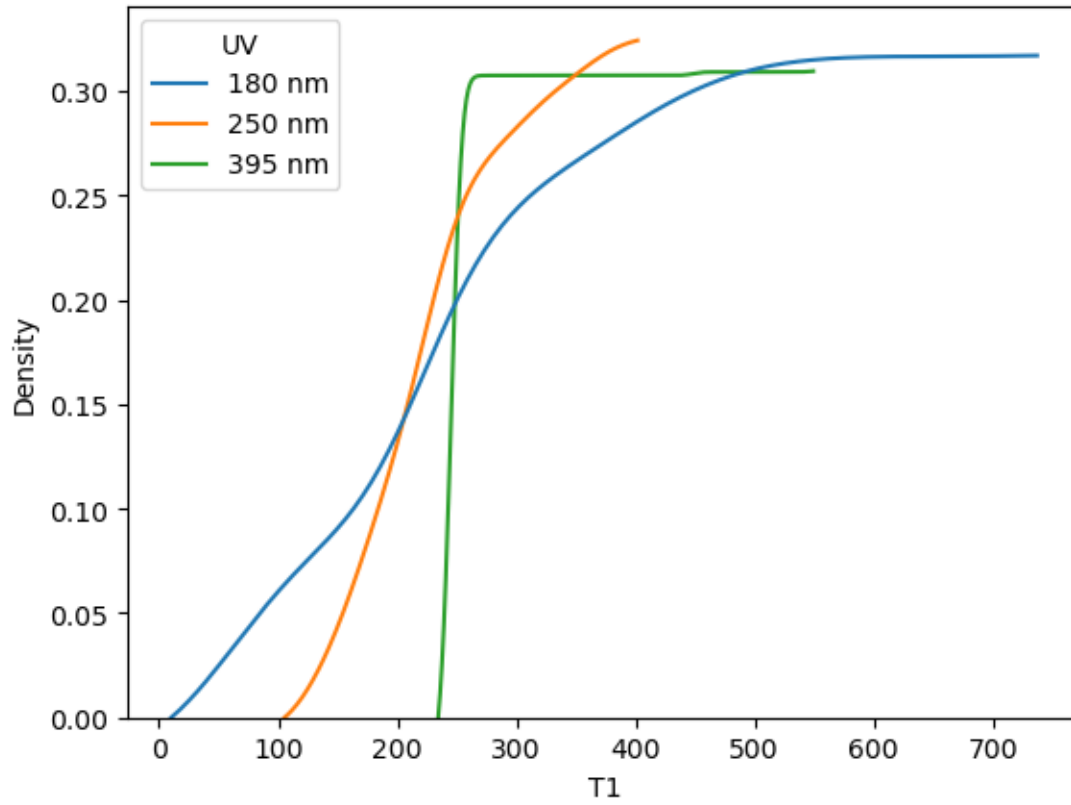
```
[24]: <Axes: xlabel='T1', ylabel='Count'>
```



```
[25]: sns.kdeplot(data=df, x="T1", hue="UV", cut=0, cumulative=True)
```

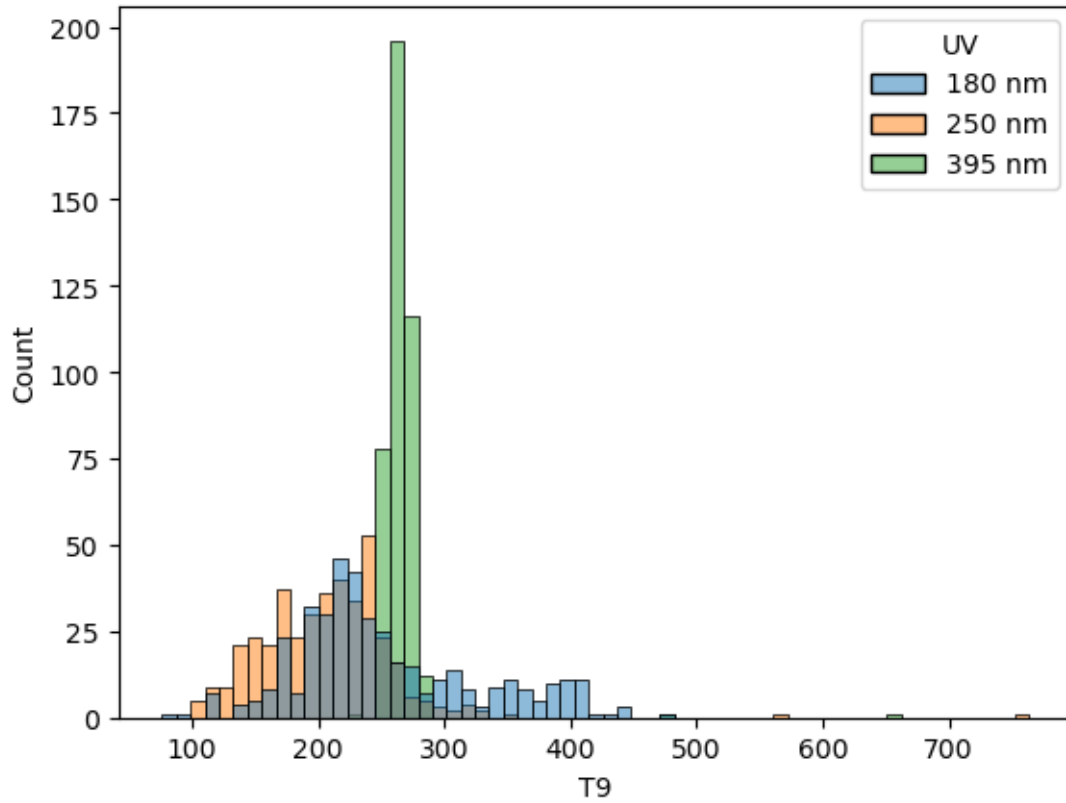
```
[25]: <Axes: xlabel='T1', ylabel='Density'>
```





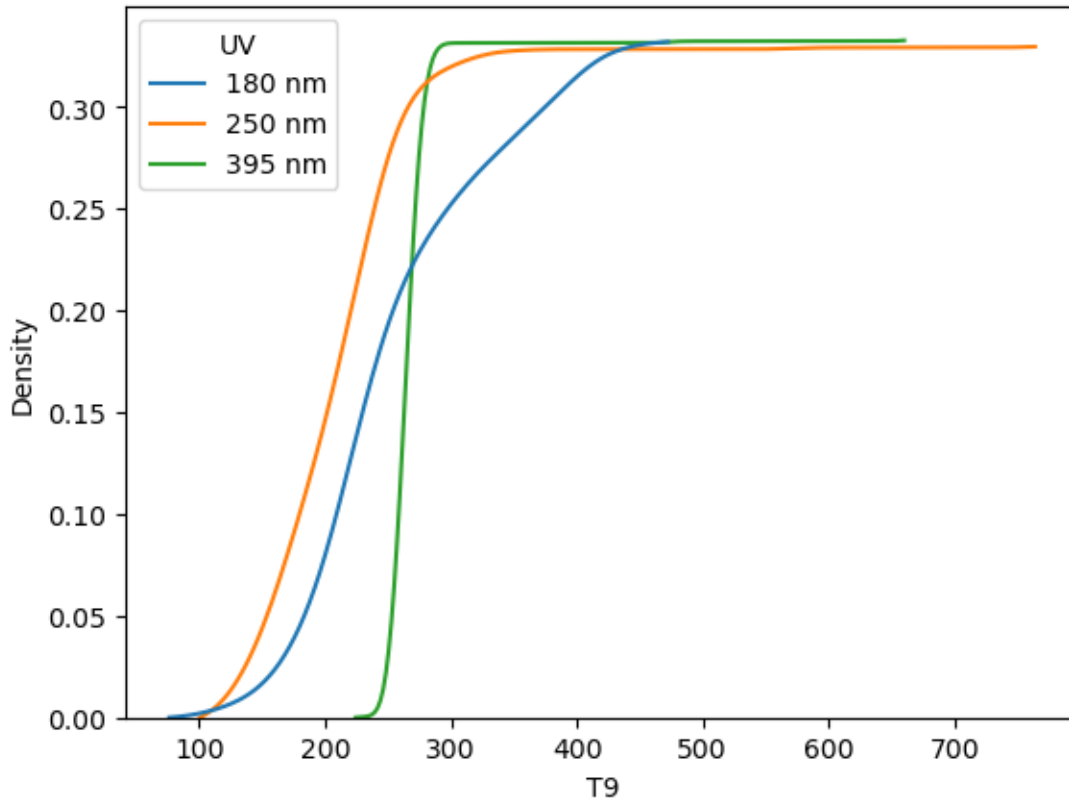
```
[26]: sns.histplot(data=df, x="T9", hue="UV")
```

```
[26]: <Axes: xlabel='T9', ylabel='Count'>
```



```
[27]: sns.kdeplot(data=df, x="T9", hue="UV", cut=0, cumulative=True)
```

```
[27]: <Axes: xlabel='T9', ylabel='Density'>
```



```
[28]: import datetime

# Mapping of times to labels
time_labels = {
    '1900-01-01 00:00:00': '$T_0$',
    '1900-01-01 05:00:00': '$T_1$',
    '1900-01-01 10:00:00': '$T_2$',
    '1900-01-01 15:00:00': '$T_3$',
    '1900-01-01 20:00:00': '$T_4$',
    '1900-01-02 01:00:00': '$T_5$',
    '1900-01-02 06:00:00': '$T_6$',
    '1900-01-02 11:00:00': '$T_7$',
    '1900-01-02 16:00:00': '$T_8$',
    '1900-01-02 21:00:00': '$T_9$',
    '1900-01-03 02:00:00': '$T_{10}$',
    '1900-01-03 07:00:00': '$T_{11}$',
    '1900-01-03 12:00:00': '$T_{12}$',
    '1900-01-03 17:00:00': '$T_{13}$',
    '1900-01-03 22:00:00': '$T_{14}$'
}
```

```
# Convert 'H' column values to strings
melted_df['Time'] = melted_df['Time'].astype(str)

melted_df['Time']
```

```
[28]: 0      1900-01-01 00:00:00
      1      1900-01-01 00:00:00
      2      1900-01-01 00:00:00
      3      1900-01-01 00:00:00
      4      1900-01-01 00:00:00
      ...
      2425   1900-01-03 22:00:00
      2426   1900-01-03 22:00:00
      2427   1900-01-03 22:00:00
      2428   1900-01-03 22:00:00
      2429   1900-01-03 22:00:00
      Name: Time, Length: 2430, dtype: object
```

```
[29]: # Create a new column with labels
melted_df['Time_Label'] = melted_df['Time'].map(time_labels)

melted_df.head()
```

```
[29]:
```

	Temperatura	Hr	UV	Muestra	Time	HOUR	Material	\
0	15.0	0.79	180 nm	1	1900-01-01 00:00:00	0.0	T1	
1	15.0	0.79	180 nm	2	1900-01-01 00:00:00	0.0	T1	
2	15.0	0.79	180 nm	3	1900-01-01 00:00:00	0.0	T1	
3	15.0	0.79	180 nm	4	1900-01-01 00:00:00	0.0	T1	
4	15.0	0.79	180 nm	5	1900-01-01 00:00:00	0.0	T1	

	Value	Measurement	Time_Label
0	280.8	T1_180	\$T_0\$
1	243.2	T1_180	\$T_0\$
2	242.6	T1_180	\$T_0\$
3	251.6	T1_180	\$T_0\$
4	247.6	T1_180	\$T_0\$

```
[30]: #melted_df =
melted_df.drop(melted_df[melted_df['Value']>546.3].index, inplace=True)
melted_df.drop(melted_df[(melted_df['UV']=='395 nm') & (melted_df['Value']>400)].
↳index, inplace=True)
```

```
[31]: # Find the 75th and 25th percentiles
value_seventy_fifth = melted_df["Value"].quantile(0.75)
value_twenty_fifth = melted_df["Value"].quantile(0.25)
```

```

# Calculate iqr
value_iqr = value_seventy_fifth - value_twenty_fifth

# Calculate the thresholds
upper = value_seventy_fifth + (4.5 * value_iqr)
lower = value_twenty_fifth - (1.5 * value_iqr)

# Subset the data
#planes = planes[(planes["Price"] > lower) & (planes["Price"] < upper)]

melted_df[melted_df['Value'] < 550]
# Count and print the number of outliers
#print(len(outliers))

print(upper)

```

537.0000000000001

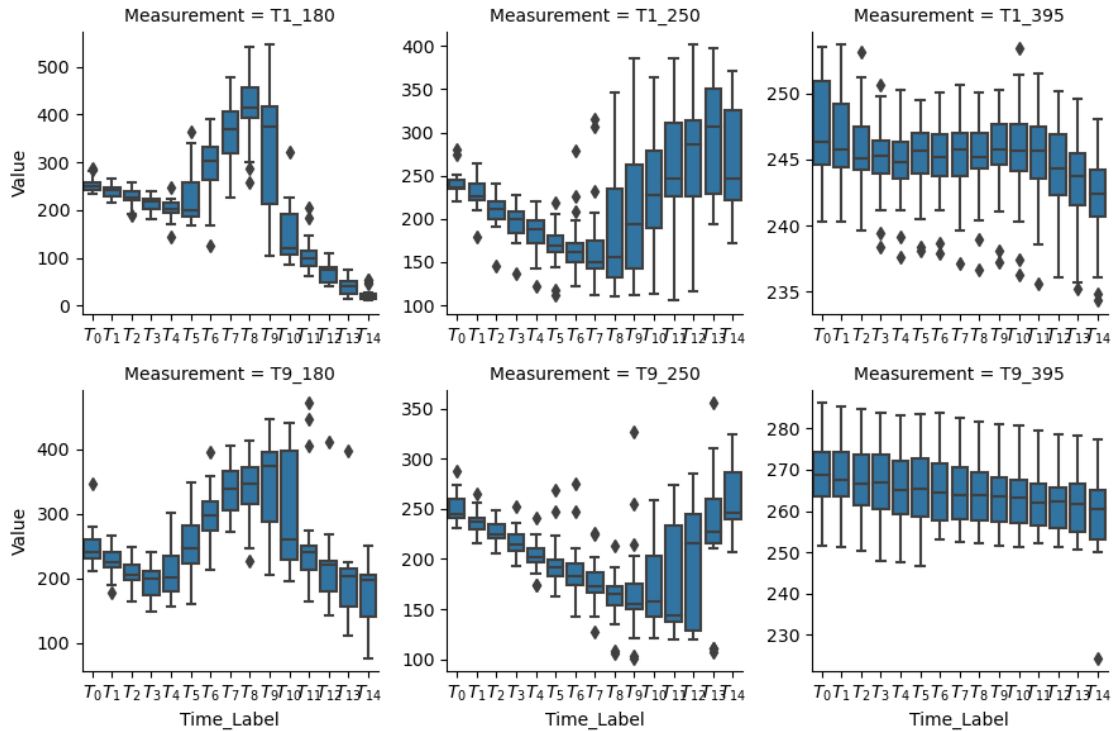
```

[32]: g = sns.FacetGrid(melted_df, col="Measurement", col_wrap=3, sharex=False,
↳ sharey=False, margin_titles=True)
g.map(sns.boxplot, "Time_Label", "Value",
↳ order=['$T_0$', '$T_1$', '$T_2$', '$T_3$', '$T_4$', '$T_5$', '$T_6$', '$T_7$',
↳ '$T_8$', '$T_9$', '$T_{10}$', '$T_{11}$', '$T_{12}$', '$T_{13}$', '$T_{14}$'])

```

/Users/Mila/anaconda3/lib/python3.11/site-packages/seaborn/axisgrid.py:118:  
UserWarning: The figure layout has changed to tight  
self.\_figure.tight\_layout(\*args, \*\*kwargs)

[32]: <seaborn.axisgrid.FacetGrid at 0x15fc86850>



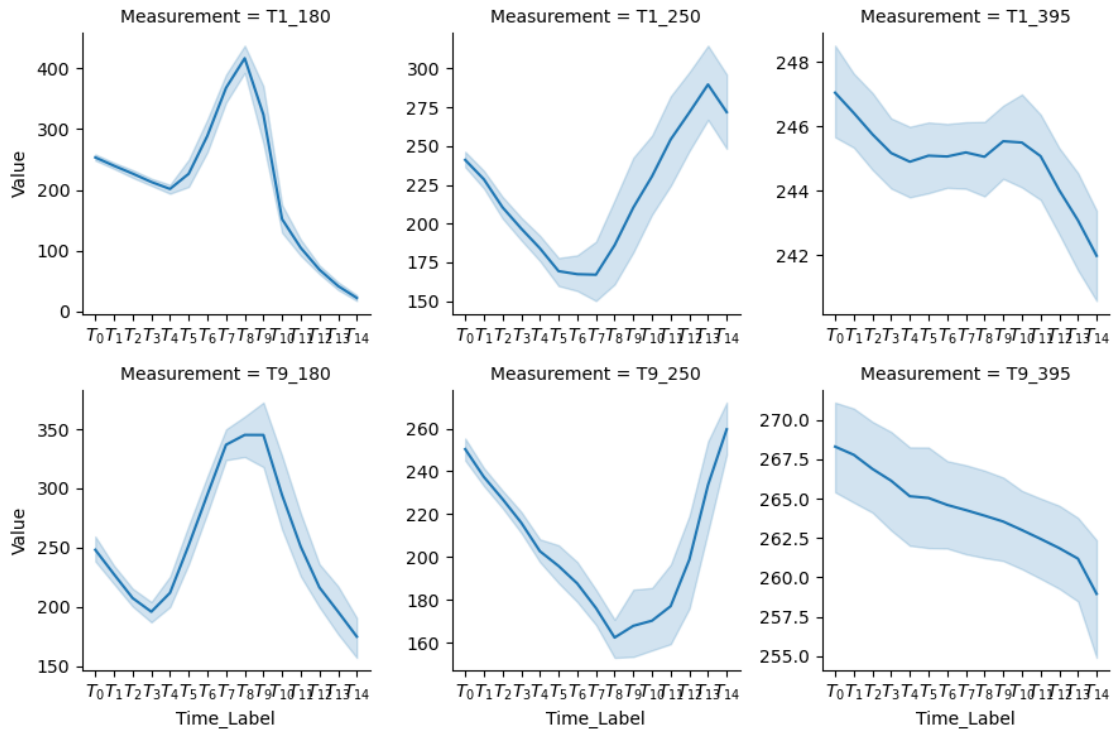
```
[33]: g = sns.FacetGrid(melted_df, col="Measurement", col_wrap=3, sharex=False,
↳ sharey=False, margin_titles=True)
g.map(sns.lineplot, "Time_Label", "Value")
```

/Users/Mila/anaconda3/lib/python3.11/site-packages/seaborn/axisgrid.py:118:

UserWarning: The figure layout has changed to tight

self.\_figure.tight\_layout(\*args, \*\*kwargs)

[33]: <seaborn.axisgrid.FacetGrid at 0x162d41050>



```
sns.relplot( data=df[df['UV']=='180 nm'], x="Time", y="T1", col="Muestra", kind="scatter" )
```

```
[34]: melted_df.groupby('Measurement').describe()
```

```
[34]:
```

	Temperatura							
	count	mean	std	min	25%	50%	75%	max
Measurement								
T1_180	403.0	14.166005	3.035890	9.5	11.0	14.3	17.6	19.1
T1_250	405.0	14.366667	3.123617	9.5	11.2	15.0	17.0	20.0
T1_395	402.0	14.221642	3.008426	9.5	11.0	14.9	17.0	19.6
T9_180	405.0	14.146667	3.041271	9.5	11.0	14.3	17.6	19.1
T9_250	403.0	14.366253	3.122969	9.5	11.2	15.0	17.0	20.0
T9_395	403.0	14.223573	3.007406	9.5	11.0	14.9	17.0	19.6

	Hr	...	HOUR	Value	...		
	count	mean	75%	max	count	mean	std
Measurement							
T1_180	403.0	0.724045	55.0	70.0	403.0	210.219851	123.394040
T1_250	405.0	0.734000	55.0	70.0	405.0	218.572099	64.765625
T1_395	402.0	0.729430	55.0	70.0	402.0	244.987065	3.487288
T9_180	405.0	0.724000	55.0	70.0	405.0	253.036790	73.304951
T9_250	403.0	0.734516	55.0	70.0	403.0	204.326799	45.095121
T9_395	403.0	0.729878	55.0	70.0	403.0	264.200496	8.115083

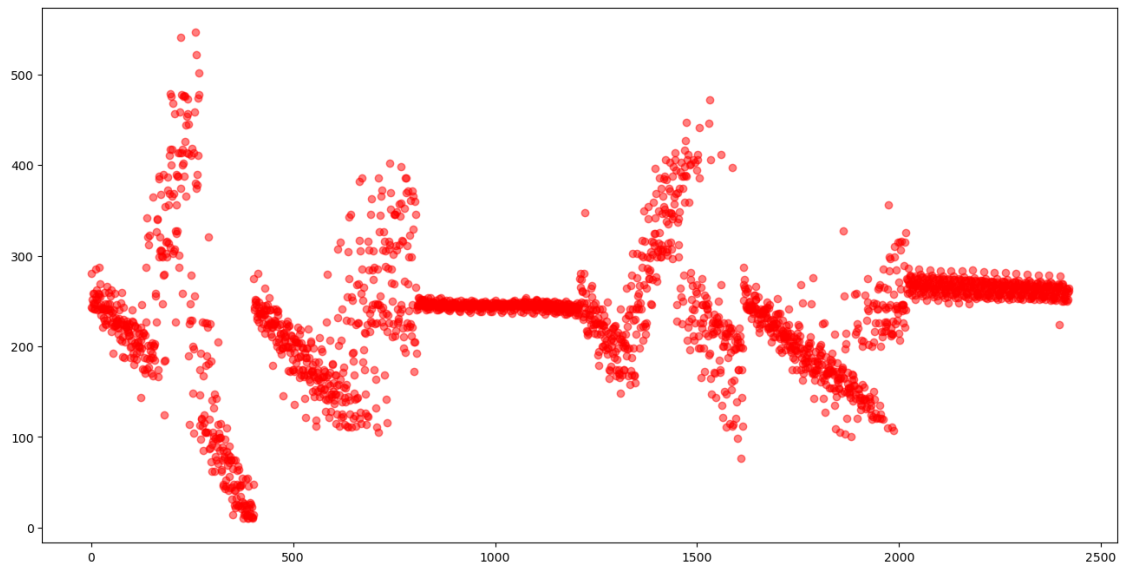
	min	25%	50%	75%	max
Measurement					
T1_180	10.2	104.500	219.4	260.80	546.3
T1_250	105.3	171.200	214.5	245.60	401.6
T1_395	234.3	243.425	245.2	247.10	253.7
T9_180	76.3	206.300	231.8	298.20	472.3
T9_250	100.6	170.500	208.4	237.85	356.2
T9_395	224.3	257.600	264.2	269.65	286.2

[6 rows x 40 columns]

```
[34]: # Create a list of consecutive integers
integers = range(len(melted_df))

plt.figure(figsize=(16, 8))

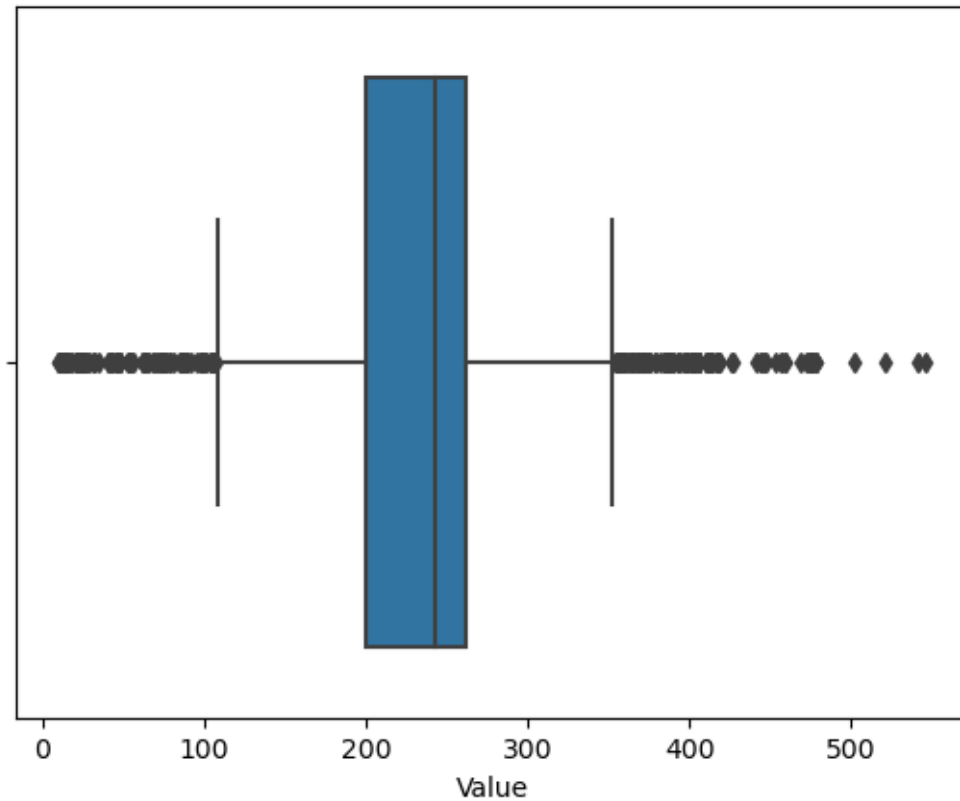
# Plot a scatterplot
plt.scatter(integers, melted_df['Value'], c='red', alpha=0.5)
plt.show()
```



```
[35]: sns.boxplot(data= melted_df, x='Value')
```

```
[35]: <Axes: xlabel='Value'>
```





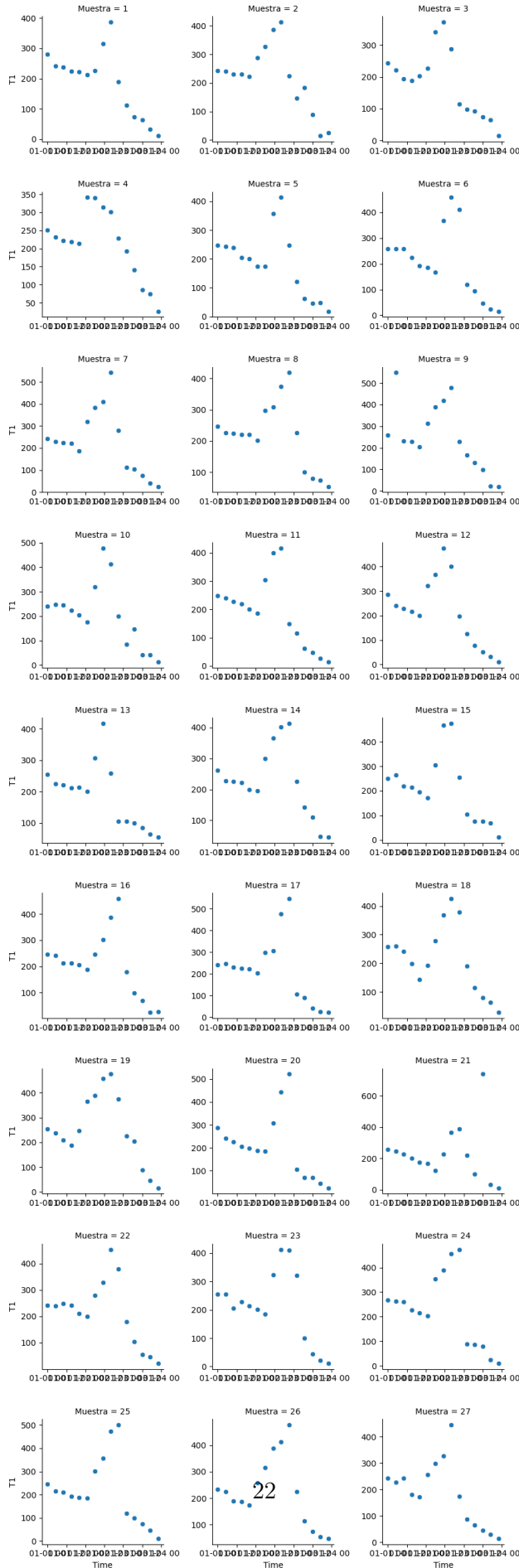
```
[36]: # Removing some outliers
#melted_df = melted_df[melted_df['Value']<550]
```

```
[37]: # Create a 9x3 grid of plots using FacetGrid
g = sns.FacetGrid(
    data=df[df['UV']=='180 nm'], col="Muestra",
    col_wrap=3, # Number of columns
    height=3, aspect=1,sharex=False, sharey=False # Adjust plot size and aspect_
    ↳ratio
)

# Plot scatter plots in each subplot
g.map(sns.scatterplot, "Time", "T1")

g.fig.subplots_adjust(wspace=0.4, hspace=0.4) # Adjust spacing between subplots
plt.show()
```

```
/Users/Mila/anaconda3/lib/python3.11/site-packages/seaborn/axisgrid.py:118:
UserWarning: The figure layout has changed to tight
self._figure.tight_layout(*args, **kwargs)
```



```
[35]: deriv = df[(df['UV']=='180 nm') & (df['Muestra']==7)]

x = deriv['HOUR']
y = deriv['T1']

## Derivative
dt1dt = np.gradient(y,x)
```

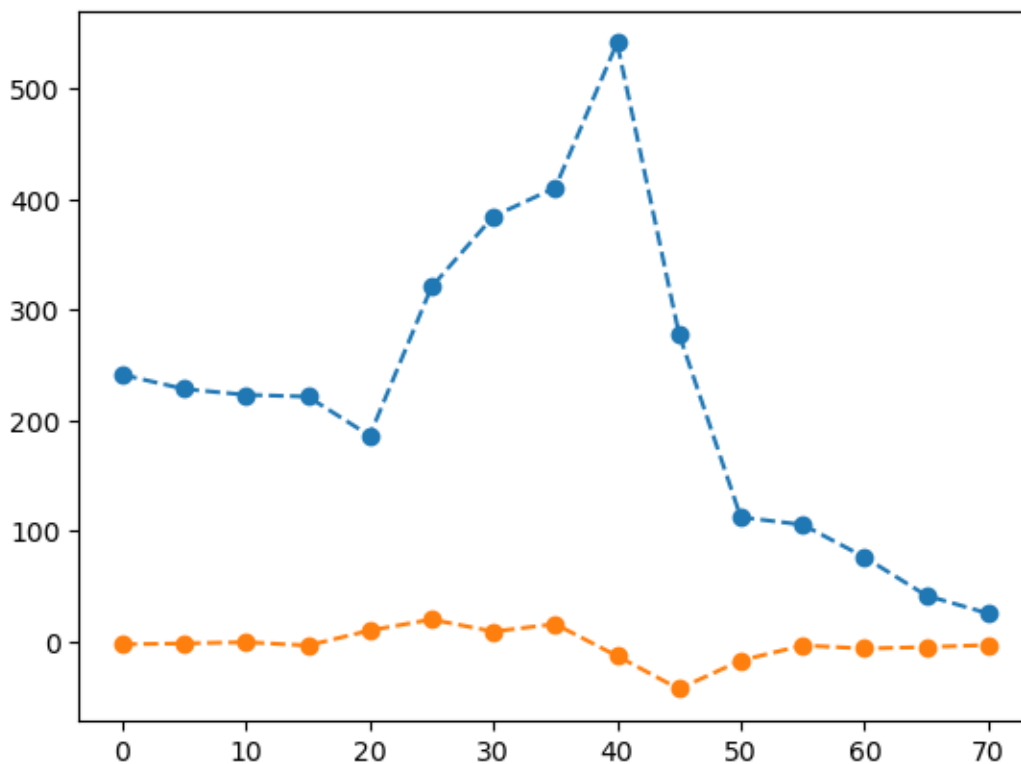
```
[36]: x[1:][(dt1dt[1:]*dt1dt[:-1]<0)]
```

```
[36]: 114    20.0
      222    40.0
      Name: HOUR, dtype: float64
```

```
[37]: plt.plot(x,y, 'o--')

plt.plot(x,dt1dt, 'o--')
#dt1dt
```

```
[37]: [<matplotlib.lines.Line2D at 0x163259a10>]
```



```
[41]: # Create a 9x3 grid of plots using FacetGrid
g = sns.FacetGrid(
    data=df[df['UV']=='250 nm'], col="Muestra",
    col_wrap=3, # Number of columns
    height=3, aspect=1,sharex=False, sharey=False # Adjust plot size and aspect_
    ↪ratio
)

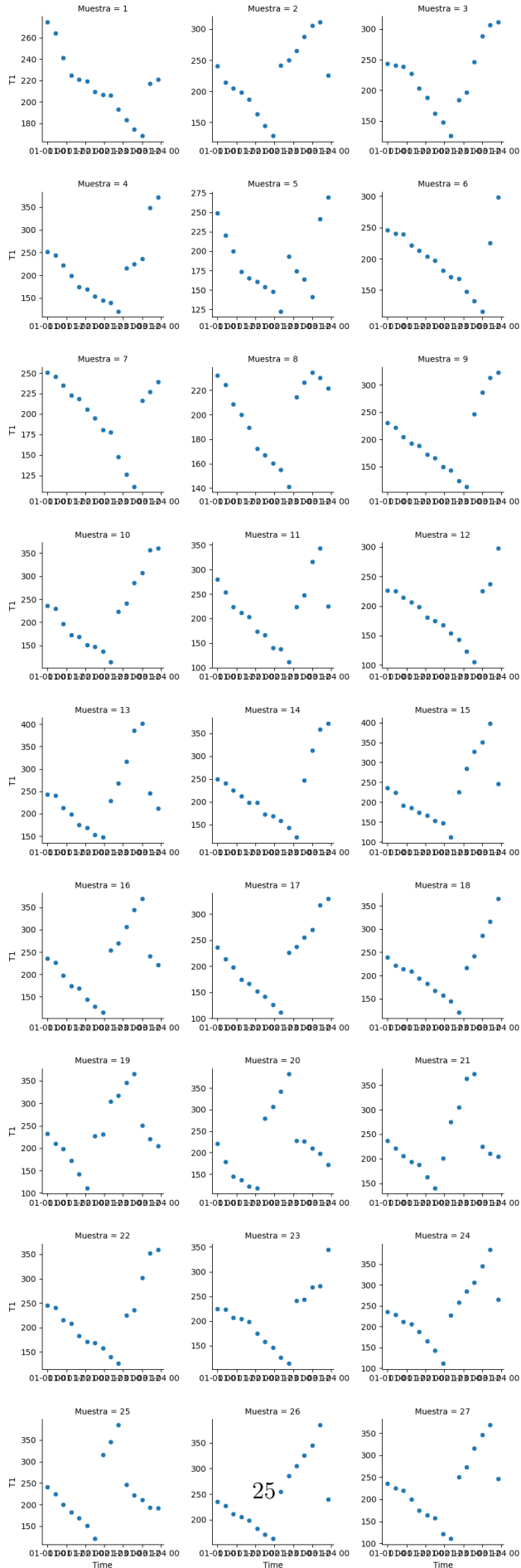
# Plot scatter plots in each subplot
g.map(sns.scatterplot, "Time", "T1")

g.fig.subplots_adjust(wspace=0.4, hspace=0.4) # Adjust spacing between subplots
plt.show()
```

/Users/Mila/anaconda3/lib/python3.11/site-packages/seaborn/axisgrid.py:118:

UserWarning: The figure layout has changed to tight

```
self._figure.tight_layout(*args, **kwargs)
```



```
[42]: melted_df.head()
```

```
[42]:  Temperatura    Hr    UV  Muestra          Time  HOUR  Material  \
0         15.0  0.79  180 nm          1  1900-01-01 00:00:00  0.0    T1
1         15.0  0.79  180 nm          2  1900-01-01 00:00:00  0.0    T1
2         15.0  0.79  180 nm          3  1900-01-01 00:00:00  0.0    T1
3         15.0  0.79  180 nm          4  1900-01-01 00:00:00  0.0    T1
4         15.0  0.79  180 nm          5  1900-01-01 00:00:00  0.0    T1
```

```
Value Measurement Time_Label
0  280.8          T1_180      $T_0$
1  243.2          T1_180      $T_0$
2  242.6          T1_180      $T_0$
3  251.6          T1_180      $T_0$
4  247.6          T1_180      $T_0$
```

```
[43]: melted_df.corr()
```

```
-----
ValueError                                Traceback (most recent call last)
Cell In[43], line 1
----> 1 melted_df.corr()

File ~/anaconda3/lib/python3.11/site-packages/pandas/core/frame.py:10054, in DataFrame.corr(self, method, min_periods, numeric_only)
   10052 cols = data.columns
   10053 idx = cols.copy()
> 10054 mat = data.to_numpy(dtype=float, na_value=np.nan, copy=False)
   10055 if method == "pearson":
   10056     correl = libalgos.nancorr(mat, minp=min_periods)

File ~/anaconda3/lib/python3.11/site-packages/pandas/core/frame.py:1838, in DataFrame.to_numpy(self, dtype, copy, na_value)
   1836 if dtype is not None:
   1837     dtype = np.dtype(dtype)
-> 1838 result = self._mgr.as_array(dtype=dtype, copy=copy, na_value=na_value)
   1839 if result.dtype is not dtype:
   1840     result = np.array(result, dtype=dtype, copy=False)

File ~/anaconda3/lib/python3.11/site-packages/pandas/core/internals/managers.py:1732, in BlockManager.as_array(self, dtype, copy, na_value)
   1730     arr.flags.writeable = False
   1731 else:
-> 1732     arr = self._interleave(dtype=dtype, na_value=na_value)
   1733     # The underlying data was copied within _interleave, so no need
```

```
1734     # to further copy if copy=True or setting na_value
1736 if na_value is not lib.no_default:
```

```
File ~/anaconda3/lib/python3.11/site-packages/pandas/core/internals/managers.py:
```

```
↪1794, in BlockManager._interleave(self, dtype, na_value)
```

```
1792     else:
1793         arr = blk.get_values(dtype)
-> 1794     result[r1.indexer] = arr
1795     itemmask[r1.indexer] = 1
1797 if not itemmask.all():
```

```
ValueError: could not convert string to float: '1900-01-01 00:00:00'
```

```
[ ]: sns.heatmap(melted_df.corr(), annot=True)
```

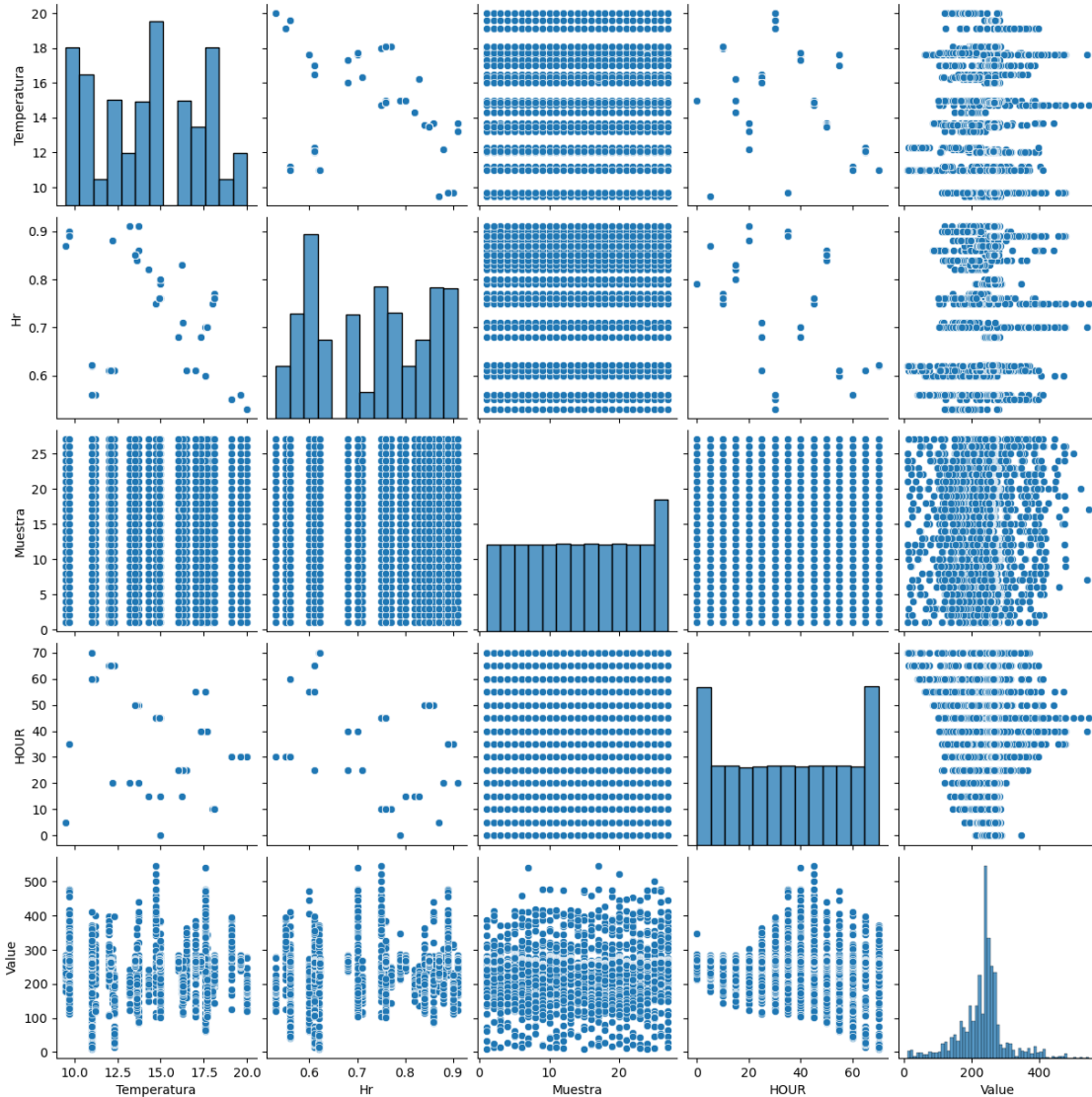
```
[44]: sns.pairplot(data=melted_df)
```

```
/Users/Mila/anaconda3/lib/python3.11/site-packages/seaborn/axisgrid.py:118:
```

```
UserWarning: The figure layout has changed to tight
```

```
self._figure.tight_layout(*args, **kwargs)
```

```
[44]: <seaborn.axisgrid.PairGrid at 0x17cd50c50>
```



```
[121]: print(melted_df["Measurement"].value_counts())
```

```
Measurement
T1_250    405
T9_180    405
T1_180    403
T9_250    403
T9_395    403
T1_395    402
Name: count, dtype: int64
```

```
[122]: melted_df[(melted_df['Measure']=='180 nm')&(df['Muestra']==7)]
```



```

-----
KeyError                                Traceback (most recent call last)
File ~/anaconda3/lib/python3.11/site-packages/pandas/core/indexes/base.py:3653, in Index.get_loc(self, key)
    ↪ Index.get_loc(self, key)
      3652 try:
-> 3653     return self._engine.get_loc(casted_key)
      3654 except KeyError as err:

File ~/anaconda3/lib/python3.11/site-packages/pandas/_libs/index.pyx:147, in pandas._libs.index.IndexEngine.get_loc()
    ↪ pandas._libs.index.IndexEngine.get_loc()

File ~/anaconda3/lib/python3.11/site-packages/pandas/_libs/index.pyx:176, in pandas._libs.index.IndexEngine.get_loc()
    ↪ pandas._libs.index.IndexEngine.get_loc()

File pandas/_libs/hashtable_class_helper.pxi:7080, in pandas._libs.hashtable.PyObjectHashTable.get_item()
    ↪ PyObjectHashTable.get_item()

File pandas/_libs/hashtable_class_helper.pxi:7088, in pandas._libs.hashtable.PyObjectHashTable.get_item()
    ↪ PyObjectHashTable.get_item()

KeyError: 'Measure'

```

The above exception was the direct cause of the following exception:

```

KeyError                                Traceback (most recent call last)
Cell In[122], line 1
----> 1 melted_df[(melted_df['Measure']=='180 nm') & (df['Muestra']==7)]

File ~/anaconda3/lib/python3.11/site-packages/pandas/core/frame.py:3761, in DataFrame.__getitem__(self, key)
    ↪ DataFrame.__getitem__(self, key)
      3759 if self.columns.nlevels > 1:
      3760     return self._getitem_multilevel(key)
-> 3761 indexer = self.columns.get_loc(key)
      3762 if is_integer(indexer):
      3763     indexer = [indexer]

File ~/anaconda3/lib/python3.11/site-packages/pandas/core/indexes/base.py:3655, in Index.get_loc(self, key)
    ↪ Index.get_loc(self, key)
      3653     return self._engine.get_loc(casted_key)
      3654 except KeyError as err:
-> 3655     raise KeyError(key) from err
      3656 except TypeError:
      3657     # If we have a listlike key, _check_indexing_error will raise
      3658     # InvalidIndexError. Otherwise we fall through and re-raise
      3659     # the TypeError.
      3660     self._check_indexing_error(key)

```

```
KeyError: 'Measure'
```

```
[38]: cosa = melted_df[melted_df['Measurement']=='T1_180'].groupby(["Material",  
→"HOOR"])['Value'].agg('mean')
```

```
[39]: cosa
```

```
[39]: Material  HOOR  
T1          0.0    253.507407  
          5.0    239.780769  
          10.0   226.900000  
          15.0   213.107407  
          20.0   201.670370  
          25.0   226.614815  
          30.0   289.022222  
          35.0   367.959259  
          40.0   416.607407  
          45.0   323.840741  
          50.0   152.025926  
          55.0   104.825926  
          60.0    68.934615  
          65.0    41.985185  
          70.0    22.377778
```

```
Name: Value, dtype: float64
```

```
[40]: cosa[4:-4]
```

```
[40]: Material  HOOR  
T1          20.0   201.670370  
          25.0   226.614815  
          30.0   289.022222  
          35.0   367.959259  
          40.0   416.607407  
          45.0   323.840741  
          50.0   152.025926
```

```
Name: Value, dtype: float64
```

```
[41]: x = deriv['HOOR']  
y = cosa  
  
## Derivative  
dtldt = np.gradient(y,x)
```

```
[42]: dtldt
```

```
[42]: array([-2.74532764, -2.66074074, -2.66733618, -2.52296296,  
         1.35074074,  8.73518519, 14.13444444, 12.75851852,
```

```
-4.41185185, -26.45814815, -21.90148148, -8.30913105,  
-6.28407407, -4.65568376, -3.92148148])
```

```
[43]: def gauss_f(x,A,mu,sig):  
       return A*np.exp(-(x-mu)**2/(2*sig**2))
```

```
[ ]:
```

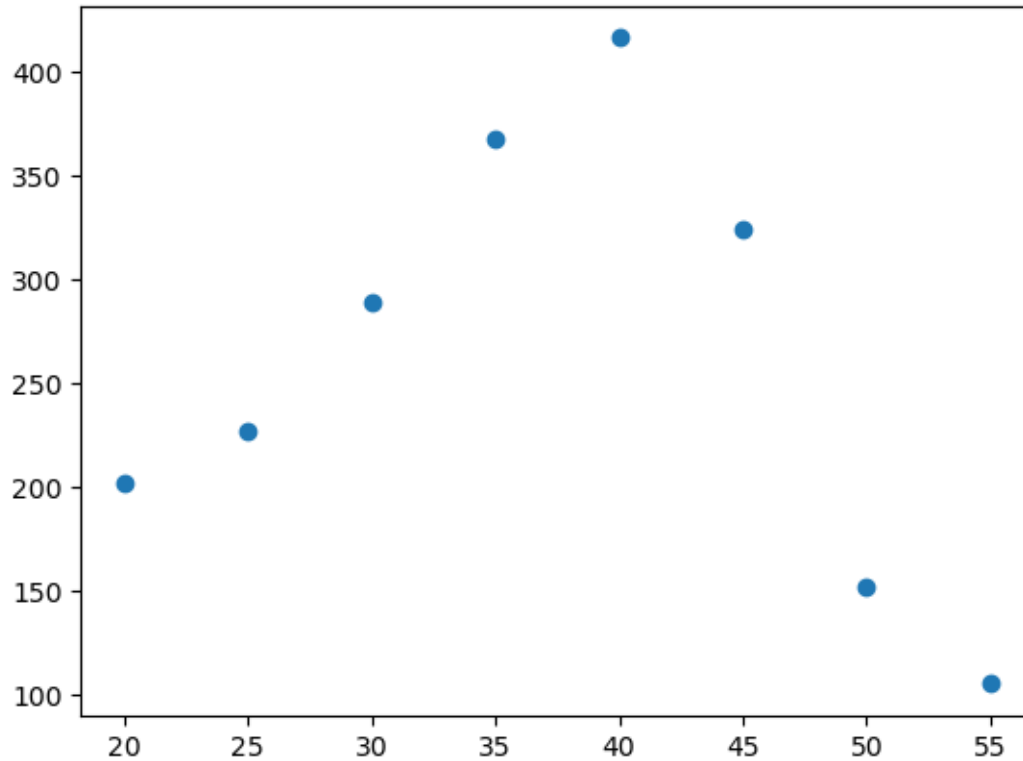
```
[45]: x_data_cropped = x[(x>15.0) * (x<60.00)]  
       y_data_cropped = cosa[4:-3]
```

```
[46]: y_data_cropped
```

```
[46]: Material  HOUR  
      T1      20.0   201.670370  
          25.0   226.614815  
          30.0   289.022222  
          35.0   367.959259  
          40.0   416.607407  
          45.0   323.840741  
          50.0   152.025926  
          55.0   104.825926
```

```
Name: Value, dtype: float64
```

```
[47]: plt.scatter(x_data_cropped, y_data_cropped)  
       plt.show()
```



```
[48]: from scipy.optimize import curve_fit
```

```
popt, pcov = curve_fit(gauss_f, x_data_cropped, y_data_cropped, p0=[417, 40, 10])
```

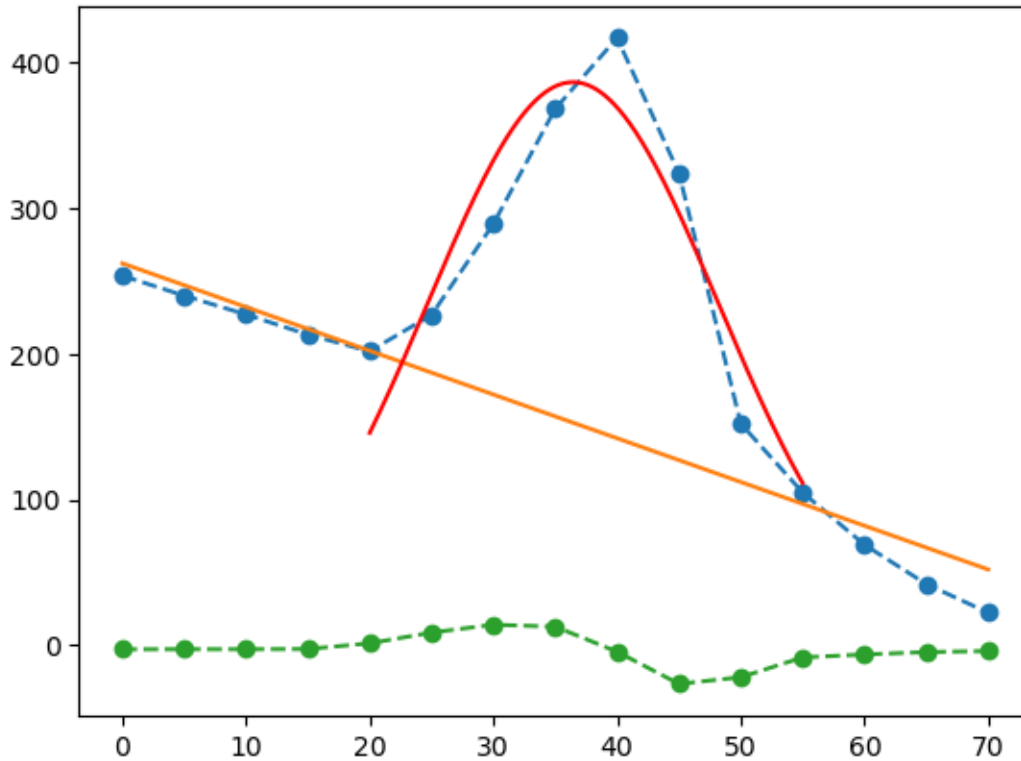
```
[49]: x_model = np.linspace(min(x_data_cropped), max(x_data_cropped), 1000)
y_model = gauss_f(x_model, *popt)
```

```
[50]: pop
```

```
[50]: array([386.24549238,  36.43520038,  11.76938566])
```

```
[51]: plt.plot(x,y, 'o--')
plt.plot(x, -3*x+262)
plt.plot(x_model, y_model, color='r')
plt.plot(x, dt1dt, 'o--')
```

```
[51]: [<matplotlib.lines.Line2D at 0x16338db10>]
```



```
[52]: x[1:][[(dt1dt[1:]*dt1dt[:-1]<0)]]
```

```
[52]: 114    20.0
      222    40.0
      Name: HOUR, dtype: float64
```

```
[53]: 417-((-3*40)+262)
```

```
[53]: 275
```

```
[54]: def Gauss(x1,a,u,s):
      G = a*(np.exp(-(1/2.0)*((u-x1)/(s))**2))
      return G
      '''Descripcion:
      x1 es x, a es peso, u es centroide, s es sigma, esta es la distribucion
      →gaussiana.'''

      def Gauss1(x1,a1,u,s,c,d,e):
      G1 = a1*(np.exp(-(1/2.0)*((u-x1)/s)**2)) + c + d*(x1 - e)
      return G1
      '''Descripcion:
```

```
retorna una gaussiana mas una recta de pendiente d'''
```

```
[54]: 'Descripcion:\nretorna una gaussiana mas una recta de pendiente d'
```

```
[55]: popt, pcov = curve_fit(Gauss1, x_data_cropped, y_data_cropped,   
    ↪p0=[275,40,10,332,-3.3,-22.5])
```

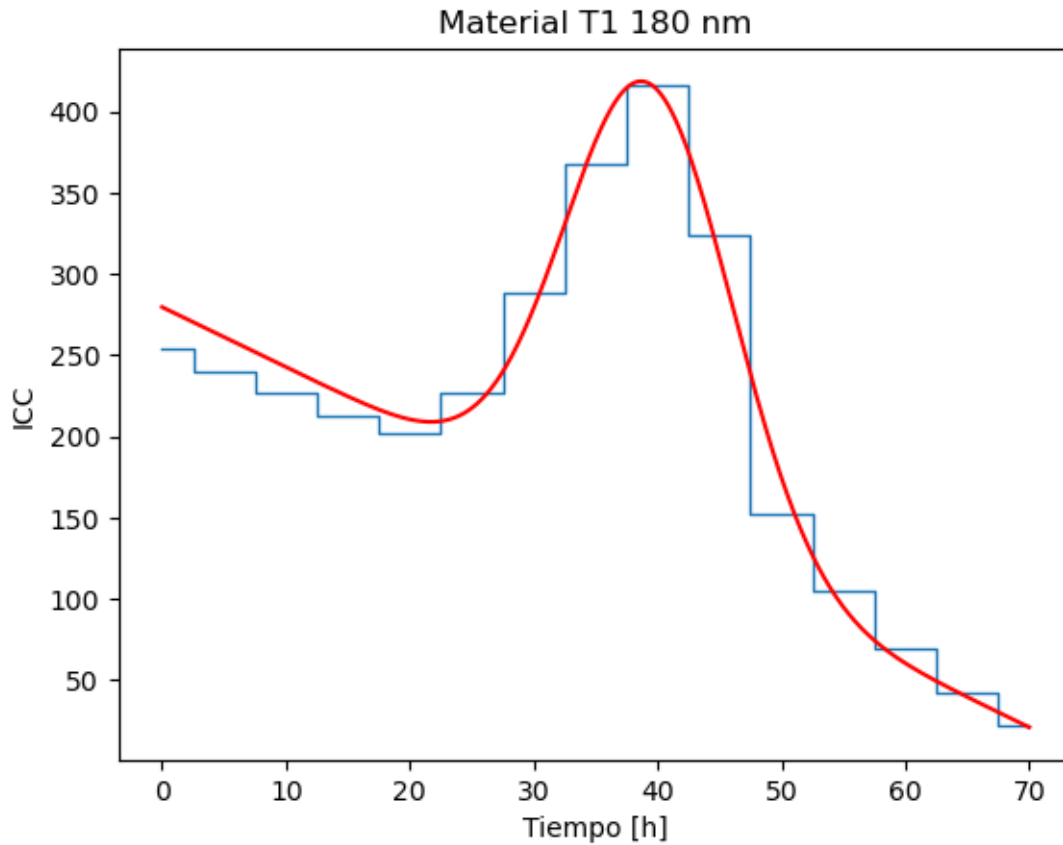
```
[56]: popt
```

```
[56]: array([ 283.12026585,   39.26360829,   6.74420462, -1065.83145914,   
    -3.69622442,   364.02060606])
```

```
[57]: x_model = np.linspace(min(x), max(x), 1000)   
    y_model = Gauss1(x_model, *popt)
```

```
[60]: c = 609.03794836   
    d = -3.69622445   
    e = -89.10914025   
    plt.plot(x,y,drawstyle='steps-mid',lw=1)   
    #plt.plot(x, c+ d*(x - e))   
    #plt.plot(x, -3.28388626*x+257.92393838)   
    #plt.plot(x, 331.72950983+ -3.28388626*(x +22.47506987))   
   
    plt.plot(x_model, y_model, color='r')   
    #plt.plot(x,Gauss(x,popt[0],popt[1],popt[2])+331.72950983+ -3.28388626*(x +22.   
    ↪47506987))   
    plt.xlabel('Tiempo [h]')   
    plt.ylabel('ICC')   
    plt.title('Material T1 180 nm')
```

```
[60]: Text(0.5, 1.0, 'Material T1 180 nm')
```



```
[214]: x[~((x>15.0) * (x<60.00))]
```

```
[214]: 6      0.0
      33     5.0
      60    10.0
      87    15.0
     330    60.0
     357    65.0
     384    70.0
      Name: HOUR, dtype: float64
```

```
[237]: cosa[0:4], cosa[12:]
```

```
[237]: (Material  HOUR
      T1      0.0    253.507407
           5.0    239.780769
          10.0    226.900000
          15.0    213.107407
      Name: Value, dtype: float64,
      Material  HOUR
```

```
T1      60.0    68.934615
        65.0    41.985185
        70.0    22.377778
Name: Value, dtype: float64)
```

```
[238]: xx = [0,5,10,15,60,65,70]
yy = [253.507407,239.780769,226.900000, 213.107407,68.934615,41.985185,22.377778]
```

```
[250]: def func(x,c,d,e):
        return c + d*(x - e)
```

```
[251]: #### curve fit [with only y-error]
popt,pcov=curve_fit(func,xx,yy)
```

```
[252]: pop_t
```

```
[252]: array([331.72950983, -3.28388626, -22.47506987])
```

```
[61]: cosa_1 = melted_df[melted_df['Measurement']=='T9_180'].groupby(["Material",
→"HOUR"])['Value'].agg('mean')
```

```
[62]: cosa_1
```

```
[62]: Material  HOUR
T9          0.0    248.074074
          5.0    227.433333
          10.0   207.262963
          15.0   195.744444
          20.0   211.703704
          25.0   251.933333
          30.0   294.633333
          35.0   336.807407
          40.0   345.125926
          45.0   345.081481
          50.0   294.300000
          55.0   250.688889
          60.0   216.285185
          65.0   195.744444
          70.0   174.733333
Name: Value, dtype: float64
```

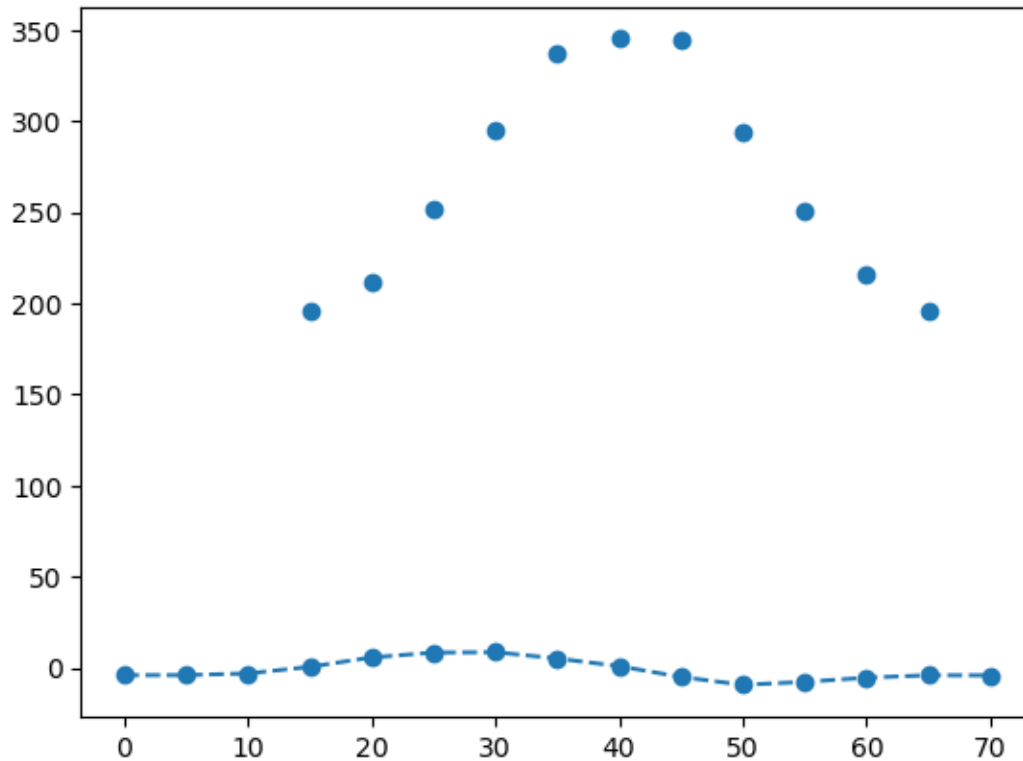
```
[71]: x = deriv['HOUR']
y = cosa_1

## Derivative
dtldt = np.gradient(y,x)
```



```
[78]: x_data_cropped = x[(x>10.0) * (x<70.00)]
      y_data_cropped = cosa_1[3:-1]
```

```
[85]: plt.scatter(x_data_cropped, y_data_cropped)
      plt.plot(x, dt1dt, 'o--')
      plt.show()
```



```
[86]: x[1:][[(dt1dt[1:]*dt1dt[:-1]<0)]]
```

```
[86]: 87    15.0
      249   45.0
      Name: HOUR, dtype: float64
```

```
[81]: popt1, pcov1 = curve_fit(Gauss1, x_data_cropped, y_data_cropped,
      ↪p0=[342,40,10,332,-3.3,-22.5])
```

```
[82]: popt1
```

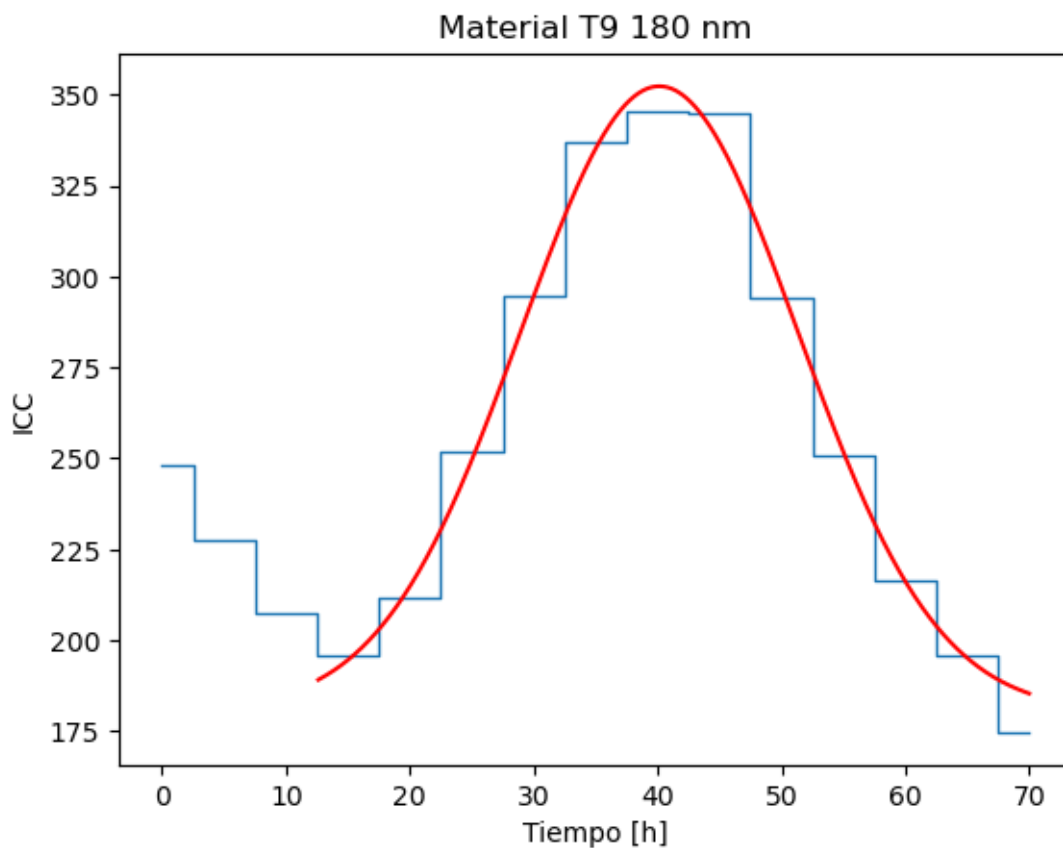
```
[82]: array([ 1.71643078e+02,  4.01468031e+01,  1.12005135e+01,  1.86204687e+02,
          -5.58152642e-03, -9.56372198e+02])
```

```
[97]: x_model = np.linspace(min(x), max(x), 1000)
y_model = Gauss1(x_model[180:], *popt1)
```

```
[98]: plt.plot(x,y,drawstyle='steps-mid',lw=1)

plt.plot(x_model[180:], y_model, color='r')
#plt.plot(x,Gauss(x,popt[0],popt[1],popt[2])+331.72950983+ -3.28388626*(x +22.
→47506987))
plt.xlabel('Tiempo [h]')
plt.ylabel('ICC')
plt.title('Material T9 180 nm')
```

```
[98]: Text(0.5, 1.0, 'Material T9 180 nm')
```



```
[ ]:
```

```
[ ]:
```