



Resultados de un ensayo experimental de un ambiente con radiación solar UV en Marte y sus efectos sobre la germinación y el contenido de pigmentos fotosintéticos en *Chenopodium quinoa*

Erika Paola Puentes León¹, Santiago Vargas Domínguez¹, Zaida Zarely Ojeda Pérez²

1. Universidad Nacional de Colombia – OAN

2. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia – Escuela de Biología



INTRODUCCIÓN



Este estudio evalúa los efectos de la radiación UV simulada en condiciones marcianas sobre la germinación de *Chenopodium quinoa*, aportando datos que pueden servir como base para la colonización en Marte.

Generalidades

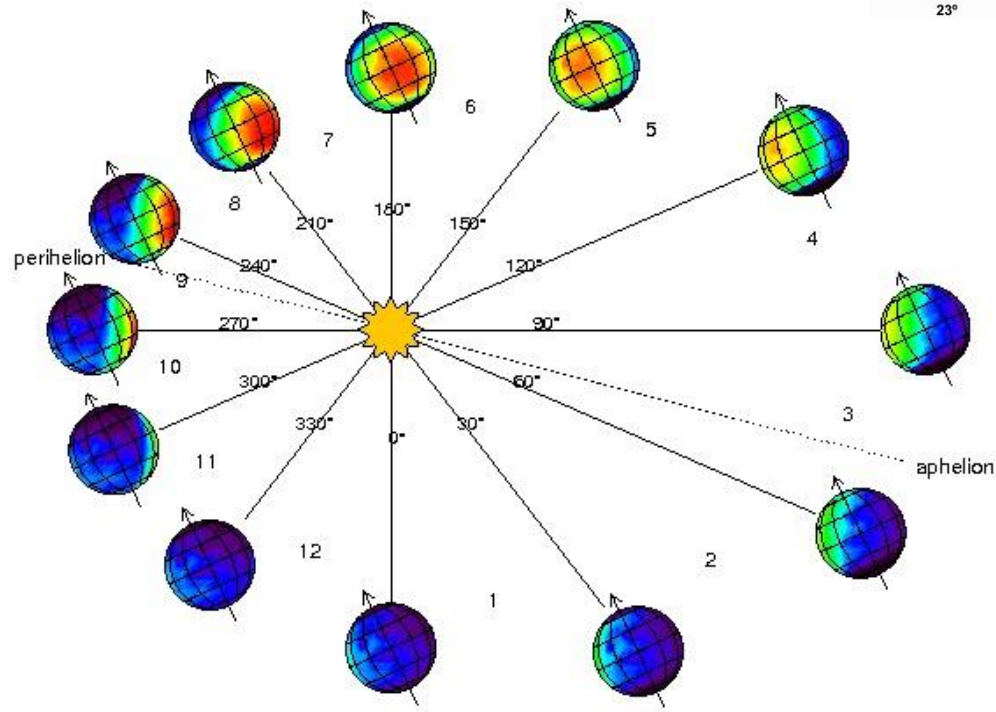
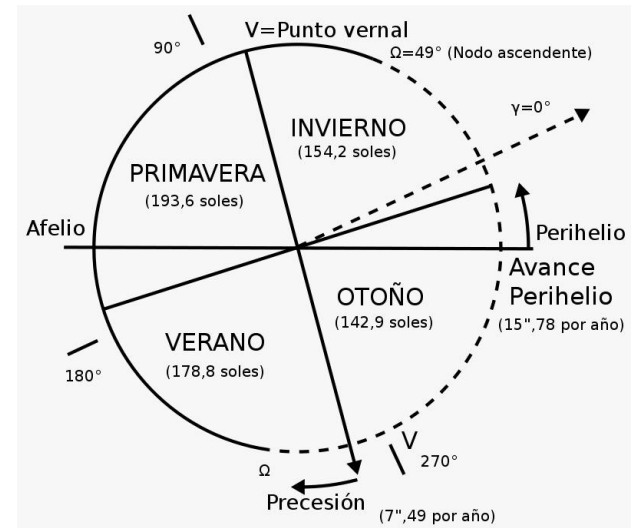


Figura 1. Meses y estaciones en Marte. Tomado de Chassefiere. E., (2011)



Estación		Duración en Marte		Durac. Tierra
hemisferio boreal	hemisferio austral	Soles	Días	Días
primavera	otoño	194	199	92,9
verano	invierno	178	183	93,6
otoño	primavera	143	147	89,7
invierno	verano	154	158	89,1

Tomado de: <https://www.nakedeyplanets.com/mars-seasons.htm>

Figura 2. Estaciones en Marte.

Generalidades

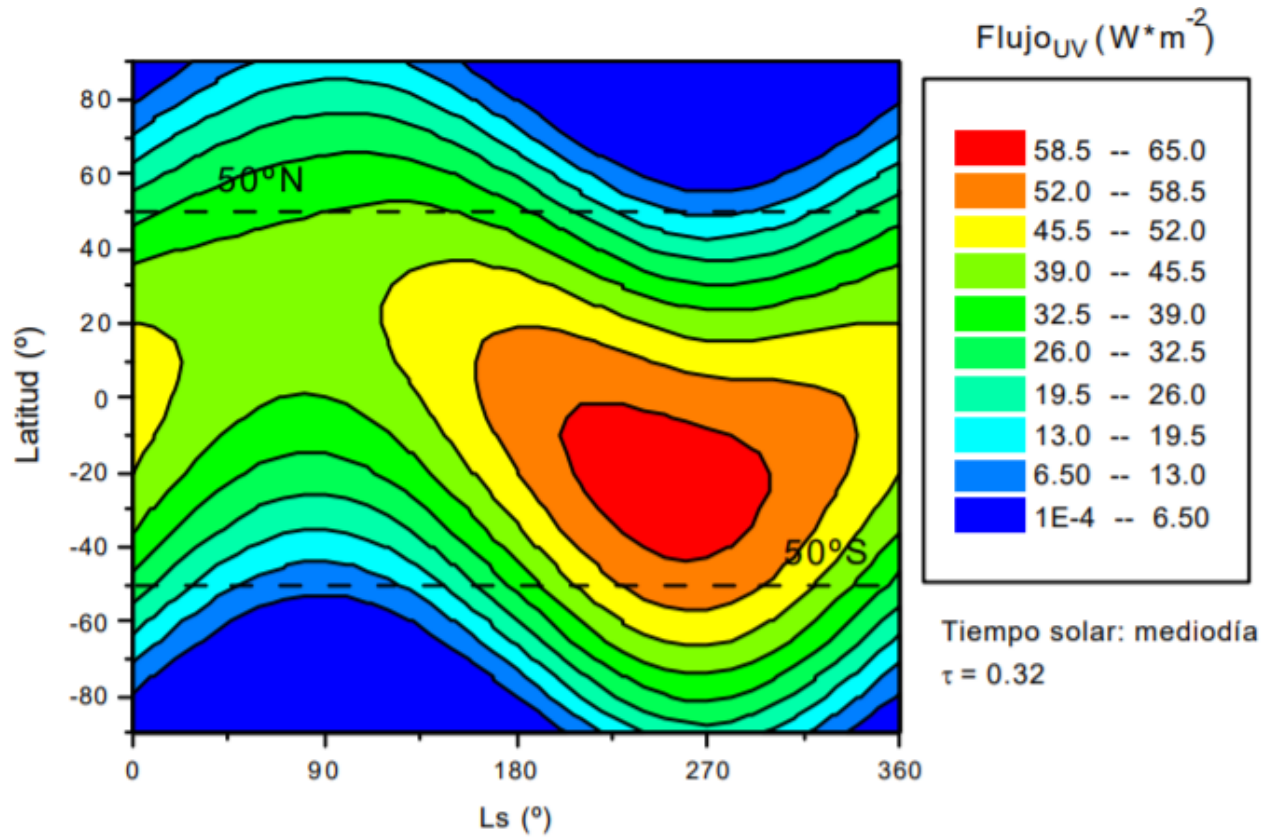


Figura 3. Radiación UV solar en la superficie de Marte. Tomado de Córdoba-Jabonero et al.,

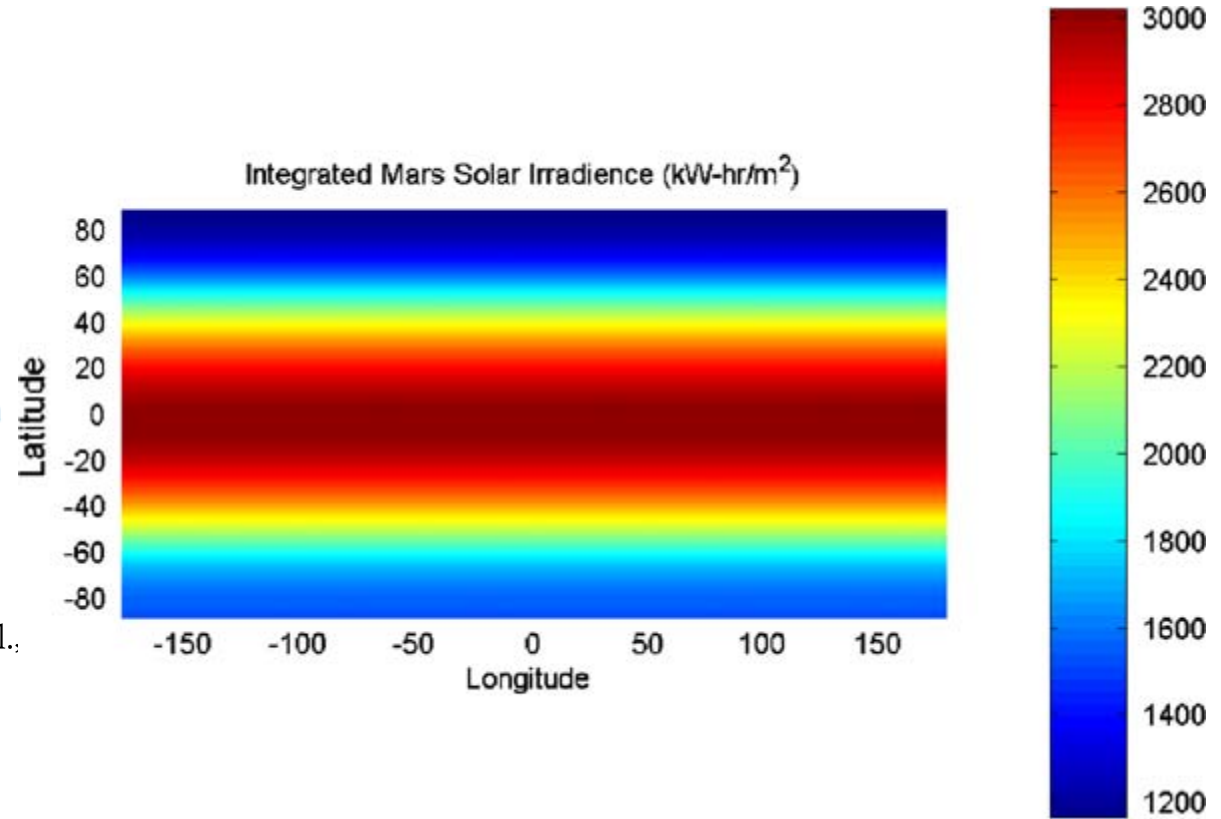


Figura 4. Promedio anual de la irradiancia solar marciana. Tomado de Chamiotoff, et al., (2001).

Generalidades

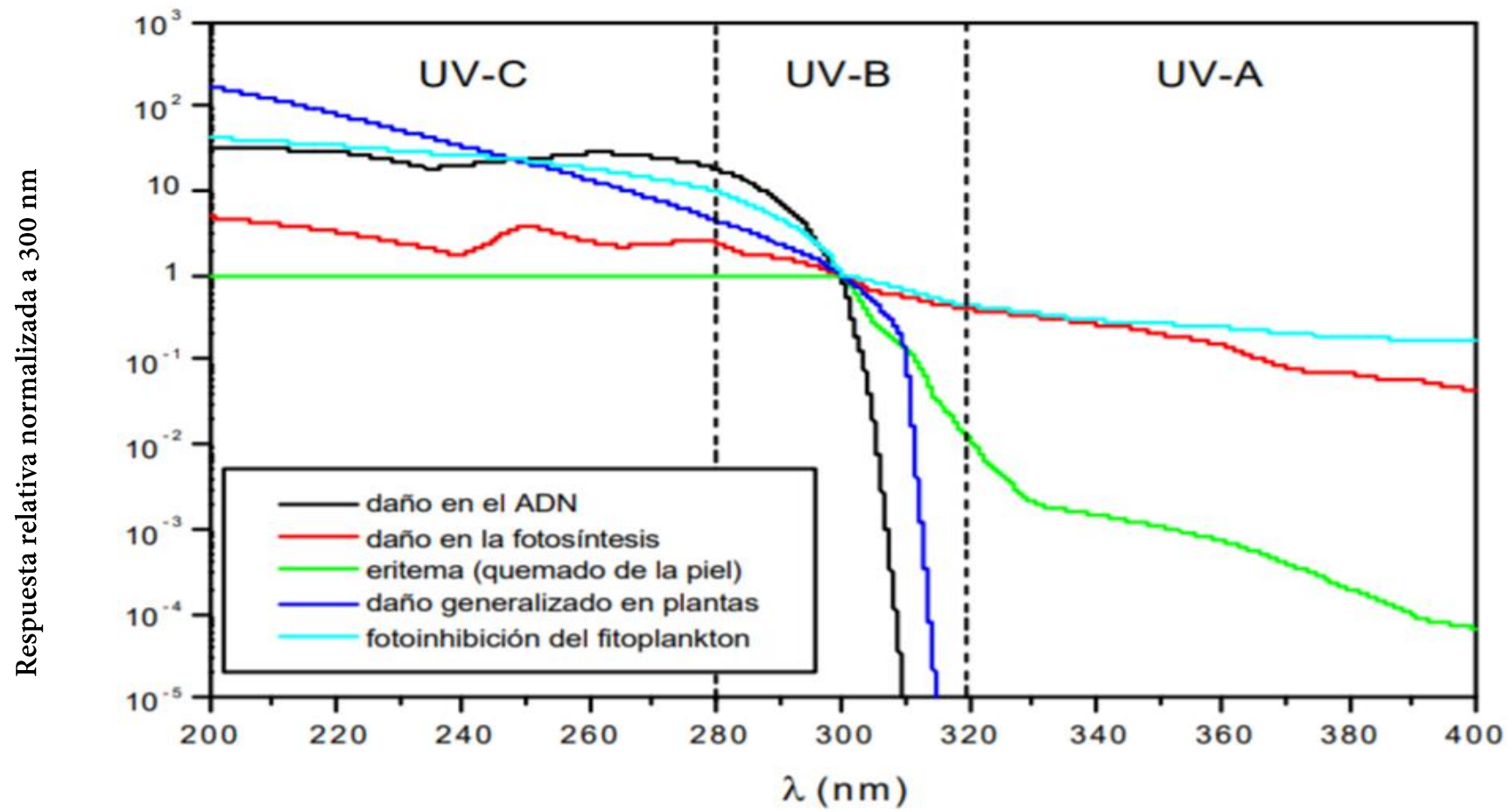


Figura 5. Espectros de acción biológica. Tomado de Córdoba et al. (2002)

Generalidades

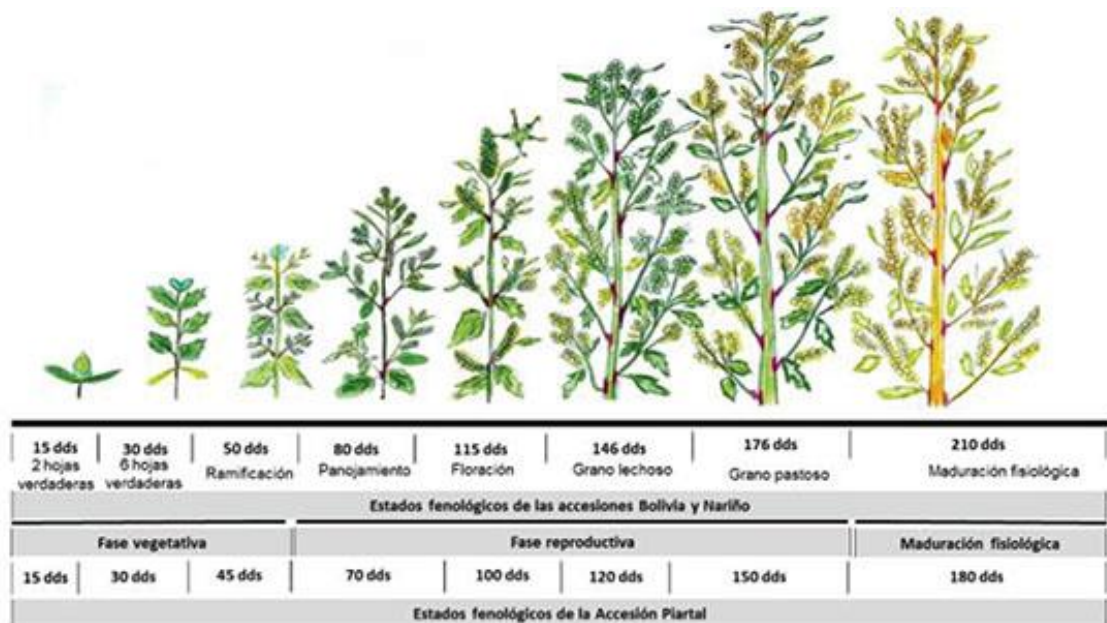


Figura 6. Estados fenológicos de la quinoa. Tomado de Ramírez et al. (2016)

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



Cotiledones visibles

Elevación de la plántula

Fotosíntesis temprana

Imbibición

Se produce una absorción de agua por parte de los tejidos de la semilla, lo que provoca un aumento de la actividad respiratoria

Germinación

Se producen las transformaciones metabólicas para el desarrollo de la plántula. En esta fase, la absorción de agua se reduce e incluso puede detenerse

Crecimiento

La radícula emerge y el agua vuelve a ser absorbida, lo que aumenta la actividad respiratoria

Generalidades

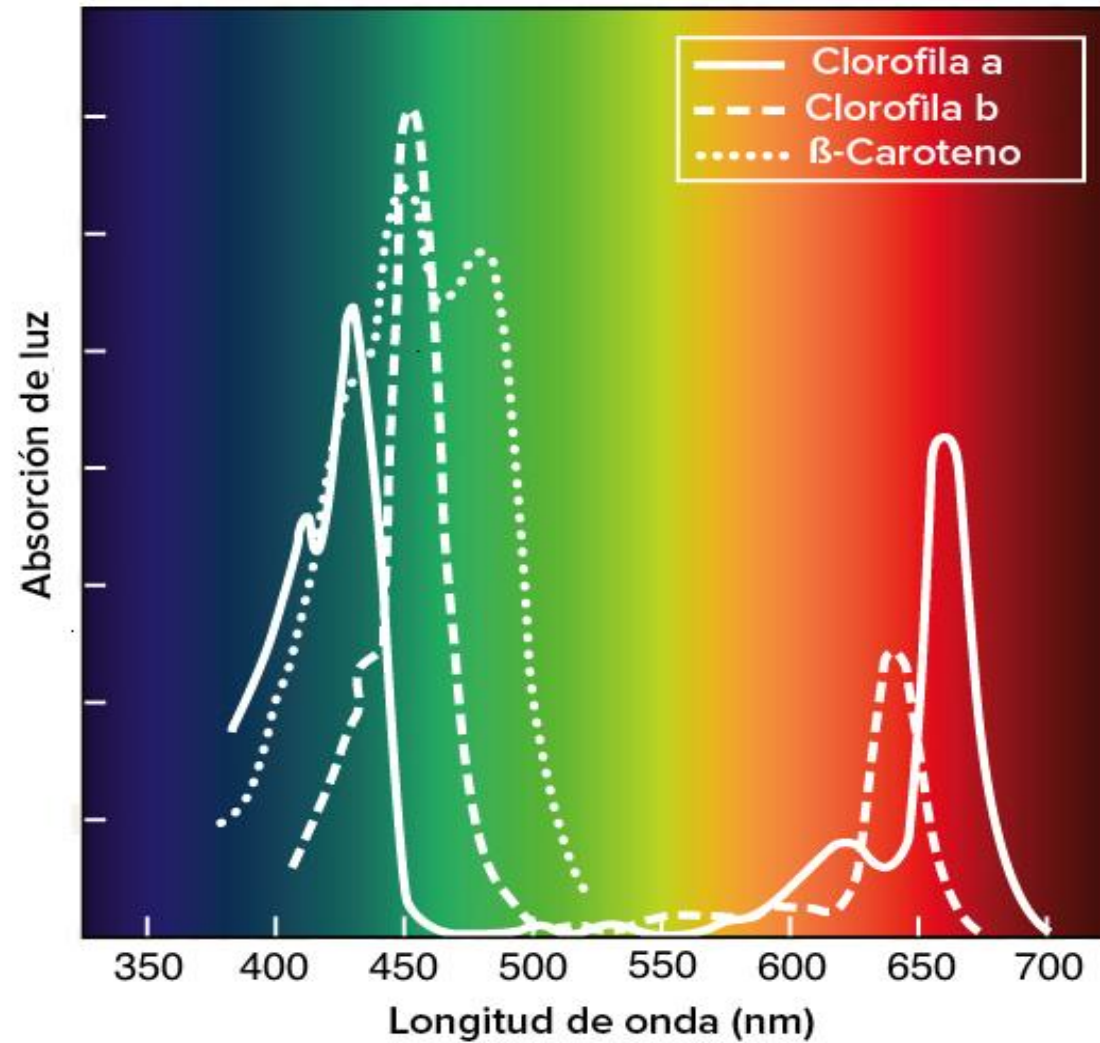
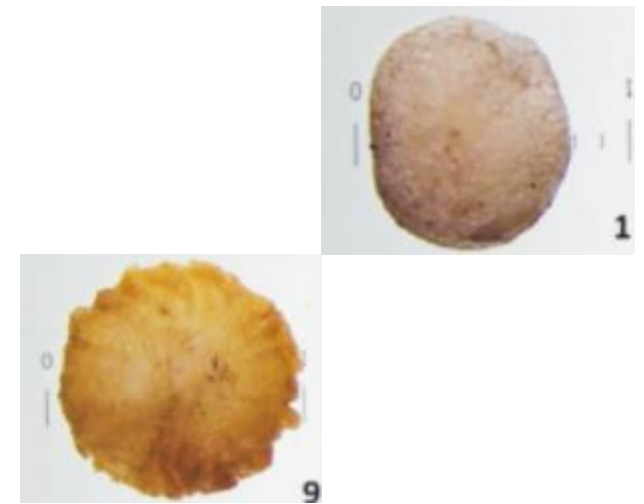


Figura 12. Espectro de absorción de los pigmentos. Tomado de Geraldo et al. (2021)

MATERIALES Y MÉTODOS EXPERIMENTALES

Material biológico

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 marangani



Información de Semillas. Tomado de Manjarres (2020)

MATERIALES Y MÉTODOS EXPERIMENTALES

Porcentaje de germinación y contenido de clorofilas totales



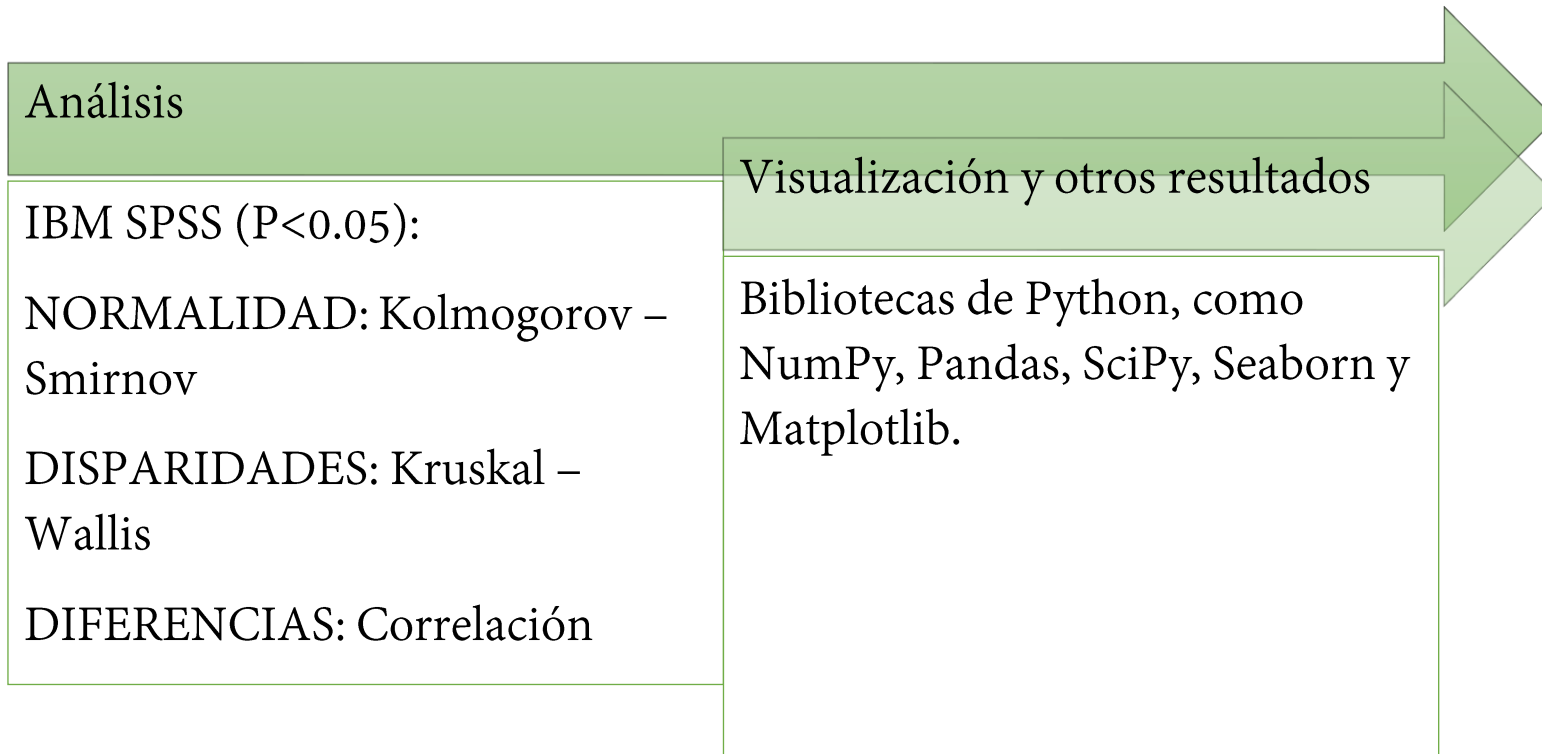
Figura 7. Semillas de amarilla de maranganí germinadas bajo estrés de radiación ultravioleta solar simulada



Figura 8. Plantas de un mes de crecimiento de amarilla de maranganí y quinoa real, sometidas a bajo estrés de radiación ultravioleta solar simulada

MATERIALES Y MÉTODOS EXPERIMENTALES

Análisis estadístico



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Germinación

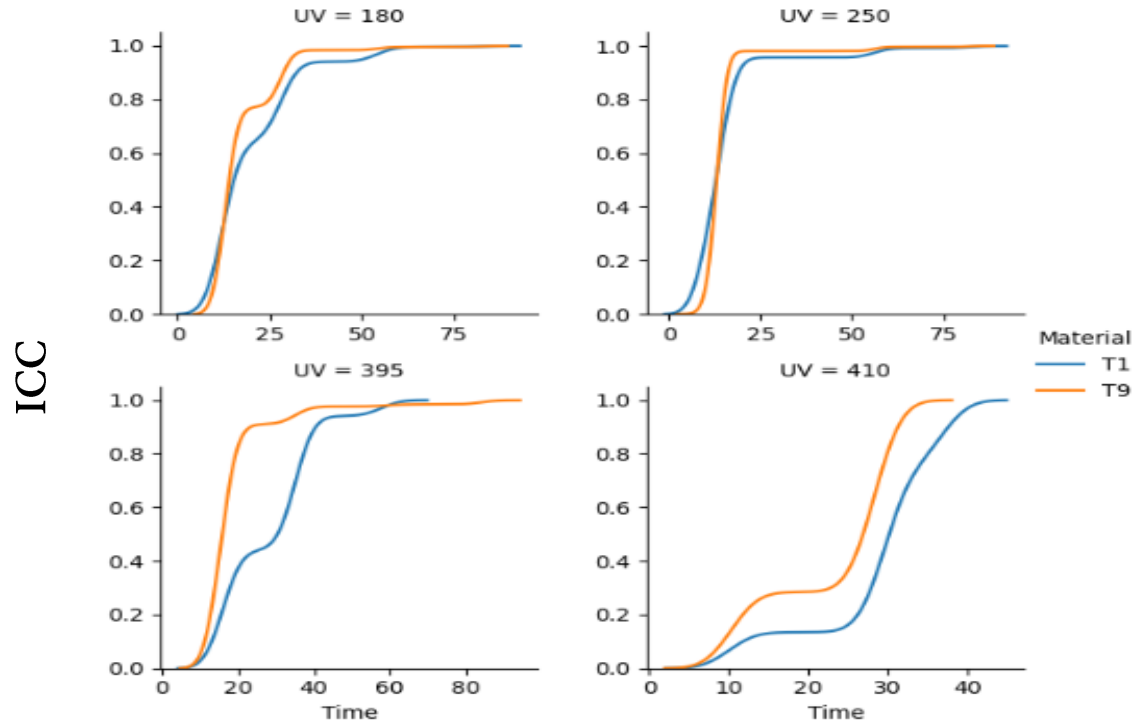


Figura 9. Emergencia de Quinoa real y Amarilla de maranganí en diferentes longitudes de onda.

Clorofilas totales

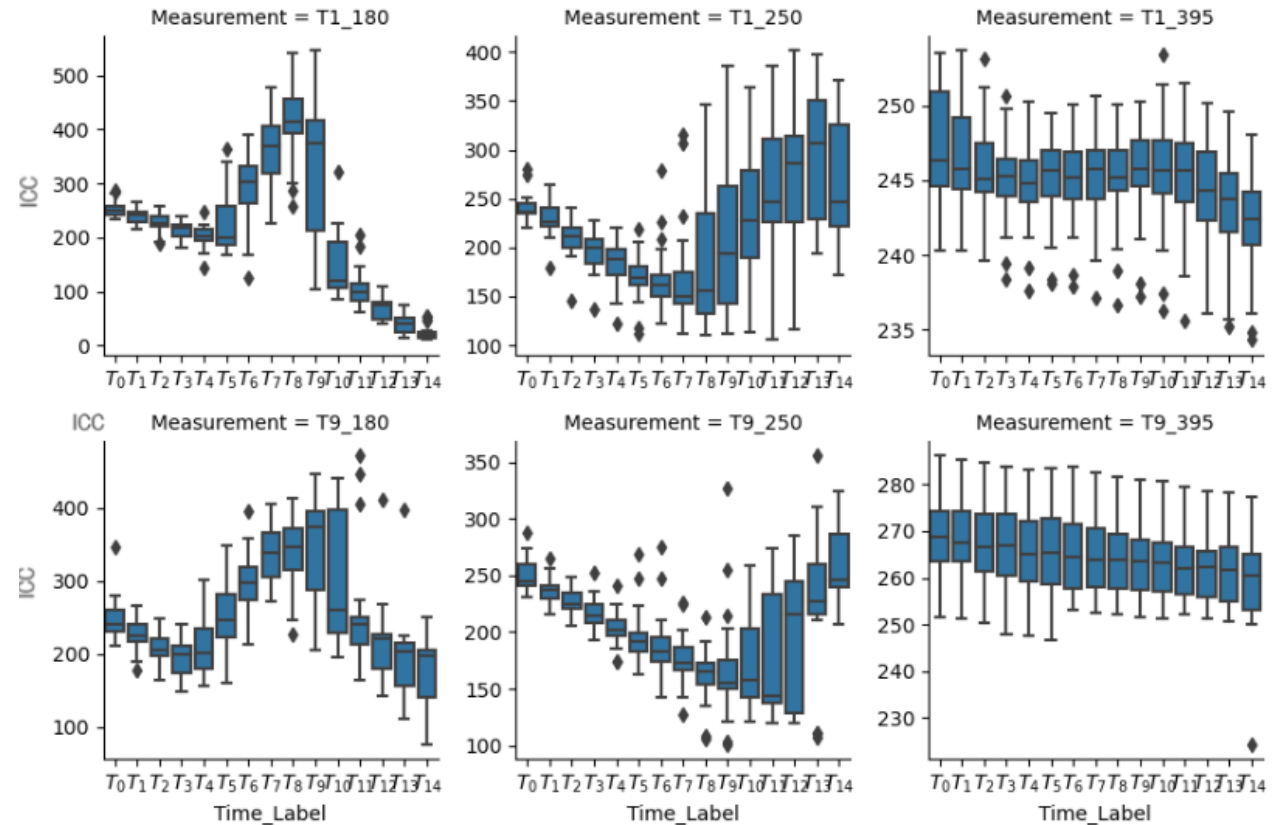


Figura 10. Comparación entre la distribución y variabilidad de la Quinoa Real y Amarilla de Maranganí en diferentes momentos para longitudes de onda de luz UV de 180 nm, 250 nm y 180 nm

Jansen (1998) y Vera (2014): Mayor producción de metabolitos secundarios

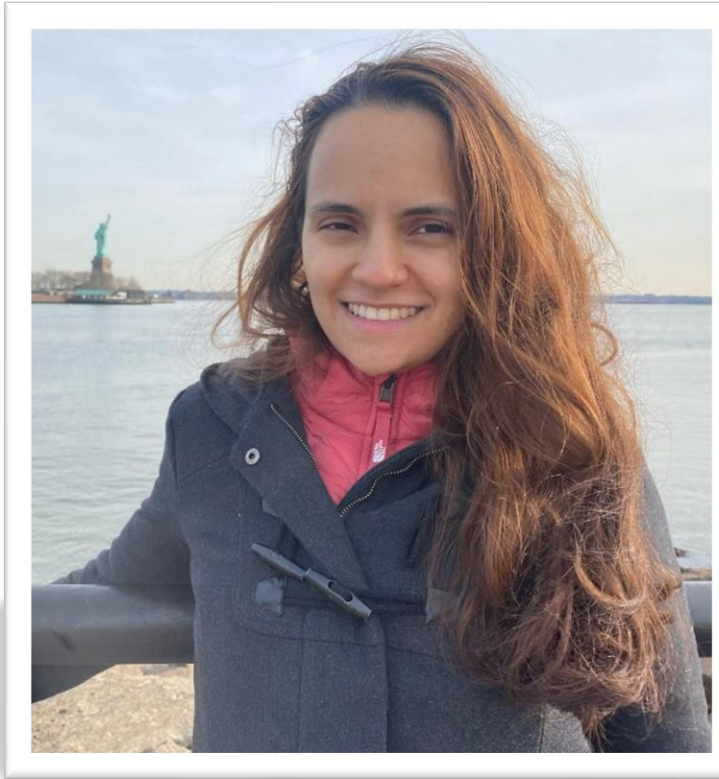
CONCLUSIONES

1. Aunque no existen estudios específicos sobre la influencia de la radiación UV en las semillas de quinoa, este estudio sugiere que podría afectar la producción y señalización de fitohormonas clave para la germinación y crecimiento de las plantas, como auxinas y giberelinas.
2. La radiación UV puede estimular el metabolismo de las plantas, acelerando la conversión de reservas en energía utilizable para el crecimiento de las plántulas.
3. El incremento en el índice de contenido de clorofila en respuesta a longitudes de onda cortas de radiación UV-A y UV-B respalda hallazgos previos e indica respuestas adaptativas de las plantas a esta radiación.
4. La radiación UV puede inducir estrés oxidativo, y el aumento en la producción de clorofila funciona como un antioxidante, protegiendo las células contra el daño oxidativo.
5. La síntesis adicional de clorofila puede ofrecer propiedades fotoprotectoras al absorber y disipar la energía de la radiación UV para prevenir daños en las estructuras celulares sensibles.

CONSIDERACIONES

1. La respuesta de las plantas a la radiación UV es compleja y depende de factores como la intensidad y duración de la exposición, el tipo de planta y las condiciones ambientales específicas.
2. La investigación en este campo busca comprender los mecanismos detrás de los efectos observados en la germinación y el contenido de clorofila en respuesta a la radiación UV.

AGRADECIMIENTOS



- [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's 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. ; SCHIMMCKEL, 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. ; KRJNEN, W. H. ; VERWOERT, M. R. ; GOEDIHART, P. W.: Can Plants Grow on Mars and the Moon: A Growth Experiment on Mars and Moon Soil Simulants. En: *PLoS ONE* (2014)