

Diseño de inmunoensayos de flujo lateral: alternativas eficientes y económicas para el diagnóstico

Lateral flow immunoassay design: efficient and cost-effective alternatives for diagnosis

Roberto Olivares Hernández¹, Tanya A. Camacho Villegas², Pavel H. Lugo Fabres³, Rodolfo Hernández Gutiérrez², Alejandro Alagón⁴, e Hilda Vázquez López^{4*}

¹ Departamento de Procesos y Tecnología, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Cuajimalpa, Cuajimalpa de Morelos, Ciudad de México, 05348, México.

² Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ).

³ Investigador por México, CONACyT-Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ), México.

⁴ Departamento de Medicina Molecular y Bioprocesos, Instituto de Biotecnología-Universidad Nacional Autónoma de México. Avenida Universidad 2001, Colonia Chamilpa, Cuernavaca, Morelos 62210, México.

Autor de correspondencia: Hilda Vázquez López, hilda.vazquez@ibt.unam.mx

Resumen

Palabras clave:

inmunoensayo, flujo lateral, diagnóstico

En años recientes se ha desarrollado ampliamente la tecnología de sensores basados en biomoléculas impactando positivamente en el diagnóstico temprano y efectivo de enfermedades. La composición de estos sensores ha dado lugar a los sistemas de diagnóstico que permiten obtener información clínica relevante en el punto de atención (Point of Care, POC). También han impactado en la economía, dado que estos sistemas son relativamente económicos. Dentro de los distintos diseños de los sistemas de diagnóstico están los inmunoensayos de flujo lateral (LFA). A diferencia de los equipos de análisis clínico, los sistemas de diagnóstico basado en POC son pequeños y el resultado se obtiene rápidamente. En este artículo se lleva a cabo la revisión de los principios del diseño de estos sistemas de diagnóstico, sus diversas aplicaciones y la necesidad de mejorar los procesos de sus diseños en el sector salud.

Abstract

Keywords:

immunoassay, lateral flow, diagnosis

In recent years, biomolecule-based sensor technology has been widely developed, positively impacting the early and effective diagnosis of diseases. The composition of these sensors has led to diagnostic systems that provide relevant clinical information at the point of care (POC). They have also had an economic impact, as these systems are relatively affordable. Among the various diagnostic system designs are lateral flow immunoassays (LFA). Unlike clinical analysis equipment, POC-based diagnostic systems are small, and results are obtained quickly. This article reviews the design principles of these diagnostic systems, their various applications, and the need to improve design processes in the healthcare sector.

Recibido: 12 de marzo 2025

Revisado: 13 de mayo 2025

Aceptado: 02 de junio 2025

Publicado: 21 de enero 2025



Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia CC BY-NC-SA 4.0. Para ver una copia de esta licencia visite <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



Introducción

Los inmunoensayos de flujo lateral (LFA, por sus siglas en inglés) son técnicas que se utilizan en la detección de una molécula específica, como lo pueden ser antígenos, anticuerpos o biomarcadores, y que se presentan en una muestra biológica. La detección se lleva a cabo mediante una reacción inmunológica, y se han utilizado en el diagnóstico clínico (Mirica et al., 2022).

El primer diseño basado en un inmunoensayo de flujo lateral fue una tira reactiva para detectar glucosa en orina. Este desarrollo se le atribuye a la química Helen Murray Free (1923-2021) y a su marido Alfred Free (Busch-Vishniac et al., 2024). Las primeras pruebas LFA consistían en tiras reactivas de inmersión que se comercializaron en 1956 con el nombre comercial de Clinistix.

A través de los años, las tiras reactivas basadas en principios inmunocromatográficos para la detección se han empleado ampliamente para la detección de gran variedad de analitos. El ejemplo más conocido es la detección de la hormona gonadotropina coriónica humana (hCG) que se realiza con anticuerpos monoclonales o policlonales anti-hCG. La hCG es una hormona que normalmente se produce durante el embarazo, y es posible detectarla a las partir de los 12 a 14 días después de la ovulación, lo cual corresponde a la cuarta semana de embarazo empleando orina como muestra biológica. Esta tira de flujo lateral revolucionó el mercado de las pruebas diagnósticas porque puede realizarse desde la comodidad del hogar con una sensibilidad que entre $\geq 99\%$ y una especificidad de $\geq 99\%$ (Farmalatina, 2025). Las pruebas de flujo lateral se utilizan de manera importante en el diagnóstico clínico, en la industria alimentaria, en la medicina veterinaria, en análisis del medio ambiente, entre otras tantas aplicaciones. Dependiendo de su confianza, se pueden emplear para el monitoreo o detección de enfermedades humanas y de animales, en muestras biológicas complejas como sangre, suero, plasma, orina, heces, muestras de agua, suelos, entre otros.

El tamaño del mercado mundial de inmunoensayos de flujo lateral está segmentado de acuerdo con el producto, aplicación, usuario y geografía (The Insight Partners, 2025). El producto pueden ser tiras reactivas para sangre u orina y abarca aplicaciones en la detección de embarazo, diabetes, COVID, entre otras. En cuanto a los usuarios, estos pueden ser hospitales, individuos o laboratorios. La estimación en el crecimiento del mercado es de 11 mil millones de dólares en 2022 a 12.5 mil millones de dólares en 2030 (The Insight Partners, 2025). Este crecimiento implica que, además de las aplicaciones actuales, el desarrollo para nuevos usos puede encontrar un nicho de mercado.



Principios de los ensayos de flujo lateral

Las tiras de diagnóstico rápido se basan en un inmunoensayo donde el principio es la detección del antígeno utilizando anticuerpos inmovilizados en papel. El diseño de un inmunoensayo de flujo lateral estándar se basa en cuatro componentes principales, los cuales son fabricados de diferentes materiales superpuestos entre sí sobre un cartucho donde cada componente contribuye en el sistema de detección generando el dispositivo o prueba completa (Figura 1). Los componentes son:

- a. Almohadilla de muestra.** En general está compuesta de fibra de vidrio, dado que es un material que no absorbe la muestra y es donde se aplica la muestra de sangre, orina, saliva u otro fluido biológico que contenga el analito. Dependiendo de la muestra biológica puede ser requerido un pretratamiento, por ejemplo, ajuste de pH, eliminación de interferencias separando componentes de la muestra, entre otras.
- b. Almohadilla de conjugado.** El material utilizado es preferentemente de fibra de vidrio y en este se coloca una disolución de conjugado, es decir, un anticuerpo previamente conjugado a oro coloidal. Otras partículas que también se utilizan son: partículas de látex monodispersas, partículas fluorescentes, nanopérlas de celulosa, entre otros. La función de la almohadilla de conjugado es inmovilizar y liberar el anticuerpo conjugado en el momento que entre en contacto con la muestra biológica que es depositada en la almohadilla de muestra para posteriormente ser transportado por capilaridad hacia la membrana de nitrocelulosa, es decir,
- c. Membrana de nitrocelulosa.** Es una membrana porosa e hidrofílica que permite el flujo y transporte de los líquidos de la muestra desde la almohadilla de conjugado hasta las líneas de control y muestra. La línea de muestra está compuesta por anticuerpos policlonales o monoclonales que reconocen al analito y la línea de control se compone por anticuerpos policlonales o monoclonales que reconocen al anticuerpo conjugado. En esta sección se realiza la detección del analito que el usuario reconocerá como positivo (+) asociado a la presencia de precipitado del anticuerpo conjugado en la línea de muestra, o como negativo cuando no se visualice depósito en línea de muestra.
- d. Almohadilla absorbente.** Es una almohadilla de celulosa que se encuentra al final de la tira y sirve para absorber los restos de los líquidos del ensayo, por ejemplo, el exceso de buffer de corrida o de muestra biológica. Ayuda a mantener el flujo de la muestra, así como a evitar el flujo de retorno de la muestra.



Los componentes biológicos del ensayo de flujo lateral son los anticuerpos que en combinación hacen eficiente la detección del analito.

- a. **Línea de prueba.** Contiene un anticuerpo (policlonal o monoclonal) inmovilizado que permite detectar en analito.
- b. **Línea control.** Contiene un anticuerpo inmovilizado que permite detectar el anticuerpo conjugado cuando se libera de la almohadilla del conjugado.
- c. **Anticuerpo conjugado.** Son los anticuerpos que detectan al analito presente en la muestra y son conjugados con alguna molécula detectora como oro coloidal, partículas de látex monodispersas y fluorescente, etc.

El diseño de los inmunoensayos de flujo lateral requiere de la articulación óptima de todos los componentes descritos. Cada uno puede incluir variables de diseño como la concentración, cinéticas de formación de los distintos conjugados y volúmenes de muestra. En los últimos años, el diseño auxiliado por computadora permite explorar el impacto de las distintas variables involucradas. De esta manera se ha propuesto el modelado matemático para dirigir los experimentos y poder minimizar los esfuerzos en los diseños de tiras diagnósticas y poder evaluar las distintas variables involucradas (He et al., 2023).

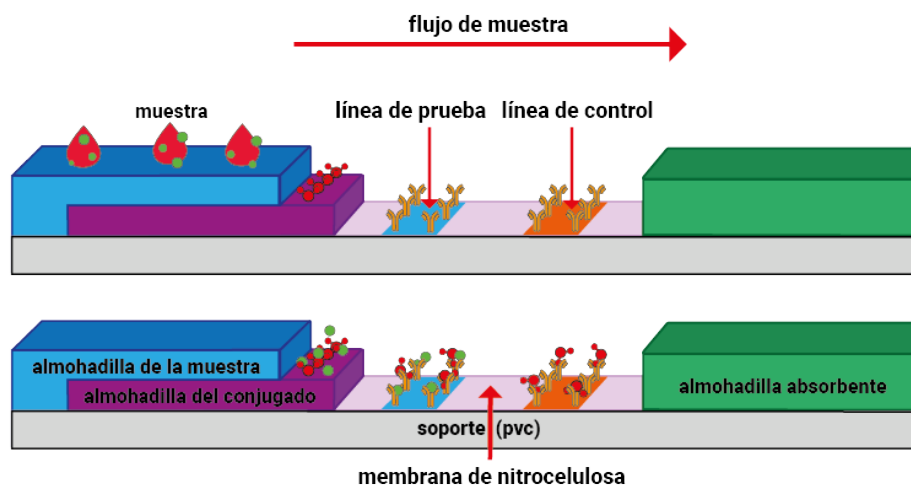


Figura 1. Componentes básicos de un inmunoensayo de flujo lateral
Fuente: propia

El diseño de los inmunoensayos de flujo lateral requiere de la articulación óptima de todos los componentes descritos. Cada uno puede incluir variables de diseño como la concentración, cinéticas de formación de los distintos conjugados y



volúmenes de muestra. En los últimos años, el diseño auxiliado por computadora permite explorar el impacto de las distintas variables involucradas. De esta manera se ha propuesto el modelado matemático para dirigir los experimentos y poder minimizar los esfuerzos en los diseños de tiras diagnósticas y poder evaluar las distintas variables involucradas (He et al., 2023).

Modelado matemático para el diseño óptimo de tiras reactivas

Una tira eficiente debe ser sensible, específica, rápida y económica. Estas características dependen de distintas variables en su diseño, entre las cuales están los materiales que la componen, las cinéticas de formación de complejos (anticuerpo-nanopartículas), las concentraciones del analito y nanopartículas que dan señal positiva. Además de la geometría de las pruebas, como el volumen de la zona de conjugación y las distancias de las líneas de prueba y de control. Desde una perspectiva mecánica del funcionamiento de las pruebas de flujo lateral, se genera una dinámica de fluidos debido a la capilaridad, donde el fluido se desplaza a lo largo de la tira arrastrando analitos y reactivos, por lo que las distintas variables de diseño inciden en la sensibilidad para la detección del analito.

El diseño óptimo de estas tiras de flujo lateral es de carácter iterativo, por lo que una herramienta auxiliar en el diseño es el modelado matemático y computacional con el objetivo de conceptualizar una descripción mecánica de los fenómenos involucrados, como lo son, fenómenos de transferencia de momentum y de masa, los cuales gobiernan el comportamiento de las moléculas, por ende, afecta la efectividad de las tiras reactivas. Entonces, el modelado a partir de estos principios es un marco de desarrollo con el cual se pueden describir parámetros y variables que pueden permitir optimizar el diseño, con las consideraciones adecuadas de las distintas escalas de longitud y tiempo. Existen distintas escalas de longitud, por ejemplo, la parte micro que incluye las partículas hasta la parte macro que corresponde a la tira completa. De la misma manera, la escala de tiempo incluye desde la cinética de la conjugación del anticuerpo hasta el desplazamiento del fluido a lo largo de la tira cuando se realiza el análisis.

Con una aproximación de modelado a escala macro es posible determinar valores de la tasa de flujo, la geometría, la estequiometría y cinética de los reactivos, y concentración de las partículas de señal. Un modelo que considera estas variables puede ser empleado para la optimización de la tira. En una escala macro, el modelo considera un sistema continuo, esto significa que las concentraciones de las partículas involucradas son continuas a lo largo de las dimensiones del sistema. La continuidad del sistema permite involucrar la ley de Fick que permite relacionar el "flux



difusivo” (transporte de materia por difusión) con los gradientes de concentración de los reactivos. De igual manera, el modelado continuo permite la evaluación de números adimensionales como lo son, el número de Reynolds, el número de Péclet y el número de Damköhler (Gasperino et al., 2018).

Tabla 1. Números adimensionales para el diseño de tiras reactivas (Gasperino et al., 2018)

Nombre	Ecuación	Relación de cantidades	Su evaluación en la tira reactiva
Reynolds	$\frac{\rho L v}{\mu}$	$\frac{\text{fuerzas de inercia}}{\text{fuerzas viscosas}}$	Debido a la porosidad y permeabilidad de la membrana de la tira, el fluido de la muestra puede presentar un régimen de flujo caracterizado por el valor en el número de Reynolds.
Péclet	$\frac{L v}{D}$	$\frac{\text{velocidad de advección}}{\text{velocidad de difusión}}$	Este número permite comprender cual es el tiempo característico del flujo de la muestra a través de la membranas y si este se debe a la advección o difusión.
Damköhler	$\frac{L^2 k_{on} C_A}{D}$	$\frac{\text{tasa de reacción}}{\text{tasa de difusión}}$	Debido a que es un sistema reactivo, el gradiente de concentraciones de analito puede ser gobernado por la reacción o por efecto de la difusión.

Fuente: propia

v , velocidad del fluido; L , longitud característica, tamaño de la partícula; D , coeficiente de difusión; k_{on} , parámetro cinético de formación del complejo analito-partícula; C_A , concentración del analito.

Una de las ecuaciones ampliamente aplicada para describir sistemas de transporte de materia con reacción es la denominada ecuación de transporte-reacción. Esta ecuación se basa en un balance de materia escrito en forma de gradientes de la siguiente manera:

$$\varepsilon \frac{\partial C_A}{\partial t} + \nabla \cdot (u_L C_A - D_{eff} \nabla C_A) - r_A = 0 \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde C_A es la concentración de analito; ε , la porosidad del medio; u_L , la velocidad del flujo y D_{eff} , el coeficiente de difusión efectivo en un medio poroso; r_A , la velocidad de reacción de formación de complejos analito-partículas de señal. Este modelo es de carácter fundamental, involucra el transporte de materia por difusión y advección. Esta ecuación puede aplicarse de manera general para cualquier sistema de tira; sin embargo, los parámetros involucrados, como el coeficiente de difusión y la velocidad de reacción, deben ser determinados para cada diseño y objetivo. La reacción se establece como un mecanismo de formación de complejos entre el analito y las partículas de señal de la siguiente manera:



k_{on} y k_{off} son los parámetros cinéticos de formación y disociación de los complejos, respectivamente. Por lo tanto, la velocidad de reacción del sistema se representa como:

$$r = k_{on} C_A C_G - k_{off} C_{AG} \quad \text{Ec. (3)}$$

En cuanto al coeficiente de difusión efectivo, este se puede expresar en términos de la ecuación de Stokes-Einstein para partículas con movimiento Browniano.

$$D_{eff} = \epsilon D = \epsilon \left(\frac{k_B T}{6 \pi \mu R} \right) \quad \text{Ec. (4)}$$

En donde k_B es la constante de Boltzmann; T , temperatura; μ , la viscosidad del fluido y R , el radio hidráulico de la partícula o analito.

En trabajos previos en donde se aborda la variable de la capilaridad en materiales porosos, se ha demostrado que la velocidad del fluido depende de los materiales empleados. Se ha reportado que la velocidad del flujo depende de los factores geométricos. De esta manera la velocidad promedio del flujo se define en función de las propiedades del material de la siguiente manera:

$$u = \frac{c}{L} \quad \text{Ec. (5)}$$

En donde la variable c se define como:

$$c = \frac{\kappa \Delta p}{\mu \epsilon} \quad \text{Ec. (6)}$$

En donde κ es la permeabilidad del medio; Δp , el gradiente de presión debido a la capilaridad. Y c es una constante derivada de la naturaleza del material, por ejemplo, $c \approx 1-10 \text{ mm/s}$ para una membrana de nitrocelulosa, y el valor cambia en función del material.

En la Figura 2 se muestran los efectos de las diferentes variables en la formación de conjugados. En este caso se compara el efecto del volumen en la membrana de nitrocelulosa a diferentes distancias de la línea de prueba. De la Figura 2 se puede ver que un volumen en la membrana de nitrocelulosa (V_p) de 40 mm^3 a una dis-



tancia de la línea de prueba (x_L) de 25 mm puede generar la mejor configuración para obtener el mayor número de complejos ($\bar{C}_{AS}$). La solución de la Ecuación 1 se lleva a cabo programando el método numérico para su solución o con ayuda de software especializado, como lo puede ser COMSOL Multiphysics®. Sin embargo, el mayor reto sigue siendo el obtener los parámetros físicos que determina cada sistema y que solo son posibles de manera experimental.

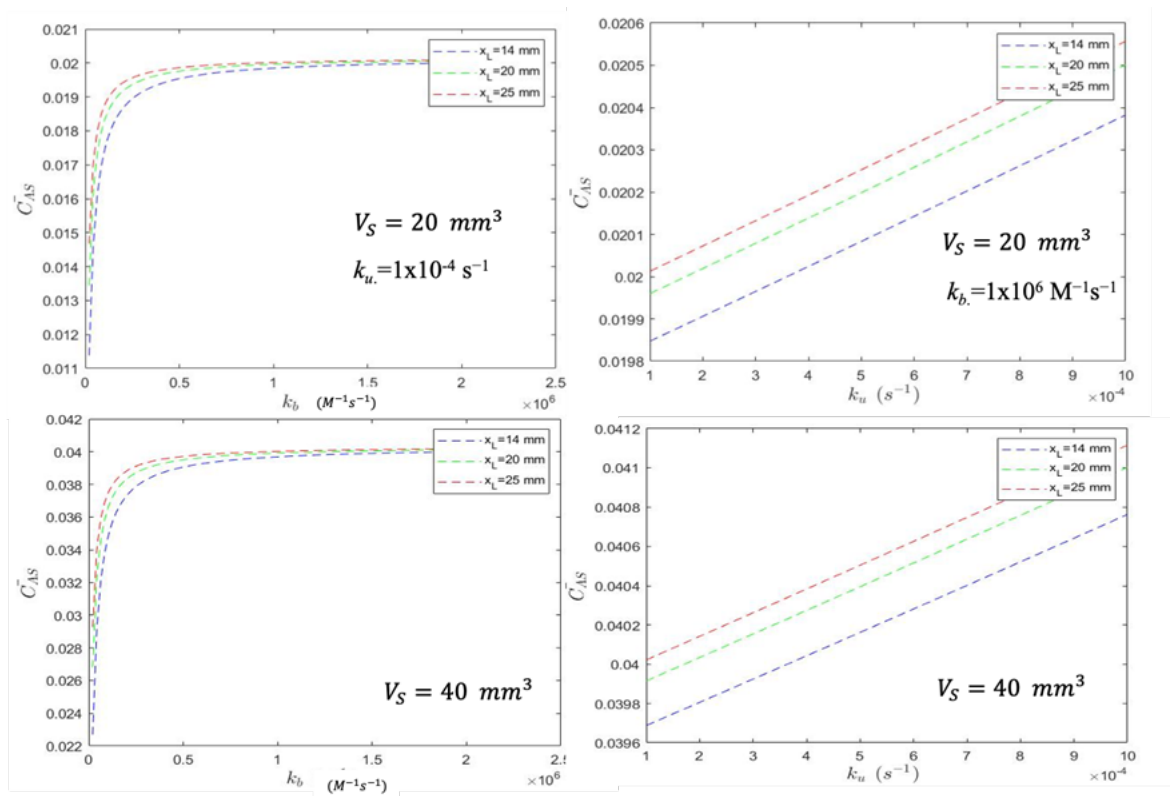


Figura 2. Las simulaciones con los modelos permiten evaluar cambios de concentración de los complejos ($\bar{C}_{AS}$) variando parámetros importantes tales como distancia de la línea de prueba (x_L), parámetros cinéticos (k_b, k_u) y volumen en la membrana de nitrocelulosa (V_S)

Fuente: Toscano Salazar M.A et al., 2020

En general, las estrategias para aplicar modelado matemático en el proceso de desarrollo y optimización de inmunoensayos han demostrado ser una herramienta que facilita la identificación de las interacciones entre los factores del diseño, minimizar el tiempo para encontrar los parámetros de diseño óptimos así con un mínimo número de experimentos. La extensión de estos modelos a otras aplicaciones de los inmunoensayos tiene un gran potencial (Ray et al., 2009). En un esfuerzo por incrementar la sensibilidad para detectar el marcador de la malaria, el plasmodium lactato deshidrogenasa (pLDH) desarrolló un modelo computacional para predecir las concentraciones de los diferentes reactantes. Aunque el estudio no fue exhaus-

tivo, se demostró que, a través de la validación del modelo, la concentración del complejo partícula-antígeno no es la única variable que incide en el aumento de la señal, sino que también existen otros aspectos que pueden influir en la sensibilidad tal como el aumento en la velocidad con la que las partículas se enlazan en la línea de prueba.(Gasperino et al., 2018).

Aplicaciones

El uso más común de las pruebas LFA es el sector salud; sin embargo, existen múltiples aplicaciones en distintos sectores, tales como, la agricultura, el medio ambiente, alimentos y análisis de aguas (Di Nardo et al., 2021). A continuación, se abordan las aplicaciones de los inmunoensayos de flujo lateral en medicina humana y animal.

Diagnóstico de enfermedades y su aplicación clínica en medicina humana

En la Tabla 2 se anexan ejemplos de dispositivos LFA con aplicación clínica. Sin duda alguna, el sector de mayor beneficio es el de salud, dado que para el diagnóstico clínico han tenido gran relevancia. El ejemplo más contundente ha sido la reciente pandemia de COVID-19, durante esta se desarrollaron y comercializaron múltiples pruebas de diagnóstico que compitieron desde el punto de vista económico y de rapidez de resultados contra el método de detección PCR, la cual fue la prueba estándar. Durante los picos de máxima incidencia de contagios, los laboratorios clínicos con recursos de infraestructura y personal capacitado para realizar las PCRs fueron rebasados completamente, por lo que las pruebas de detección POC fueron la elección más adecuada. Sin embargo, el SARS-CoV-2 no es el único virus detectable en POC.

Existen arbovirus de relevancia médica, como el virus Chikungunya (género *Alphavirus* y familia *Togaviridae*) y el virus del Dengue (género *Flavivirus* y familia *Flaviviridae*), que pueden ser detectados mediante pruebas diferenciales. No obstante, la superposición en la presentación clínica y la co-circulación en las mismas regiones geográficas representan una limitación diagnóstica, lo que con frecuencia conduce a confusiones en la identificación etiológica. Por lo que el uso de dispositivos LFA resuelven estas problemáticas.

Existen pruebas de detección de bacterias que han favorecido de manera importante el tratamiento específico, reduciendo los tiempos de diagnóstico debido a que los métodos convencionales incluyen el cultivo de dichos microorganismos que implican días de cultivo. Las tiras LFA se han explorado para otras enfermedades tales como cáncer, que en muchos de los casos el diagnóstico temprano es relevante en la evolución de la enfermedad, así como en la selección de tratamiento.



En este sentido, existen muchos otros tipos de cáncer por explorar, así como dar seguimiento a los tratamientos con marcadores pronósticos.

También existen diagnósticos que permiten dar seguimiento de las condiciones de salud, tales como el monitoreo de hormonas. Adicionalmente, el desarrollo de nuevos POC con aplicación en la medicina preventiva es tendencia de manejo de la salud pública en algunos países. En general, en cuestión de prevención y monitoreo hacen falta más desarrollos que permitan apoyar al personal de salud en la dosificación de fármacos que afectan el desarrollo de la enfermedad o tales como intoxicaciones por venenos, fármacos o drogas de abuso.

Tabla 2. Sistemas de diagnóstico para la aplicación clínica

Tipo de enfermedad	Blanco	Matriz de diagnóstico	Blanco de detección
Enfermedades virales e infecciones relacionadas	Virus de Ébola	Sangre total, plasma	-Glicoproteína de EBOV. -Glicoproteína de EBOV y proteína viral de la matriz (Couturier et al., 2020; DeMers et al., 2020; Wonderly et al., 2019)
	Norovirus	Heces	Dominio S de la proteína mayoritaria de cápside de VP1 (M. Xu et al., 2021).
	HIV-1 y -2	Sangre, suero	-Antígenos-HIV gp36, gp41. -rGlicoproteína de envoltura HIV-1y -2 (Martiskainen et al., 2021).
	Influenza A/B	Nasofaríngeo (nasal)	-Nucleoproteínas virales de influenza A y B (Yoo et al., 2020).
	Virus Chikungunya	Suero	-Proteína rCHIKV E1 (Suzuki et al., 2020).
	Virus Dengue	Sangre	-3' UTR del genoma del virus del Dengue (Xiong et al., 2020).
	Virus Herpes simple tipo 2	Plasma, suero	-Antígeno rHSV de gG2 (Goux et al., 2019).
	SARS-CoV-2	Suero, sangre, saliva, plasma	-proteína recombinante nucleocápside SARS-CoV-2. -fosfoproteína recombinante nucleocápside SARS-CoV-2. -cDNA o de genes RdRp, ORF3a. -anticuerpos anti-N y anti-S-RBD IgG/IgM. -proteína recombinante de la nucleocápside SARS-CoV-2. -anticuerpos IgA contra SARS-CoV-2. -inmunoglobulinas totales contra proteína N de la nucleocápside del coronavirus 2 (SARS CoV-2) (Cavalera et al., 2021; Chen et al., 2020; Kim et al., 2021; Peng et al., 2021; Roda et al., 2021; Wen et al., 2020; Yu et al., 2020).



Enfermedades bacterianas e infecciones relacionadas	<i>Brucellosis</i>	Suero, plasma, sangre total	- Brucella LPS (Zhu et al., 2019).
	<i>Helicobacter pylori</i>	Heces	-antígeno HpSA (Han et al., 2020).
	<i>Pneumococcal pneumonia</i>	Fluido pleural	-Antígeno de basado en <i>Streptococcus pneumoniae</i> (Romero Herrero et al., 2020).
	Infección por <i>Plasmodium falciparum</i>	Sangre total	-Antígeno <i>Plasmodium falciparum</i> HRP2 (Salminen et al., 2020).
	El tifus de las malezas	Suero	-Anticuerpo IgG anti <i>Orientia tsutsugamushi</i> (Lee et al., 2019).
	Infección por <i>Burkholderia pseudomallei</i>	Sangre, orina, otros fluidos corporales	-Polisacárido capsular (CPS) (J. Y. Choi et al., 2020).
	<i>Pneumocystis pneumonia</i>	Suero	-Anticuerpos IgG e IgM anti- <i>Pneumocystis jirovecii</i> (Tomás et al., 2019).
	<i>Strongyloidiasis</i>	Suero	-Anticuerpos anti-antígeno recombinante de <i>Strongyloides stercoralis</i> . -Anticuerpos anti <i>Strongyloides stercoralis</i> (Boonroumkaew et al., 2020; Sadaow, Sanpool, et al., 2020).
Otras enfermedades infecciosas	Candidiasis	Hisopo faríngeo	-Antígeno manano de Candida (Matsui et al., 2020).
	Histoplasmosis progresiva diseminada	Suero	-Antígeno galactomannan de <i>Histoplasma capsulatum</i> (Cáceres et al., 2020).
	Toxoplasmosis	Suero	-Anticuerpos anti TgGRA7, antígeno de <i>Toxoplasma gondii</i> (Ybañez & Nishikawa, 2020).
	Aspergilosis broncopulmonar alérgica	Suero	-Antígeno específico <i>Aspergillus</i> . Antígeno galactomannan de <i>Aspergillus</i> . -Anticuerpos IgG e IgM anti- <i>Aspergillus</i> (Hunter et al., 2020; Mercier et al., 2020).
	Fascioliasis	Suero	-Antígeno vía excretoria-secretoria de <i>Fasciola gigantica</i> . -Antígeno cathepsin L1 (rFgCL) de <i>Fasciola gigantica</i> (Sadaow, Yamasaki, et al., 2020).
	Enfermedad de chagas	Suero	-Proteínas quiméricas IBMP-8.1 y IBMP-8.4 (Silva et al., 2020).
	Angiostrongiliasis cerebral	Suero	-Antígeno recombinante galectin-2 (rAc-Gal2) de larvas de <i>Angiostrongylus cantonensis</i> (Somboonpatarakun et al., 2020).
	Lupus eritematoso sistémico	Suero	-Anticuerpos anti-núcleo-detección del centro de L-fucosa en IgG (Sun et al., 2020).
	Sepsis	Suero	-Interleucina 6 (IL-6) (Huang et al., 2020).



Otras enfermedades	Hiperglicemia aguda y diabetes mellitus	Suero	-Glucosa, seroalbúmina total y albúmina glicosilada. -Seroalbúmina total y albúmina glicosilada (Ki, Jang, et al., 2020; Ki, Oh, et al., 2020).
	Retinopatía diabética	Orina	-8-hydroxy-2'-deoxyguanosina (8-OHdG) (Hainsworth et al., 2020)
	Alfa talasemia	Sangre total	-Hemoglobina H (Nelson et al., 2019).
	Daño renal	Orina	-Kim-1 humana (E. Choi et al., 2020).
Cáncer	Gástrico	Plasma	-Pepsinógeno I (PG I) y pepsinógeno II (PG II) (K. Li et al., 2019).
	Cuello	Orina	-Onco-proteína E6 del papilomavirus humano (Oliveira et al., 2020).
	Ovario	Suero	-Aberrante glicosilado, antígeno de cáncer 125 (CA125) (Bayoumy et al., 2020).
	Vejiga	Orina	-Fragmentos de citoqueratina 19 (Cyfra21-1) (Lei et al., 2019).
	Próstata	Orina	-Antígeno específico de próstata en orina (uPSA) (Di Nardo et al., 2020).
Estado de salud	Concentraciones de folato	Suero	-Ácido fólico (la versión sintética de la vitamina) (Rey et al., 2019).
	Hormonas	Saliva, orina, suero, sangre	-Cortisona. -Hormona luteinizante (LH) y Estrona-3-alfa glucorónido. -Cortisona. -Dehidroepiandrosterona (DHEA). -Dehidroepiandrosterona (DHEA). -Hormona estimulante de la tiroides (TSH) (Di Nardo et al., 2019; Thakur et al., 2020; Zangheri et al., 2019).
	Ferritina, Mioglobina	Suero	-dímero de Mioglobina D y proteína C-reactiva. -Péptido N-terminal pro-B-tipo natriurético (NT-proBNP). -Troponina I cardiaca humana (cTnI). -Ferritina (Byzova et al., 2019; Navarro et al., 2020).
Monitoreo terapéutico de fármacos	Tenofovir	Orina	- Tenofovir. -Tenofovir monohidrato (Cavalera et al., 2020; Gandhi et al., 2020).

Fuente: (Di Nardo et al., 2021)

Aplicación en medicina veterinaria

El enfoque antropocéntrico de la investigación ha permitido que la salud humana sea la más estudiada; sin embargo, muchos de ellos pueden ser utilizados en la salud animal. En el caso de las tiras reactivas tipo POC, se han adaptado poco a



la salud animal; sin embargo, estos desarrollos se pueden trasladar rápidamente a enfermedades infecciosas bacterianas, virales, hormonas, para ser monitoreadas en animales de consumo humano o en animales de compañía. Algunos ejemplos de estos diagnósticos se enlistan en la Tabla 3. El monitoreo de los alimentos para animales de granja/rancho puede ser también preponderante, para mejorar la calidad de alimentos contaminados con hormonas, antibióticos, toxinas, bacterias, etc.

Existe un nicho de oportunidad en este sentido y dado que la crianza de animales de consumo se realiza en grandes poblaciones, es posible hacer análisis diagnóstico de igual manera en poblaciones o en muestras al azar. Poco trabajo se ha realizado en el desarrollo de sistemas de diagnóstico para animales en confinamiento tales como zoológicos y animales de compañía, cuyo valor se ha incrementado sobre todo en la cultura occidental y representa un nicho de mercado relevante.

Tabla 3. Sistemas de tiras reactivas para la aplicación en la industria veterinaria

Tipo de enfermedad	Blanco	Matrix de diagnóstico	Blanco de detección
Enfermedades virales e infecciones relacionadas	Peste porcina africana	Sangre, bazo, tejido	-gen p72 del virus de la peste porcina africana. -gen B646L del virus de la peste porcina africana (Miao et al., 2019; X. Wang et al., 2020).
	Rabia	Tejido cerebral	-Nucleoproteína del virus de la rabia. -RT-PCR (Kimitsuki et al., 2020; Tenzin et al., 2020).
	Diarrea epidémica porcina	Calostro, heces	-Anticuerpos específicos para la inmunoglobulina A secretoria (SIgA) anti virus de la diarrea epidémica porcina. -Virus de la diarrea epidémica porcina (J. Liu et al., 2020; F. Xu et al., 2020).
	Rotavirus bovino	Heces	-Rotavirus bovino (Z. Li et al., 2019).
	Virus de la leucosis sarcoma aviar	Meconium	-proteína de la cápside p27 del virus de la leucosis sarcoma aviar (H. Wang et al., 2019).
	Virus de la bronquitis aviar	Garganta, cloaca de pollo	-RT-PCR del virus de la bronquitis aviar (I.-L. Liu et al., 2019).
	Enfermedad de Newcastle	Suero de pollo	- Anticuerpos anti-virus de la enfermedad de Newcastle (F. Yang et al., 2020).
	Virus de patas y boca	Suero, diversos tejidos	-Anticuerpo del serotipo O del virus de las patas y boca. -virus del serotipo O del virus de las patas y boca (Hou et al., 2020; M. Yang et al., 2019).
	Adenovirus canino	Suero, muestra rectal	-Adenovirus canino 2 (CAV-2) (S. Wang et al., 2019).



Enfermedades bacterianas e infecciones relacionadas	<i>Brucellosis</i>	Suero	-Proteína G (Manasa et al., 2019).
	Enfermedad de gumboro	Aves de corral	-IgY anti virus contagioso de la bursa (Syahrani et al., 2021).
	Mastitis bovina	Leche	-Proteína L7/L12 anti-ribosomal de <i>Staphylococcus aureus</i> . -Enzima mieloperoxidasa (MPO) en neutrófilos de leche. -Amplificación de genes de <i>E. coli</i> : PhoA, <i>K. pneumoniae</i> : UreD, <i>Staph. aureus</i> : nuc y <i>Streptococcus spp.</i> : 16S rRNA (Alhussien & Dang, 2020; Griffioen et al., 2020; Nagasawa et al., 2020).
	Infección por <i>Mycobacterium bovis</i>	Suero, Sangre total, suero de jabalí	-Anticuerpos contra <i>M. bovis</i> . -Anticuerpos específicos vs <i>M. bovis</i> , antígeno MPB83 (Ashford et al., 2020; Fresco-Taboada et al., 2019).
Otras enfermedades infecciosas	<i>Brucellosis</i>	Suero de dromedario	- <i>Brucella melitensis abortus</i> (Serhan et al., 2019).
	Babesiosis bovina	Sangre	-C-terminal de proteína asociada a roprina de <i>B. bigemina</i> (RAP-1/CT17) y cuerpo esférico de la proteína 4 de <i>B. bovis</i> (SPB-4). -PCR de la región especie específica del gen apocitochromo b de <i>B. bovis</i> y <i>B. bigemina</i> (Ganzinelli et al., 2020; Stuart Tayebwa et al., 2020).
	Tripanosomosis	Suero equino	-Anticuerpos anti- <i>Trypanosoma</i> (Kumar et al., 2020).
	Fascioliasis	Suero de borrego	-Proteína rCatL1D (Xifeng et al., 2020).
	Leishmaniasis visceral canina	Suero	-Proteína de fusión rK26/rK39. -Proteína r21-kDa de <i>L. infantum</i> (Garcia et al., 2020; Karimi Kakh et al., 2020).
Estado de salud	Toxoplasmosis	Suero de gato	-Antígeno GRA7 de <i>T. gondii</i> (TgGRA7) (YBAÑEZ et al., 2020).
	Amiloide A	Suero de caballo	- Amiloide A (Oertly et al., 2021).
	Progesterona	Suero de ganado	-Progesterona (Masello et al., 2020).
	Chlorpheniramina	Tés de hierbas	- Chlorpheniramina (Lan et al., 2020).

Fuente: (Di Nardo et al., 2021)

Conclusiones

El uso de inmunoensayos de flujo lateral tiene un gran potencial para el diagnóstico y detección de biomarcadores con un impacto en la salud humana. Su desarrollo experimental involucra un gran número de variables, que incluyen desde los materiales seleccionados para su fabricación, la muestra biológica a analizar, el tipo de usuario y la aplicación final, así como los reactivos.

El desarrollo experimental se basa en un procedimiento de prueba y error, por lo que el diseño dirigido por herramientas de modelado matemático puede optimizar y reducir el número de experimentos para un diseño óptimo.



El Instituto de Biotecnología-UNAM, en colaboración con el CIATEJ-Guadalajara, está desarrollando inmunoensayos con alcances en la salud humana.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que la investigación se realizó en ausencia de cualquier relación comercial o financiera que pudiera interpretarse como un potencial conflicto de interés.

Financiamiento

Parcialmente financiado por CONAHCyT 303045.

Referencias

- Alhussien, M. N. & Dang, A. K. (2020). Sensitive and rapid lateral-flow assay for early detection of subclinical mammary infection in dairy cows. *Scientific Reports*, 10(1), 11161. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68174-0>
- Ashford, R. T., Anderson, P., Waring, L., Davé, D., Smith, F., Delahay, R. J., Gormley, E., Chambers, M. A., Sawyer, J. & Lesellier, S. (2020). Evaluation of the Dual Path Platform (DPP) VetTB assay for the detection of Mycobacterium bovis infection in badgers. *Preventive Veterinary Medicine*, 180, 105005. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2020.105005>
- Bayoumy, S., Hyytiä, H., Leivo, J., Talha, S. M., Huhtinen, K., Poutanen, M., Hyninen, J., Perheentupa, A., Lamminmäki, U., Gidwani, K. & Pettersson, K. (2020). Glycovariant-based lateral flow immunoassay to detect ovarian cancer-associated serum CA125. *Communications Biology*, 3(1), 460. <https://doi.org/10.1038/s42003-020-01191-x>
- Boonroumkaew, P., Sadaow, L., Sanpool, O., Rodpai, R., Thanchomnang, T., Phupiewkham, W., Intapan, P. M. & Maleewong, W. (2020). Effectiveness of Strongyloides Recombinant IgG Immunoreactive Antigen in Detecting IgG and IgG4 Subclass Antibodies for Diagnosis of Human Strongyloidiasis Using Rapid Immunochromatographic Tests. *Diagnostics*, 10(9), 615. <https://doi.org/10.3390/diagnostics10090615>
- Busch-Vishniac, I., Busch, L. & Tietjen, J. S. (2024). Helen Murray Free. En I. Busch-Vishniac, L. Busch & J. S. Tietjen, *Women in the National Inventors Hall of Fame. The First 50 Years* (pp. 167–174). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-75526-2_19
- Byzova, N. A., Vengerov, Y. Yu., Voloshchuk, S. G., Zherdev, A. V. & Dzantiev, B. B. (2019). Development of a Lateral Flow Highway: Ultra-Rapid Multitracking Immunosensor for Cardiac Markers. *Sensors*, 19(24), 5494. <https://doi.org/10.3390/s19245494>



- Cáceres, D. H., Gómez, B. L., Tobón, A. M., Chiller, T. M. & Lindsley, M. D. (2020). Evaluation of a *Histoplasma* antigen lateral flow assay for the rapid diagnosis of progressive disseminated histoplasmosis in Colombian patients with AIDS. *Mycoses*, 63(2), 139–144. <https://doi.org/10.1111/myc.13023>
- Cavalera, S., Agulló, C., Mercader, J. V., Di Nardo, F., Chiarello, M., Anfossi, L., Baggiani, C., D'Avolio, A., Abad-Somovilla, A. & Abad-Fuentes, A. (2020). Monoclonal antibodies with subnanomolar affinity to tenofovir for monitoring adherence to antiretroviral therapies: from hapten synthesis to prototype development. *Journal of Materials Chemistry B*, 8(45), 10439–10449. <https://doi.org/10.1039/D0TB01791D>
- Cavalera, S., Colitti, B., Rosati, S., Ferrara, G., Bertolotti, L., Nogarol, C., Guiotto, C., Cagnazzo, C., Denina, M., Fagioli, F., Di Nardo, F., Chiarello, M., Baggiani, C. & Anfossi, L. (2021). A multi-target lateral flow immunoassay enabling the specific and sensitive detection of total antibodies to SARS COV-2. *Talanta*, 223, 121737. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2020.121737>
- Chen, Z., Zhang, Z., Zhai, X., Li, Y., Lin, L., Zhao, H., Bian, L., Li, P., Yu, L., Wu, Y. & Lin, G. (2020). Rapid and Sensitive Detection of anti-SARS-CoV-2 IgG, Using Lanthanide-Doped Nanoparticles-Based Lateral Flow Immunoassay. *Analytical Chemistry*, 92(10), 7226–7231. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.0c00784>
- Choi, E., Al Faruque, H., Kim, J., Cho, J., Park, K. M. & Kim, E. (2020). Immunochromatographic assay to detect α -tubulin in urine for the diagnosis of kidney injury. *Journal of Clinical Laboratory Analysis*, 34(1). <https://doi.org/10.1002/jcla.23015>
- Choi, J. Y., Hii, K. C., Bailey, E. S., Chuang, J. Y., Tang, W. Y., Yuen Wong, E. K., Ti, T., Pau, K. S., Berita, A., Saihidi, I., Ting, J., Chua, T.-T., Toh, T.-H., AuCoin, D. P., DeShazer, D. & Gray, G. C. (2020). Burkholderia pseudomallei Detection among Hospitalized Patients, Sarawak. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 102(2), 388–391. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.19-0625>
- Couturier, C., Wada, A., Louis, K., Mistretta, M., Beitz, B., Povogui, M., Ripaux, M., Mignon, C., Werle, B., Lugari, A., Pannetier, D., Godard, S., Bocquin, A., Mely, S., Béavogui, I., Hébélamou, J., Leuenberger, D., Leissner, P., Yamamoto, T., ... Chaix, J. (2020). Characterization and analytical validation of a new antigenic rapid diagnostic test for Ebola virus disease detection. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 14(1), e0007965. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0007965>



- DeMers, H. L., He, S., Pandit, S. G., Hannah, E. E., Zhang, Z., Yan, F., Green, H. R., Reyes, D. F., Hau, D., McLarty, M. E., Altamura, L., Taylor-Howell, C., Gates-Hollingsworth, M. A., Qiu, X. & AuCoin, D. P. (2020). Development of an antigen detection assay for early point-of-care diagnosis of Zaire ebolavirus. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 14(11), e0008817. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0008817>
- Di Nardo, F., Cavallera, S., Baggiani, C., Giovannoli, C. & Anfossi, L. (2019). Direct vs Mediated Coupling of Antibodies to Gold Nanoparticles: The Case of Salivary Cortisol Detection by Lateral Flow Immunoassay. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 11(36), 32758–32768. <https://doi.org/10.1021/acsami.9b11559>
- Di Nardo, F., Chiarello, M., Cavallera, S., Baggiani, C. & Anfossi, L. (2021). Ten Years of Lateral Flow Immunoassay Technique Applications: Trends, Challenges and Future Perspectives. *Sensors*, 21(15), 5185. <https://doi.org/10.3390/s21155185>
- Di Nardo, F., Occhipinti, S., Gontero, P., Cavallera, S., Chiarello, M., Baggiani, C. & Anfossi, L. (2020). Detection of urinary prostate specific antigen by a lateral flow biosensor predicting repeat prostate biopsy outcome. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 325, 128812. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2020.128812>
- Farmalatina. (s.f.). *Test Rápido OnSite hCG Combo CE*. Consultado el 2 de marzo de 2025. <https://www.farmalatina.cl/producto/test-rapido-onsite-hcg-combo-ce/>
- Fresco-Taboada, A., Rialde, M. A., Gortázar, C., Tapia, I., González, I., Venteo, Á., Sanz, A. & Rueda, P. (2019). A lateral flow assay for the rapid diagnosis of Mycobacterium bovis infection in wild boar. *Transboundary and Emerging Diseases*, 66(5), 2175–2179. <https://doi.org/10.1111/tbed.13260>
- Gandhi, M., Wang, G., King, R., Rodrigues, W. C., Vincent, M., Glidden, D. V., Cressey, T. R., Bacchetti, P., Spinelli, M. A., Okochi, H., Siriprakaisil, O., Klinbua-yaem, V., Mugo, N. R., Ngure, K., Drain, P. K. & Baeten, J. M. (2020). Development and validation of the first point-of-care assay to objectively monitor adherence to HIV treatment and prevention in real-time in routine settings. *AIDS*, 34(2), 255–260. <https://doi.org/10.1097/QAD.0000000000002395>
- Ganzinelli, S., Benitez, D., Gantuya, S., Guswanto, A., Florin-Christensen, M., Schnittger, L. & Igarashi, I. (2020). Highly sensitive nested PCR and rapid immunochromatographic detection of Babesia bovis and Babesia bigemina infection in a cattle herd with acute clinical and fatal cases in Argentina. *Transboundary and Emerging Diseases*, 67(S2), 159–164. <https://doi.org/10.1111/tbed.13435>
- García, V. S., Guerrero, S. A., Gugliotta, L. M. & Gonzalez, V. D. G. (2020). A lateral flow immunoassay based on colored latex particles for detection of canine visceral leishmaniasis. *Acta Tropica*, 212, 105643. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2020.105643>



- Gasperino, D., Baughman, T., Hsieh, H. V., Bell, D. & Weigl, B. H. (2018). Improving Lateral Flow Assay Performance Using Computational Modeling. *Annual Review of Analytical Chemistry*, 11(1), 219–244. <https://doi.org/10.1146/annurev-anchem-061417-125737>
- Goux, H. J., Raja, B., Kourentzi, K., Trabuco, J. R. C., Vu, B. V., Paterson, A. S., Kirkpatrick, A., Townsend, B., Lee, M., Truong, V. T. T., Pedroza, C. & Willson, R. C. (2019). Evaluation of a nanophosphor lateral-flow assay for self-testing for herpes simplex virus type 2 seropositivity. *PLOS ONE*, 14(12), e0225365. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225365>
- Griffioen, K., Cornelissen, J., Heuvelink, A., Adusei, D., Mevius, D. & van der Wal, F. J. (2020). Development and evaluation of 4 loop-mediated isothermal amplification assays to detect mastitis-causing bacteria in bovine milk samples. *Journal of Dairy Science*, 103(9), 8407–8420. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-18035>
- Hainsworth, D. P., Gangula, A., Ghoshdastidar, S., Kannan, R. & Upendran, A. (2020). Diabetic Retinopathy Screening Using a Gold Nanoparticle–Based Paper Strip Assay for the At-Home Detection of the Urinary Biomarker 8-Hydroxy-2'-Deoxyguanosine. *American Journal of Ophthalmology*, 213, 306–319. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2020.01.032>
- Han, Y., Dai, W., Meng, F., Gan, X., Liu, M., Deng, X., Li, Y. & Wang, G. (2020). Diagnosis of Helicobacter pylori infection in the elderly using an immunochromatographic assay-based stool antigen test. *MicrobiologyOpen*, 9(9), e1102. <https://doi.org/10.1002/mbo3.1102>
- He, X., Liu, Z., Yang, Y., Li, L., Feng, S., Qu, Z. & Xu, F. (2023). Mathematic Models of Lateral Flow Assays. En U. Demirci, F. Inci, & S. Wang (eds.), *Emerging Technologies in Biophysical Sciences: A World Scientific Reference. Volume 3: Emerging Technologies for Diagnostics* (pp. 175–198). World Scientific. https://doi.org/10.1142/9789811226113_0007
- Hou, F., Bai, M., Zhang, Y., Liu, H., Sun, S. & Guo, H. (2020). Fluorescent immunochromatographic assay for quantitative detection of the foot-and-mouth disease virus serotype O antibody. *Microchemical Journal*, 155, 104690. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.104690>
- Huang, D., Ying, H., Jiang, D., Liu, F., Tian, Y., Du, C., Zhang, L. & Pu, X. (2020). Rapid and sensitive detection of interleukin-6 in serum via time-resolved lateral flow immunoassay. *Analytical Biochemistry*, 588, 113468. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2019.113468>



- Hunter, E. S., Page, I. D., Richardson, M. D. & Denning, D. W. (2020). Evaluation of the LDBio Aspergillus ICT lateral flow assay for serodiagnosis of allergic bronchopulmonary aspergillosis. *PLOS ONE*, 15(9), e0238855. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238855>
- Karimi Kakh, M., Golchin, M., Kazemi Arababadi, M. & Daneshvar, H. (2020). Application of the Leishmania infantum 21-kDa recombinant protein for the development of an immunochromatographic test. *Parasite Immunology*, 42(10). <https://doi.org/10.1111/pim.12770>
- Ki, H., Jang, H., Oh, J., Han, G.-R., Lee, H., Kim, S. & Kim, M.-G. (2020). Simultaneous Detection of Serum Glucose and Glycated Albumin on a Paper-Based Sensor for Acute Hyperglycemia and Diabetes Mellitus. *Analytical Chemistry*, 92(17), 11530–11534. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.0c02940>
- Ki, H., Oh, J., Han, G.-R. & Kim, M.-G. (2020). Glycation ratio determination through simultaneous detection of human serum albumin and glycated albumin on an advanced lateral flow immunoassay sensor. *Lab on a Chip*, 20(4), 844–851. <https://doi.org/10.1039/C9LC00967A>
- Kim, H.-Y., Lee, J.-H., Kim, M. J., Park, S. C., Choi, M., Lee, W., Ku, K. B., Kim, B. T., Changkyun Park, E., Kim, H. G. & Kim, S. Il. (2021). Development of a SARS-CoV-2-specific biosensor for antigen detection using scFv-Fc fusion proteins. *Biosensors and Bioelectronics*, 175, 112868. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2020.112868>
- Kimitsuki, K., Saito, N., Yamada, K., Park, C.-H., Inoue, S., Suzuki, M., Saito-Obata, M., Kamiya, Y., Manalo, D. L., Demetria, C. S., Mananggit, M. R., Quiambao, B. P. & Nishizono, A. (2020). Evaluation of the diagnostic accuracy of lateral flow devices as a tool to diagnose rabies in post-mortem animals. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 14(11), e0008844. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0008844>
- Kumar, R., Yadav, S. C., Kumar, S. & Dilbaghi, N. (2020). Development of membrane-based flow-through assay for detection of trypanosomosis in equines. *Journal of Parasitic Diseases*, 44(1), 99–104. <https://doi.org/10.1007/s12639-019-01166-8>
- Lan, J., Sun, W., Chen, L., Zhou, H., Fan, Y., Diao, X., Wang, B. & Zhao, H. (2020). Simultaneous and rapid detection of carbofuran and 3-hydroxy-carbofuran in water samples and pesticide preparations using lateral-flow immunochromatographic assay. *Food and Agricultural Immunology*, 31(1), 165–175. <https://doi.org/10.1080/09540105.2019.1708272>



- Lee, S. H., Hwang, J., Kim, K., Jeon, J., Lee, S., Ko, J., Lee, J., Kang, M., Chung, D. R. & Choo, J. (2019). Quantitative Serodiagnosis of Scrub Typhus Using Surface-Enhanced Raman Scattering-Based Lateral Flow Assay Platforms. *Analytical Chemistry*, 91(19), 12275–12282. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.9b02363>
- Lei, Q., Zhao, L., Ye, S., Sun, Y., Xie, F., Zhang, H., Zhou, F. & Wu, S. (2019). Rapid and quantitative detection of urinary Cyfra21-1 using fluorescent nanosphere-based immunochromatographic test strip for diagnosis and prognostic monitoring of bladder cancer. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*, 47(1), 4266–4272. <https://doi.org/10.1080/21691401.2019.1687491>
- Li, K., Li, X., Fan, Y., Yang, C. & Lv, X. (2019). Simultaneous detection of gastric cancer screening biomarkers plasma pepsinogen I/II using fluorescent immunochromatographic strip coupled with a miniature analytical device. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 286, 272–281. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2019.01.149>
- Li, Z., Zhao, F., Tang, T., Wang, M., Yu, X., Wang, R., Li, Y., Xu, Y., Tang, L., Wang, L., Zhou, H., Jiang, Y., Cui, W. & Qiao, X. (2019). Development of a Colloidal Gold Immunochromatographic Strip Assay for Rapid Detection of Bovine Rotavirus. *Viral Immunology*, 32(9), 393–401. <https://doi.org/10.1089/vim.2019.0071>
- Liu, I.-L., Lin, Y.-C., Lin, Y.-C., Jian, C.-Z., Cheng, I.-C. & Chen, H.-W. (2019). A Novel Immunochromatographic Strip for Antigen Detection of Avian Infectious Bronchitis Virus. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(9), 2216. <https://doi.org/10.3390/ijms20092216>
- Liu, J., Gao, R., Shi, H., Cong, G., Chen, J., Zhang, X., Shi, D., Cao, L., Wang, X., Zhang, J., Ji, Z., Jing, Z. & Feng, L. (2020). Development of a rapid immunochromatographic strip test for the detection of porcine epidemic diarrhea virus specific SIgA in colostrum. *Journal of Virological Methods*, 279, 113855. <https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2020.113855>
- Manasa, M., Revathi, P., Chand, M. P., Maroudam, V., Navaneetha, P., Raj, G. D., Kishor, P. B. K., De, B. & Rathnagiri, P. (2019). Protein-G-based lateral flow assay for rapid serodiagnosis of brucellosis in domesticated animals. *Journal of Immunoassay and Immunochemistry*, 40(2), 149–158. <https://doi.org/10.1080/15321819.2018.1541803>
- Martiskainen, I., Juntunen, E., Salminen, T., Vuorenää, K., Bayoumy, S., Vuorinen, T., Khanna, N., Pettersson, K., Batra, G. & Talha, S. M. (2021). Double-Antigen Lateral Flow Immunoassay for the Detection of Anti-HIV-1 and -2 Antibodies Using Upconverting Nanoparticle Reporters. *Sensors*, 21(2), 330. <https://doi.org/10.3390/s21020330>



- Masello, M., Lu, Z., Erickson, D., Gavalchin, J. & Giordano, J. O. (2020). A lateral flow-based portable platform for determination of reproductive status of cattle. *Journal of Dairy Science*, 103(5), 4743–4753. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17517>
- Matsui, H., Higashide, M. & Hanaki, H. (2020). Evaluation of a rapid immunochromatographic test for the detection of *Candida* species from oropharyngeal samples. *Journal of Microbiological Methods*, 179, 106090. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2020.106090>
- Mercier, T., Dunbar, A., de Kort, E., Schauwvlieghe, A., Reynders, M., Guldentops, E., Blijlevens, N. M. A., Vonk, A. G., Rijnders, B., Verweij, P. E., Lagrou, K. & Maertens, J. (2020). Lateral flow assays for diagnosing invasive pulmonary aspergillosis in adult hematology patients: A comparative multicenter study. *Medical Mycology*, 58(4), 444–452. <https://doi.org/10.1093/mmy/myz079>
- Miao, F., Zhang, J., Li, N., Chen, T., Wang, L., Zhang, F., Mi, L., Zhang, J., Wang, S., Wang, Y., Zhou, X., Zhang, Y., Li, M., Zhang, S. & Hu, R. (2019). Rapid and Sensitive Recombinase Polymerase Amplification Combined With Lateral Flow Strip for Detecting African Swine Fever Virus. *Frontiers in Microbiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01004>
- Mirica, A.-C., Stan, D., Chelcea, I.-C., Mihailescu, C. M., Ofiteru, A. & Bocancia-Mateescu, L.-A. (2022). Latest Trends in Lateral Flow Immunoassay (LFIA) Detection Labels and Conjugation Process. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.922772>
- Nagasawa, Y., Kiku, Y., Sugawara, K., Yabusaki, N., Oono, K., Fujii, K., Suzuki, T., Maehana, K. & Hayashi, T. (2020). Rapid *Staphylococcus aureus* Detection From Clinical Mastitis Milk by Colloidal Gold Nanoparticle-Based Immunochromatographic Strips. *Frontiers in Veterinary Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00504>
- Navarro, C., Fishlock, S. J., Steele, D. N., Puttaswamy, S. V., Lubarsky, G., Raj, S. & McLaughlin, J. (2020). A Point-of-Care Measurement of NT-proBNP for Heart Failure Patients. *IEEE Access*, 8, 138973–138983. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3007988>
- Nelson, A. C., Motum, P. I. & Emeto, T. I. (2019). Evaluation of an immunochromatographic test for alpha thalassaemia screening in a multi-ethnic population. *International Journal of Laboratory Hematology*, 41(3), 397–403. <https://doi.org/10.1111/ijlh.12994>
- Oertly, M., Gerber, V., Anhold, H., Chan, D.-S. & Pusterla, N. (2021). The Accuracy of Serum Amyloid A in Determining Early Inflammation in Horses After



- Long-Distance Transportation by Air. *Journal of Equine Veterinary Science*, 97, 103337. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2020.103337>
- Oliveira, C. M. de, Musselwhite, L. W., de Paula Pantano, N., Vazquez, F. L., Smith, J. S., Schweizer, J., Belmares, M., Possati-Resende, J. C., Vieira, M. de A., Longatto-Filho, A. & Fregnani, J. H. T. G. (2020). Detection of HPV E6 oncoprotein from urine via a novel immunochromatographic assay. *PLOS ONE*, 15(4), e0232105. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232105>
- Peng, T., Sui, Z., Huang, Z., Xie, J., Wen, K., Zhang, Y., Huang, W., Mi, W., Peng, K., Dai, X. & Fang, X. (2021). Point-of-care test system for detection of immunoglobulin-G and -M against nucleocapsid protein and spike glycoprotein of SARS-CoV-2. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 331, 129415. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2020.129415>
- Ray, C. A., Patel, V., Shih, J., Macaraeg, C., Wu, Y., Thway, T., Ma, M., Lee, J. W. & DeSilva, B. (2009). Application of multi-factorial design of experiments to successfully optimize immunoassays for robust measurements of therapeutic proteins. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 49(2), 311–318. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2008.11.039>
- Rey, E. G., Finkelstein, J. L. & Erickson, D. (2019). Fluorescence lateral flow competitive protein binding assay for the assessment of serum folate concentrations. *PLOS ONE*, 14(6), e0217403. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217403>
- Roda, A., Cavallera, S., Di Nardo, F., Calabria, D., Rosati, S., Simoni, P., Colitti, B., Baggiani, C., Roda, M. & Anfossi, L. (2021). Dual lateral flow optical/chemiluminescence immunosensors for the rapid detection of salivary and serum IgA in patients with COVID-19 disease. *Biosensors and Bioelectronics*, 172, 112765. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2020.112765>
- Romero Herrero, D., Soler-Palacin, P., Burgos Cibrian, J., Falcó Ferrer, V., Anton Pagarolas, A. & Martin-Gomez, M. T. (2020). Detection of Streptococcus pneumoniae antigen in pleural fluid: usefulness of an immunofluorescence-based lateral flow assay for the diagnosis of pneumococcal pneumonia. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*, 98(4), 115162. <https://doi.org/10.1016/j.diagmicrobio.2020.115162>
- Sadaow, L., Sanpool, O., Rodpai, R., Boonroumkaew, P., Maleewong, W. & Intapan, P. M. (2020). Development of immunochromatographic device as a point-of-care tool for serodiagnosis of human strongyloidiasis cases. *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases*, 39(3), 465–470. <https://doi.org/10.1007/s10096-019-03745-2>



- Sadaow, L., Yamasaki, H., Morishima, Y., Sanpool, O., Rodpai, R., Janwan, P., Boonroumkaew, P., Maleewong, W. & Intapan, P. M. (2020). Effectiveness of *Fasciola gigantica* excretory-secretory and recombinant cathepsin L antigens for rapid diagnosis of human fascioliasis using immunochromatographic devices. *Parasitology Research*, 119(11), 3691–3698. <https://doi.org/10.1007/s00436-020-06907-w>
- Salminen, T., Mehdi, F., Rohila, D., Kumar, M., Talha, S. M., Prakash, J. A. J., Khanna, N., Pettersson, K. & Batra, G. (2020). Ultrasensitive and Robust Point-of-Care Immunoassay for the Detection of *Plasmodium falciparum* Malaria. *Analytical Chemistry*, 92(24), 15766–15772. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.0c02748>
- Serhan, W. S., Khan, R. A., Gasim, E. F., Alketbi, M. S., De Massis, F., Calistri, P., Giovannini, A., Al Hosani, M. A., Al Jaber, S. A., Al Mansoori, A. M., Al Ketbi, A. S., Khalafalla, A. I. & Almuhaire, S. S. (2019). Performance of an Immunochromatographic Test (ICT) in Comparison to Some Commonly Used Serological Tests for the Diagnosis of Brucellosis in Dromedary Camels (*Camelus dromedarius*). *Microorganisms*, 7(12), 591. <https://doi.org/10.3390/microorganisms7120591>
- Silva, E. D., Silva, Â. A. O., Santos, E. F., Leony, L. M., Freitas, N. E. M., Daltro, R. T., Ferreira, A. G. P., Diniz, R. L., Bernardo, A. R., Luquetti, A. O., Krieger, M. A., Celedon, P. A. F., Viñas, P. A., Zanchin, N. I. T. & Santos, F. L. N. (2020). Development of a New Lateral Flow Assay Based on IBMP-8.1 and IBMP-8.4 Chimeric Antigens to Diagnose Chagas Disease. *BioMed Research International*, 2020(1). <https://doi.org/10.1155/2020/1803515>
- Somboonpatarakun, C., Intapan, P. M., Sadaow, L., Rodpai, R., Sanpool, O. & Maleewong, W. (2020). Development of an immunochromatographic device to detect antibodies for rapid diagnosis of human angiostrongyliasis. *Parasitology*, 147(2), 194–198. <https://doi.org/10.1017/S0031182019001495>
- Stuart Tayebwa, D., Magdy Beshbishy, A., Batiha, G. E.-S., Komugisha, M., Joseph, B., Vudriko, P., Yahia, R., Alkazmi, L., Hetta, H. F., Yokoyama, N. & Igarashi, I. (2020). Assessing the Immunochromatographic Test Strip for Serological Detection of Bovine Babesiosis in Uganda. *Microorganisms*, 8(8), 1110. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8081110>
- Sun, Y., Li, Z., Liang, W., Zhang, Y., Song, W., Song, J., Xue, K., Wang, M., Sun, W., Gu, J., Li, M. & Li, W. (2020). A novel immunochromatographic strips assay for rapid and simple detection of systemic lupus erythematosus. *Scientific Reports*, 10(1), 14178. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71137-0>



- Suzuki, K., Huits, R., Phadungsombat, J., Tuekprakhon, A., Nakayama, E. E., van den Berg, R., Barbé, B., Cnops, L., Rahim, R., Hasan, A., Iwamoto, H., Leaungwutiwong, P., van Esbroeck, M., Rahman, M. & Shioda, T. (2020). Promising application of monoclonal antibody against chikungunya virus E1-antigen across genotypes in immunochromatographic rapid diagnostic tests. *Virology Journal*, 17(1), 90. <https://doi.org/10.1186/s12985-020-01364-4>
- Syahruni, S., Hartati, Y. W., Yusuf, M., Kusumawardani, S., Wibawan, I. W. T., Arnafia, W., Sibit, G. & Subroto, T. (2021). Development of lateral flow assay based on anti-IBDV IgY for the rapid detection of Gumboro disease in poultry. *Journal of Virological Methods*, 291, 114065. <https://doi.org/10.1016/j.jviro-met.2021.114065>
- Tenzin, T., Lhamo, K., Rai, P. B., Tshering, D., Jamtsho, P., Namgyal, J., Wangdi, T., Letho, S., Rai, T., Jamtsho, S., Dorji, C., Rinchen, S., Lungten, L., Wangmo, K., Lungten, L., Wangchuk, P., Gempo, T., Jigme, K., Phuntshok, K., ... Dukpa, K. (2020). Evaluation of a rapid immunochromatographic test kit to the gold standard fluorescent antibody test for diagnosis of rabies in animals in Bhutan. *BMC Veterinary Research*, 16(1), 183. <https://doi.org/10.1186/s12917-020-02405-4>
- Thakur, R., Akram, F., Rastogi, V., Mitra, A., Nawani, R., Av, V., Dubey, S. K. & Shakher, C. (2020). Development of Smartphone-Based Lateral Flow Device for the Quantification of LH and E3G Hormones. *IEEE Sensors Journal*, 20(23), 14491–14500. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.3008566>
- The Insight Partners. (s.f.). *Informe sobre el tamaño del mercado de tiras reactivas | Análisis de crecimiento 2031*. Consultado el 2 de marzo de 2025. <https://www.theinsightpartners.com/es/reports/test-strip-market>
- Tomás, A. L., de Almeida, M. P., Cardoso, F., Pinto, M., Pereira, E., Franco, R. & Matos, O. (2019). Development of a Gold Nanoparticle-Based Lateral-Flow Immunoassay for Pneumocystis Pneumonia Serological Diagnosis at Point-of-Care. *Frontiers in Microbiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02917>
- Toscano Salazar M.A, Olivares Hernández R., Alagón Cano A. & Vázquez López, H. (2020). *Diseño de una inmunoensayo de flujo lateral rápido para la detección de veneno de serpiente Bothrops asper en suero de pacientes*. Memorias Del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals.
- Wang, H., Guan, J., Liu, X., Shi, Y., Wu, Q., Luo, M., Zhu, Y., Wang, Z., Wang, L. & Pan, Y. (2019). Rapid detection of avian leukosis virus using a fluorescent microsphere immunochromatographic test strip assay. *Poultry Science*, 98(12), 6492–6496. <https://doi.org/10.3382/ps/pez547>



- Wang, S., Wen, Y., An, T., Duan, G., Sun, M., Ge, J., Li, X., Yang, K. & Cai, X. (2019). Development of an Immunochromatographic Strip for Rapid Detection of Canine Adenovirus. *Frontiers in Microbiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02882>
- Wang, X., Ji, P., Fan, H., Dang, L., Wan, W., Liu, S., Li, Y., Yu, W., Li, X., Ma, X., Ma, X., Zhao, Q., Huang, X. & Liao, M. (2020). CRISPR/Cas12a technology combined with immunochromatographic strips for portable detection of African swine fever virus. *Communications Biology*, 3(1), 62. <https://doi.org/10.1038/s42003-020-0796-5>
- Wen, T., Huang, C., Shi, F.-J., Zeng, X.-Y., Lu, T., Ding, S.-N. & Jiao, Y.-J. (2020). Development of a lateral flow immunoassay strip for rapid detection of IgG antibody against SARS-CoV-2 virus. *The Analyst*, 145(15), 5345–5352. <https://doi.org/10.1039/D0AN00629G>
- Wonderly, B., Jones, S., Gatton, M. L., Barber, J., Killip, M., Hudson, C., Carter, L., Brooks, T., Simpson, A. J. H., Semper, A., Urassa, W., Chua, A., Perkins, M. & Boehme, C. (2019). Comparative performance of four rapid Ebola antigen-detection lateral flow immunoassays during the 2014–2016 Ebola epidemic in West Africa. *PLOS ONE*, 14(3), e0212113. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212113>
- Xifeng, W., Mengfan, Q., Kai, Z., Guowu, Z., Jing, L., Lixia, W., Jun, Q., Qingling, M., Shasha, G., Yunfu, H. & Xuepeng, C. (2020). Development and evaluation of a colloidal gold immunochromatographic assay based on recombinant protein CatL1D for serodiagnosis of sheep fasciolosis. *Journal of Helminthology*, 94, e98. <https://doi.org/10.1017/S0022149X19000919>
- Xiong, Y., Luo, Y., Li, H., Wu, W., Ruan, X. & Mu, X. (2020). Rapid visual detection of dengue virus by combining reverse transcription recombinase-aided amplification with lateral-flow dipstick assay. *International Journal of Infectious Diseases*, 95, 406–412. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.03.075>
- Xu, F., Jin, Z., Zou, S., Chen, C., Song, Q., Deng, S., Xiao, W., Zhang, X., Jia, A. & Tang, Y. (2020). EuNPs-mAb fluorescent probe based immunochromatographic strip for rapid and sensitive detection of porcine epidemic diarrhea virus. *Talanta*, 214, 120865. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2020.120865>
- Xu, M., Lu, F., Lyu, C., Wu, Q., Zhang, J., Tian, P., Xue, L., Xu, T. & Wang, D. (2021). Broad-range and effective detection of human noroviruses by colloidal gold immunochromatographic assay based on the shell domain of the major capsid protein. *BMC Microbiology*, 21(1), 22. <https://doi.org/10.1186/s12866-020-02084-z>



- Yang, F., Li, Y., Jin, X., Xu, Q., Cheng, F. & Wang, X. (2020). Immunosensor-based rapid quantitative detection of Newcastle disease virus antibodies using innovative gold immunochromatographic assay. *Journal of Applied Microbiology*, 129(6), 1751–1757. <https://doi.org/10.1111/jam.14688>
- Yang, M., Mudabuka, B., Quizon, K. & Nfon, C. (2019). Generation of monoclonal antibodies against foot-and-mouth disease virus <scp>SAT</scp> 2 and the development of a lateral flow strip test for virus detection. *Transboundary and Emerging Diseases*, 66(3), 1158–1166. <https://doi.org/10.1111/tbed.13076>
- Ybañez, R. H. D., Kyan, H. & Nishikawa, Y. (2020). Detection of antibodies against <i>Toxoplasma gondii</i> in cats using an immunochromatographic test based on GRA7 antigen. *Journal of Veterinary Medical Science*, 82(4), 441–445. <https://doi.org/10.1292/jvms.19-0654>
- Ybañez, R. H. D. & Nishikawa, Y. (2020). Serological detection of T. gondii infection in humans using an immunochromatographic assay based on dense granule protein 7. *Parasitology International*, 76, 102089. <https://doi.org/10.1016/j.parint.2020.102089>
- Yoo, S. J., Shim, H. S., Yoon, S. & Moon, H. (2020). Evaluation of high-throughput digital lateral flow immunoassays for the detection of influenza A/B viruses from clinical swab samples. *Journal of Medical Virology*, 92(8), 1040–1046. <https://doi.org/10.1002/jmv.25626>
- Yu, S., Nimse, S. B., Kim, J., Song, K.-S. & Kim, T. (2020). Development of a Lateral Flow Strip Membrane Assay for Rapid and Sensitive Detection of the SARS-CoV-2. *Analytical Chemistry*, 92(20), 14139–14144. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.0c03202>
- Zangheri, M., Mirasoli, M., Guardigli, M., Di Nardo, F., Anfossi, L., Baggiani, C., Simoni, P., Benassai, M. & Roda, A. (2019). Chemiluminescence-based biosensor for monitoring astronauts' health status during space missions: Results from the International Space Station. *Biosensors and Bioelectronics*, 129, 260–268. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2018.09.059>
- Zhu, M., Zhang, J., Cao, J., Ma, J., Li, X. & Shi, F. (2019). Ultrasensitive dual-color rapid lateral flow immunoassay via gold nanoparticles with two different morphologies for the serodiagnosis of human brucellosis. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 411(30), 8033–8042. <https://doi.org/10.1007/s00216-019-02156-8>