



Microclimas - espacio de sustentabilidad

Microclimates - sustainability space

Javier Ninahuaman, Henry ^(1,2); Alderete Callupe, Liz ⁽²⁾; Arauzo Gallardo, Carlos ⁽²⁾; Olivares Chávez, Helen ⁽²⁾

(1) Universidad Nacional Autónoma Altoandina de Tarma, (2) Universidad Nacional del Centro del Perú

Resumen

Los métodos de producción en climas adversos producen un gasto de inversión excesivo que limita al agricultor la producción y comercialización a poca variedad de cultivos. Los estudiantes son actores activos frente a esta problemática y se quiso comparar la viabilidad de un muro de quincha frente a un invernadero como tecnologías de creación de microclimas en condiciones de viento agresivo y temperatura frío extremo. Cuantitativo, experimental comparativo de diseño completamente al azar de dos factores: Tipo de microclima (invernadero y muro cortante de viento) y especie de vegetal (col, cilantro y lechuga), evalúa los parámetros de intensidad de viento, temperatura, número de brotes con las comparaciones de medias por el estadístico posthoc de Tukey con respuestas de porcentaje de producción y luminosidad. Generación de microclimas con invernadero y con un muro cortante de viento al demostrar diferencias no significativas de ICs simultáneos de 95% de Tukey en crecimiento, evolución de brotes, producción y calidad de producto por colorimetría. La existencia, viabilidad y homogeneidad de parámetros crecimiento, evolución de brotes, producción y calidad de producto por colorimetría del cultivo de hortalizas en zonas frías con la generación de los microclimas tanto con invernadero y con un muro cortante de viento.

Palabras Claves: Alteración de la Aptitud Agroclimática, Cambio Climático, Sostenibilidad Ambiental.

Abstract

Introduction: Production methods in adverse climates produce an excessive investment expense that limits the farmer to the production and marketing of a small variety of crops.

Objective: To compare the feasibility of a thatch wall versus a greenhouse as technologies for creating microclimates in conditions of aggressive wind and extreme cold temperatures.

Method: Quantitative, experimental comparison of a completely random design of two factors: Type of microclimate (greenhouse and wind shear wall) and vegetable species (cabbage, cilantro and lettuce), evaluates the parameters of wind intensity, temperature, number of shoots with the comparisons of means by Tukey's posthoc statistic with answers of percentage of production and luminosity.

Most important result: Generation of microclimates with a greenhouse and with a wind shear wall by demonstrating non-significant differences of simultaneous CIs of 95% of Tukey in growth, evolution of shoots, production and product quality by colorimetry.

Conclusion: The existence, viability and homogeneity of growth parameters, evolution of shoots, production and product quality by colorimetry of the cultivation of vegetables in frigid areas with the generation of microclimates both with a greenhouse and with a wind shear wall.

Keywords: Alteration of Agroclimatic Aptitude, Climate Change, Environmental Sustainability

Introducción

Los lugares de frío extremo no permiten el cultivo de gran variedad de vegetales, causando el estrés inhibitorio que no permite el crecimiento y pobre germinación (Fuadati et al., 2021) o por el viento agresivo



(Barradas, 2017) y su afectación al crecimiento de las plantas, por el daño físico mecánico de su acción y la temperatura de aire helado que conduce.

En este sentido la microclimatología aporta a la viabilidad de cultivos pues relaciona a los seres vivos de forma que aprovecha condiciones diferentes (estructura, la topografía del área, la naturaleza del suelo) y busca adoptarlas para su aprovechamiento (Duval & Campo, 2017), basadas en ella se plantean soluciones que tienen que ver con la creación artificial de microclimas conocidas como invernaderos, ellas consiguen condiciones viables de cultivos que de otra forma no prosperarían (Munar & Aldana, 2019).

Los invernaderos son efectivos en el incremento de la temperatura haciendo viables ciertos vegetales en climas agresivos (Fuadati et al., 2021; Misni et al., 2019) y para las personas (Kostarev & Sereda, 2018; Rymarov & Titkov, 2021), con esos datos proponen microclimas dinámicos (Zhang et al., 2019) con el consecuente resultado de sostenibilidad y eficiencia verde (Li et al., 2018a; Romnée et al., 2019).

La problemática se visualiza con tecnologías para el control térmico, luminiscente y humedad (Kavga et al., 2020; Kokieva et al., 2020) como parámetros termo físicos (Du et al., 2021; Fan et al., 2021) y diseños de infraestructura (Yang, 2021) incluidas la técnica de internet de las cosas (Han et al., 2018). A estas tecnologías se puede agregar estudios de los efectos del corte del viento por construcciones altas pero de bajo coste (Jani et al., 2021; Li et al., 2018b).

Las variables meteorológicas para las investigaciones de microclima se determinan por la temperatura del aire, precipitación, humedad relativa; velocidad y dirección del viento (Duval & Campo, 2017). Pudiéndose caracterizar un microclima en base a instrumentos como el termómetro y el higrómetro, que muestran los efectos de la temperatura y los porcentajes de humedad, los mismos que propician diferentes condiciones de crecimiento de vegetales (Isnawan et al., 2021), estas tecnologías se están haciendo extendidas en Hortalizas y flores (Statista, 2021).

El objetivo del estudio es comprobar los beneficios de las tecnologías de cultivo de desarrollo sostenible adaptadas a la realidad, además de brindar un microclima cálido, la interacción de los estudiantes con el entorno se hace eficiente, permite así la capacidad de resolución de problemas, ejercicio ciudadano y el proceso de indagación en ciencia con un enfoque ambiental partiendo de situaciones de aprendizaje del contexto.

Metodología

El estudio es experimental, con diseño completamente al azar, se lleva a cabo en dos escuelas rurales situadas en las comunidades altoandinas de Tarma. La I.E. Nº 30570 “Coronel José Andrés Rázuri”, se encuentra en la Provincia de Junín a 4105 m.s.n.m. por lo que presenta un clima frío, seco y con presencia de heladas.

La I.E. Santa Elena se localiza en el Distrito de Huaricolca y Provincia de Tarma. Ubicada a 3976 m.s.n.m. Por la altitud y clima es de difícil cultivo de hortalizas, principalmente el viento derriba y traslada por convección la helada del medio a la planta.



Figura 1. Mapa de Localización de la I.E. Andrés Rázuri de Junín



En Junín se generó un ambiente cálido para la siembra experimental de 3 especies, esta instalación se comparó con las mediciones obtenidas en un terreno de cultivo en la Provincia de Tarma sin fitotoldo pero delimitado por muro de quincha o adobe que delimitará el corte viento.

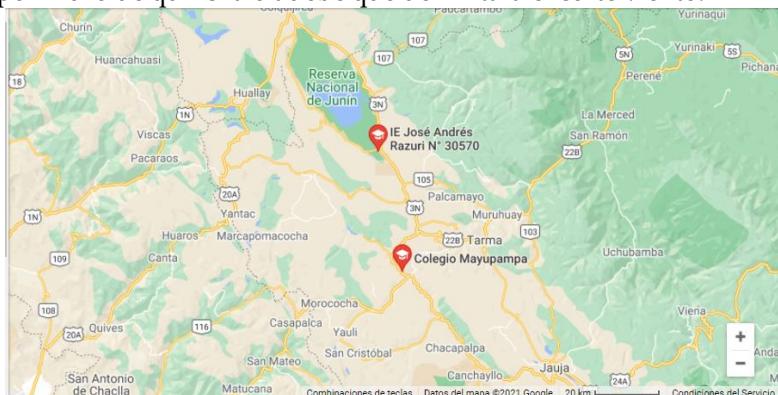


Figura 2. Preparación del terreno en I.E. Andrés Rázuri con Fitotoldo

Las mediciones en cada instalación consisten en medir la intensidad de la fuerza del viento, la temperatura y fuera de la instalación; además de cumplir con un programa de tres cultivos: Col, Culantro y Lechuga y análisis colorimétrico en su luminosidad por parámetros Cielab con el instrumento Color Análisis de Research lab tools y ejecutado por un Smartphone Redmi Note 8 Versión Miui global 12.0.6 versión android 10 KQ1.200114.002 en etapas de preparación de terreno, Sembrío, Cultivo. Las mediciones de producción para el presente artículo se hicieron a las 4 semanas de sembradas y el conteo para comparación de eficiencia de producción.



Figura 3. Sembrío junto al muro cortante en la localidad de Huaricolca Tarma Perú

Al momento de la siembra se colocaron 40 unidades de cada variedad de vegetal en cada ambiente. Las unidades de investigación son las semillas germinadas de:

Col nene (Excalibur): Tamaño, número de brotes, porcentaje de producción, color

Culantro (Caribe): Tamaño, número de brotes, porcentaje de producción, color

Lechuga seda (Antedis): Tamaño, número de brotes, porcentaje de producción, color

La frecuencia de riego fue diario por 10 días y luego interdiario hasta completar las 4 semanas. El uso de biofertilizante se limitó al agregado de Guano de oveja en cantidades de 1 saco por módulo.

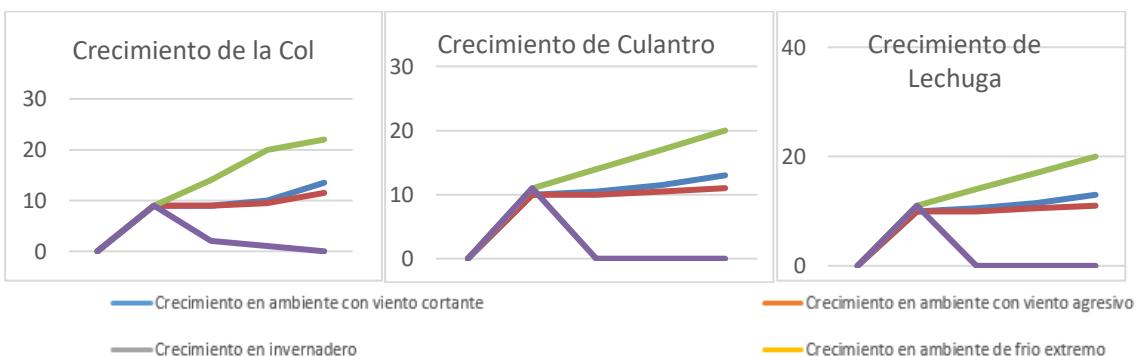
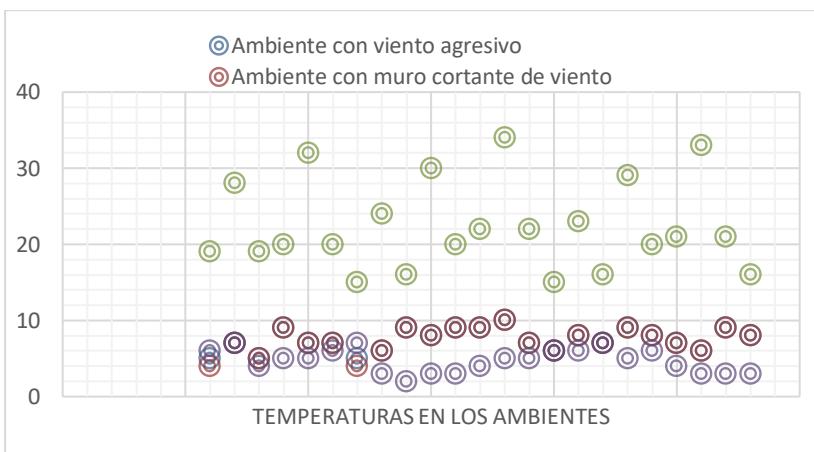


Figura 4. Sembrío en invernadero tipo fitotoldo en la localidad de Junín Perú

Resultados

Las mediciones en cada instalación dentro y fuera de la instalación respecto al viento tuvieron fuerte efecto, mientras que dentro de los ambientes fue flojo.

La variación de temperatura en los diferentes ambientes muestra la superioridad en el ambiente con invernadero, mientras que en el ambiente con frío extremo se visualiza temperaturas cercanas a 0°C. Respecto a las respuestas de crecimiento en el tiempo se observa superioridad en el tratamiento con invernadero. Respecto a la evolución de brotes se considera las tecnologías con muro cortante de viento (T1), a viento agresivo (T2), en invernadero (T3) y con frío extremo (T4) (Figura 5)



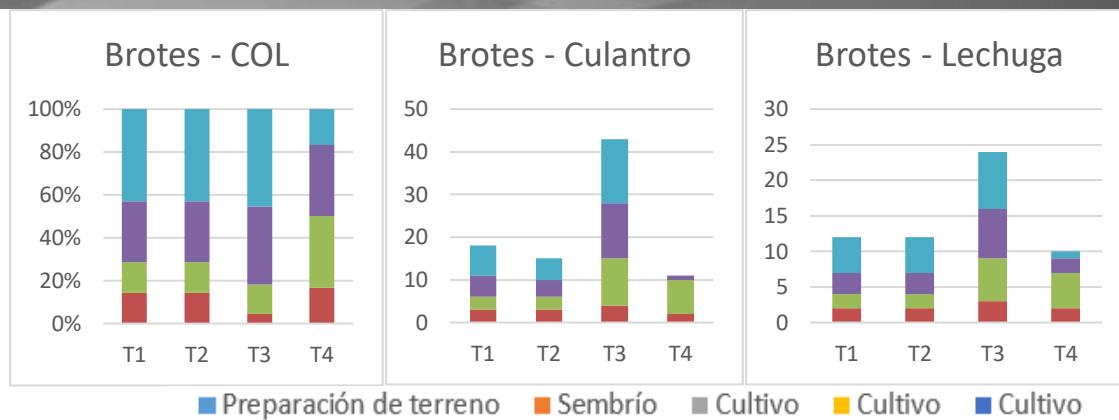


Figura 5. Comparativo de ambientes investigados, cultivos sometidos y estaciones

Luminosidad:

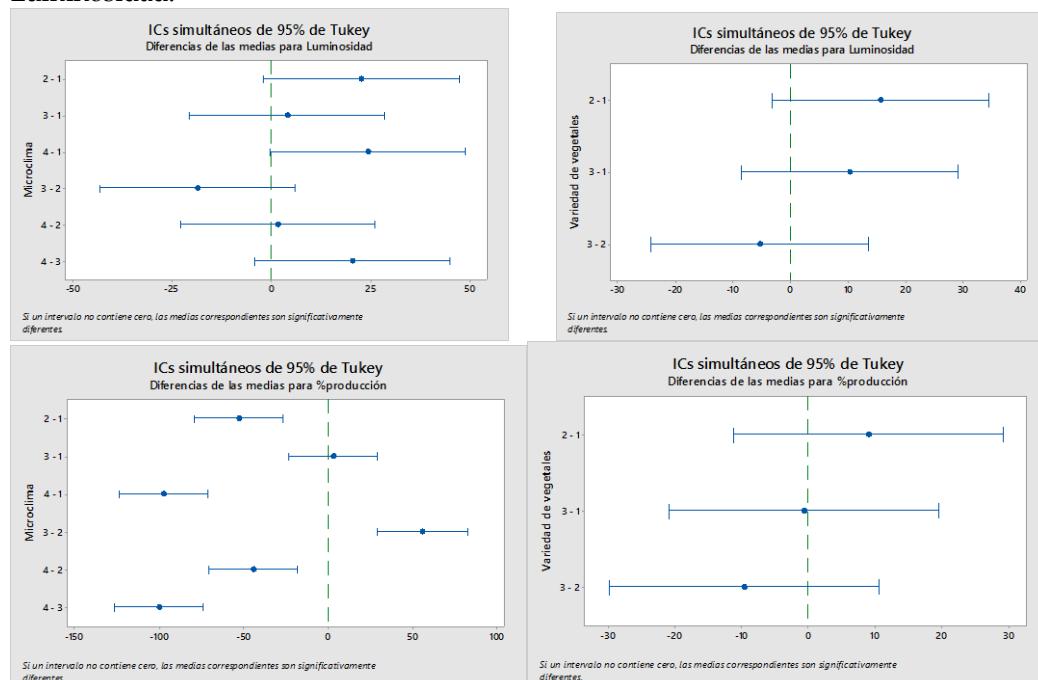


Figura 6. Diferencia de medias de los microclimas y variedad de vegetales y producción

Comparación de medias

Tabla 1. Diferencia de medias de la luminosidad y la producción respecto a los microclimas

Luminosidad en el Microclima	N	Media	Agrupación
Microclima sin invernadero (4)	3	88,4333	A
Microclima sin muro cortante (2)	3	86,7667	A
Microclima en invernadero (3)	3	68,0333	A
Muro cortante de viento (1)	3	64,1333	A
Producción en el Microclima	N	Media	Agrupación
Microclima en invernadero (3)	3	100,000	A
Muro cortante de viento (1)	3	97,297	A
Microclima sin muro cortante (2)	3	44,444	B



Microclima sin invernadero (4) 3 -0,000

C

Los microclimas 3 y 1 comparten una letra, no son significativamente diferentes entre ellas pero si respecto a los microclimas 2 y 4 con una confianza de 95%.

ICs simultáneos de 95% de Tukey y una confianza de 95%

Tabla 2. Diferencia de medias de la luminosidad y la producción respecto a los microclimas

Variedad de vegetales	N	Luminiscencia		Producción	
		Media	Agrupación	Media	Agrupación
Col	4	83,825	A	66,6667	A
Culantro	4	78,475	A	57,6577	A
Lechuga	4	68,225	A	56,9820	A

Discusión

Los ambientes con muro cortante de viento y el invernadero permiten un mejor control del viento convirtiéndolas de fuertes y agresivas a manejables y débiles, sin embargo, hay que tener en cuenta la altitud del material, en este caso se midió el efecto de un muro de 3 metros, si este fuera menor el viento tendría un comportamiento todavía agresivo (Duval & Campo, 2017; Li et al., 2018b).

La diferencia de temperatura entre el exterior e interior de los ambientes aclimatados demuestra la eficiencia del mantenimiento del calor, las experiencias demuestran cambios de temperaturas entre 1 a 8 °C respecto al entorno (Du et al., 2021; Munar & Aldana, 2019), otros reportan incremento de hasta 4°C y decremento de la radiación de 22,4 % (Yang, 2021). La tecnología de invernadero con fitotoldos da mayor beneficio de cultivo, a esto se suma el propicio de un ambiente de aprendizaje que favorece la adquisición de competencias para enseñar desde los estudios secundarios a la toma de decisiones (Hoffmann & Muttarak, 2020).

Respecto a la evolución del crecimiento, se evidencia que la col es la que mejor se comporta al calor en el invernadero; por su parte el culantro y la lechuga vienen a ser las especie más afectadas por el frío extremo pues fenecen primero, mientras que todas tienen un efecto medio de afectación respecto a la tecnología con viento cortante y con viento agresivo.

Respecto a la evolución de brotes se evidencia una mayor brotación en el invernadero en el culantro (42), lechuga (24) y col (22), en orden descendente respectivamente; y menor en los ambientes de frío extremo en todos los casos. Es necesario señalar que en la última etapa de cultivo el número de brotes aumenta significativamente (Kokieva et al., 2020; Romnée et al., 2019).

Al hacer la comparación de tratamientos por 2 factores de Tukey se evidencia diferencia significativa entre los tratamientos en respuesta a la producción, por lo que se asume que el mejor tratamiento obedece a la aplicación de un invernadero por fitotoldo en zonas de frío, pues trae mejor beneficio productivo como nos indica (Álvaro Hernán Alarcón, Geyni Arias, Cristian Javier Díaz, 2017; Statista, 2021).

La comparación de la luminosidad por parámetros Cielab por dos factores muestra que no hay diferencia significativa en la luminosidad, seguramente los colores han de ser más lejanos a mayor tiempo pues el proceso de maduración y deterioro traen como consecuencia el cambio de color (Abanto-Rodríguez et al., 2019; Fausto Robles, 2009; Galvis Vanegas et al., 2010; Lopez, 2000; Martínez-González et al., 2017).

Estos espacios se comportan como aulas interactivas aclimatadas en la que los estudiantes cumplen con objetivos de las áreas escolares (Krupskaya, 1986; Morin, n.d.), verdaderos espacios de interacción para la aplicación de estrategias pedagógicas para la reflexión de la comunidad educativa, así como la integración de áreas, utilizando un espacio de aprendizaje (Hoffmann & Muttarak, 2020; Kröbel et al., 2021).

El estudio prueba mediante parámetros de medición las ventajas de los sistemas de producción y favorece los Objetivos de Desarrollo Sostenible 1: Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo, 2: Poner fin al hambre, 4: Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos, 11: Lograr que las ciudades sean más



inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles, 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles, 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos (He et al., 2022; ONU, 2019).

Conclusiones

Con la investigación se prueba la existencia y viabilidad de alternativas para el cultivo de hortalizas en zonas frías y que generan un microclima, con temperaturas ideales para el cultivo de diferentes vegetales como la col, la lechuga y el perejil, alimentos en entornos rurales a alturas de 3796 y 4105 m.s.n.m. y heladas de alta intensidad.

El ambiente de microclima creado por un invernadero compuesto por un fitotoldo genera temperaturas microambientales entre los 10 a 34 °C. Proveyendo junto a la tecnología con muro cortante de viento las que mejor resultado entregan al cultivo tanto en crecimiento, evolución de brotes, cantidad de producción y calidad del producto (luminiscencia).

Agradecimientos:

El autor agradece a la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Centro del Perú, por permitir revisar y mejorar el estudio previo a la publicación. Se agradece a la I.E. Coronel José Andrés Rázuri - Junín y a la I.E. Santa Elena de Huaricolca por acceder a las mediciones y experimentaciones.

Potencial conflicto de intereses:

Los autores declaran no tener conflicto de interés

Financiamiento

No hay fuentes de financiamiento que declarer

Referencias

- Abanto-Rodríguez, C., Mori, G. M. S., Panduro, M. H. P., Castro, E. V. V., Dávila, E. J. P., & de Oliveira, E. M. (2019). Uso de biofertilizantes en el desarrollo vegetativo y productivo de plantas de camu-camu en Ucayali, Perú. *Revista Ceres*, 66(2), 108–116. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201966020005>
- Álvaro Hernán Alarcón, Geyni Arias, Cristian Javier Díaz, J. D. S. (2017). Sistema de control automático de variables climáticas para optimizar el rendimiento de cultivos bajo cubierta. *Ingeniería Solidaria*, 2017, 1–17.
- Barradas, V. L. (2017). El papel del microclima en la fisiología ecológica vegetal. *Botanical Sciences*, 39(49), 31. <https://doi.org/10.17129/botsci.1364>
- Du, X., Li, P., Zhao, C., & Sang, G. (2021). The effect of PCM with different thermos-physical parameters on indoor temperature of Xi'an Solar Greenhouse. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 631(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/631/1/012014>
- Duval, V. S., & Campo, A. M. (2017). Variaciones microclimáticas en el interior y exterior del bosque de caldén (*Prosopis caldenia*), Argentina. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 26(1), 37–49. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v26n1.42372>
- Fan, L., Ji, Y., & Wu, G. (2021). Research on Temperature Prediction Model in Greenhouse Based on Improved SVR. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1802(4). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1802/4/042001>
- Fausto Robles, I. R. (2009). *Cosecha y poscosecha de productos agrícolas para exportación* (p. 86).
- Fuadati, A. Z., Prastowo, E., & Munawarti, A. (2021). Growth performance of ICCRI 06 H cocoa seedling in response to different microclimate and soil moisture conditions. *IOP Conference Series: Earth and*



Environmental Science, 743(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/743/1/012035>

Galvis Vanegas, J. A., Gonzalez Blair, G. Helena., & Florez Vergara, Alexy. (2010). *Manual de procesamiento y conservación de lechugas (Lactuca sativa L.) variedades verde y morada cresa mínimamente procesadas*.

Han, Z., Wu, Z., Lin, S., & Luan, F. (2018). An intelligent household greenhouse system design based on Internet of Things. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 399(1).
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/399/1/012024>

He, R., Baležentis, T., Štreimikienė, D., & Shen, Z. (2022). Sustainable green growth in developing economies: An empirical analysis on the belt and road countries. *Journal of Global Information Management*, 30(6), 1–15. <https://doi.org/10.4018/JGIM.20221101.0a1>

Hoffmann, R., & Muttarak, R. (2020). Greening through schooling: Understanding the link between education and pro-environmental behavior in the Philippines. *Environmental Research Letters*, 15(1).
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab5ea0>

Isnawan, B. H., Samanhudi, Supriyono, & Supriyadi. (2021). Microclimate on rice cultivation of local varieties (*Oryza sativa L.*) by intermittent irrigation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 824(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/824/1/012088>

Jani, D. M., Mohd, W. M. N. W., & Salleh, S. A. (2021). Effects of High-Rise Residential Building Shape and Height on the Urban Microclimate in a Tropical Region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 767(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/767/1/012031>

Kavga, A., Vaiciunas, J., & Fokaides, P. A. (2020). Recent Advancements in the Energy Performance of Intelligent Green Houses: A Case Study. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 410(1).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/410/1/012030>

Kokieva, G. E., Trofimova, V. S., & Fedorov, I. R. (2020). Greenhouse microclimate control. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1001(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1001/1/012136>

Kostarev, S. N., & Sereda, T. G. (2018). Microclimate Control System Development. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 450(6). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/450/6/062013>

Kröbel, R., Stephens, E. C., Gorzelak, M. A., Thivierge, M. N., Akhter, F., Nyiraneza, J., Singer, S. D., Geddes, C. M., Glenn, A. J., Devillers, N., Alemu, A. W., St. Luce, M., & Giardetti, D. (2021). Making farming more sustainable by helping farmers to decide rather than telling them what to do. *Environmental Research Letters*, 16(5). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abef30>

Krupskaya, N. (1986). *La educación laboral y la enseñanza* (Editorial Progreso, Ed.; 1st ed.). Victor Mednikov.

Li, G., Tang, L., Zhang, X., Dong, J., & Xiao, M. (2018a). Factors affecting greenhouse microclimate and its regulating techniques: A review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 167(1).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/167/1/012019>

Li, G., Tang, L., Zhang, X., Dong, J., & Xiao, M. (2018b). Factors affecting greenhouse microclimate and its regulating techniques: A review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 167(1).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/167/1/012019>

Lopez, J. (2000). Manejo postcosecha de frutas y hortalizas. *Manejo Postcosecha de Frutas y Hortalizas*, 86.

Martínez-González, M. E., Balois-Morales, R., Alia-Tejacal, I., Cortes-Cruz, M. A., Palomino-Hermosillo, Y. A., & López-Gúzman, G. G. (2017). Postcosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos



Postharvest fruits: maturation and biochemical changes Resumen. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 19, 4075–4087.

Misni, A., Buyadi, S. N. A., Ahmad, F., Jani, M. F., Zakaria, I. A., & Nordin, N. I. (2019). Microclimate Environmental Model for New Built Environment and Design Complex UiTM Puncak Alam. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 385(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/385/1/012003>

Morin, E. (n.d.). *La cabeza bien puesta*.

Munar, E. A. V., & Aldana, C. R. B. (2019). Microclimate i simulation in a greenhouse used for roses production under conditions of intertropical climate. *Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences*, 35(2), 137–150. <https://doi.org/10.4067/S0719-38902019005000308>

ONU. (2019). Informe de los objetivos del desarrollo sostenible. *Informe de Los Objetivos Del Desarrollo Sostenible 2019*, 64.

Romnée, A., Vandervaeren, C., Breda, O., & De Temmerman, N. (2019). A greenhouse that reduces greenhouse effect: How to create a circular activity with construction waste? *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 225(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/225/1/012035>

Rymarov, A., & Titkov, D. (2021). Formation of Microclimate in Individual Parts of Public Premises. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1079(3), 032037. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1079/3/032037>

Statista. (2021). *Superficie de invernadero en España en 2020, por tipo de cultivo*. 2021.

<https://es.statista.com/estadisticas/1218414/superficie-agricola-en-invernadero-en-espana-por-tipo-de-cultivo/>

Yang, W. (2021). Simulation study on the influence of roof inclination on the light environment of solar greenhouse. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 621(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/621/1/012115>

Zhang, Q., He, S., & Yang, X. (2019). Study on Street Space Microclimate Measurement and Improvement Strategy in Yangmeizhu Street in Beijing. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 267(6). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/267/6/062002>