

Transdigital[®]

revista científica



Volumen 7, número 13: Enero-junio 2026

ISSN: 2683-328X

Sociedad de Investigación sobre Estudios Digitales S. C.

La revista científica *Transdigital* es una publicación semestral bajo el modelo de publicación continua editada por la Sociedad de Investigación sobre Estudios Digitales S.C. Hasta ahora, la revista ha sido indizada en: *Latindex*, *Dialnet*, *ERIHPLUS*, *REDIB*, *EuroPub*, *LivRe*, *AURA*, *Academic Resource Index (ResearchBib)*, *MIAR*, *OpenAire-Explore*, *Refseek*, *Sherpa Romeo*, *Elektronische Zeitschriftenbibliothek*, *ZDB Zeitschriften Datenbank*, *WorldCat*, *Dimensions*, *The University of Liverpool*, *Discovery*, *Erasmus University Rotterdam*, *Mir@bel*, *REBIUN*, *DARDO*, *UOCI*, *LatinRev*, *ROAD*, *Google Scholar*, *Crossref*, *Scite*, *Lens*, *Internet Archive*, *BASE*, *OpenAlex*, *Semantic Scholar* y *ScienceOpen*. Dirección oficial: Circuito Altos Juriquilla 1132. C.P. 76230, Querétaro, México. Tel. +52 (442) 301-3238. Página web oficial: www.revista.transdigital.mx. Correo electrónico: revista@transdigital.mx.

Editor en jefe: Alexandro Escudero-Nahón (ORCID: 0000-0001-8245-0838). Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2022-020912091600-102. International Standard Serial Number (ISSN): 2683-328X; ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor (México). Responsable de la última actualización: Editor en jefe: Alexandro Escudero-Nahón. Todos los artículos en la revista *Transdigital* están licenciados bajo Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0). Usted es libre de: Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato. Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente. La persona licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia. Lo anterior, bajo los siguientes términos: Atribución — Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante. No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.



Transdigital[®]

revista científica

EXTRACTOS DE *CAPSICUM ANNUUM* L MODULAN LA
PROLIFERACIÓN CELULAR Y LA SEÑALIZACIÓN
INTRACELULAR DE Ca^{2+} EN CÉLULAS
EPITELIALES MAMARIAS HUMANAS

CAPSICUM ANNUUM L EXTRACTS MODULATE CELL
PROLIFERATION AND INTRACELLULAR Ca^{2+}
SIGNALING IN HUMAN MAMMARY EPITHELIAL CELLS



Verónica Morales-Tlalpan*
Universidad Autónoma de Querétaro, México
ORCID: 0009-0002-5206-9643



Roberto Jorge García Mendoza
Universidad Autónoma de Querétaro, México
ORCID: 0009-0003-9886-7015



Ana Angélica Feregrino Pérez
Universidad Autónoma de Querétaro, México
ORCID: 0000-0001-8001-5912



Carlos Saldaña Gutiérrez
Universidad Autónoma de Querétaro, México
ORCID: 0000-0002-8178-7911

Sección: Artículo de investigación

Autor de Correspondencia*

Fecha de recepción: 16/04/2026

Fecha de aceptación: 18/04/2026

EXTRACTOS DE *CAPSICUM ANNUUM* L MODULAN LA PROLIFERACIÓN CELULAR Y LA SEÑALIZACIÓN INTRACELULAR DE Ca^{2+} EN CÉLULAS EPITELIALES MAMARIAS HUMANAS

CAPSICUM ANNUUM L EXTRACTS MODULATE CELL PROLIFERATION AND INTRACELLULAR Ca^{2+} SIGNALING IN HUMAN MAMMARY EPITHELIAL CELLS

RESUMEN

El presente estudio evaluó el efecto de extractos de tres variedades de *Capsicum annuum* L sobre la actividad metabólica celular y la señalización intracelular de Ca^{2+} en células epiteliales mamarias humanas, utilizando una línea tumoral (MCF-7) y una no tumoral (MCF-12F). La actividad metabólica se determinó mediante el ensayo Alamar Blue, mientras que la dinámica de Ca^{2+} se analizó utilizando el indicador fluorescente Fluo-4 AM y microscopía funcional en tiempo real. Los extractos vegetales produjeron efectos diferenciales dependiendo del tipo celular y de la variedad del fruto. En células MCF-7 se observaron cambios más pronunciados en la actividad metabólica, mientras que en MCF-12F se registraron incrementos transitorios de Ca^{2+} intracelular con patrones cinéticos distintos entre variedades. Los resultados indicaron que matrices fitoquímicas complejas derivadas de *Capsicum annuum* L interactúan con la maquinaria de señalización de Ca^{2+} y pueden modificar la fisiología celular de manera dependiente del contexto tumoral. Estos hallazgos aportan evidencia experimental sobre la interacción entre compuestos de origen vegetal y rutas celulares fundamentales relacionadas con la salud humana.

Palabras clave: capsicum annuum L, señalización de calcio intracelular, células mamarias humanas, proliferación celular, alimentos funcionales

ABSTRACT

This study evaluated the effect of extracts from three varieties of *Capsicum annuum* L on cellular metabolic activity and intracellular Ca^{2+} signaling in human breast epithelial cells, using a tumor cell line (MCF-7) and a non-tumor cell line (MCF-12F). Metabolic activity was determined using the Alamar Blue assay, while Ca^{2+} dynamics were analyzed using the Fluo-4 AM fluorescent indicator and real-time functional microscopy. The plant extracts produced differential effects depending on cell type and fruit variety. More pronounced changes in metabolic activity were observed in MCF-7 cells, while in MCF-12F cells, transient increases in intracellular Ca^{2+} were recorded with distinct kinetic patterns among varieties. The results indicated that complex phytochemical matrices derived from *Capsicum annuum* L interact with the Ca^{2+} signaling machinery and can modify cellular physiology in a tumor-context-dependent manner. These findings provide experimental evidence regarding the interaction between plant-derived compounds and fundamental cellular pathways related to human health.

Keywords: capsicum annuum L, intracellular calcium signaling, human mammary cells, cell proliferation, functional foods

1. INTRODUCCIÓN

Los estudios *in vitro* generan hipótesis biológicas verificables. Este conocimiento permite tomar acciones que mejoran la calidad de vida de los organismos. De esta forma, se enriquece el conocimiento y se entiende la complejidad fisiológica de los organismos. Este trabajo revisó información sobre el calcio ionizado (Ca^{2+}), un catión fundamental en las células de todos los organismos. Las modificaciones en la concentración de calcio intracelular ($[\text{Ca}^{2+}]_i$) promueven su actividad como un segundo mensajero. Básicamente, los cambios en su concentración se traducen en estímulos extracelulares y los convierte en respuestas intracelulares específicas, como lo son la proliferación, secreción, diferenciación y muerte celular programada.

Para llevar con éxito la multitud de los procesos celulares, se requiere la participación coordinada de proteínas con actividades muy específicas, las cuales están localizadas en los diferentes organelos y membranas. Esencialmente, estas proteínas están acopladas al gradiente de Ca^{2+} y mantienen su concentración intracelular alrededor de 100 newton-metro (nM). Por lo tanto, se mueve el Ca^{2+} hacia afuera de la célula o lo almacenan en organelos. Las principales entidades moleculares sensibles al Ca^{2+} son los canales de Ca^{2+} dependientes de voltaje e independiente; el receptor del potencial transitorio (TRP); bombas de Ca^{2+} de membrana plasmática (PMCA); bombas de Ca^{2+} de retículo endoplásmico (SERCA); la actividad de canales de Ca^{2+} intracelulares como el Receptor a Ryanodina (RyR); y el Receptor a uno, cuatro y cinco trifosfatos (IP_3R), entre muchos más. Como ya se mencionó anteriormente, la señalización intracelular de calcio regula procesos celulares esenciales como la proliferación, el metabolismo y la supervivencia celular, y su desregulación constituye un rasgo característico del cáncer de mama (Berridge, 2016; Prevarskaya et al., 2018; Monteith et al., 2017).

A la fecha, se conoce que entre el 10-15 % de los casos de cáncer de mama son hereditarios. Por lo tanto, la mayoría de los casos son causados por factores de riesgo susceptibles de ser modificados para mejorar el estilo de vida, incluidos los hábitos alimenticios (exceso de grasas, azúcares, carnes rojas y alcohol, entre los principales). Otros factores también son la edad, la etnia, el estado hormonal, la radiación ultravioleta y las alteraciones en los ritmos circadianos (alteraciones en el sueño-vigilia). Sin embargo, la dieta es una práctica que puede controlarse con relativa facilidad, y al respecto, estudios observacionales y epidemiológicos han sugerido el potencial positivo de los compuestos fenólicos en la quimiopreención y la quimiosensibilización en el cáncer de mama, debido a que se les han asignado efectos protectores y anticancerígenos (Ávila-Gálvez et al., 2020).

Por otra parte, se ha comprobado que la ingesta dietética de carotenoides es benéfica para la salud humana, pues protege al organismo de enfermedades crónicas, incluido el cáncer. En parte a su actividad antioxidante, que puede modular la reparación del DNA, proliferación celular, inducción de la apoptosis e inhibición de la angiogénesis (Dehnavi et al., 2024). Estos efectos se deben por la modulación de vías de señalización, expresión génica y proteica al interactuar con rutas que modifican la viabilidad celular, proliferación, diferenciación

e invasión. Sin embargo, aún se necesitan más estudios para fortalecer su uso en humanos (Ávila-Gálvez et al., 2020).

Los frutos de *Capsicum annuum* L contienen diversos fitoquímicos bioactivos capaces de interactuar con rutas celulares fundamentales (Materska & Perucka, 2005; Zimmer et al., 2012; Wahyuni et al., 2013). A diferencia de los estudios basados en compuestos aislados, el análisis de extractos vegetales permite evaluar la interacción sinérgica entre múltiples metabolitos secundarios, lo cual refleja con mayor fidelidad las condiciones reales de exposición dietaria. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de extractos de tres variedades de *Capsicum annuum* L var. Fascinatum (FAS), Baselga (BAS) y Orangela (ORA), sobre la actividad metabólica y la señalización de Ca²⁺ intracelular en líneas celulares epiteliales mamarias humanas, una cancerosa (MCF-7) y una no tumoral (MCF-12F).

2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

La actividad metabólica se determinó mediante el ensayo Alamar Blue y la dinámica de Ca²⁺. El análisis se realizó por medio del indicador fluorescente Fluo-4 AM y la microscopía funcional en tiempo real. Los extractos evaluados modularon diferencialmente la proliferación celular dependiendo del tipo celular y de la variedad del fruto. En células MCF-7 se observaron cambios más pronunciados en la actividad metabólica, mientras que en MCF-12F los extractos indujeron incrementos transitorios de Ca²⁺ intracelular con patrones cinéticos distintos entre variedades.

2.1. Cultivo celular

Las líneas celulares epiteliales humanas MCF-7 y MCF-12F fueron donadas por las Dra. Aceves y la Dra. Delgado (Instituto de Neurobiología, Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM]), originalmente fueron obtenidas de la *American Type Culture Collection* (ATCC). Ambas líneas se mantuvieron en medio *Dulbecco's Modified Eagle Medium* ([DMEM] suplementado con 10% de suero fetal bovino, 100 U/mL de penicilina y 100 µg/mL de estreptomina), siguiendo protocolos estándar para cultivo de células mamarias humanas (Freshney, 2016; Lacroix & Leclercq, 2004). Los cultivos se incubaron a 37 °C en una atmósfera humidificada y 5% de CO₂.

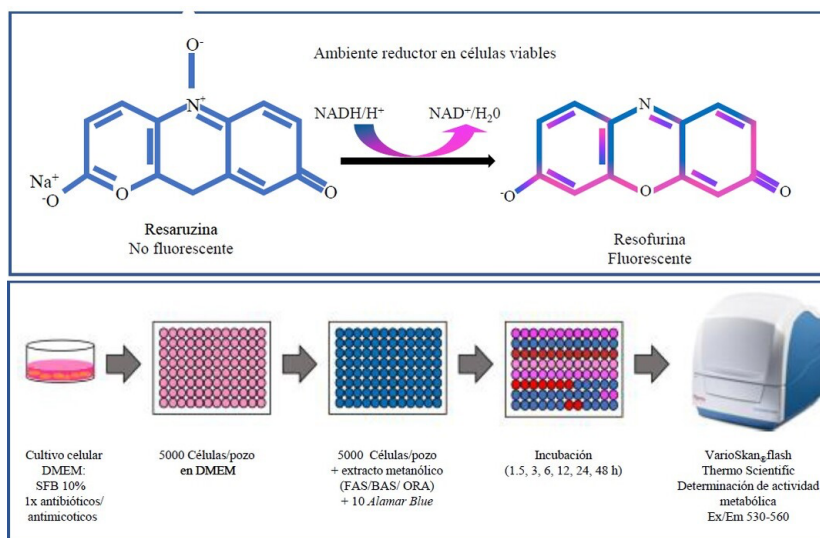
La expansión celular se realizó a partir de cultivos sanos y confluentes. Para el subcultivo, las monocapas celulares se incubaron durante 30 segundos con Verseno, seguido de una incubación de 60 segundos con tripsina al 0.5%, de acuerdo con procedimientos ampliamente utilizados para la disociación celular (Freshney, 2016). La acción de la tripsina se inactivó mediante la adición de medio DMEM completo. Posteriormente, las células se disgregaron y se sembraron en placas de cultivo de 60 mm a una densidad de 1 × 10⁶ células para su proliferación. Todos los experimentos se realizaron utilizando cultivos entre 18 y 24 h posteriores a la tripsinización, con el fin de controlar el grado de confluencia celular y minimizar variaciones asociadas al ciclo celular (Lacroix & Leclercq, 2004).

2.2. Determinación de proliferación celular

La viabilidad y la actividad metabólica celular, tras la exposición a los extractos BAS, ORA y FAS, se evaluó mediante el ensayo *Alamar Blue* (AB; *Thermo Fisher Scientific*), un método ampliamente validado para la medición de la actividad metabólica celular y citotoxicidad *in vitro* (Rampersad, 2012; O'Brien et al., 2000). Este ensayo se basa en la reducción de la resazurina a resorufina, un compuesto altamente fluorescente, lo que permite una cuantificación indirecta del estado metabólico celular sin inducir lisis, posibilitando mediciones cinéticas en el tiempo. Las células se sembraron en placas de 96 pozos a una densidad de 0.05×10^6 células por pozo. Posteriormente, se añadieron los extractos a diferentes concentraciones (0.1, 1 y 10%), y la actividad metabólica se evaluó a los tiempos 0, 1.5, 3, 6, 12, 24, 48 y 72 horas (Figura 1). El reactivo *Alamar Blue* se añadió al medio a una concentración final del 10% (v/v). La fluorescencia se midió utilizando un lector multimodal de placas (*Varioskan™ Lux*; *Thermo Fisher Scientific*) a longitudes de onda de excitación/emisión de 530–560/590 nm (O'Brien et al., 2000).

Figura 1

Esquema del principio del ensayo *Alamar Blue* empleado para evaluar la actividad metabólica celular mediante la reducción de resazurina a resorufina fluorescente



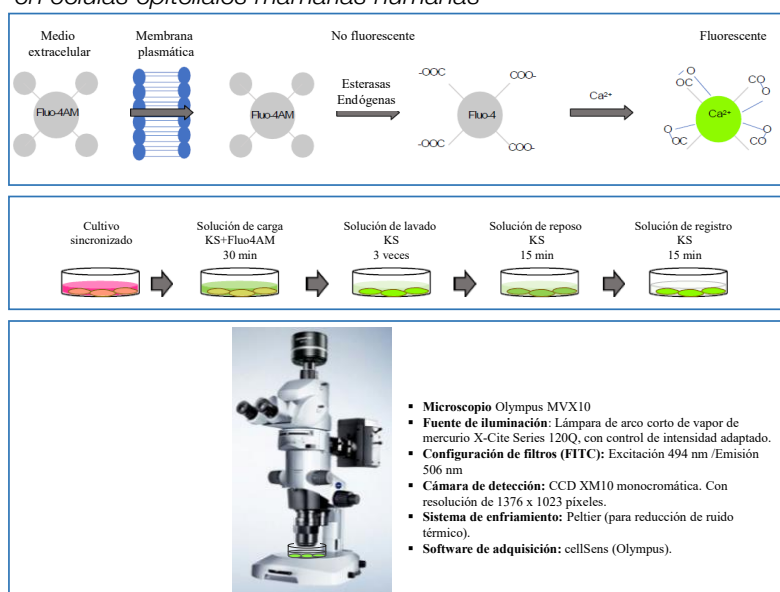
2.3. Determinación de Ca^{2+} intracelular

Los cambios en la concentración de Ca^{2+} intracelulares inducidos por la estimulación con extractos de *Capsicum annuum* L se evaluaron utilizando el indicador fluorescente Fluo-4 AM, de acuerdo con metodologías previamente establecidas (Gee et al., 2000; Paredes et al., 2008). Fluo-4 AM presentó una elevada sensibilidad al Ca^{2+} intracelular, con un incremento significativo de fluorescencia tras su unión al ion, y es ampliamente utilizado

para el estudio de señalización de Ca^{2+} en células vivas. Las células se incubaron durante 30 minutos con solución Krebs-F4 (en mM: NaCl 150, KCl 1, MgCl_2 1.8, CaCl_2 1.8, Glucosa 4, HEPES 10, pH 7.4; suplementada con albúmina sérica bovina, ácido plurónico y $5 \mu\text{M}$ de Fluo-4 AM). Posteriormente, las preparaciones se lavaron con solución Krebs e incubaron durante 10–15 min adicionales para permitir la completa remoción del indicador antes del registro de fluorescencia (Figura 2) (Saldaña et al., 2009).

Figura 2

Carga celular con el indicador fluorescente Fluo-4 AM para la detección de variaciones en la concentración intracelular de Ca^{2+} en células epiteliales mamarias humanas



2.4. Microscopía funcional

Las imágenes se adquirieron utilizando un microscopio MVX10 equipado con un objetivo de 20 \times , con una velocidad de adquisición de cuatro imágenes por segundo. La excitación y emisión del Fluo-4 se realizaron a 494/506 nm, respectivamente, siguiendo protocolos estándar para microscopía funcional de Ca^{2+} . Para minimizar el fotoblanqueo, la potencia de la lámpara de mercurio se redujo al 5%. Para el análisis cuantitativo, se seleccionaron al azar 50 células por campo y se midieron los valores de fluorescencia en escala de grises, los cuales fueron posteriormente analizados utilizando el software *Originab 2021*, como se ha descrito previamente en estudios de dinámica de Ca^{2+} intracelular (Saldaña et al., 2009).

3. RESULTADOS

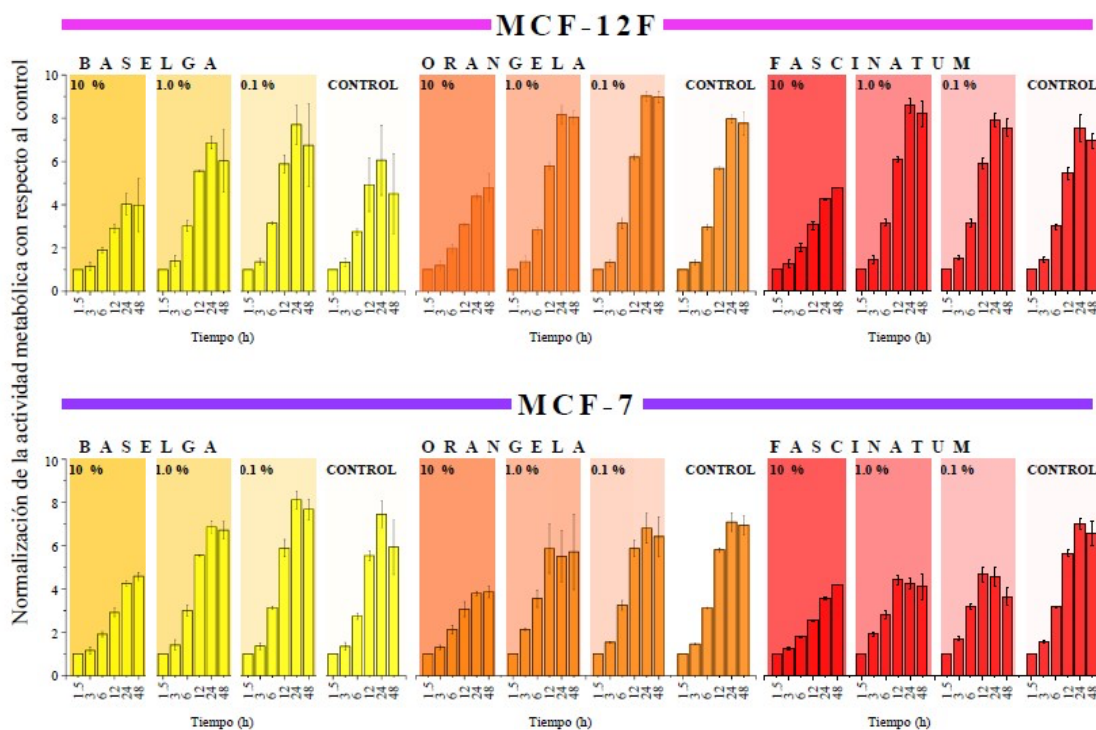
3.1. Actividad metabólica celular tras la exposición a extractos de *Capsicum annuum* L

La exposición de las células epiteliales mamarias humanas a los extractos de *Capsicum annuum* L produjo cambios diferenciales en la actividad metabólica dependiendo tanto del tipo celular como de la variedad de extracto analizada. Las células cancerosas MCF-7 mostraron una respuesta más pronunciada que las células no tumorales MCF-12F, evidenciando una mayor sensibilidad del fenotipo tumoral frente a los compuestos fitoquímicos.

Las curvas de actividad metabólica dosis-dependiente indicaron que para los tres extractos metanólicos a 10%. En ambas líneas celulares se produjo una disminución en la actividad metabólica comparándolo con sus respectivos controles, sugiriendo fuertemente que este efecto tiene que ver con la dosis saturante. Inclusive, a dosis del 1% de los extractos provenientes de BAS y ORA no presentaron cambios con respecto al control. Aunque el 0.1% de ORA solo las células MC-12F presentaron un incremento en la actividad metabólica, en tanto las MCF-7 se comportaron similar al control. Interesantemente, el extracto proveniente de la variedad FAS tiene efectos diferenciales en ambas líneas celulares en concentraciones de 0.1 – 1%. Los resultados indicaron que las MCF-7 son más sensibles a la exposición con este extracto (Figura 3).

Figura 3

Actividad metabólica de las líneas celulares MCF-7 y MCF-12F tras la exposición a extractos de tres variedades de *Capsicum annum* L. Se muestran experimentos representativos.



Nota. Los datos se expresan como media \pm DE (n=4). Diferencias significativas: $p < 0.05$.

En conjunto, estos resultados indicaron que los extractos de *Capsicum annum* L modulan la proliferación celular de manera dependiente del contexto biológico, siendo las células tumorales particularmente susceptibles a su acción.

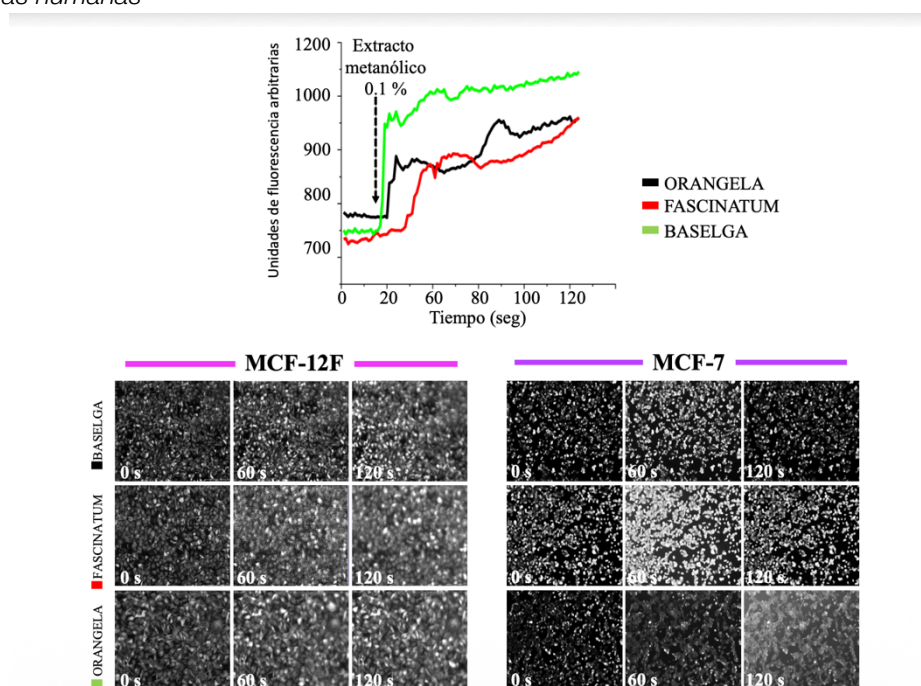
3.2. Dinámica de la señalización intracelular de Ca^{2+}

Con el fin de evaluar si los cambios metabólicos observados se asociaban con modificaciones en la señalización intracelular, se analizaron las variaciones en la concentración de Ca^{2+} citosólico. Los extractos de *Capsicum annum* L indujeron respuestas dinámicas de Ca^{2+} intracelular caracterizadas por incrementos transitorios de fluorescencia.

El extracto BAS generó un aumento rápido y sostenido del Ca^{2+} intracelular durante los primeros segundos posteriores a la estimulación. Por su parte, los extractos ORA y FAS produjeron incrementos más graduales y de menor amplitud. Estas diferencias sugieren la activación diferencial de mecanismos celulares responsables de la entrada, liberación o recaptura de Ca^{2+} (Figura 4).

Figura 4

*Dinámica temporal de la señalización intracelular de Ca^{2+} inducida por extractos de *Capsicum annum L* en células epiteliales mamarias humanas*



Las variaciones cinéticas observadas indicaron que la composición fitoquímica de cada variedad vegetal influye en la forma en que se modula la señalización intracelular, incluso en células no cancerosas.

3.3. Evidencia visual de la movilización de Ca^{2+} intracelular

Las imágenes de fluorescencia obtenidas antes y después de la estimulación confirmaron la movilización intracelular del ion. Tras la aplicación de los extractos se observó un incremento claro de la fluorescencia citosólica en las células tratadas, consistente con la elevación del Ca^{2+} intracelular previamente registrada. La distribución

espacial de la señal sugiere la participación de reservorios intracelulares en la generación de las respuestas observadas, lo cual concuerda con la naturaleza dinámica del Ca^{2+} como segundo mensajero celular (Figura 4).

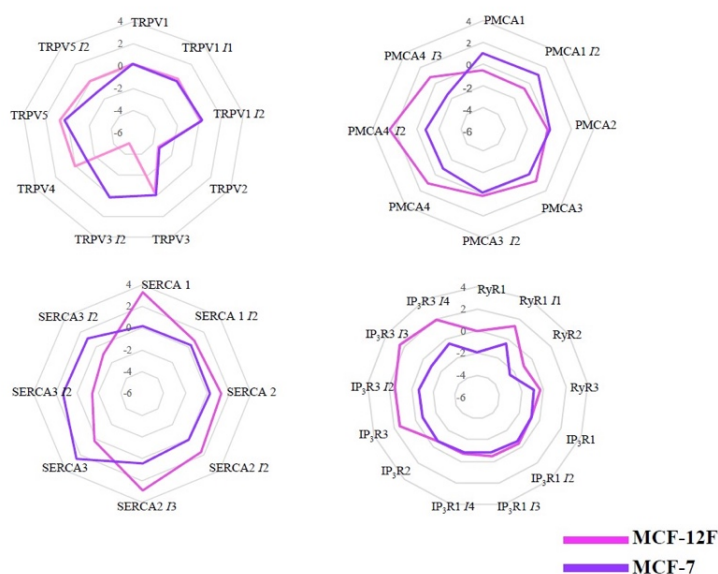
3.4. Perfil de expresión génica asociado a la homeostasis de Ca^{2+}

El análisis comparativo de la expresión génica reveló diferencias notables entre las líneas celulares estudiadas en genes relacionados con la homeostasis del Ca^{2+} . Las células MCF-7 presentaron un patrón de expresión distinto al de las células MCF-12F en familias de proteínas reguladoras como canales TRP, RyR e IP_3R , así como bombas SERCA y PMCA.

Estas variaciones sugieren que la maquinaria molecular responsable del manejo intracelular del Ca^{2+} se encuentra remodelada en el fenotipo tumoral, lo que podría explicar la mayor magnitud de las respuestas funcionales observadas tras la exposición a los extractos vegetales (Figura 5). En conjunto, los resultados funcionales y el análisis bioinformático indicaron que la respuesta celular a los extractos de *Capsicum annuum* L dependió no solo de la composición fitoquímica, sino también del estado molecular previo de las células.

Figura 5

Perfil de expresión de genes asociados a la homeostasis del Ca^{2+} . Células MCF-7 (morado) y MCF-12F (rosa).



4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos demostraron que los extractos de *Capsicum annuum* L son capaces de modular simultáneamente la actividad metabólica celular y la señalización intracelular de Ca^{2+} en células epiteliales mamarias humanas. La magnitud y la naturaleza de la respuesta dependieron tanto de la variedad vegetal como del tipo celular, lo que sugiere que la interacción entre matrices fitoquímicas complejas y la fisiología celular es altamente contextual.

La mayor sensibilidad observada en las células MCF-7 respecto a las MCF-12F indicó que el fenotipo tumoral presentó una susceptibilidad diferencial a la acción de compuestos bioactivos de origen vegetal. Este comportamiento puede explicarse por la reprogramación metabólica característica de las células cancerosas, la cual implica modificaciones en rutas de señalización intracelular, particularmente aquellas dependientes de Ca^{2+} (Monteith et al., 2017; Prevarskaya et al., 2018). En este contexto, pequeñas variaciones en la homeostasis del ion pueden traducirse en cambios significativos en proliferación y viabilidad celular.

Los incrementos transitorios de Ca^{2+} inducidos por los extractos sugieren la activación de mecanismos de señalización temprana más que un efecto citotóxico directo. El Ca^{2+} actúa como segundo mensajero universal, integrando estímulos externos con respuestas celulares como proliferación, diferenciación o muerte celular programada (Clapham, 2007; Berridge, 2016). Por ello, la modulación de su dinámica intracelular constituye un punto crítico mediante el cual compuestos dietarios pueden influir en el comportamiento celular.

Las diferencias cinéticas entre variedades vegetales indicaron que no se trata del efecto de una sola molécula, sino de la acción combinada de múltiples fitoquímicos presentes en la matriz alimentaria (Chen et al., 2021). Este hallazgo fue relevante, pues gran parte de la investigación biomédica se centró en compuestos aislados, mientras que en condiciones reales de consumo los organismos están expuestos a mezclas complejas. La evidencia obtenida respalda la hipótesis de que los alimentos funcionales ejercen sus efectos biológicos a través de la modulación de sistemas de señalización celular y no únicamente por acciones antioxidantes generales.

El perfil diferencial de expresión génica asociado a proteínas reguladoras del Ca^{2+} apoyó esta interpretación. La remodelación de la maquinaria de manejo intracelular del ion en las células tumorales podría explicar la mayor amplitud de respuesta observada tras la estimulación con los extractos (Zhai et al., 2020). En consecuencia, la respuesta celular no depende exclusivamente de la composición química del alimento, sino también del estado fisiológico previo de la célula.

En conjunto, los resultados sugieren que el *Capsicum annuum* L puede influir en procesos celulares fundamentales mediante la modulación de la señalización de Ca^{2+} . Este efecto abre la posibilidad de considerar

matrices vegetales no solo como fuentes nutricionales, sino como moduladores de rutas celulares relevantes para la salud humana. Aunque el presente estudio se limitó a un modelo *in vitro*, proporcionó evidencia experimental que contribuye a comprender los mecanismos celulares que podrían vincular dieta y enfermedades crónico-degenerativas. Una limitación del presente estudio fue el uso exclusivo de modelos celulares *in vitro*, por lo que la extrapolación fisiológica requiere validación en sistemas biológicos más complejos.

Futuros estudios deberán identificar los compuestos responsables y evaluar su efecto en modelos fisiológicos más complejos. Sin embargo, los hallazgos presentados establecen una base mecanicista para investigar el papel de alimentos ricos en fitoquímicos dentro de estrategias preventivas y de salud pública orientadas a la modulación de procesos celulares asociados a patologías humanas.

5. CONCLUSIONES

Los extractos de *Capsicum annuum* L modulan la actividad metabólica y la señalización intracelular de Ca^{2+} en células epiteliales mamarias humanas, mostrando respuestas diferenciales entre células tumorales y no tumorales. Los cambios observados indican que matrices fitoquímicas complejas pueden interactuar con rutas celulares fundamentales asociadas a proliferación y homeostasis iónica.

Los hallazgos aportaron evidencia experimental de que compuestos presentes en alimentos vegetales pueden actuar como moduladores de procesos celulares relevantes para la salud. Este estudio proporcionó una base mecanicista para explorar la relación entre dieta, señalización celular y el posible papel de los alimentos ricos en fitoquímicos en la modulación de procesos celulares asociados a enfermedades crónico-degenerativas.

Agradecimientos

Agradecemos a la M. en C. Adriana González Gallardo, de la Unidad de Proteogenómica del INB (UNAM, Campus Juriquilla), por su invaluable colaboración. Asimismo, al BioPhysNanoLab por facilitar las instalaciones para la realización de los experimentos, y al LAVIS-FCN-UAQ por el análisis de imágenes y procesamiento de datos, con especial reconocimiento a la Lic. Blanca Alexandrina Ledezma Sánchez por su apoyo administrativo. También agradecemos al pasante de la Lic. en Biología, Joel Hurtado Patiño, por su asistencia en el procesamiento de figuras. Finalmente, expresamos nuestra gratitud a la SECIHTI por la beca 1032842 y al fondo FOPER 2025 FCN-04130, ambos otorgados a Roberto Jorge García Mendoza, así como al fondo FONFIVE 2024-2026 otorgado a Carlos Saldaña, por el apoyo financiero brindado para la ejecución de este trabajo.

REFERENCIAS

- Ávila-Gálvez, M. Á., Giménez-Bastida, J. A., Espín, J. C., & Gonzalez-Sarrias, A. (2020). Dietary phenolics against breast cancer. A critical evidence-based review and future perspectives. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(16), 5718.
- Berridge, M. J. (2016). The inositol trisphosphate/calcium signaling pathway in health and disease. *Physiological Reviews*, 96(4), 1261–1296. <https://doi.org/10.1152/physrev.00006.2016>
- Chen, M., Xiao, C., Jiang, W., Yang, W., Qin, Q., Tan, Q., Lian, B., Liang, Z., & Wei, C. (2021). Capsaicin inhibits proliferation and induces apoptosis in breast cancer by down-regulating FBI-1-mediated NF- κ B pathway. *Drug Design, Development and Therapy*, 15, 125–140. <https://doi.org/10.2147/DDDT.S269901>
- Clapham, D. E. (2007). Calcium signaling. *Cell*, 131(6), 1047–1058. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2007.11.028>
- Dehnavi, M. K., Ebrahimpour-Koujan, S., Lotfi, K., & Azadbakht, L. (2024). The association between circulating carotenoids and risk of breast cancer: a systematic review and dose–response meta-analysis of prospective studies. *Advances in Nutrition*, 15(1), 100135.
- Freshney, R. I. (2016). *Culture of animal cells: A manual of basic technique and specialized applications* (7th ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118873656>
- Gee, K. R., Brown, K. A., Chen, W.-N. U., Bishop-Stewart, J., Gray, D., & Johnson, I. (2000). Chemical and physiological characterization of Fluo-4 Ca²⁺-indicator dyes. *Cell Calcium*, 27(2), 97–106.
- Lacroix, M., & Leclercq, G. (2004). Relevance of breast cancer cell lines as models for breast tumours: An update. *Breast Cancer Research and Treatment*, 83, 249–289.
- Materska, M., & Perucka, I. (2005). Antioxidant activity of the main phenolic compounds isolated from hot pepper fruit (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(5), 1750–1756.
- Monteith, G. R., Prevarskaya, N., & Roberts-Thomson, S. J. (2017). The calcium–cancer signalling nexus. *Nature Reviews Cancer*, 17(6), 367–380. <https://doi.org/10.1038/nrc.2017.18>
- O'Brien, J., Wilson, I., Orton, T., & Pognan, F. (2000). Investigation of the Alamar Blue (resazurin) fluorescent dye for the assessment of mammalian cell cytotoxicity. *European Journal of Biochemistry*, 267(17), 5421–5426.
- Paredes, R. M., Etzler, J. C., Watts, L. T., Zheng, W., & Lechleiter, J. D. (2008). Chemical calcium indicators. *Methods*, 46(3), 143–151.
- Prevarskaya, N., Skryma, R., & Shuba, Y. (2018). Calcium in tumour metastasis: New roles for known actors. *Nature Reviews Cancer*, 18(6), 395–411.
-
- Morales-Tlalpan, V., García-Mendoza, R. J., Feregrino-Pérez, A. A., & Saldaña, C. (2026). Extractos de *Capsicum annuum* L. modulan la proliferación celular y la señalización intracelular de Ca²⁺ en células epiteliales mamarias humanas. *Transdigital*, 7(14), e610. <https://doi.org/10.56162/transdigital610>

Rampersad, S. N. (2012). Multiple applications of Alamar Blue as an indicator of metabolic function and cellular health in cell viability bioassays. *Sensors*, 12(9), 12347–12360.

Saldaña, C., Díaz-Muñoz, M., Antaramián, A., González-Gallardo, A., García-Solís, P., & Morales-Tlalpan, V. (2009). MCF-7 breast carcinoma cells express ryanodine receptor type 1: Functional characterization and subcellular localization. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 323(1–2), 39–47.

Wahyuni, Y., Ballester, A. R., Sudarmonowati, E., Bino, R. J., & Bovy, A. G. (2013). Metabolite biodiversity in pepper (*Capsicum*) fruits of thirty-two diverse accessions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(12), 2814–2824.

Zhai, K., Liskova, A., Kubatka, P., & Büsselberg, D. (2020). Calcium entry through TRPV1: A potential target for the regulation of proliferation and apoptosis in cancerous and healthy cells. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(11), Artículo 4177. <https://doi.org/10.3390/ijms21114177>

Zimmer, A. R., Leonardi, B., Miron, D., Schapoval, E., de Oliveira, J. R., & Gosmann, G. (2012). Antioxidant and anti-inflammatory properties of *Capsicum baccatum*: From traditional use to scientific approach. *Journal of Ethnopharmacology*, 139(1), 228–233.

Morales-Tlalpan, V., García-Mendoza, R. J., Feregrino-Pérez, A. A., & Saldaña, C. (2026). Extractos de *Capsicum annum* L modulan la proliferación celular y la señalización intracelular de Ca²⁺ en células epiteliales mamarias humanas. *Transdigital*, 7(14), e610. <https://doi.org/10.56162/transdigital610>



Transdigital[®]

editorial

La Editorial *Transdigital* publica libros de carácter científico y académico. Se pueden publicar tesis de posgrado, una vez sometidas al sistema de evaluación de pares de doble ciego. Servicios:

- Gestión del International Standard Book Number (ISBN), del Digital Object Identifier (DOI) y del código de barras.
- Diseño gráfico
- Servicio de corrección de estilo y redacción.
- Dictaminación de la revisión por pares en doble ciego hecha por miembros del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNI) de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) de México.
- Alojamiento permanente del libro en la editorial *Transdigital* (www.editorial.transdigital.mx)
- Distribución gratuita en *Dialnet*, *Google Books*, *Google Play* y *SCRIBD*.
- Distribución a precio mínimo en *Amazon Kindle* (cuota que pagan los lectores de *Kindle*).

La editorial *Transdigital* está en el Registro en el Padrón Nacional de Editores como agente editor Sociedad de Investigación sobre Estudios Digitales, S. C., con el Dígito Identificador 978-607-99594. Además, está afiliada a la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana (CANIEM) con el número 4069, de conformidad con el artículo 17 de la Ley de Cámaras Empresariales y sus Confederaciones en vigor. Y está en el Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas (RENIECYT) de la SECIHTI de México con el folio: RENIECYT 2400068.



Transdigital[®]

congreso virtual

El Congreso Virtual *Transdigital* se realiza anualmente de manera totalmente virtual (www.congreso.transdigital.mx). Este evento tiene el objetivo de reunir resultados parciales o finales de investigaciones empíricas, documentales o ensayos científicos sobre temas y desafíos que involucran a la tecnología y la transformación digital en sociedad.

Está dirigido a investigadores(as), docentes de todas las modalidades y niveles del sistema educativo, estudiantes de pregrado y posgrado, gestores(as) educativos(as), directivos(as) y demás profesionales interesados(as) en la investigación empírica y documental sobre el uso de la tecnología y la transformación digital en diversos ámbitos sociales, por ejemplo, la salud, el ocio, el turismo, las finanzas, la educación, el desarrollo comunitario, la industria, etcétera.

La inscripción por texto, con un máximo de tres autores(as) da el derecho de publicar la ponencia como capítulo de libro académico en la editorial *Transdigital*, una vez que ha sido admitida por el Comité Científico; además se otorgan certificados de ponencia y asistencia. Ese libro cuenta con International Standard Book Number (ISBN), Digital Object Identifier (DOI) y código de barras.

El Congreso Virtual *Transdigital* es una iniciativa que está inscrita en el Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas (RENIECYT) de la SECIHTI de México con el folio: RENIECYT 2400068.



Transdigital[®]

revista científica

La revista científica *Transdigital* es una publicación semestral bajo el modelo de publicación continua, de manera que se reciben textos durante todo el año. Es editada por la Sociedad de Investigación sobre Estudios Digitales S.C. Evalúa los textos con el sistema de pares de doble ciego. Se admiten Artículos de investigación y Ensayos científicos originales.

El proceso de publicación es expedito y, en promedio, los textos se publican tres meses después de que han sido recibidos. El Consejo científico y el Comité editorial se compone por distinguidas y distinguidos académicos de talla nacional e internacional. Cuenta con la Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2022-020912091600-102, International Standard Serial Number (ISSN) 2683-328X, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor.

Hasta ahora, está indizada en Latindex, Dialnet, ERIHPLUS, REDIB, EuroPub, LivRe, AURA, Academic Resource Index (ResearchBib), MIAR, OpenAire-Explore, Refseek, Sherpa Romeo, Elektronische Zeitschriftenbibliothek, ZDB Zeitschriften Datenbank, WorldCat, Dimensions, The University of Liverpool, Discovery, Erasmus University Rotterdam, Mir@bel, REBIUN, DARDO, UOCI, LatinRev, ROAD, Google Scholar, Crossref, Scite, Lens, Internet Archive, BASE, etc.

El costo de publicación puede ser consultado en: www.revista.transdigital.mx