

Effect of concentration and pH of *Tropaeolum Majus L.* dye from the Junin Region in a Gratzel Cell

Diego Vilca Quico¹; Gabriela Escobar Velazco²; Jaime Claros Castellares³; Maria Quintana Caceda⁴
^{1,2,3} Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú, diegovilca@gmail.com, jhclarosunc@gmail.com
⁴ Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, mquintana@uni.edu.pe

Abstract— *The present work was based on the determination of the amount of electrical energy from the concentration of anthocyanin and the pH of the solution of the natural dye of the species Tropaeolum majus L. in a Gratzel solar cell, which consisted of a photoelectrode synthesized with FTO-SnO₂, sensitized with said dye, which is based on anthocyanin, a nanostructured metal oxide semiconductor TiO₂, and a counter electrode in contact with the redox pair. I-/I₃⁻, which through an electrochemical principle it was determined that the pH with a range of 4.5 to 5.5 and the anthocyanin concentration with a range of 185 mg pgd-3-glu to 190 mg pgd-3-glucoside, influence the generation of energy obtaining Voc (0.49V), Jsc (0.103 mA/cm²) and Pmax (29.31 nW/cm²) in the Gratzel solar cell of 1 cm² area.*

Keywords— *Dye, solar cell, Tropaeolum Majus L, Gratzel, energy.*

Efecto de la Concentración y el pH del colorante *Tropaeolum Majus L.* de la Región Junín en una Celda Gratzel

Diego Vilca Quico¹; Gabriela Escobar Velazco²; Jaime Claros Castellares³; Maria Quintana Caceda⁴
^{1,2,3} Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú, diegovilcaq@gmail.com, jhclarosunc@gmail.com
⁴ Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, mquintana@uni.edu.pe

Resumen– El presente trabajo se basó en la determinación de la cantidad de energía eléctrica a partir de la concentración de antocianina y del pH de la solución del colorante natural de la especie *Tropaeolum majus L.* en una celda solar Gratzel, la cual constó de un fotoelectrodo sintetizado con FTO-SnO₂, sensibilizada con dicho colorante, el cual tiene base de antocianina, un semiconductor de óxido metálico nanoestructurado TiO₂, y un contraelectrodo en contacto con el par redox. I-/I³⁻, que mediante un principio electroquímico se logró determinar que el pH con un rango de 4.5 a 5.5 y la concentración de antocianina con un rango de 185 mg pgd-3-glu a 190 mg pgd-3-glucósido, influyen en la generación de energía obteniendo Voc (0.49V), Jsc (0.103 mA/cm²) y Pmax (29.31 nW/cm²) en la celda solar Gratzel de 1 cm² de área.

I. INTRODUCCIÓN

La aplicación de colorantes naturales para la generación de energía en celdas Gratzel se ha realizado durante los últimos años, obteniendo buenos resultados, la presente investigación se realizó extrayendo el colorante natural de la especie *Tropaeolum Majus L.*, de la región Junín, ubicado en el país de Perú, aplicando el colorante natural en una celda Gratzel.

II. NOMENCLATURA

Jsc	Densidad de corriente
A	Área (cm ²)
°C	Grados Celsius
PM	Peso molecular
Pmáx	Potencia máxima
VOC	Voltaje de circuito

III. COLORANTE NATURAL

El colorante natural se obtuvo a partir de la especie *Tropaeolum Majus L.*, a partir de los pétalos de la planta.

A. Descripción de la especie *Tropaeolum Majus L.*

Es una planta que crece en las regiones altas, hasta los 3000 metros sobre el nivel del mar, ubicándola en las ciudades de Huancayo, Perú, Pasco, Huancavelica y Puno.

La planta ha tenido usos medicinales como expectorante, antiinflamatorio, cicatrizantes, antimicrobiano (desinfectante)

y antioxidante [1], además se tiene estudios médicos antibacterianos. [2].

Una característica principal del mastuerzo es el color de sus pétalos, siendo de coloración amarilla, naranja y roja.

B. Composición química del colorante del mastuerzo

Existen diversos estudios acerca de la composición del colorante del mastuerzo a partir de sus pétalos, siendo el más representativo los estudios de Ribeiro, Barbosa, & Costa [3], que señala que el pH del colorante tiene un valor de 5.78, 5.73 y 5.78 para la coloración de pétalos rojo, anaranjado y amarillo respectivamente, también señala la cantidad de carotenoides totales es de 303.33 µg/100g, 291.94 µg/100g y 342.56 µg/100g para la coloración de pétalos rojo, anaranjado y amarillo respectivamente, lo mismo aplica para las antocianinas totales teniendo valores de 280.87 µg/100g, 78.36 µg/100g, 68.87 µg/100g; y para los flavonoides totales tienen valores de 250.97 µg/100g, 134.76 µg/100g y 123.83 µg/100g. La presente investigación se basa en el estudio de la antocianina presente, debido a que es influyente para la generación de energía eléctrica.

C. Antocianina

Existen estudios donde confirman la presencia de antocianina en el colorante natural de la especie *Tropaeolum Majus L.*, los cuales señalan que el tipo de antocianina presente es la pelargonidina-3-glucósido.

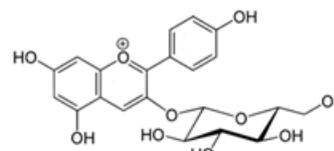


Fig. 1. Estructura molecular de la pelargonidina-3-glucósido

Este tipo de antocianina es la que proporciona la coloración al colorante natural. El método de extracción del colorante está descrito en el capítulo 6.

D. Influencia de los valores de pH en la coloración

El valor del pH del colorante ha sido discutido ampliamente, señala que la coloración depende del valor del pH y la estructura molecular de la antocianina presente, indicando una coloración rojo oscuro a valores de 1, incoloro a un valor de 4.5 incoloro con forma molecular específica y coloración azul a valores [4].

En otros estudios, se señala que en un valor menor o igual pH 2 se obtiene un color rojo intenso y la forma molecular es más estable y en el rango de pH mayor a 2 hasta 7, es incoloro con una forma molecular inestable. [5], [6].

IV. CELDA SOLAR GRATZEL

Conocidas también como celda sensibilizadas con colorantes, es un dispositivo fotovoltaico que genera energía eléctrica a partir de la excitación de fotones provocada por la exposición a la luz [7].

Se han realizado diversos estudios con colorantes naturales como en Ecuador que se sensibilizó la celda solar con colorante obtenido de las especies *Rubus glaucus B*, *Solanum americanum Mill*, *Iresine herbstii Hook* y *Beta vulgaris L.*, obteniendo valores de Voc 0.65 V, 0.5 V, 0.45 V y 0.19 V, respectivamente [8]. En el Perú, se han realizado estudios con la especie *Opuntia Soehrensii*, obteniendo distintos valores de Voc y una eficiencia de celda de 0.75% [9]; también se ha realizado estudios de la especie *Zea mays L.*, obteniendo valores de Voc de 0.4V y 0.395V [10].

Para el caso de la especie *Tropaeolum Majus L.*, se ha realizado un estudio de sensibilización de celdas solares [11], sin embargo, el colorante obtenido es de color amarillo y su composición química no es la misma que la obtenida en los estudios locales, por lo que se considera la presente investigación difiere del mencionado anteriormente.

V. TRATAMIENTO DE DATOS

La presente investigación realiza el análisis ANOVA en base a los valores obtenidos de pH y la concentración de pelargodinina-3-glucósido, con el fin de evaluar su influencia para la generación de energía eléctrica.

A. Objetivos

El objetivo general es: Determinar la cantidad de energía eléctrica que se obtendrá a partir de la concentración de la antocianina y pH de la solución del colorante de la especie *Tropaeolum majus L* (Mastuerzo), en una celda Gratzel.

El primer objetivo específico es: Determinar el efecto de la concentración de antocianina del colorante natural de la especie *Tropaeolum majus L*. (Mastuerzo), para la generación de energía eléctrica en una celda Gratzel.

El segundo objetivo específico es: Determinar el efecto del pH de la solución de antocianina del colorante de la especie *Tropaeolum majus L*. (Mastuerzo), para la generación de energía eléctrica en una celda Gratzel.

B. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es factorial:

$$n^{\circ} \text{ Exp} = m^n \cdot r \quad (1)$$

Siendo “m” el número de niveles de las variables independientes, “n” el número de variables independientes y “r” el número de réplicas o repeticiones; teniendo valores de 2, 2 y 3 respectivamente. Por consecuencia, el número de experimentos es 12.

TABLA I
NIVELES DE INVESTIGACIÓN: ALTO Y BAJO

Variables de investigación	Nivel bajo (-1)	Nivel alto (+1)
Concentración (mg pgd-3-glu/100 mL)	185	190
pH	4.5	5.5

C. Cuantificación de pelargodinina-3-glucósido

Se aplicó el método de pH diferencial, el cual requiere la medición de valores de absorbancia en 496 nm y 700 nm, para las soluciones buffer de cloruro de potasio (KCl) a 0.025 M, con un pH de 1 y acetato de sodio ($C_2H_3NaO_2$) a 0.4 M con un pH de 4.5.

Luego, se sustituyó los valores en las ecuaciones:

$$A = (A_{\lambda_{\text{vis-max}}} - A_{700})_{\text{pH } 1.0} - (A_{\lambda_{\text{vis-max}}} - A_{700})_{\text{pH } 4.5} \quad (2)$$

$$\text{Antocianina Monomérica}_{\text{mg pgd-3-glu/litro}} = \frac{A \cdot MW \cdot DF \cdot 1000}{\epsilon \cdot l} \quad (3)$$

Dónde: El valor del MW (Peso Molecular): 432.2

D. Medición de datos de celda solar Gratzel

Se utilizó el equipo DN-AE01 Dyenamo para la sensibilización y medición de valores.

VI. PARTE EXPERIMENTAL

La parte experimental está dividida en dos partes: Extracción del colorante natural y ensamblaje de la celda

A. Extracción de colorante natural

Se debe recolectar flores de la especie *Tropaeolum Majus L.*, luego, se separan los pétalos, seleccionando los pétalos de color naranja y rojo, los pétalos de color amarillo son descartados.

Una vez separados los pétalos por color, se lavaron agua destilada, posteriormente, se colocan en una superficie limpia incolora para su secado natural, teniendo la temperatura ambiente entre 15 °C-18°C durante 5 días, en ausencia de luz. Los pétalos secos se trituraron en un blinder a un rango de

2000-3000 rpm, por un tiempo de 3 a 4 minutos, obteniendo polvillo.

El povillo obtenido se mezcló con una solución de agua etanol en concentración de 1:2(v/v); en una proporción de 1:30 (kg/kg) para los pétalos triturados/solución de agua:etanol; los cuales fueron colocados en frascos PET rotulados y a la vez forrados con papel aluminio. Los frascos se almacenaron para la maceración por 3 días.

Posteriormente, el contenido de cada frasco se centrifugó a 4000rpm durante 15 minutos, luego se filtró al vacío a una presión de 500mbar y finalmente, con el uso de un rotavapor, a 50 °C y 110 mbar, entre 15 a 30 minutos, se obtuvo la solución colorante.

B. Ensamble de la celda solar Gratzel

Se usaron placas revestidas con FTO, teniendo la función de electrodo y contraelectrodo.

El electrodo es recubierto con una capa de TiO₂ en una superficie circular de 0.00283 cm² de área, luego, el electrodo es colocado en una mufla a 450 °C por 45 minutos para el secado de la capa de TiO₂. Posteriormente se deja reposar por 24 horas. Después, se procedió a sensibilizar el electrodo, sumergiéndolo en colorante durante 24 horas.

El contraelectrodo es recubierto por una capa de H₂PtCl₆ x 6H₂O de 0.1 mL, luego, el contraelectrodo es colocado en una mufla a 450 °C por 15 minutos para el secado de la capa de H₂PtCl₆ x 6H₂O. Posteriormente se deja reposar por 24 horas.

Una vez esté sensibilizado el electrodo y reposado el contraelectrodo, se unieron ambas placas con surlyn a 200°C, luego se procedió a añadir de 1 a 2 gotas del electrolito (I⁻/I₃⁻) y finalmente se recubren los bordes.

VII. RESULTADOS

Se obtuvieron valores de pH, cantidad de pelargonidina-3-glucósido, valores obtenidos de la Celda Solar Gratzel y el ANOVA.

A. Valores de pH

Se obtuvieron las medidas de pH de acuerdo a la coloración de pétalo.

TABLA II
MEDIDA DE PH DE LAS MUESTRAS DE COLORANTE DE PÉTALOS

Muestra de colorante de pétalo naranja	pH	Muestra de colorante de pétalo rojo	pH
1	4.53	1	5.49
2	4.52	2	5.53
3	4.50	3	5.51
4	4.51	4	5.50
5	4.55	5	5.53
6	4.50	6	5.50

B. Cuantificación de pelargonidina-3-glucósido

Los valores obtenidos para la cantidad de antocianina fueron los siguientes:

TABLA III
CANTIDAD DE ANTOCIANINA EN SOLUCIÓN COLORANTE

Número de muestra	Cantidad de antocianina en pétalos naranja	Cantidad de antocianina en pétalos rojos
1	185.1096923	189.5999769
2	185.2318769	189.8748923
3	185.8733462	190.1192615
4	186.3926308	190.2414462
5	186.1177154	191.4938385
6	184.5598615	191.4938385

C. Cantidad de energía de la celda Gratzel

Los valores obtenidos fueron los siguientes:

TABLA IV
VALORES DE VOLTAJE Y DENSIDAD DE CORRIENTE PARA PÉTALOS NARANJA

Número de muestra	Voltaje	Densidad de corriente
1	0.46V	0.081 mA/cm ²
2	0.46V	0.076 mA/cm ²
3	0.46V	0.075 mA/cm ²
4	0.40V	0.04 mA/cm ²
5	0.42V	0.052 mA/cm ²
6	0.42V	0.049 mA/cm ²

TABLA V
VALORES DE VOLTAJE Y DENSIDAD DE CORRIENTE PARA PÉTALOS ROJOS

Número de muestra	Voltaje	Densidad de corriente
1	0.49V	0.085 mA/cm ²
2	0.49V	0.102 mA/cm ²
3	0.49V	0.103 mA/cm ²
4	0.42V	0.077 mA/cm ²
5	0.42V	0.076 mA/cm ²
6	0.44V	0.071 mA/cm ²

Acorde a los anteriores resultados, se aplicó la siguiente ecuación para obtener los valores de P_{máx}:

$$V_{oc} * J_{sc} = P_{máx} \quad (4)$$

TABLA VI
VALORES DE POTENCIA MÁXIMA

Número de muestra	Potencia máxima en pétalos naranja	Potencia máxima en pétalos rojos
1	0.0000197mW/cm ²	0.0000291mW/cm ²
2	0.0000200mW/cm ²	0.0000285mW/cm ²
3	0.0000208mW/cm ²	0.0000293mW/cm ²
4	0.0000110mW/cm ²	0.0000192mW/cm ²
5	0.0000117mW/cm ²	0.0000180mW/cm ²
6	0.0000119mW/cm ²	0.0000173mW/cm ²

D. Análisis ANOVA

El análisis ANOVA se realizó en el programa EXCEL, determinando la influencia de la concentración de antocianina y pH de la solución colorante; los resultados son los siguientes:

TABLA VII
ANÁLISIS ANOVA

Origen de las variaciones	F	Probabilidad	Valor crítico para F
pH de solución	681.73	$4.97 \cdot 10^{-09}$	5.31765507
Concentración	430.52	$3.05 \cdot 10^{-08}$	5.31765507
Interacción	8.21	$2.10 \cdot 10^{-02}$	5.31765507

Para aceptar o rechazar las hipótesis, se debe tener en cuenta lo siguiente:

Si $F >$ Valor crítico para F: Se rechaza la H_0 , por lo tanto, se acepta la H_1

Si $F <$ Valor crítico para F: Se rechaza la H_1 , por lo tanto, se acepta la H_0

Para la primera hipótesis específica se define H_0 y H_1 :

- H_0 : El efecto de la variación del pH de antocianina del colorante natural NO genera energía eléctrica.
- H_1 : El efecto de la variación del pH de antocianina del colorante natural genera energía eléctrica.

En este caso, $F >$ Valor crítico para F ($681.73 > 5.31765507$). En este caso, **se acepta H_1** .

Para la segunda hipótesis específica se define H_0 y H_1 :

- H_0 : El efecto de la variación de concentración de antocianina del colorante natural NO genera energía eléctrica.
- H_1 : El efecto de la variación de concentración de antocianina del colorante natural genera energía eléctrica.

En este caso, $F >$ Valor crítico para F ($430.52 > 5.31765507$). En este caso, **se acepta H_1** .

Para la hipótesis general se define H_0 y H_1 :

- H_0 : El efecto de la variación de variación del pH y concentración de antocianina del colorante natural NO genera energía eléctrica.
- H_1 : El efecto de la variación de variación del pH y concentración de antocianina del colorante natural genera energía eléctrica.

En este caso, $F >$ Valor crítico para F ($8.21 > 5.31765507$). En este caso, **se acepta H_1** .

VIII. DISCUSIONES

Las discusiones se dividieron en variaciones de los valores de pH, cantidad de antocianina, cantidad de energía obtenida y análisis ANOVA.

A. Valores de pH

La variación de pH se debe principalmente a los compuestos de cada solución. Para las soluciones del colorante extraído de los pétalos de color rojo, se obtienen valores cercanos a 4.5 y para las soluciones del colorante extraído de los pétalos color naranja, se obtienen valores cercanos a 5.5.

Las antocianinas tienen una estabilidad molecular en un pH ácido. A un valor de pH 2 o menor, con una coloración

rojo intenso, la antocianina se encuentra en su forma más estable y en mayores cantidades; sin embargo, en un rango de pH mayor a 2 hasta 7, ocurre la presencia de la antocianina en dos formas, Hemiacetal y Chalcona, siendo menos estables y sin coloración en la solución. [5].

Los valores de pH obtenidos, son concordantes con la investigaciones realizadas que reportaron un pH de 4.78 con una variación de ± 0.01 ; sin embargo, no reportaron una cuantificación del pH por coloración de pétalos. [1]. A diferencia de lo anterior, al haber realizado la extracción del colorante en proporción de agua:etanol de 1:2 y con una relación de pétalos triturados: solución etanol-agua de 1:30, se obtuvieron valores de pH diferentes por cada tipo de coloración de pétalo, siendo 5.55 el máximo valor para la solución del colorante de pétalos de color naranja y 4.55 el máximo valor para la solución del colorante de pétalos de color rojo.

La tonalidad anterior es consecuente con investigaciones anteriores: A medida que el pH de la solución del colorante se incrementa, varía de un color rojo intenso a una tonalidad incolora [6].

En cuanto a la relación de pH y colorante, se evidenció que el colorante rojo tiene mayor estabilidad que el colorante naranja: la coloración del colorante es un indicativo para referirse a la estabilidad y el pH de la solución obtenida [5]; sin embargo, el pH de la solución también es una propiedad que depende según la composición de cada solución de colorante. [12]

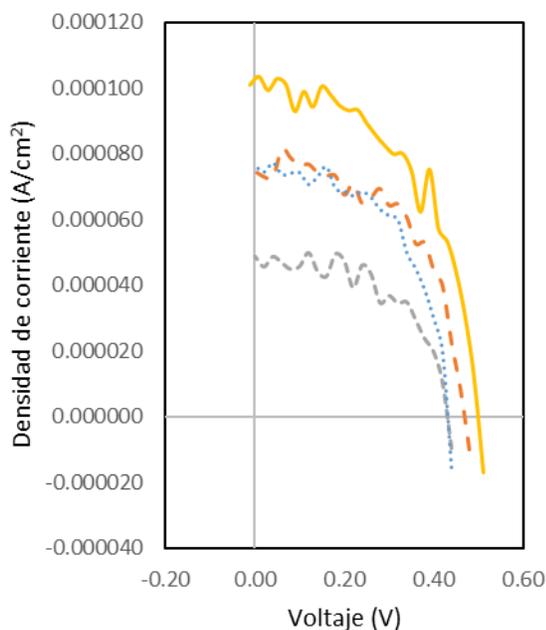
B. Cantidad de pelargodinina-3-glucósido

La cantidad de antocianina obtenida es aproximadamente 185 mg pdg-3-glu/litro y 190 mg pdg-3-glu/litro para la solución colorante de los pétalos naranja y rojo respectivamente.

Tomando en cuenta las proporciones del solvente de etanol: agua (1:2) y la proporción de extracción de pétalos triturados:solvente de (1:30), se corrobora con la afirmación de investigaciones anteriores que reportaron la cuantificación de 186.4 mg pdg-3-glu/100 ml de antocianina monomérica con una variación de ± 1.99 ; sin embargo, no reporta una cuantificación de soluciones de colorante por pétalos [1].

C. Cantidad de energía obtenida

Al comparar los datos obtenidos, se obtuvieron las gráficas con las muestras que tienen mayores valores.



- Curva de concentración 185 y ph 4.5 de pétalos naranja
- Curva de concentración 185 y ph 5.5 de pétalos naranja
- Curva de concentración 190 y ph 4.5 de pétalos rojo
- Curva de concentración 190 y ph 5.5 de pétalos rojo

Fig. 2. Curvas de voltaje vs densidad de corriente

TABLA VIII
DATOS OBTENIDOS DE CELDAS GRATZEL

Eficiencia (%)	Voc	Jsc	P _{máx}
0.021	0.46V	0.075mA/cm ²	0.00002076W/cm ²
0.012	0.42V	0.049mA/cm ²	0.0000119W/cm ²
0.029	0.49V	0.103mA/cm ²	0.0000293W/cm ²
0.019	0.44V	0.077mA/cm ²	0.00001924W/cm ²

Según la figura 2 y la tabla VIII, se evidencia que el valor óptimo de la celda Gratzel es de 0.0000293 mW/cm², con valores de 0.029% de eficiencia, 0.49V, 0.103 mA/cm², obteniendo una curva con mayores valores.

Comparando el valor de Voc con colorantes extraídos de otras especies, se observó un resultado similar: baya de jazmín amarillo (0.49 V), mezcla de repollo morado y remolacha (0.43 V), mezcla de maqui y mora (0.459 V), algas o Enteromorfas (0.473 V) y *Suaeda aegyptiaca* (0.491 V), las cuales se obtuvieron mediante el uso de solventes como agua y/o etanol [13].

El valor de eficiencia es bajo comparándolo con otras investigaciones: Una investigación reportó el aumento de la eficiencia en un 2.31% usando varias capas de TiO₂ [14], en otro caso, se evidenció que cambiando la capa de TiO₂ con

capas de Titanato de Bismuto Dopado con Niobio mejora la adsorción en un 150% y por consecuencia, la eficiencia de la celda [15].

La generación de energía eléctrica está relacionada con la forma molecular de la antocianina, debido a que cuenta con radicales -OH y -H, lo que permite realizar enlaces con la capa de TiO₂, esto debido a que, al pasar a un estado excitado, la antocianina puede realizar enlaces con la molécula de TiO₂, lo que permite el paso de la energía (electrón) hacia este. [16]. Un ejemplo viene a ser el estudio de la curcumina, debido a que contiene radicales -OH, que permiten los enlaces con la molécula de TiO₂, siendo corroborados con estudios de FTIR, barrido electrónico de la capa de TiO₂ sensibilizada por curcumina y espectroscopia de rayos X. [17].

Existen estudios acerca de los enlaces que generan las antocianinas con la molécula de TiO₂. Se ha demostrado que el enlace se realiza en el anillo B de la molécula. [18].

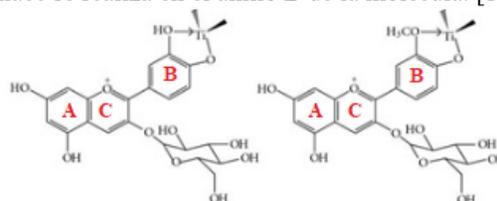


Fig. 3. Estructura molecular de la pelargonidina-3-glucósido

Para el caso de la pelargonidina-3-glucósido, su forma molecular cuenta con radicales -OH en la región del glucósido. Por lo tanto, es posible la formación de enlaces con el TiO₂. Los enlaces no pueden darse en las estructuras bencénicas A, B y C, debido a que son estables.

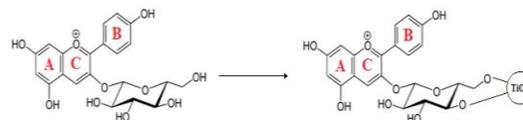


Fig. 4. Enlace de una molécula de Pelargonidina-3d-glucósido con la molécula de TiO₂

D. Análisis ANOVA

El análisis ANOVA indica que existe una influencia directa de la cantidad de antocianina y el pH de la solución del colorante con respecto a la generación de energía eléctrica, siendo sostenido no solamente en el análisis estadístico, sino también en la presente investigación e investigaciones citadas en los ítems anteriores.

IX. CONCLUSIONES

Se determinó la cantidad de energía eléctrica que fue de 29.31 nW/cm² obtenido a partir de la concentración de la antocianina de 190 mg pdg-3-glu/L y a un pH de 4.5 de la solución del colorante de la especie *Tropaeolum majus L.*, en una celda Gratzel.

Se determinó que el efecto de la concentración de antocianina del colorante de la especie *Tropaeolum majus L.* es proporcional en sus valores a la generación de energía eléctrica en una celda Gratzel, observando que, a mayor valor de concentración (190 mg pdg-3-glu/L), se obtuvo mayor valor de energía eléctrica (29.31 nW/cm²) y a menor valor de concentración (185 mg pdg-3-glu/L), se obtuvo menor valor de energía eléctrica (11.9 nW/cm²).

Se determinó que el efecto del pH de la solución de antocianina del colorante de la especie *Tropaeolum majus L.* (Mastuerzo) es inversamente proporcional en sus valores a la generación de energía eléctrica en una celda Gratzel, observando que, a mayor valor de pH (5.5), se obtuvo menor valor de energía eléctrica (11.9 nW/cm²) y a menor valor de pH (4.5), se obtuvo mayor valor de energía eléctrica (29.31 nW/cm²).

AGRADECIMIENTO

Esta investigación fue financiada por la Universidad Nacional del Centro del Perú (Junín – Perú).

REFERENCIAS

- [1] .A. Quispe, K.C. Campos, *Atomización del extracto antocianico de flores de mastuerzo (Tropaeolum majus L.) para su uso en salchichas tipo frankfurt*, Bachelor degree, Dept. Food Ind. Eng. National University of Central Perú, Huancayo, Perú, 2017.
- [2] Saud Bawazeer et al., Green synthesis of silver nanoparticles using *Tropaeolum majus*: *Phytochemical screening and antibacterial studies*. Green Processing and Synthesis. February 28, 2021.
- [3] W.S. Ribeiro, J.A. Barbosa, L.C. Costa, *Capuchina (Tropaeolum majus L.)*, (Kiron, 2012).
- [4] J. Hutchings, *Food Color and Appearance*, (Aspen Publishers, 1999)
- [5] G.A. Garzon, *Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos*, *Scielo*, August 14, 2008, Colombia.
- [6] N.H. Perez, *Identificación, Estabilidad y Actividad Antioxidante de las Antocianinas Aisladas de la Cáscara del Fruto de Capulí (Prunus serótina spp capuli (Cav) Mc. Vaug Cav)*, *Scielo*, February 27, 2014, Colombia.
- [7] B. O'Regan, M. Gratzel, *A low-cost, high efficiency solar cell based on dye - sensitized colloidal TiO₂ films*. *Nature*, October 21, 1991, Sweden.
- [8] M. Cabrera et al., *Celdas solares sensibilizadas con colorantes fotosensibles obtenidos de plantas de la región sur de Ecuador*, *ReseachGate*, November 2, 2016, Brasil.
- [9] R. Nazario, *Celdas gratzel de TiO₂ sensibilizadas con el colorante natural Ayrampo (Opuntia Soehrensii), usando grafito como contraelectrodo*, Magister degree, Dept. Physics, National University of Engineering, Lima, Perú, 2017.
- [10] H.J. Segura, *Influencia de los colorantes zea mays L. (maíz morado) y opuntia ficus indica (tuna púrpura) en celdas solares para generar energía eléctrica*, Bachelor degree, National University of Trujillo, Trujillo, Perú, 2018.
- [11] S. Singh et al., *Application of new natural dyes extracted from Nasturtium flowers (Tropaeolum majus) as photosensitizer in dye-sensitized solar cells*. *Optik Vol. 243-Elsevier*, May 28, 2021. India.
- [12] L.K. Arellano et al, *Evaluación de los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de tres colores de pétalos de mastuerzo (Tropaeolum majus L.)*, *Scielo*, November 4, 2015. Perú.
- [13] R.J. Castillo et al, *Advances on Dye-Sensitized Solar Cells (DSSCs) Nanostructures and Natural Colorants: A Review*, *Composites Science*, October 21, 2021, México.

- [14] R. Nazario, W. Torres, E. Palacios, M. Quintana, *Evaluación de capas de bloqueo en celdas solares sensibilizadas de óxido de titanio nanoestructurado*, *Sociedad Química del Perú*, May 4, 2015, Perú.
- [15] D.M. Camarillo et al, *Desarrollo de Celdas Solares Sensibilizadas con Tinte Utilizando Titanato de Bismuto Dopado con Niobio Depositado en el Electrodo*, *Congreso internacional anual de la SOMIM*, October 21-23, 2020, México.
- [16] N.T.R.N. Kumara et al, *Recent progress and utilization of natural pigments in dye sensitized solar cells: A review*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews-Elsevier*, April 27, 2017, Brunei.
- [17] T.A. Ruhane, *Photo current enhancement of natural dye sensitized solar cell by optimizing dye extraction and its loading period*, *Optik Vol. 149-Elsevier*, September 5, 2017, Bangladesh.
- [18] R. Syafinar, N. Gomesh, M. Irwanto, M. Fareq, Y.M. Irwan, *Cocktail dyes from blueberry and dragon fruit in the application for DSSC*, *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, August 15, 2015, Malaysia.

[1]