

Impact of an Agrovoltaic System on the Yield and Growth of Saladette Tomato Crops (*Lycopersicum esculentum* Mill) in a Semi-Arid Climate, Arequipa-Peru.

Edwar Andrés Velarde-Allazo, Msc.¹, Tracy Benavente-Portugal, Bachiller¹, Gerby Giovanna Rondán-Sanabria, PhD, Javier Mendoza-Montoya, MSc¹.

¹Universidad Tecnológica del Perú, Arequipa-Perú. velarde@utp.edu.pe, 1636906@utp.edu.pe, c16238@utp.edu.pe, c21195@utp.edu.pe

Abstract– The term Agrovoltaic refers to the production of photovoltaic energy and the development of crops. This concept is of particular interest in regions of southern Peru where agriculture is one of the main drivers of the economy, and where solar radiation is ideal for the generation of photovoltaic energy. The objective of this research is to evaluate the impact on the cultivation of saladette tomatoes with adequate shading levels, adapted to the environmental conditions of arid and desert climates with high water needs. Four cultivation areas were established: one without photovoltaic panels as a control zone (area 1), and the others with different angles of solar panels with 20° (area 2), 30° (area 3), and 40° (area 4). As a result, the plants in the area 2 of the study showed greater vegetative development and higher production compared to the other study areas, contributing to minimizing the impact of stress caused by high solar radiation and high temperature, with water savings and improving the development of saladette tomato plants.

Keywords—*Agrovoltaic, Agriculture, APV, AVS, Sustainability, Shading.*

Impacto de un Sistema Agrivoltaico en el Rendimiento y crecimiento en cultivos de tomate Saladette (*Lycopersicon esculentum* Mill) en un clima semiárido, Arequipa-Perú

Edwar Andrés Velarde-Allazo, Msc.¹, Tracy Benavente Portugal, Bachiller¹, Gerby Giovanna Rondán-Sanabria, PhD, Javier Mendoza-Montoya, MSc¹.

¹Universidad Tecnológica del Perú, Arequipa-Perú. velarde@utp.edu.pe, 1636906@utp.edu.pe, c16238@utp.edu.pe, c21195@utp.edu.pe

Resumen– El termino Agro voltaica se refiere a la producción de energía fotovoltaica y al desarrollo de cultivos este concepto es de especial interes en regiones del sur del Perú, donde la agricultura es uno de los principales motores de la economía y donde la radiación solar es idónea para la generación de energía fotovoltaica, el objetivo de esta investigación es evaluar el impacto en el cultivo de tomates saladette con niveles de sombreado adecuado, con altas necesidades hídricas adaptado a condiciones ambientales de clima árido y desértico, se establecieron cuatro áreas de cultivo: una sin paneles fotovoltaicos como zona de control (área 1), y las demás con inclinaciones de ángulos diferentes de los paneles solares con 20°(área 2) ,30°(área 3) ,40° (área 4), como resultados las plantas del área 2 de estudio mostraron mayor desarrollo vegetativo, mayor producción en relación a las otras áreas de estudio, que contribuye a minimizar el impacto del estrés provocado por la alta radiación solar y la alta temperatura, con ahorro hídrico, mejorando el desarrollo de la planta de tomate saladette.

Palabras clave - Agrivoltaico, Agricultura, APV, AVS, sustentabilidad, sombra

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de las plantas está estrechamente relacionado con las condiciones ambientales en las que se desarrollan. Algunos de estos factores ambientales incluyen la temperatura y la radiación, que pueden afectar tanto la fisiología como la morfología de las plantas [1]. La exposición a la radiación solar puede variar según la ubicación geográfica, el clima y las prácticas agronómicas. El crecimiento y la salud de las plantas están influenciados por varios factores ambientales, como la tasa de transpiración, la distribución de nutrientes y hormonas en las hojas, y la exposición a la radiación solar [2]. Las hojas que están expuestas a altos niveles de radiación solar tienden a transpirar más y recibir más recursos, mientras que las hojas sombreadas pueden desempeñar un papel importante en la mitigación del impacto de eventos climáticos extremos y el cambio climático. Por lo tanto, es fundamental tener en cuenta estos factores ambientales al planificar y gestionar los cultivos para asegurar que la reducción de la energía solar la radiación puede afectar las actividades fisiológicas de las plantas al limitar la actividad y temperatura [3][4]; cualquier Se puede esperar que la disminución de la radiación afecte la productividad. Sin embargo, algunas plantas tienen una considerable capacidad de adaptación a diferentes necesidades de luminosidad [5], debido a la reducción en la conductancia estomática. Las actividades fisiológicas de las plantas son directa y fuertemente influenciadas por la cantidad de radiación solar que llega a la planta hojas con efectos en estomas. Los paneles fotovoltaicos se pueden colocar algunos metros con el fin de permitir que diferentes cultivos puedan aprovechar el nivel de sombreado.[6]. Al mismo tiempo, la energía renovable puede ser producidos para apoyar a los ingresos de los agricultores y hacer frente a la creciente energía y demanda de las ciudades e industrias [7] [8]. Los estudios relacionados con sistemas AV generalmente se han centrado en el modelamiento [9] y los

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

datos obtenidos de los experimentos de campo son muy limitados y solo en unos pocos cultivos[10],teniendo en cuenta el notable interés creciente de sistemas fotovoltaicos hacia un mundo más sostenible y datos faltantes sobre la aplicación practica de paneles fotovoltaicos en cultivos de tomate, el objetivo del estudio es determinar como el cultivo de tomate puede verse afectado bajo paneles fotovoltaicos respecto a las condiciones ambientales del sol. Los resultados obtenidos de las investigaciones podrían dar pistas para posibles cultivos de otras especies bajo paneles fotovoltaicos para producir energía para la comunidad y productos agrícolas de buena calidad en particular donde el agua es escasa en zonas desérticas con altas horas de radiación.

Este trabajo de investigación, se eligió el cultivo de tomate saladett, recomendado para el clima de Arequipa. El Perú cultiva alrededor de 232 898 toneladas al año siendo el 61° mayor productor a nivel mundial y 7° en Latinoamérica y la ciudad de Arequipa tiene un 15%, El tomate saladette es un cultivo que se caracteriza por su alta productividad, lo que significa que puede producir grandes cantidades de tomates por planta. Esto puede ser beneficioso para los agricultores que buscan maximizar su producción, es ampliamente utilizado en la industria alimentaria, lo que significa que existe un mercado establecido y una demanda constante para este cultivo[11].

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Sistema Agrivoltaico

El Sistema Agrivoltaico es un sistema construido sobre estructuras suspendidas, se tomó en cuenta la construcción de 3 estructuras con diferentes ángulos de inclinación de 20°,30°,40°[12][13] son de azimut e inclinación fijos, la orientación siguen una alineación Este-Oeste como muestra en la fig 1.

Se describe el diseño de un sistema agrivoltaico (AV) mediante una figura que muestra paneles rectangulares con orientación fija de azimut e inclinación. Los paneles fotovoltaicos están alineados de Este a Oeste y su cara activa está dirigida al Sur. La disposición de los paneles es apaisada, con el lado largo paralelo a la dirección Este-Oeste. Los parámetros del sistema se representan, H (altura mínima de los paneles), T (ángulo de inclinación de los paneles) y W (anchura real de los paneles). En particular, W se mide como la altura del rectángulo en la disposición apaisada[14].

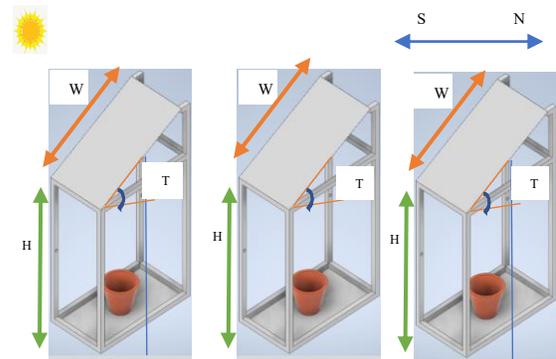


Fig. 1 distribución de paneles fotovoltaicos a) 20° de inclinación b) 30° de inclinación c) 40° de inclinación

El panel fotovoltaico (FV) considerado para nuestro análisis es un módulo policristalino, concretamente, que mide 1,95 m × 0,992 m y desarrolla una potencia nominal de 340 W 24V.

B. Preparación del suelo

Los cultivos de tomate requieren una tierra rica en calcio, fósforo, magnesio, y molibdeno, por ello, se realizó la adquisición de tierra preparada de invernadero y humus de lombriz para su sembrío. La tierra de invernadero es rica en fósforo, calcio, carbono, zinc, magnesio, carbono. La composición dio a los tomates una gran fertilidad. Esta tierra es fue mezclada con el humus de lombriz (50% tierra/ 50% humus) el cual brindó nutrientes a la planta y redujo la erosión de la tierra.

C. Trasplante de las plántulas

Los cultivos, se consideró el experimento con cultivos de tomate en fase II. El cultivo se trasplanto de un tamaño de 4 cm a la maceta con tierra preparada anteriormente. En esta fase del tomate inicia el experimento. El área donde se posicionó las macetas es de 6m de largo por 4m de ancho aproximadamente, está dividida en 4 áreas. área 4: El cual consto de una maceta con una sombra a 40° de inclinación la cual se encontrará de Este a Oeste y la maceta tiene 25 cm de profundidad el área 3: Una maceta con las mismas descripciones de la maceta del área 4 a diferencia que la infraestructura esta con 30° de inclinación, el área 2: Una maceta con las mismas descripciones de la maceta del área 3 a diferencia que la infraestructura esta con 20° grados de inclinación, el área 1: Una maceta con las mismas descripciones de la maceta de las otras áreas a diferencia que no va a tener infraestructura debido a que este será el punto de control de manera tradicional.

D. Sistema de Riego automático y Monitoreo

El riego por goteo es una técnica de riego que consiste en aplicar agua a las plantas de forma gradual y controlada, gota a gota, a través de una red de tuberías y emisores de goteo. Esta técnica es muy efectiva para el cultivo de tomates ya que permite ahorrar agua y dosificar la cantidad y el tiempo de riego necesario para cada planta, lo que se traduce en un uso más eficiente del agua y una reducción en los costos de producción. En este experimento, se utilizó un equipo de sensores IoT compuesto por un microcontrolador ESP8266, una placa Raspberry Pi y sensores de humedad del suelo, sensores de luminosidad, sensor de pH. permitió medir y monitorear en tiempo real los niveles de humedad del suelo y la temperatura ambiente, lo que permitió ajustar el riego de forma precisa y eficiente. Además, se pudo controlar el tiempo y la cantidad de agua que se aplicaba a las plantas según sus necesidades hídricas, evitando así la sobrehidratación o la falta de agua en el suelo[15][16].

E. Medición de datos de pH en las áreas establecidas

La evaluación del su pH es importante, para garantizar un crecimiento óptimo, si existen desequilibrios de elementos o nutrientes en el suelo que puedan afectar el crecimiento de la planta. Es importante destacar que en agricultura se busca un suelo ligeramente ácido o básico, pero no alcalino, ya que el suelo ácido ayuda a solubilizar nutrientes como los fosfatos.

En caso de que la tierra resultara alcalina, se utilizó sulfato de hierro para acidificar el suelo de manera más rápida se agregó una alta cantidad de bicarbonatos de calcio y magnesio al agua para neutralizar la acidez. Para realizar estas mediciones, se utilizó un medidor de pH, que también nos proporcionó información sobre la humedad y la luminosidad del suelo en las áreas de estudio.

F. Medición de Radiación

La medición de la radiación en las áreas de estudio a través de la estación meteorológica ara poder comprender su crecimiento y desarrollo. La radiación solar es necesaria para la fotosíntesis y el crecimiento de la planta, pero una exposición excesiva puede tener efectos negativos en la salud de la planta. Por lo tanto, es importante medir la radiación solar que recibe la planta de tomate para optimizar el crecimiento y la producción. Estas mediciones realizadas van ayudar a a determinar cuánta radiación solar es necesaria para una óptima producción de tomate y cómo pueden optimizar la exposición a la radiación para lograr los mejores resultados.

G. Agua para el Riego

El agua que se suministra en la ciudad de Arequipa contiene sales como magnesio, potasio, calcio, sodio, fósforo, azufre y cloro, que en pequeñas cantidades no son dañinas para los tomates. Sin embargo, la presencia de cal con un pH de 7 a 7.5 puede afectar el crecimiento de las flores y dar un color amarillento a las hojas de los tomates. La cal también puede eliminar el fósforo y el dióxido de carbono, que son nutrientes esenciales para los tomates y son importantes para la fotosíntesis. Como el tomate necesita un ambiente ácido para crecer, se agregó ácido acético (pH 4) para reducir el pH del agua a 6 y eliminar los residuos minerales[17][18].

El uso del agua en la agricultura está estrechamente relacionado con el concepto de fertirrigación. La calidad del agua es un parámetro clave que incluye diversos aspectos químicos, como la concentración de sales disueltas (CE), la presencia relativa de sodio (RAS), el contenido de carbonatos y bicarbonatos (que influyen en el pH), la concentración de cloro, boro, hierro y manganeso[19].

H. Almacenamiento de información en el servidor

Para verificar que el dispositivo funcione correctamente se hicieron pruebas para que la información recolectada por los sensores llegue adecuadamente al servidor. se visualizaron los datos sensados y enviados hacia el servidor, La comunicación entre el ESP8266 y el servidor se da mediante el monitor serial del IDE de Arduino. Para la transmisión y petición de información necesaria, como es el almacenamiento de los datos de los valores de humedades de suelo, Para la transmisión de los datos hacia el servidor se utilizó el método de petición HTTP POST[15].

I. Análisis de Información

Para analizar la producción del cultivo agrícola y sus necesidades, se utilizó una selección de modelos, para el Análisis de Series Temporales. Estos modelos permiten comprender mejor el comportamiento de los datos obtenidos en las áreas de estudio y facilita el análisis de la producción del cultivo y las necesidades de este.

El proceso incluye el entrenamiento, la validación y la aplicación del modelo, lo que permite tomar decisiones informadas sobre la gestión de cultivos y la planificación de la producción dentro del estudio realizado. Esto resulta en una herramienta útil para la toma de decisiones informadas en las áreas estudiadas[20].

III. RESULTADO, DISCUSIÓN

La luminosidad es un factor importante para el cultivo, ya que esta desarrolla el proceso de fotosíntesis y el crecimiento de la planta, se observa en la figura 2, áreas con alta incidencia buena exposición a la luz solar directa. En algunos casos, especialmente en zonas con alta incidencia de radiación solar, puede ser necesario proporcionar sombra como el área 2, área 3 y área 4 a las plantas para evitar el exceso de luz y el daño solar.

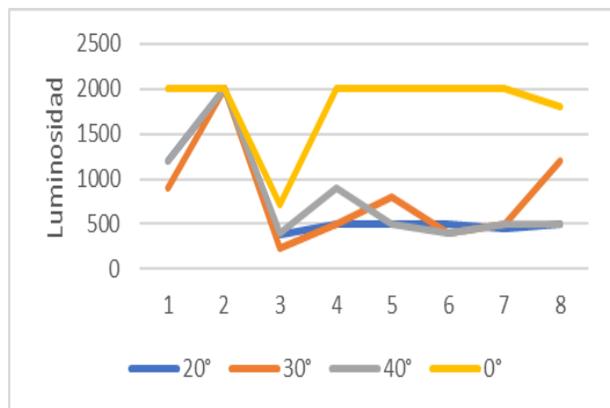


Fig.2 Luminosidad en el área 1, área 2, área 3, área 4.

Los valores obtenidos del valor de luminosidad de los cuatro tratamientos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA), utilizando software estadístico de minitab, cuyo resultado se muestra en la Tabla 1. La tabla ANOVA descompone la varianza del contenido en cada área en un componente entre grupos, La relación F, que en este caso es igual a 0.001 es una proporción de la estimación entre grupos y la estimación dentro de una área. Dado que el valor P de la prueba F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre el contenido entre la variación de luminosidad en cada área estudiada, de con un nivel de confianza del 95.0%.

TABLA 1
ANÁLISIS DE VARIANZA LUMINOSIDAD

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	9124884	3041628	12,12	0,000
Error	28	7026787	250957		
Total	31	16151672			

Otro factor importante que se analizó el comportamiento de pH del suelo y su evolución y los cambios que se generan en las difentes etapas de desarrollo de las, en las áreas de investigación como se muestra en la figura 3,

Durante la etapa de crecimiento vegetativo, es importante mantener un pH adecuado para favorecer el desarrollo de las raíces y la absorción de nutrientes. En la etapa de floración y fructificación, el pH del suelo también puede ser crítico para el éxito del cultivo, ya que puede afectar la calidad y cantidad de la producción.

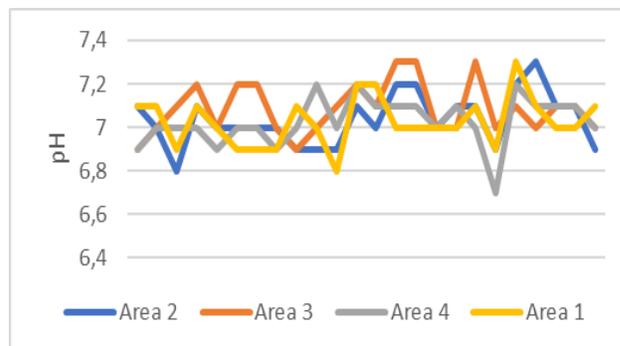


Fig.3 pH en las áreas 1, área 2, área 3, área 4.

Los valores obtenidos del valor de pH de los cuatro tratamientos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA), utilizando software estadístico de minitab, cuyo resultado se muestra en la Tabla 2. La tabla ANOVA descompone la varianza del contenido en cada área en un componente entre grupos La relación F, que en este caso es igual a 1.38 es una proporción de la estimación entre grupos y la estimación dentro de un grupo. Dado que el valor P de la prueba F es mayor que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre el contenido entre la variación de pH, de con un nivel de confianza del 95.0%.

TABLA 2
ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PH

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	0,05667	0,01889	1,38	0,255
Error	92	1,26167	0,01371		
Total	95	1,31833			

También se analizó el comportamiento de la Humedad Del suelo de las areas de influencia el factor clave en el crecimiento y el desarrollo de las plantas como mostramos en la figura 4, que permitió el suministro de agua adecuada de acuerdo a la necesidad hídrica de las áreas de interés estudiadas, como la disponibilidad de nutrientes del suelo.

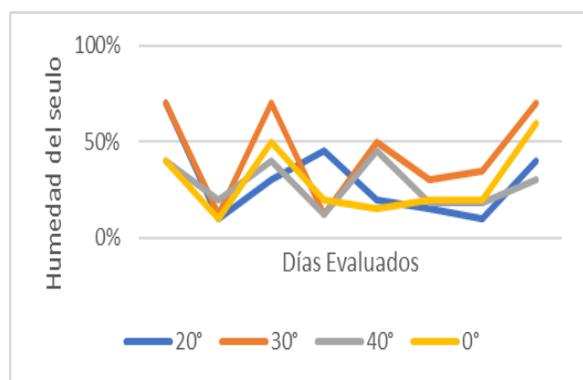


Fig.4 Humedad del suelo el área 1, área 2, área 3, área 4.

Los valores obtenidos del contenido de humedad del suelo en las cuatro áreas de estudio fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el software estadístico Minitab, y los resultados se presentan en la Tabla 3. La tabla ANOVA descompone la varianza del contenido en cada área en un componente entre grupos. La relación F, que en este caso es igual a 0.011, es una proporción de la estimación entre grupos y la estimación dentro de un área. Dado que el valor P de la prueba F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa en la variación del contenido de humedad del suelo entre cada área estudiada, con un nivel de confianza del 95.0%.

TABLA 3
ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA HUMEDAD DEL SUELO

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Factor	3	0,3972	0,13241	4,44	0,011
Error	28	0,8343	0,02980		
Total	31	1,2315			

IV. CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio son altamente significativos, ya que demuestran que el área 2 de 20° de inclinación es el lugar óptimo para el desarrollo vegetativo. Al analizar los parámetros de luminosidad, radiación, humedad del suelo y pH, se pudo observar claramente que en esta área se produjo un mayor desarrollo vegetativo en comparación con otras áreas evaluadas, Este mayor desarrollo se debe principalmente a la capacidad de las plantas para adaptarse a las condiciones del entorno, lo que les permite mejorar su estructura y fisiología, lo que a su vez les permite desarrollar de manera más eficiente la fotosíntesis. La mayor producción en esta área es un claro indicador de la calidad del suelo y las condiciones ambientales favorables para el crecimiento.

Este estudio ha demostrado que el área 2 de 20° de inclinación, proporciona sombra que tiene un impacto

significativo en la cantidad y calidad de los tomates producidos. Los resultados muestran que la mejor productividad se observa cuando se proporciona una luminosidad de 5 a 6 horas por día, con un pH de 6,5 a 7,1 y mantener una humedad superior al 60%.

Los cultivos realizados en el área 1(cultivo tradicional), es el que consume más recurso hídrico, lo cual no es sorprendente considerando que este tipo de cultivo no cuenta con ninguna protección que pueda regular la cantidad de agua que recibe, Sin embargo, lo que es realmente interesante es que se ha observado que los tomates cultivados con sistemas agrovoltaicos, especialmente los que tienen un ángulo de sombra de 20°, consumen significativamente menos agua, en relación a las otras áreas estudiadas.

REFERENCIAS

- [1] G. Fanizza, G. Colonna, P. Resta, and G. Ferrara, "The effect of the number of RAPD markers on the evaluation of genotypic distances in *Vitis vinifera*," *Euphytica*, vol. 107, no. 1, pp. 45–50, 1999, doi: 10.1023/A:1003535916622.
- [2] A. Conde *et al.*, "Kaolin particle film application stimulates photoassimilate synthesis and modifies the primary metabolome of grape leaves," *J. Plant Physiol.*, vol. 223, pp. 47–56, Apr. 2018, doi: 10.1016/j.jplph.2018.02.004.
- [3] J. Urban, M. W. Ingwers, M. A. McGuire, and R. O. Teskey, "Increase in leaf temperature opens stomata and decouples net photosynthesis from stomatal conductance in *Pinus taeda* and *Populus deltoides x nigra*," *J. Exp. Bot.*, vol. 68, no. 7, pp. 1757–1767, Mar. 2017, doi: 10.1093/jxb/erx052.
- [4] Y.-C. Liu and J.-S. Li, "Effects of lateral depth and layered-textural soils on water and nitrate dynamics and root distribution for drip fertigated tomato," *Shuili Xuebao/Journal Hydraul. Eng.*, vol. 40, no. 7, pp. 782–790, 2009.
- [5] S. Cohen, E. Raveh, Y. Li, A. Grava, and E. E. Goldschmidt, "Physiological responses of leaves, tree growth and fruit yield of grapefruit trees under reflective shade screens," *Sci. Hortic. (Amsterdam)*, vol. 107, no. 1, pp. 25–35, Dec. 2005, doi: 10.1016/j.scienta.2005.06.004.
- [6] S. M. SCHRADER, R. R. WISE, W. F. WACHOLTZ, D. R. ORT, and T. D. SHARKEY, "Thylakoid membrane responses to moderately high leaf temperature in Pima cotton," *Plant, Cell Environ.*, vol. 27, no. 6, pp. 725–735, Jun. 2004, doi: 10.1111/j.1365-3040.2004.01172.x.
- [7] H. Dinesh and J. M. Pearce, "The potential of agrivoltaic systems," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 54, pp. 299–308, Feb. 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.10.024.
- [8] S. Schindele *et al.*, "Implementation of agrophotovoltaics: Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications," *Appl. Energy*, vol. 265, p. 114737, May 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.114737.
- [9] S. Amaducci, X. Yin, and M. Colauzzi, "Agrivoltaic systems to optimise land use for electric energy production," *Appl. Energy*, vol. 220, pp. 545–561, Jun. 2018, doi: 10.1016/j.apenergy.2018.03.081.
- [10] C. Dupraz, H. Marrou, G. Talbot, L. Dufour, A. Nogier, and Y. Ferard, "Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes," *Renew. Energy*, vol. 36, no. 10, pp. 2725–2732, Oct. 2011, doi: 10.1016/j.renene.2011.03.005.
- [11] A. Marín *et al.*, "A glimpse into the genetic diversity of the Peruvian seafood sector: Unveiling species substitution, mislabeling and trade of threatened species," *PLoS One*, vol. 13, no. 11, 2018, doi: 10.1371/journal.pone.0206596.
- [12] P. R. Malu, U. S. Sharma, and J. M. Pearce, "Sustainable Energy

- Technologies and Assessments journal homepage Agrivoltaic potential on grape farms in India,” *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 23, 2017.
- [13] M. Trommsdorff *et al.*, “Combining food and energy production: Design of an agrivoltaic system applied in arable and vegetable farming in Germany,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 140, p. 110694, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.rser.2020.110694.
- [14] F. M. DaMatta *et al.*, “In field-grown coffee trees source–sink manipulation alters photosynthetic rates, independently of carbon metabolism, via alterations in stomatal function,” *New Phytol.*, vol. 178, no. 2, pp. 348–357, Apr. 2008, doi: 10.1111/j.1469-8137.2008.02367.x.
- [15] E. Velarde Allazo, E. Acuña Melo, and J. Aranibar Pumacota, *Proposal for Architecture for Precision Agriculture Supported in IoT for an Efficient Automatic Irrigation System*, vol. 762 LNEE. 2021. doi: 10.1007/978-3-030-72208-1_3.
- [16] A. Dahir, M. Omar, and Y. Abukar, “Internet of things based agricultural drought detection system: case study Southern Somalia,” *Bull. Electr. Eng. Informatics*, vol. 12, no. 1, pp. 69–74, 2023, doi: 10.11591/eei.v12i1.4117.
- [17] A. Kumar, A. Kumar, A. De, S. Shekhar, and R. K. Singh, “IoT based farming recommendation system using soil nutrient and environmental condition detection,” *Int. J. Innov. Technol. Explor. Eng.*, vol. 8, no. 11, pp. 3055–3060, 2019, doi: 10.35940/ijitee.K2335.0981119.
- [18] H.-Y. Chien, Y.-M. Tseng, and R.-W. Hung, “Some Study of Applying Infra-Red in Agriculture IoT,” in *2018 9th International Conference on Awareness Science and Technology, iCAST 2018*, 2018, pp. 241–245. doi: 10.1109/ICAwST.2018.8517239.
- [19] S. Nuchhi, V. Bagali, and S. Annigeri, “IOT Based Soil Testing Instrument for Agriculture Purpose,” in *Proceedings of B-HTC 2020 - 1st IEEE Bangalore Humanitarian Technology Conference*, 2020. doi: 10.1109/B-HTC50970.2020.9297897.
- [20] T. A. Lake, R. D. Briscoe Runquist, and D. A. Moeller, “Deep learning detects invasive plant species across complex landscapes using Worldview-2 and PlanetScope satellite imagery,” *Remote Sens. Ecol. Conserv.*, vol. 8, no. 6, pp. 875–889, 2022, doi: 10.1002/rse2.288.