

# UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA SALUD

El uso de la bioimpedancia eléctrica para evaluar el estado de hidratación en pacientes con enfermedad renal crónica en hemodiálisis



Presenta

**Alan Eduardo Guzmán León**

Hermosillo, Sonora

Septiembre de 2018

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

## FORMA DE APROBACIÓN

Los miembros del Jurado Calificador designado para revisar el trabajo de Tesis de L.C.N. Alan Eduardo Guzmán León, lo han encontrado satisfactorio y recomiendan que sea aceptado como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias de la Salud.



---

**Dr. Mauro Eduardo Fernando Valencia Juillerat**  
**Director Académico**



---

**M.C. Erika Nayeli Ibarra Pastrana**  
**Secretario**



---

**Dra. Maria del Carmen Candia Plata**  
**Sinodal**



---

**Dra. Ma. Ángeles Espinosa Cuevas**  
**Sinodal**

## DEDICATORIA

A Dios.

Por haberme dado la salud, el amor, la inteligencia, paciencia y perseverancia para lograr cada uno de mis objetivos. Por rodearme de toda la gente que me ayudó directa e indirectamente en este proyecto. Por acompañarme en todo momento, siempre ser mi sustento y pilar. Por bendecirme con las personas que amo y me rodean. Para ti todo siempre.

A mis padres Juan Carlos y María Elena.

Por ser mi ejemplo como personas y como pareja. Por su infinito apoyo que me han dado toda la vida. Por sus consejos y motivación para ser mejor cada día en todos los aspectos de la vida. Por ser los principales promotores de mis sueños, por cada día confiar y creer en mí y en mis expectativas, por creer que soy capaz de todo lo que me propongo. Por su amor incondicional durante toda la vida. Por ser los mejores padres que pude tener.

A mi prometida Yazmin.

Por ser la mayor inspiración y motivación en mi vida, por ayudarme y apoyarme incondicionalmente no sólo para mi tesis, sino también para cualquier situación de la vida. Por hacerme el hombre más feliz y afortunado del mundo. Por darme el valor y la fuerza para superar cualquier obstáculo, porque sé que siempre me apoyas sin importar cuál será el resultado. Por tu amor y comprensión a lo largo de toda nuestra historia. Por ser mi mejor amiga y compañera, te amo.

A mis abuelos

A mi "Tata" Jesús por ser una pieza fundamental de mi desarrollo como persona y profesional, por siempre alentarme y motivarme al estudio y superación. Por enseñarme a no conformarme y siempre buscar lo mejor, en lo espiritual,

profesional, amor y en la vida. Por ser un ejemplo, por enseñarme de tus éxitos y fracasos. Por quererme tanto y por tus consejos invaluable.

A mi “Bita” María Elena por ser el amor mismo reflejado en una persona. Por tus besos, abrazos y caricias. Por siempre estar conmigo, por acompañarme y cuidarme a donde sea que vaya. Por ser mi ángel.

A mi “Nana Angelita” María de los Ángeles por tu gran amor. Por motivarme en todo momento. Por ser una persona tan buena que irradia paz y amor. Por siempre ver la luz, aunque la oscuridad sea abrumadora.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)

Gracias por el apoyo económico brindado para la formación de nuevos investigadores, especialmente por darme la oportunidad de desarrollarme como profesional en el área de la salud.

A la Universidad de Sonora.

Gracias a mi universidad, gracias por haberme permitido formarme y desarrollarme en ella. Ya son más de seis años que han transcurrido desde que camino a diario por sus edificios y convivo con sus profesores e instalaciones. Gracias por brindarme tantas experiencias, aprendizajes y oportunidades. Estaré por siempre agradecido con tan bella institución.

Al Hospital General del Estado de Sonora

Gracias al director en turno, el Dr. Torres Inguanzo por permitirnos realizar este proyecto dentro de sus instalaciones. A todo su personal administrativo, médico y de enfermería por ser tan amables, apoyarme en todo momento y hacer posible este trabajo, sin su apoyo no hubiera sido ser. Gracias al Dr. Nefrólogo Ricardo Morales y a la jefa de enfermeras del área de hemodiálisis “Juani”, por abrirnos las puertas y brindarnos su apoyo, gran capacidad y conocimiento en todo momento. Gracias también a todos los pacientes que participaron en el proyecto, gracias por su tiempo, atención y dedicación.

Al Dr. Mauro Valencia.

Gracias Dr. Mauro por haber creído en mí, primero aceptándome como su alumno y segundo, por aventurarse en este proyecto, el cual sabíamos que sería un gran reto. Gracias por estos 5 años en los cuales he podido aprender un poco de su gran conocimiento. Gracias por sus consejos, dedicación, tiempo

y amistad. Quiero agradecerle por cada detalle y momento dedicado para aclarar cualquier tipo de duda que me surgiera, agradecerle por la claridad y exactitud con la que enseñó en todo momento. Gracias por su compromiso. Gracias por ser un modelo a seguir, no sólo en lo académico y profesional, también como persona.

A mis profesores, miembros del comité de tesis.

Gracias M.C. Erika Ibarra por su apoyo incondicional en todo momento, por abrirme las puertas y el camino de la nutrición clínica. Gracias por aportar toda su experiencia en el área y ser un ejemplo de cómo debe ser un excelente nutriólogo y persona.

Gracias a la Dra. Candía y al Dr. Giovanni por sus indispensables aportes y conocimientos en el proyecto. Gracias por sus consejos, por cada detalle, sugerencia y momento dedicado para aclarar cualquier duda, por la claridad y exactitud de sus palabras.

Gracias a la Dra. Ángeles, sin sus enseñanzas, conocimiento y experiencia en el área de la nutrición renal y la bioimpedancia eléctrica este proyecto no hubiera podido realizarse. Gracias por el tiempo que compartió conmigo, por su cálido recibimiento cuando realicé la estancia de investigación y por siempre estar al pendiente en todo. Gracias también porque tuve la oportunidad de compartir grandes momentos con sus estudiantes y grupo de trabajo en el Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán. Gracias por todo el conocimiento que me compartió.

Al Dr. Héctor Duarte Tagles, por su valiosa participación y orientación en el análisis estadístico de este trabajo. Por su paciencia, tiempo y dedicación al proyecto. Por ser una excelente persona y un increíble profesor.

A mis hermanos Juan Carlos y María Helena.

Gracias, aunque a veces tengamos opiniones o formas distintas de pensar y ver la vida, sé que siempre estaremos el uno para el otro. Gracias por estar conmigo y siempre apoyarme, los admiro y los amo.

A mi familia.

Gracias mamá, papá, hermanos, abuelos, tíos, tías, primos y primas por apoyarme y alentarme en cada decisión y proyecto. Gracias por creer en mí, sus aportes, comentarios de sugerencias, motivación y apoyo hicieron de este camino tan complicado fuera más ligero. Le agradezco a Dios por permitirme tener y disfrutar de cada uno de ustedes. No sé cómo expresarme mejor lo que siento, sólo me queda decirles que los amo.

Gracias porque el desarrollo de esta tesis no hubiera podido realizarse como se hizo de no ser por su ayuda y compromiso. No puedo decir que el camino fue fácil, pero lo que sí puedo hacer, es afirmar que durante todo este tiempo pude disfrutar de cada momento, cada madrugar y desvelo, cada momento de cansancio después de estar más de 16 horas seguidas trabajando, gracias a ustedes todo fue más sencillo. Gracias por la entrega y dedicación que mostraron, les estoy infinitamente agradecido. Gracias por ser una pieza fundamental del proyecto.

A los estudiantes de Medicina de la Universidad de Sonora.

Gracias Tadeo, Francisco, Luis, Julio, Daniel y Hessdin por su apoyo, dedicación y cuidado en el proyecto y con los pacientes, su atención demostró los excelentes médicos que serán.

A todas las integrantes del Laboratorio de Nutrición.

Gracias Dra. Verónica, M.C. Lesley, Consuelo, Luz Caraveo y Ana Teresa. Gracias por aportar su experiencia, por sus consejos y motivación. Por ser las mejores profesoras, por ayudarme a resolver cualquier duda o problema que se presentara. Por hacer todo más fácil y ameno. Gracias por tanto.

“El amor es sufrido, es benigno; el amor no tiene envidia, el amor no es jactancioso, no se envanece; no hace nada indebido, no busca lo suyo, no se irrita, no guarda rencor; no se goza de la injusticia, más se goza de la verdad. Todo lo sufre, todo lo cree, todo lo espera, todo lo soporta. El amor nunca deja de ser.”

1 Corintios, 13: 4 - 8

## ÍNDICE

LISTA DE TABLAS .....	xi
LISTA DE FIGURAS .....	xii
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN .....	3
JUSTIFICACIÓN.....	6
HIPÓTESIS.....	7
OBJETIVOS.....	8
General.....	8
Específicos .....	8
ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS.....	9
Enfermedad Renal Crónica .....	11
Hemodiálisis .....	14
Complicaciones Cardiovasculares.....	18
Amiloidosis .....	19
Osteodistrofia .....	19
Desnutrición.....	20
Acceso Vascular.....	20
Transmisión de Infecciones .....	21
Bioimpedancia .....	21
Análisis de Vectores de BIA (BIVA).....	27
MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
Diseño de Estudio .....	31

Criterios de Inclusión/Exclusión .....	31
Tamaño de Muestra.....	31
Etapas de Desarrollo del Estudio .....	32
Etapa 1 .....	32
Etapa 2 .....	34
Etapa 3 .....	34
Etapa 4 .....	35
Instrumentos y Técnicas Utilizadas Para las Mediciones .....	35
Consentimiento Informado .....	35
Peso .....	35
Talla .....	35
Fuerza Muscular.....	36
Circunferencia de Brazo .....	37
Pliegue Cutáneo Tricipital.....	37
Ancho de Codo.....	38
Presión Arterial (PA).....	38
Bioimpedancia Eléctrica .....	39
Análisis de Vectores de Bioimpedancia Eléctrica (BIVA) .....	39
Pruebas de Laboratorio .....	40
Valoración Global Subjetiva (VGS) .....	40
Índice Nutricional de Bilbrey .....	41
Score de Desnutrición-Inflamación (MIS, Malnutrition Inflammation Score).....	41
Análisis Estadístico .....	43
Aprobación Bioética.....	44

Registro en Clinical Trails .....	44
RESULTADOS.....	45
Presión Arterial y Fuerza Muscular.....	47
Presión Arterial: Inicio vs Final .....	47
Presión Arterial: Análisis en el Tiempo.....	47
Fuerza Muscular: Inicio vs Final .....	49
Fuerza Muscular: Análisis en el Tiempo.....	49
Bioimpedancia Eléctrica (BIA) .....	51
Propiedades Eléctricas del Cuerpo: Inicio vs Final.....	51
Propiedades Eléctricas del Cuerpo: Análisis en el Tiempo .....	51
Análisis de Vectores de BIA .....	54
DISCUSIÓN.....	61
CONCLUSIÓN.....	64
BIBLIOGRAFÍA.....	65
APÉNDICES .....	72

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla I.</b> Clasificación de la función renal según la tasa de filtrado glomerular y albuminuria .....	13
<b>Tabla II.</b> Características antropométricas iniciales .....	46
<b>Tabla III.</b> Cambios en las propiedades eléctricas del cuerpo por género post hemodiálisis inicio vs final. ....	52

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Interpretación de los vectores de bioimpedancia eléctrica (Piccoli et al., 2002).....	30
<b>Figura 2.</b> Cambios en la presión arterial sistólica (a) y diastólica (b) por sexo, inicio contra final. ....	48
<b>Figura 3.</b> Comportamiento de la presión arterial sistólica (a) y diastólica (b) a lo largo del tiempo. ....	48
<b>Figura 4.</b> Cambios en la fuerza muscular aplicada por dinamometría con mano derecha (a) e izquierda (b) por sexo, inicio contra final. ....	50
<b>Figura 5.</b> Comportamiento de la fuerza muscular aplicada por dinamometría con mano derecha (a) e izquierda (b) a lo largo del tiempo.....	50
<b>Figura 6.</b> Comportamiento de las propiedades eléctricas del cuerpo, R-resistencia (a), Xc-reactancia (b) y AF-ángulo de fase (c) a lo largo del tiempo. ....	53
<b>Figura 7.</b> Comportamiento de los conglomerados de los hombres según el ángulo de fase al inicio (a) y final (b) del estudio. ....	55
<b>Figura 8.</b> Comportamiento de los conglomerados de los hombres según la resistencia y reactancia al inicio (a) y final (b) del estudio. ....	56
<b>Figura 9.</b> Desplazamiento de los conglomerados de los hombres según los cambios en la resistencia y reactancia al inicio y final del estudio. ....	57
<b>Figura 10.</b> Comportamiento de los conglomerados de las mujeres según el ángulo de fase al inicio (a) y final (b) del estudio. ....	58
<b>Figura 11.</b> Comportamiento de los conglomerados de las mujeres según la resistencia y reactancia al inicio (a) y final (b) del estudio. ....	59
<b>Figura 12.</b> Desplazamiento de los conglomerados de las mujeres según los cambios en la resistencia y reactancia al inicio y final del estudio. ....	60

## RESUMEN

**Introducción:** El edema es una constante en pacientes con enfermedad renal crónica avanzada (RCA) con tratamiento de hemodiálisis (HD), pero la estimación de su peso seco representa un problema en la práctica clínica. Esto debido a que no se cuenta con una metodología establecida que permita evaluar los cambios en el estado de hidratación. **Objetivo:** Utilizar el análisis de vectores de bioimpedancia eléctrica (BIVA) para mejorar la estimación del estado de hidratación, en pacientes con enfermedad renal crónica en tratamiento de hemodiálisis. **Materiales y métodos:** Estudio clínico no controlado de preprueba/postprueba, con población de la unidad de hemodiálisis del Hospital General del Estado de Sonora. Se incluyeron pacientes mayores de 18 años, con diagnóstico de ERCA en tratamiento sustitutivo de HD. Se realizaron mediciones de presión arterial pre y post hemodiálisis, se evaluó la fuerza muscular por dinamometría de mano y BIVA. Las mediciones se realizaron semanalmente durante un período de tres meses consecutivos. Posteriormente, una medición final a los 6 meses. **Resultados:** Se evaluaron 45 pacientes (20 mujeres y 25 hombres) en la fase inicial y terminaron 35 (15 mujeres y 20 hombres). Al comparar las diferencias entre las fases inicial vs final, en los hombres se observó una disminución de la PA sistólica (PAS) postHD de 14 mmHg ( $p=0.02$ ) y una disminución de 8 mmHg ( $p=0.013$ ) en la PA diastólica (PAD). En cambio, en las mujeres, no hubo cambios significativos en la PAS y PAD postHD. Por otra parte, la fuerza muscular estimada por dinamometría aumentó en los hombres un promedio de 3.7 Kg ( $p=0.024$ ) en mano derecha y 6.6 Kg ( $p=0.006$ ) en mano izquierda. En las mujeres hubo un aumento de 3.8 Kg ( $p=0.005$ ) en mano derecha y 4.7 Kg ( $p=0.007$ ) en mano izquierda. El BIVA mostró un desplazamiento de los vectores que indica un estado de hidratación normal para 8 de los 35 pacientes que concluyeron el estudio. Además, se observó una tendencia de los vectores

de migrar hacia el centro de las elipses. **Conclusiones:** El BIVA es una herramienta útil, complementaria a la evaluación clínica para mejorar la evaluación del estado de hidratación. Además, el desplazamiento de los vectores de bioimpedancia eléctrica, el aumento en la fuerza muscular (hombres y mujeres) y los cambios en la PA (hombres), son indicadores de mejoría en la salud de los pacientes.

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere al tema de la enfermedad renal crónica avanzada (ERCA), que se define como anormalidad estructural y/o funcional de los riñones, con una tasa de filtración glomerular (TFG) por debajo de 30 mL/min/m<sup>2</sup>, durante más de tres meses. Para pacientes con diagnóstico de ERCA, la terapia de remplazo renal (TRR) como la hemodiálisis (HD), es el tratamiento médico más utilizado. La HD es un procedimiento donde se requiere, para obtener mejores resultados, establecer el peso seco del paciente (el cual se define como el peso más bajo que el paciente puede alcanzar después del tratamiento de HD, sin presentar síntomas de deshidratación y sin utilizar medicamento antihipertensivo). Para este propósito, la evidencia señala el uso del análisis de vectores de bioimpedancia eléctrica (BIVA) como una herramienta complementaria a la evaluación clínica.

Esta condición patológica se caracteriza por la retención de productos finales del metabolismo y líquidos en el cuerpo debido a la incapacidad de filtrarlos y excretarlos. Es por lo anterior, que el establecimiento de un peso objetivo se vuelve necesario para que cada sesión de HD sea adecuada a las características y necesidades particulares del paciente (especialmente las enfermedades que presenta).

Las principales enfermedades en México que son causantes de la ERC son la diabetes tipo 2 (DT2) y la hipertensión arterial (HTA) las cuales están presentes en 1 de cada 10 y 3 de cada 10 adultos respectivamente.

Este tipo de intervención ya se ha realizado en instituciones dedicadas a la investigación, que cuentan con todas las herramientas necesarias para su aplicación. Sin embargo, la investigación de esta problemática de salud se realizó por el interés de comprobar la viabilidad de implementar el BIVA en un

hospital público para mejorar el estado de hidratación del paciente haciendo modificaciones al peso seco.

Por otra parte, para tener una evaluación completa del estado de nutrición, se requiere establecer los indicadores específicos nutricionales, bioquímicos y de composición corporal del paciente con ERCA en HD.

La investigación se realizó con una serie de mediciones antropométricas (peso, talla, pliegue cutáneo tricípital, Circunferencia de brazo y ancho de codo), análisis de bioimpedancia eléctrica y BIVA. Así como, pruebas de laboratorio, evaluación clínica (signos, síntomas y presión arterial) y cribados para evaluar el estado nutricional del paciente.

Las mediciones se realizaron una vez por semana, antes y al finalizar la sesión de HD. Lo anterior con el objetivo de comprar los cambios en el estado de hidratación del paciente y poder observar el comportamiento su vector dentro del BIVA, para con ello, modificar el peso objetivo de HD.

Durante la investigación de campo, los obstáculos más frecuentes que se presentaron fueron la falta de disposición de participar en el estudio, así como la falta de continuidad de los mismos pacientes para asistir a las sesiones de HD y la negativa de algunos por seguir las recomendaciones sobre la dieta y estilo de vida.

En la sección de antecedentes bibliográficos se presenta la información recabada en la revisión de la literatura para comprender la profundidad del tema de investigación, como lo son la actualidad de la ERC, la TRR de HD, la bioimpedancia eléctrica y el BIVA.

En la sección de metodología se desarrolla ampliamente el tipo de estudio realizado, los criterios de inclusión de los participantes y la metodología utiliza para realizar las mediciones antropométricas, evaluación clínica, bioimpedancia eléctrica y evaluación del estado de nutrición.

En la sección de resultados se presentan los análisis obtenidos a partir de las mediciones, en donde se destacan las características de la población de estudiada al inicio y final del estudio, además de su estado de hidratación evaluado por el BIVA. También se analizan los cambios en las variables pertenecientes a la evaluación clínica, la composición corporal y el estado de nutrición.

En la parte final del escrito se presentan las discusiones y conclusiones derivadas de los resultados obtenidos del presente estudio y su contraste con otras investigaciones relacionadas al tema de la ERCA, la TRR de HD y el BIVA.

## **JUSTIFICACIÓN**

Para mejorar el estado de salud y la sintomatología de los pacientes con ERCA-HD, es necesario fortalecer la evaluación clínica y la estimación del estado de hidratación. La aplicación de una tecnología de vanguardia como el BIVA puede impactar positivamente el estado de salud en estos pacientes.

## **HIPÓTESIS**

El análisis de vectores de bioimpedancia eléctrica (BIVA) es una herramienta complementaria que mejora la estimación del estado de hidratación en función de la disminución de la presión arterial y al incremento de la fuerza muscular en pacientes con enfermedad renal crónica avanzada en tratamiento de hemodiálisis.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Utilizar BIVA para mejorar la estimación del estado de hidratación, en función de la disminución de la presión arterial y al incremento de la fuerza muscular en pacientes con enfermedad renal crónica avanzada en tratamiento de hemodiálisis.

### **Específicos**

- Analizar las diferencias del estado de hidratación por BIVA, antes y después de hemodiálisis.
- Estimar el exceso de fluidos en los pacientes con enfermedad renal sometidos a hemodiálisis mediante BIVA.
- Modificar y establecer el peso objetivo de los pacientes por BIVA.
- Evaluar los cambios en la presión arterial y fuerza muscular al inicio, durante y final del estudio.

## ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

Datos publicados del estudio “La carga mundial de la enfermedad”, en el año 2016 muestran que, la enfermedad renal crónica (ERC) a nivel global fue responsable de 1,186,560 muertes (2.17%), con una prevalencia de 275,929,799 (3.87%) y una incidencia de 21,328,971 (0.05%)(Glassock, Warnock, & Delanaye, 2017; Horspool, 2016; IHME, 2016; Lozano et al., 2015; Wang et al., 2016). Además, esta enfermedad representó 35,032,384 años de vida saludable perdidos (AVISA), 8,771,846 años vividos con discapacidad (AVD) y 26,260,537 años perdidos por muerte prematura (APMP). Cabe resaltar que, en promedio, el costo de 1 año de tratamiento de hemodiálisis por paciente en institución privada, más medicamentos y seguimiento médico es de 52,000 dólares ("Chronic Kidney Disease - World Kidney Day.," 2018; Glassock et al., 2017; Komenda et al., 2014; "National Kidney Foundation. Global Facts: About Kidney Disease.," 2015; Schieppati & Remuzzi, 2005; Smith, Gullion, Nichols, Keith, & Brown, 2004).

En México, en el año 2016 murieron 59,482 personas por ERC (9.02%), con una prevalencia de 8,085,268 (6.62%) y una incidencia de 718,753 (0.10%) casos nuevos por año (Glassock et al., 2017; Horspool, 2016; IHME, 2016; Lozano et al., 2015; Wang et al., 2016). Además, esta enfermedad representó 1,623,666 AVISA, 62,843 AVD y 1,360,822 APMP.

Por lo anterior, la ERC ocupa el tercer lugar dentro de las principales causas de muerte, el segundo lugar por APMP y el décimo lugar por AVD. Asimismo, cabe resaltar que el costo promedio de 1 año de tratamiento por paciente en hemodiálisis para el sector salud representa 2,800 dólares, aunado a los costos de medicamentos y seguimiento médico, el gasto total promedio es de 20,000 dólares. Mientras que, si el tratamiento de estos pacientes se cubre por un medio particular, los costos aumentan hasta los 50,000 dólares (Durán-

Arenas et al., 2011; Glasscock et al., 2017; Horspool, 2016; IHME, 2016; Lozano et al., 2015; Tamayo & Lastiri, 2016; Vos et al., 2016; Wang et al., 2016).

Hasta el momento, se carece de un registro de pacientes con ERC por lo que se desconoce el número preciso de personas en cualquiera de sus estadios y su perfil epidemiológico. Se estima una incidencia de ERC de 377 casos por millón de habitantes y una prevalencia de 1,142; existen alrededor de 52,000 pacientes en terapias sustitutivas, de los cuales el 80% de los pacientes son atendidos en el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) (Méndez-Durán, Méndez-Bueno, Tapia-Yáñez, Muñoz-Montes, & Aguilar-Sánchez, 2010).

La prevalencia de esta patología se incrementa de forma proporcional al aumento de las cifras de población con diabetes tipo 2 (DT2) e hipertensión arterial (HTA). En el estudio “Third National Health and Nutrition Examination Survey” (NAHNES III) realizado en EE. UU. (1988 y 1994) con una muestra de 15,626 adultos, mostró una prevalencia de ERC del 4.6%. Por otro lado, una actualización de este trabajo (1998-2004) con 13,233 casos reportó una prevalencia del 6%. En España, en el año 2007, Otero *et al*; reportaron una prevalencia para esta enfermedad de 6.8% (intervalo de confianza del 95% [IC 95%] 5.4-8.2). En México, Méndez *et al* (2010); estudiaron a 31,712 pacientes que se encontraban en programa de diálisis provenientes de 127 hospitales; determinaron que las causas principales causas de ERC fueron DT2 en el 48.5%, HTA sistémica en el 19% y glomerulopatías crónicas en el 12.7%. Lo anterior es de gran relevancia, debido a que 1 de cada 10 adultos en México tiene diagnóstico de DT2 y, una tercera parte de la población adulta esta diagnosticada con HTA (Guzmán-Guillén, Fernández de Córdova-Aguirre, Mora-Bravo, & Vintimilla-Maldonado, 2014).

La DT2 ocupa el primer lugar entre las causas de enfermedad renal crónica en México. De acuerdo con diversos estudios, en el 2009 el daño renal se posicionó, en el IMSS, el tercer lugar en el gasto por padecimientos, con una

inversión de 4,712 millones de pesos en sólo 4% de los derechohabientes, lo que representa un incremento de 27% con respecto a 2005. Mientras tanto, la Secretaría de Salud informó, en el mismo año, que sólo 22% de los pacientes que requieren terapia de reemplazo renal la reciben, con un costo anual estimado de 7,550 millones y que quizá ascendería a 33,000 millones de pesos si se atendiera al 100% de los pacientes que lo requieren (Ávila, Conchillos, Rojas, Ordoñez, & Ramírez, 2013).

El gasto médico derivado de la atención de ERC se estimó en 4,013 millones de pesos para el año 2007. Esta inversión representa más del 60% del gasto médico y 27% del gasto farmacológico. Por otra parte, el estimado para la atención en programas de diálisis según un escenario base (año 2007), la enfermedad habrá de alcanzar su incremento máximo en el número de casos para el año 2043. Lo anterior representará una inversión de 20,000 mil millones de pesos, posteriormente presentará un descenso continuo; mientras que lo estimado en un escenario catastrófico, tendría un ascenso continuo. Para el año 2050 los costos de inversión para el sector salud estarían alcanzando los 50,000 mil millones de pesos (Durán-Arenas et al., 2011; Méndez-Durán et al., 2010; Ávila et al., 2013).

### **Enfermedad Renal Crónica**

La “National Kidney Foundation” (NKF) define a la enfermedad renal crónica avanzada (ERCA) por la presencia de anomalías en la estructura o alteración de la función renal con una disminución de la tasa de filtración glomerular (TFG) menor de 30 mL/min/1.73m<sup>2</sup>, presente durante 3 meses. Estas alteraciones tienen implicaciones serias para la salud y, se clasifica según la causa, la categoría de la TFG y la categoría de albuminuria (tabla I.)(Gorostidi et al., 2014; ISN, 2012b, 2013, 2017; Levey, Stevens, & Coresh, 2009).

ERC es un término general para trastornos heterogéneos que afectan la estructura y la función del riñón con una presentación clínica variable, en parte relacionada con la causa, la gravedad y la progresión. El concepto de ERC evolucionó una vez que se reconoció la contribución de la estructura y la función del riñón a la salud de las personas. La utilidad del concepto es que el diagnóstico de la ERC tendrá implicaciones para el individuo y su cuidado. La falla renal se considera como el resultado más grave de la ERC.

Los síntomas generalmente se deben a complicaciones propias de una función renal disminuida y, cuando son graves, pueden tratarse sólo mediante método sustitutivo o trasplante (apéndice 3). Las etapas iniciales de la enfermedad renal a menudo son asintomáticas, se detectan durante la evaluación de las condiciones comórbidas y pueden ser reversibles. Las enfermedades rápidamente progresivas pueden llevar a la falla renal en unos meses, pero la mayoría de las enfermedades evolucionan durante décadas, y algunos pacientes no progresan durante muchos años de seguimiento (Gorostidi et al., 2014; ISN, 2012a, 2012b; Levey et al., 2009).

Aunque la necesidad de tratamiento de la ERC con terapia de remplazo renal (TRR) y/o trasplante renal se produce en sólo el 1% de las personas con ERC, sigue siendo la más costosa de las enfermedades crónicas y reduce significativamente la esperanza de vida. Los costos de la TRR y trasplante consumen cantidades desproporcionadas dentro de los presupuestos de atención médica en todas las jurisdicciones (5% del presupuesto anual consumido por menos del 1% de la población). La referencia tardía de las personas con ERCA resulta en peores resultados de la TRR. Por lo tanto, la identificación temprana de la progresión de la ERC, con un manejo apropiado y una referencia oportuna a los servicios especializados del área de nefrología, debería conducir a beneficios tanto económicos como clínicos (Gorostidi et al., 2014; ISN, 2012a, 2013).

**Tabla I.** Clasificación de la función renal según la tasa de filtrado glomerular y albuminuria

Filtrado glomerular Categorías, descripción y rangos (ml/min/1,73 m <sup>2</sup> )			Albuminuria Categorías, descripción y rangos		
			A1	A2	A3
			Normal a ligeramente elevada	Moderadamente elevada	Gravemente elevada
			< 30 mg/g <sup>a</sup>	30-300 mg/g <sup>a</sup>	> 300 mg/g <sup>a</sup>
G1	Normal o elevado	≥ 90		Monitorizar	Derivar
G2	Ligeramente disminuido	60-89		Monitorizar	Derivar
G3a	Ligera a moderadamente disminuido	45-59	Monitorizar	Monitorizar	Derivar
G3b	Moderada a gravemente disminuido	30-44	Monitorizar	Monitorizar	Derivar
G4	Gravemente disminuido	15-29	Derivar	Derivar	Derivar
G5	Fallo renal	< 15	Derivar	Derivar	Derivar

Fuente: (ISN, 2013)

En los países donde el acceso a los servicios de TRR y trasplante puede ser limitado o no estar disponible, la consecuencia final de la ERC progresiva es la muerte. Sin embargo, independientemente de la disponibilidad de TRR y trasplante, la identificación temprana de la ERC asume gran importancia, ya que el retraso en la progresión de la enfermedad tiene el potencial de prolongar la salud y aumentar la supervivencia por un costo mucho menor que la TRR (apéndice 4). A pesar de que la etiología varía en frecuencia o en números absolutos en distintas poblaciones, la proporción de personas con antecedentes importantes, como diabetes tipo 2 (DT2), crece alarmantemente en todo el mundo (Gorostidi et al., 2014; ISN, 2012a, 2013; Levey et al., 2009).

Los factores asociados con la progresión de la ERC y con un mayor riesgo cardiovascular se superponen en gran medida. Por lo tanto, la selección de los factores de riesgo que son modificables puede reducir la ECV en personas con ERC y reducir la progresión de la ERC a su etapa avanzada (ERCA) (Gorostidi et al., 2014; ISN, 2012a, 2013; Levey et al., 2009).

### **Hemodiálisis**

La diálisis se define como la difusión de moléculas en solución a través de una membrana semipermeable a lo largo de un gradiente de concentración electroquímico. La hemodiálisis tiene como objetivo, restablecer el entorno del fluido intracelular y extracelular que es característico de la función renal normal. Esto se logra mediante el transporte de solutos, tales como la urea, desde la sangre al dializado y mediante el transporte de solutos tales como bicarbonato desde el dializado a la sangre. La concentración de soluto y el peso molecular son los principales determinantes de las tasas de difusión. Las moléculas pequeñas, como la urea, se difunden rápidamente, mientras que las moléculas compartimentadas muy cargadas o más grandes, como el fosfato, la  $\beta$ 2-

microglobulina, la albúmina y los solutos unidos a proteínas se difunden mucho más lentamente.

Además de la difusión, los solutos pueden atravesar los poros de la membrana por medio de un proceso convectivo impulsado por gradientes de presión hidrostática u osmótica, un proceso llamado ultrafiltración (apéndice 7). Durante la ultrafiltración, no hay cambios en las concentraciones de solutos; su objetivo principal es la eliminación del exceso de agua corporal total (Daugirdas et al., 2015; Himmelfarb & Ikizler, 2010; NIDDKD, 2018).

La NKF recomienda iniciar con la TRR cuando uno o más de los siguientes criterios se presentan en la persona: síntomas o signos atribuibles a enfermedad renal; incapacidad para controlar el estado del volumen o la presión arterial; un deterioro progresivo en el estado nutricional refractario a la intervención dietética; o deterioro cognitivo. Esto a menudo, pero no invariablemente, ocurre en el rango de una TFG entre 5 y 10 mL/min /1.73 m<sup>2</sup> (ISN, 2013).

Cuando se introdujo la hemodiálisis (HD) como un tratamiento viable y efectivo en 1943, las perspectivas para los pacientes con ERC cambiaron repentinamente de una anticipación de la muerte inminente a la supervivencia indefinida (apéndice 5). Desde entonces, la implementación de la diálisis ha avanzado desde una terapia intensiva de cabecera a un tratamiento más simplificado, a veces autoadministrado en el hogar del paciente, utilizando tecnología moderna que ha facilitado el tratamiento al reducir el tiempo y el esfuerzo requerido (Daugirdas et al., 2015).

Actualmente, más de 400,000 pacientes son tratados con HD en los Estados Unidos, con gastos de “Medicare” cercanos a 90,000 dólares anuales por paciente (2012). Desafortunadamente, a pesar de que las tasas de mortalidad han disminuido (hasta un 30% desde 1999), siguen mayores a las de personas de la misma edad en la población general. Aunado, los pacientes

experimentan un promedio de 2 ingresos hospitalarios por año. Por lo que se requieren intervenciones para mejorar los resultados del tratamiento. Los intentos de mejorar han incluido el inicio de la diálisis a tasas de filtración glomerular mayores, el aumento de la frecuencia y/o la duración de la diálisis, el uso de membranas más nuevas y el empleo de hemofiltración suplementaria o alternativa. Sin embargo, los esfuerzos realizados no han mejorado la supervivencia, lo que indica que hay algo más que debe abordarse (Daugirdas et al., 2015).

Los pacientes que alcanzan la ERC estadio 4, incluidos los que tienen una necesidad inminente de diálisis al momento de la evaluación inicial, deben recibir educación sobre la enfermedad renal y opciones para su tratamiento; el trasplante renal, diálisis peritoneal (DP), HD en el hogar o en el centro, y tratamiento conservador. Los familiares de los pacientes y los cuidadores también deben ser educados sobre los tratamientos para la patología (apéndice 6). La decisión de iniciar la diálisis de mantenimiento en pacientes que eligen hacerlo debe basarse principalmente en la evaluación de los signos y/o síntomas asociados con la uremia, la evidencia de pérdida de energía proteica y la capacidad de controlar de forma segura las anomalías metabólicas y/o el edema con terapia médica. Esto, en lugar de un nivel específico de función renal en ausencia de tales signos y síntomas (Daugirdas et al., 2015).

En cada sesión de diálisis, se debe evaluar el estado fisiológico del paciente para que la prescripción de diálisis se alinee a los objetivos de la sesión. Esto se logra al integrar los componentes relacionados de la prescripción de diálisis para lograr las tasas deseadas y la cantidad total de eliminación de líquido y solutos (apéndice 8 y 9). Al reemplazar la función excretora renal, la diálisis tiene como objetivo eliminar el complejo de síntomas conocido como síndrome urémico. Sin embargo, atribuir una disfunción celular u orgánica particular a la acumulación de solutos específicos en la uremia es

difícil de demostrar (Daugirdas et al., 2015; Himmelfarb & Ikizler, 2010; NIDDKD, 2018).

A pesar de todas las investigaciones y mejoras que ha tenido el proceso de HD a lo largo de los años, aún no es posible reemplazar por completo la función renal (NIDDKD, 2018).

Al tratarse de una patología con alta mortalidad, se diseñaron tablas de esperanza de vida en sujetos de 30 a 85 años a partir de un registro poblacional en Alberta, Canadá, mismas que están estratificadas para los diferentes niveles de TFG (apéndice 10). En estos datos se observa que la esperanza de vida se reduce progresivamente conforme la edad aumenta y la función renal disminuye (Neild, 2017; Turin et al., 2012).

Los pacientes con ERC etapa 5, que optan por el tratamiento conservador en lugar de diálisis, por lo general son polisintomáticos, entre los síntomas que reportan están: falta de energía (76%), prurito (74%), somnolencia (65%), disnea (61%), edema periférico (58%), dolor (53%), boca seca (50%), calambres musculares (50%), falta de apetito (47%), mala concentración (44%), piel seca (42%), trastorno del sueño (41%) y estreñimiento (35%). Sin embargo, a pesar de ser sometidos a tratamiento de HD, permanecen sintomáticos. En más del 50%, los síntomas potencialmente tratables reportados incluyen dolores de huesos y articulaciones, insomnio, alteración del humor, disfunción sexual, parestesia y náuseas (Caplin, Kumar, & Davenport, 2011).

En una encuesta a 550 pacientes con tratamiento de HD, los síntomas más reportados fueron fatiga (82%), hipotensión intradiálisis (IDH, 76%), calambres (76%), mareos postdiálisis (63%), dolor de cabeza (54%), prurito (52%) y dolor de espalda (51%). Las náuseas y los vómitos también se reportaron en la minoría de los pacientes (Caplin et al., 2011; Morfin et al., 2016).

Aunque la HD puede mejorar la morbilidad y la mortalidad en pacientes renales, tiene muchas complicaciones que ocurren durante las sesiones de diálisis y/o el uso a largo plazo de la HD. La hipotensión, la hipoglucemia, las alteraciones electrolíticas, el síndrome de desequilibrio y la hipocalcemia son algunas de las complicaciones comunes que ocurren durante las sesiones de diálisis. En la diálisis a largo plazo, hay complicaciones como amiloidosis, osteodistrofia, alteraciones endocrinas, infección, complicaciones cardiovasculares, acceso vascular y complicación nutricional (Habas, Rayani, & Khammaj, 2012; Morfin et al., 2016; Thomas, Kanso, & Sedor, 2008).

### **Complicaciones Cardiovasculares**

La enfermedad cardiovascular (ECV) es la principal causa de muerte en pacientes con ERC en HD. La aterosclerosis está presente en la mayoría, si no en todos los pacientes de diálisis a largo plazo. La ECV en pacientes con HD es de 5 a 10 veces mayor que en la población general, y representa al menos la mitad de las muertes de todos los pacientes; siendo la enfermedad coronaria la principal causa de muerte en pacientes en HD. El diagnóstico de la enfermedad coronaria en pacientes con diálisis crónica requiere cirugía de revascularización coronaria, la cual incrementa riesgo de mortalidad en un 300% (Habas et al., 2012; Morfin et al., 2016; Thomas et al., 2008).

Dentro de los factores de riesgo para desarrollar ECV se encuentra la hipertensión, que es común en pacientes con HD y de difícil control. Otros factores de riesgo son la hiperfosfatemia y el producto calcio-fósforo elevado con deposición de calcio en las arterias coronarias, el sistema de conducción cardíaca, las válvulas cardíacas y los vasos sanguíneos. La anemia, la dislipidemia mixta, la deficiencia o la resistencia a insulina, la homocisteína sérica elevada, la disfunción endotelial, la elevación de la proteína C reactiva y el tabaquismo son frecuentes y aumentan el riesgo de enfermedad coronaria.

Muchos, si no todos estos factores de riesgo pueden haber ocurrido durante los primeros años de enfermedad renal crónica incluso antes de comenzar la HD. La reducción de las complicaciones cardiovasculares en ERC se puede lograr modificando estos factores de riesgo (Habas et al., 2012; Morfin et al., 2016; Thomas et al., 2008).

### **Amiloidosis**

La deposición de  $\beta_2$ M amiloide generalmente comienza durante los primeros meses de iniciar HD. Los hallazgos clínicos y radiológicos de amiloide aparecen generalmente después de cinco años o más de HD. La articulación esternoclavicular y de la cadera son comúnmente las primeras involucradas, sin embargo, cualquier articulación puede verse afectada. La compresión grave de la médula espinal debido a la deposición de  $\beta_2$ M amiloide ocurre a menudo después de diez años en HD. Esta complicación puede presentarse clínicamente por la presencia de periartritis de los hombros, síndrome del túnel carpiano, tenosinovitis flexora de las manos, rigidez, dolor e hinchazón de otras articulaciones, depósitos debajo de la piel y espondiloartropatía. Después de quince años de HD regular, se produce una infiltración sistémica  $\beta_2$ M amiloide de los órganos viscerales, sin presencia de síntomas (Habas et al., 2012; Morfin et al., 2016; Thomas et al., 2008).

### **Osteodistrofia**

La HD a largo plazo aumenta el riesgo de osteodistrofia. Esta se asocia con hiperparatiroidismo secundario que se caracteriza por la elevación en las concentraciones plasmáticas de la hormona paratiroidea a pesar de que los niveles de calcio y el fosfato sean normales. La frecuencia de fracturas de cadera por esta complicación es más frecuente y grave en los pacientes con HD

a largo plazo que en la población general combinada. Las enfermedades óseas dinámicas y adinámicas ocurren en pacientes con ERC, pero su prevalencia es mayor después de comenzar la HD (Alcazar, Orte, & Otero, 2008; Habas et al., 2012; Morfin et al., 2016; Thomas et al., 2008).

### **Desnutrición**

La desnutrición a menudo es frecuente en pacientes dependientes de HD, y el tiempo en diálisis es un fuerte predictor de la misma. Los pacientes en HD por más de diez años tienden a perder peso, pese a una ingesta energético-proteica adecuada. Aunque la causa subyacente de la malnutrición no está clara, puede deberse a una acidosis metabólica crónica o a una disminución de la actividad física como resultado de la amiloidosis en lugar de la reducción en el gasto de energía. Se ha observado que la tasa de supervivencia se correlaciona directamente con los niveles de albúmina sérica y prealbúmina. La aparición de una enfermedad ósea adinámica también parece relacionarse con la malnutrición, aunque no está claro si esta es una relación causal, o si ambas condiciones son características de los sobrevivientes de HD a largo plazo (Habas et al., 2012; Morfin et al., 2016; Thomas et al., 2008).

### **Acceso Vascular**

El acceso vascular, ya sea catéter o fístula artero-venosa (FAV) para HD, debe planificarse, especialmente en pacientes geriátricos y con diabetes; prefiriendo el acceso por FAV. Existen complicaciones asociadas al acceso vascular, donde se incluyen infecciones, mal funcionamiento, estenosis, desfiguración, entre otras. Siendo la infección la causa más frecuente de hospitalización en pacientes en HD; pudiendo causar complicaciones graves. Asimismo, se recomienda un inicio temprano de diálisis, con el objetivo de disminuir la

frecuencia de complicaciones y con ello mejorar la supervivencia del paciente durante los primeros meses de tratamiento. (Habas et al., 2012; Morfin et al., 2016; Thomas et al., 2008).

### **Transmisión de Infecciones**

A pesar de los beneficios que ofrece la HD, también predispone a la aparición de infecciones sanguíneas, debido, en parte, a una función anormal del sistema inmune, característico en estos pacientes. En pacientes en diálisis, el conteo de glóbulos blancos puede ser normal, pero estos no funcionan de manera correcta. Por lo que se observa mayor riesgo de infección por estafilococo. De igual manera, los linfocitos involucrados en la protección contra las infecciones causadas por virus y hongos se ven afectados y por consiguiente, tienen una mayor incidencia de infecciones virales y fúngicas (Habas et al., 2012; Morfin et al., 2016; Thomas et al., 2008).

### **Bioimpedancia**

Mediante el análisis de impedancia bioeléctrica o bioimpedancia (BIA, por sus siglas en inglés) se han conseguido resultados interesantes en el análisis de la composición corporal del adulto sano o con hidratación normal y constante. Sin embargo, en la práctica clínica y en la literatura, también se ha utilizado el BIA convencional en el paciente con ERC en diálisis. En estos estudios se han conseguido resultados contrastantes, donde la exactitud dependió del estado de hidratación de los grupos estudiados (Espinosa-Cuevas et al., 2007; Jian et al., 2014; Khalil, Mohktar, & Ibrahim, 2014; Piccoli, 2014; Piccoli, Nescolarde, & Rosell, 2002; Piccoli, Rossi, Pillon, & Bucciante, 1994).

El método de BIA se basa en la aplicación de una corriente eléctrica alterna, con intensidad muy pequeña (muy por debajo de los umbrales de

percepción, en el cuerpo humano o en el tejido a medir). Esta corriente produce una tensión eléctrica, que es tanto mayor como mayor sea la impedancia eléctrica ( $Z$ ) del material. El equipo obtiene el valor de la impedancia ( $Z$ ) a partir de las medidas de amplitud de la corriente, amplitud de la tensión y el desfase entre tensión y corriente (ángulo de fase,  $AF$ ). La impedancia  $Z$ , representa la oposición que muestran los materiales biológicos al paso de una corriente eléctrica alterna. Ésta se puede separar en dos componentes cuantificables: la resistencia ( $R$ ), determinada por el paso de la corriente a través de las soluciones electrolíticas intra y extracelulares, y la reactancia ( $X_c$ ), determinada por las propiedades dieléctricas de los tejidos, o bien por la acumulación temporal de cargas sobre las membranas celulares o sobre otros interfaces sumergidos en la solución electrolítica, estructuras que se comportan como condensadores al paso de la corriente (Espinosa-Cuevas et al., 2007; Jian et al., 2014; Khalil et al., 2014; Piccoli, 2005, 2014; Piccoli et al., 2002; Piccoli et al., 1994).

BIA se basa en el principio de que los tejidos biológicos se comportan como conductores en mayor o menor medida de la corriente eléctrica y/o dieléctricos (aislantes) dependiendo de su composición. Las soluciones electrolíticas intra y extracelulares de todos los tejidos blandos, en particular de los tejidos no grasos, son óptimos conductores, mientras que el hueso no es atravesado tan fácilmente por las corrientes eléctricas utilizadas y se comporta como un mal conductor (aislante). En el tejido adiposo la corriente puede atravesar las soluciones electrolíticas del intersticio y los adipocitos, con excepción de las gotas lipídicas, hidrofóbicas, que no conducen corriente. Por tanto, el BIA sólo puede analizar el compartimento de los tejidos blandos (masa de tejido blando = masa magra de tejido blando + masa grasa de tejido blando), atribuibles a la masa magra sin hueso y a la masa grasa (Khalil et al., 2014; Piccoli, 2005; Piccoli et al., 2002; Piccoli et al., 2005).

La impedancia medida en la superficie del cuerpo puede ser originada por el paso de corriente alterna a diferentes frecuencias (ya sean frecuencias únicas o múltiples) y posicionando los electrodos sobre diferentes regiones cutáneas (posición distal, proximal o segmental). La técnica estándar utiliza una sola frecuencia (monofrecuencia), cuatro electrodos (tetrapolar) y una posición distal (dos electrodos sobre la mano y dos sobre el pie). Cuando la frecuencia de la corriente es a 50 kHz, el error de medida (como coeficiente de variación) de la técnica estándar en monofrecuencia es pequeño (alrededor del 2% con el mismo analizador sobre el mismo sujeto en tiempos diferentes y del 2% entre operadores, debido a la variabilidad de la posición de los electrodos). Desafortunadamente es desconocida la variabilidad entre analizadores, por ausencia de una reglamentación entre productores. La mayor parte de las validaciones ha sido conducida con analizadores BIA Akern-RJL Systems (RJL Systems, Clinton TWP, MI, USA, en Europa Akern, Florencia, Italia), pero las mismas fórmulas son utilizadas sobre las medidas conseguidas por otros analizadores (Khalil et al., 2014; Piccoli, 2005, 2014; Piccoli et al., 2002; Piccoli et al., 2005; Piccoli et al., 1994).

El cuerpo humano o sus segmentos (extremidades y tronco) se pueden considerar como conductores de forma cilíndrica irregular, con una longitud ( $L$ , en m) fácilmente determinable, y un área en su sección transversal ( $A$ , en  $m^2$ ) más difícil de determinar. En el BIA estándar es utilizada la estatura como subrogado de la longitud del cuerpo, ésta es más simple de determinar y está correlacionada con la distancia mano-pie (Khalil et al., 2014; Piccoli, 2005; Piccoli et al., 2002; Piccoli et al., 1994).

La impedancia ( $Z$ , en Ohm) en un conductor cilíndrico es proporcional a la longitud e inversamente proporcional a la sección transversal (ley de Ohm),  $Z = z L/A$  o bien  $Z \text{ (Ohm)} = z \text{ (Ohm / m)} \times L \text{ (m)} / A \text{ (m}^2\text{)}$ . La constante de proporcionalidad  $z$  es denominada impedancia específica. La proporcionalidad

entre Z y las dimensiones L y A de un cilindro conductor se basa en el cálculo de los volúmenes de los fluidos y los compartimentos derivados del BIA convencional (Khalil et al., 2014; Piccoli, 2005; Piccoli et al., 2002).

La evaluación física de la composición corporal está basada sobre el peso corporal y sobre el examen objetivo de los tejidos blandos. Las pruebas de laboratorio son de ayuda en la interpretación de las variaciones de la composición corporal asociada a alteraciones metabólicas relevantes como híper o hiponatremia en la valoración de los compartimentos fluidos. Hay otros métodos capaces de valorar con exactitud muchos compartimentos explotando técnicas complejas como son: la dilución con isótopos estables, la hidrodensitometría, el DXA (absorciometría dual de rayos X), la resonancia magnética nuclear (RMN), la tomografía axial computadorizada (TAC) y la activación neutrónica. Sin embargo, son técnicas poco utilizadas en la práctica clínica por su elevado costo, invasividad, accesibilidad y/o por necesidad de colaboración por parte del paciente. Técnicas más simples o al menos más accesibles, como la plicometría y ecografía, son muy dependientes del operador y exactas sólo en condiciones de estabilidad y regularidad de la composición corporal (Jian et al., 2014; Khalil et al., 2014; Piccoli, 2005, 2014; Piccoli et al., 2002; Piccoli et al., 2005).

En la práctica clínica la expansión de los compartimentos fluidos o hiperhidratación, es definida como aparente cuando está asociada a un aumento de peso de 4-5 kg, correspondiente a una expansión de los volúmenes fluidos del 30% (edema aparente). La concentración de sodio permite caracterizar la expansión en isotónica (extracelular) o hipotónica (intracelular). Una expansión de los fluidos hasta 4-5 kg no es clínicamente identificable a causa de la presión negativa en los tejidos blandos (Khalil et al., 2014; Piccoli, 2014; Piccoli et al., 2002).

La deshidratación más frecuente, de grado leve a moderada, no presenta señales físicas claras ni de pruebas de laboratorio, sobre todo en el paciente con función renal reducida o en TRR con HD o diálisis peritoneal (Piccoli et al., 2002).

La interpretación de las variaciones de masa específicas o compartimentos puede ser sólo provista por métodos capaces de medir propiedades fisicoquímicas de las masas mismas, independientemente del peso corporal y con sensibilidad adecuada a las exigencias clínicas (Khalil et al., 2014; Piccoli, 2014; Piccoli et al., 2002; Piccoli et al., 2005).

La utilización del BIA para la valoración de la composición corporal, como consecuencia de la evolución tecnológica de los años 80, ha alcanzado en la actualidad un papel destacado en la medida de la composición corporal. Sus ventajas son: que es un método no invasivo, barato, de simple ejecución en cualquier contexto clínico (desde la consulta a la unidad de vigilancia intensiva), reproducible y apto para la rutina médica (Piccoli et al., 2002).

Las ecuaciones de regresión múltiple del BIA convencional, que incluyen generalmente estatura, peso, edad y sexo; transforman la propiedad eléctrica medida (impedancia) en volúmenes (intracelular, extracelular), masas (grasa, delgada, celular) y otras variables de composición corporal. En general, estos estimadores son más frágiles frente alteraciones de las hipótesis de normalidad del BIA (típicamente la constante de hidratación de tejidos) cuanto más aumenta su complejidad y dependencia con otras variables (Earthman, Traughber, Dobratz, & Howell, 2007; Jian et al., 2014; Khalil et al., 2014; Piccoli, 2005, 2014; Piccoli et al., 2002; Piccoli et al., 2005).

El BIA convencional asume que el cuerpo es un conductor isótropo cilíndrico de sección constante. Mediante ecuaciones de regresión se estima el volumen total (agua corporal total, ACT, en L) del componente R, y de este, asumiendo una hidratación constante de los tejidos blandos, la masa libre de

grasa (en kg). Por diferencia de la masa libre de grasa del peso corporal es estimada la masa grasa. En la mayor parte de las ecuaciones de predicción el componente  $X_c$  es ignorado (Khalil et al., 2014; Piccoli, 2005, 2014; Piccoli et al., 2002).

En el paciente con ERCA en HD y diálisis peritoneal, la variación continua de la hidratación de los tejidos puede ser considerada como una propiedad característica. Es prácticamente imposible localizar a lo largo del día del paciente en diálisis una sola hora de estado estacionario en su hidratación, ya que en las dos técnicas de depuración (sobre todo en HD) se alternan estados de hiperhidratación a deshidratación (Khalil et al., 2014; Piccoli et al., 2002).

En HD, el peso alcanzado por el paciente al final de una sesión, donde se removi6 el m6ximo de fluidos sin inducir hipotensi6n, es considerado convencionalmente un objetivo terap6utico y se define como el peso seco. El logro de este, aunado al aumento de masa magra y grasa durante las semanas siguientes inducir6 la aparici6n de progresiva intolerancia dial6tica debido a una excesiva deshidrataci6n (Atilano-Carsi et al., 2015; Espinosa-Cuevas et al., 2010; Khalil et al., 2014; Piccoli, 1998; Piccoli et al., 2002).

Un problema t6cnico peculiar de la HD es la elecci6n de los tiempos de medida de la impedancia. Despu6s de una sesi6n de HD no hay ning6n rebote el6ctrico, y por tanto las medidas pueden ser tomadas inmediatamente al inicio y al final de la sesi6n. Estudios previos demuestran que pasados 90 y 180 minutos, despu6s de la sesi6n de di6lisis, s6lo se han observado reducciones irrelevantes de  $R$  (1,5%) o incrementos no significativos de  $Z$  (1,9%), respectivamente (Khalil et al., 2014; Piccoli et al., 2002).

Desafortunadamente, cuando la hidrataci6n de los tejidos es variable, el BIA convencional (en mono o multifrecuencia) como los otros m6todos de an6lisis de la composici6n corporal producen estimaciones inexactas de los

compartimentos. Por ejemplo, DXA evidenció una reducción post-HD no sólo de la masa magra sino también de la densidad ósea (0.6%); y determinó un aumento de masa grasa de 2.1 Kg, con una disminución de masa magra de 1.2 Kg, frente a un aumento de peso del paciente de 0.96 kg. Por otro lado, el BIA evidenció un aumento de la masa grasa en los obesos urémicos al final de una sesión estándar de HD (eliminación de 3 Kg de fluidos). Estos resultados erróneos se deben a que se asume un estado de hidratación constante de los tejidos blandos, que por lo tanto indica una pérdida de masa libre de grasas debida a la eliminación de fluidos (Jian et al., 2014; Piccoli, 2005, 2014; Piccoli et al., 2002; Piccoli et al., 2005).

### **Análisis de Vectores de BIA (BIVA)**

El vector impedancia  $Z$  puede ser representado en coordenadas polares en módulo y ángulo de fase, o bien en las usuales coordenadas rectangulares  $Z = (R, X_c)$ . La representación rectangular  $(R, X_c)$ , con  $R$  en abscisas y  $X_c$  en ordenadas, permite además visualizar y calcular el módulo como  $|Z| = \sqrt{R^2 + X_c^2}$  y también el ángulo de fase como arcotangente de  $X_c/R$  (Atilano-Carsi et al., 2015; Espinosa-Cuevas et al., 2007; Espinosa-Cuevas et al., 2010; Khalil et al., 2014; Piccoli et al., 2002; Piccoli et al., 1994).

El método de análisis vectorial, denominado Gráfico Resistencia-Reactancia (Gráfico  $RX_c$ ) confronta el vector medido en un individuo con el intervalo de referencia de la población normal, de forma elipsoidal, expresado en percentiles de la distribución normal bivariada. Una propiedad importante del método es la de interpretar independientemente del conocimiento del peso corporal. La correlación entre  $R$  y  $X_c$  determina la forma elipsoidal de las distribuciones de probabilidad bivariadas (intervalos de confianza por los vectores medios y de tolerancia por los vectores individuales) (Atilano-Carsi et al., 2015; Espinosa-Cuevas et al., 2007; Espinosa-Cuevas et al., 2010; Piccoli et

al., 2002; Piccoli et al., 1994). La distribución normal bivariada del vector impedancia en la población sana, con tres percentiles de referencia (elipses de tolerancia al 50%, 75% y 95%) y específica por género, es conocida para la población mexicana sana. Utilizando la estandarización estadística bivariada (Z-scores) de R y Xc se construyó el Gráfico RXc para la interpretación de los vectores medidos (Espinosa-Cuevas et al., 2007).

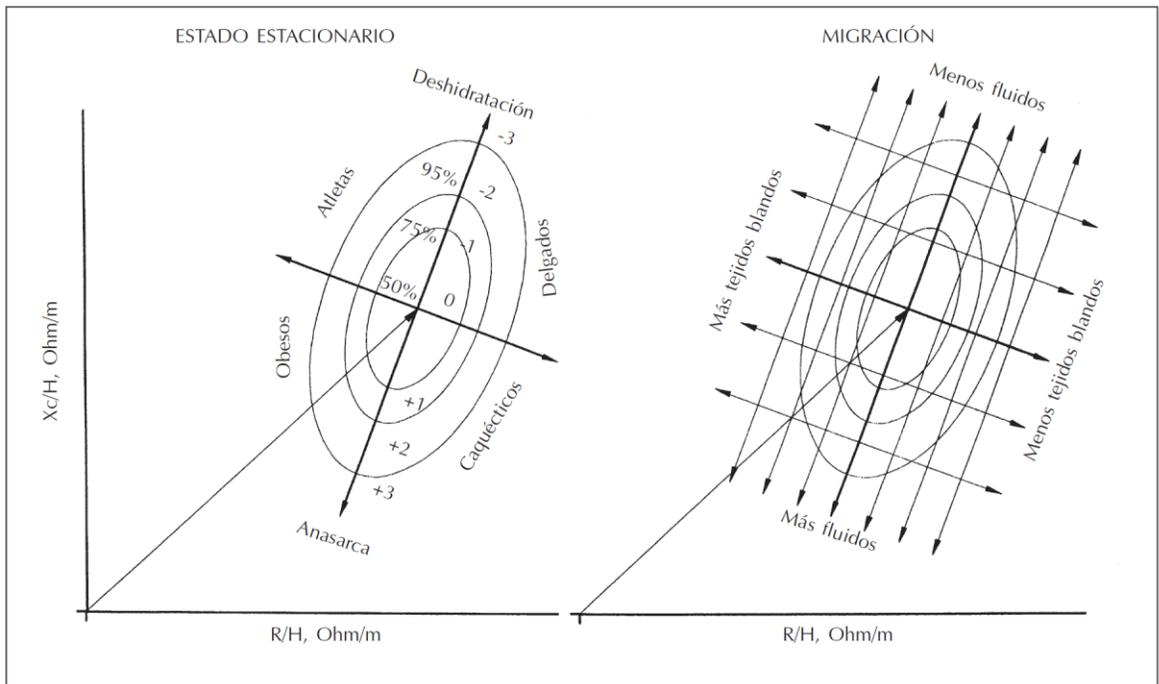
La inclinación del eje mayor de las elipses de tolerancia, debida a la correlación entre R y Xc, está asociada a la acumulación de fluidos que produce vectores más cortos con ángulos de fase menor. Hasta ahora ha sido identificado el polo inferior de la elipse de tolerancia al 75% como umbral para el edema en el adulto, con 100% de sensibilidad y 92% de especificidad. Por tanto, el análisis vectorial puede identificar la hiperhidratación en el paciente que está acumulando fluidos. Por otra parte, la deshidratación es más difícil de establecer clínicamente, aún no ha sido identificado todavía un umbral preciso sobre las elipses de tolerancia. Sin embargo, es probable que el polo superior de la elipse al 75% represente una frontera importante para su diagnóstico (figura 1) (Atilano-Carsi et al., 2015; Espinosa-Cuevas et al., 2010; Piccoli et al., 2002; Piccoli et al., 1994).

De la validación clínica conducida hasta ahora puede ser formulada una regla de lectura muy simple del Gráfico RXc:

A) Variaciones de hidratación sin alteraciones de la estructura de los tejidos son asociadas con un acortamiento (hiperhidratación) o un alargamiento (deshidratación) del vector impedancia a lo largo del eje mayor de las elipses de tolerancia. Explotando los percentiles de las elipses de tolerancia de referencia (50%, 75% y 95%) puede ser asignada una escala ordinal a 7 puntos (de 0 a  $\pm 3$ ) para la hidratación (Piccoli et al., 2002).

B) Variaciones de la cantidad de los tejidos blandos (masa celular y proteínas estructurales intersticiales hidrófilas, o bien estado nutricional sin alteraciones de la hidratación de los tejidos) están asociadas con una migración del vector en la dirección del eje menor de las elipses. Lo anterior se presenta con un aumento progresivo del ángulo de fase (obesidad para los vectores cortos, masa muscular para los vectores largos), o con una reducción progresiva del ángulo de fase (caquexia para los vectores cortos, anorexia para los vectores largos) (Piccoli et al., 2002).

C) Variaciones combinadas de hidratación y estructura de los tejidos están asociadas con migraciones del vector a lo largo de la combinación de las dos direcciones principales de los ejes (Piccoli et al., 2002).



**Figura 1.** Interpretación de los vectores de bioimpedancia eléctrica (Piccoli et al., 2002).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Diseño de Estudio**

Se realizó un estudio clínico no controlado de preprueba/postprueba, con una muestra de pacientes proveniente de la unidad de hemodiálisis del Hospital General del Estado de Sonora, México.

### **Criterios de Inclusión/Exclusión**

Los criterios de inclusión considerados en el estudio fueron:

1. Que sean pacientes de la unidad de HD, y con diagnóstico de ERCA.
2. Que estén bajo TRR de HD y que sean mayores de 18 años.

Se excluyeron de participar aquellos pacientes que tuvieran amputaciones de algún miembro, marcapasos, implantes metálicos, que estuvieran bajo protocolo de trasplante renal, así como presencia de focos infecciosos. Todos los pacientes que se incluyeron en el estudio aceptaron y firmaron el consentimiento informado del proyecto.

### **Tamaño de Muestra**

Para la determinación del tamaño de muestra se trabajó sobre los supuestos de una desviación estándar (DE) de presión arterial sistólica (PAS) de 15 mmHg, con una varianza de 225 mmHg, un  $Z_{\alpha}$  de 1.96 para una  $p=0.05$ , con una diferencia media ( $d$ ) esperada entre los grupos de 10 mmHg. Se calculó el tamaño de muestra considerando el error de Beta de 20% ( $B=0.84$ ), en función de la disponibilidad real de los equipos de diálisis, el número de sujetos que aceptaron participar, así como aquellos excluidos por los criterios anteriormente descritos.

Al inicio del estudio, se estimó un tamaño de muestra para buscar diferencias entre 2 grupos, utilizando la siguiente ecuación:

$$N = \frac{(Z\alpha+Z\beta)^2(2)(DE)^2}{(d)^2} = 36 \text{ sujetos}$$

Sin embargo, por las condiciones de los pacientes, los recursos del estudio y las instalaciones del hospital, se cambió el diseño de la evaluación de resultados para buscar diferencias en un solo grupo (pre-prueba vs post-prueba). Para el cálculo del tamaño de muestra se utilizó la siguiente ecuación:

$$N = \frac{(Z\alpha+Z\beta)^2(DE)^2}{(d)^2} = 6 \text{ sujetos}$$

De 120 pacientes que acudían en promedio 3 veces por semana a sesión de HD, 45 cumplían con los criterios de inclusión y aceptaron participar en el estudio. Todos los pacientes fueron evaluados para conocer su estado de nutrición e hidratación basal.

### **Etapas de Desarrollo del Estudio**

El estudio se dividió en 4 etapas las cuales se describen a continuación:

#### **Etapas 1**

Esta etapa consta de las evaluaciones para conocer las características basales de la población antes de implementar el protocolo de BIVA y nutrición. En la primera sesión, previo comenzar con la HD, se midió el peso, la talla, fuerza muscular, exámenes bioquímicos, presión arterial y el BIVA. Una vez que el paciente comenzaba su sesión de HD se le aplicaron los cribados nutricionales (IB, índice de Bilbrey; VGS, valoración global subjetiva; MIS, escala de desnutrición-inflamación), además hacer un monitoreo continuo de la presión arterial. Al concluir la sesión de HD, se realizaron mediciones de peso, pliegue

cutáneo tricipital (PCT), Circunferencia de brazo (CB), ancho de codo (AC), presión arterial y BIVA. Con las mediciones de BIVA realizadas antes y después de HD se evaluaron los cambios en el estado de hidratación del paciente, además de identificar si una vez concluida la HD, el paciente presenta retención de líquidos (sobrehidratación) o deshidratación.

## **Etapa 2**

Esta etapa consistió en utilizar las evaluaciones realizadas en la etapa 1 para modificar la cantidad de líquido extraído en la sesión de HD, con el fin de adecuar su peso y mejorar el estado de hidratación. Dicha modificación se realizó de la siguiente forma: si el vector del paciente (después de HD de la sesión anterior) se encontraba por debajo de la elipse del 75% de tolerancia se identificaba como sobrecarga de líquidos y se le aumentaban 500 mL a la cantidad de líquido ultrafiltrado establecido previamente por el médico como su peso objetivo (esto se realizó con previa consulta y autorización del médico nefrólogo encargado). Adicionalmente, se realizaron todas las mediciones desarrolladas en la etapa 1 antes y después de la sesión de HD (a excepción de la talla y los exámenes bioquímicos) para evaluar los cambios en el estado de hidratación del paciente. Esta metodología se realizó durante 3 meses consecutivos para poder establecer un peso objetivo adecuado a las características de cada paciente. Durante esta etapa, el paciente fue educado en temas de nutrición específicos para la ERCA y las patologías particulares diagnosticadas, además de recibir una dieta individualizada y personalizada.

## **Etapa 3**

En esta etapa se estableció el peso objetivo; las mediciones realizadas fueron el peso, la fuerza muscular y la presión arterial antes de la sesión de HD. Al finalizar la sesión de HD se midió nuevamente el peso y la presión arterial. El paciente continuó recibiendo educación nutricional de acuerdo con lo recomendado por las guías de práctica clínica actuales.

#### **Etapa 4**

Esta etapa consta de la evaluación final, con el fin de contrastar los cambios en las variables estudiadas al inicio y al final del estudio. Se realizaron las mismas mediciones utilizadas en la etapa 1.

### **Instrumentos y Técnicas Utilizadas Para las Mediciones**

#### **Consentimiento Informado**

Se le dio y explicó a cada participante un formato de consentimiento informado (previamente evaluado por el comité de bioética) en donde se planteaban los motivos de realización del estudio, así como los procedimientos a realizar, y en caso de haber aceptado participar, cada participante firmó el consentimiento (apéndice 11).

#### **Peso**

El peso se midió con una báscula de piso portátil SECA modelo 813. La persona debía vestir ropa ligera, bolsillos vacíos, sin zapatos, accesorios (cintos, collares, relojes, etc.); en posición de firmes, mirando hacia el frente, sin movimiento al momento de tomar la medición (Cameron, 2013). Este procedimiento se realizó antes y después de la sesión de HD.

#### **Talla**

La talla se midió con un estadiómetro portátil SECA modelo 217. El participante permaneció descalzo, recibió instrucciones para mantenerse en pie, con la espalda contra el estadiómetro de tal manera que sus talones, glúteos y las escápulas estuvieran en contacto con la placa posterior, y los talones juntos. La

cabeza se colocó en "Plano de Frankfurt", la cabecera del instrumento se movió hacia abajo para hacer contacto con el vértice del cráneo. Con el sujeto en la posición correcta, se le instruyó: "tomar una respiración profunda y mantenerse en alto". La talla se midió en el punto de inspiración sin ser aplicada presión y se anotó la última unidad terminada del lector del estadiómetro (Cameron, 2013).

### **Fuerza Muscular**

Se utilizó un dinamómetro hidráulico de mano marca JAMAR. Se le pidió al participante que se colocara de pie. Con el mango del dinamómetro establecido en la segunda ranura incremental, se le pidió al participante que lo sostuviera primero en su mano derecha. Para participantes con manos muy grandes, el codo del brazo que sostenía el dinamómetro debía estar contra su costado y doblado en un ángulo de 90° de modo que su antebrazo apuntara hacia adelante con el pulgar hacia arriba. Su muñeca recta de modo que su mano apunte hacia adelante o se doble ligeramente hacia afuera. El miembro del personal de medición apoyó el dinamómetro ligeramente con una mano y giró la aguja roja de retención de picos en sentido antihorario hasta cero. Se le explicó al participante que el mango ajustable del dinamómetro no se mueve mientras lo agarra, pero mediría la fuerza de su agarre. Se le pidió al participante que presionara el mango del dinamómetro lo más fuerte que pudiera durante aproximadamente 3 segundos. Se le animaba mientras el participante ejercía fuerza. Después de 3 segundos se le pidió al participante que parara, el dinamómetro era tomado de ellos y la fuerza máxima de agarre manual se leyó en unidades de fuerza de kilogramo completo como lo indica el escalímetro. Se hizo la misma medición en el brazo izquierdo y se duplicó para cada uno, alternando los turnos. Se tomó el valor medio de ambas mediciones para cada brazo (Massy-Westropp, Gill, Taylor, Bohannon, & Hill, 2011).

### **Circunferencia de Brazo**

Se utilizó una cinta metálica marca Lufkin. Se le pidió al paciente que se colocara de pie con el brazo derecho colgando libremente hacia un lado (en caso de tener fístula o no poder utilizar el brazo derecho se midió el brazo izquierdo). Se colocó la cinta alrededor del brazo, directamente sobre la marca del lápiz en el punto medio en la cara posterior del brazo. Se mantuvo la cinta perpendicular al eje de la parte superior del brazo. Se tiró de la cinta lo suficiente para que estuviera ajustado alrededor del brazo, para asegurar el contacto con el lado medial del brazo. Se aseguró que la cinta no estuviera tan apretada como para formar hoyuelos en la piel. Se registró la medida al milímetro más cercano. Se verificó que las dos medidas no tuvieran una diferencia mayor de 0.4 cm una de la otra. Si la diferencia era mayor, se tomaron dos medidas más y registró la media de las cuatro (ISN, 2013).

### **Pliege Cutáneo Tricipital**

Se utilizó un plicómetro marca Harpenden. Con el sujeto de pie, con los pies juntos, los hombros relajados y los brazos colgando relajados a los lados. El evaluador se paró al lado derecho del paciente (en caso de tener fístula en el brazo, se tomaba la medición del lado contrario a esta). Se ubicó el punto superior en la superficie posterior del brazo en la misma área que el punto medio marcado para la Circunferencia del brazo. Se sujetó suavemente el pliege cutáneo de la piel y el tejido adiposo subcutáneo con el dedo pulgar e índice, aproximadamente 1.0 cm por encima del punto en el que se marcó la piel, con el pliege cutáneo paralelo al eje longitudinal del brazo superior. Se colocaron las mandíbulas de las pinzas en el nivel que se marcó la piel, estas deben posicionarse perpendiculares a la longitud del dobléz. Se sostuvo el

pliegue cutáneo suavemente y se midió el grosor del pliegue cutáneo al 1 mm más cercano. Se registró la medida. Si dos medidas estaban a 4 mm una de la otra, se registraba la media. Si las medidas estaban separadas más de 4 mm, se tomaban cuatro medidas y registraba la media de las cuatro (ISN, 2013).

### **Ancho de Codo**

Se utilizó un antropómetro bicondilar marca Holtain. Se le pidió al paciente que se mantuviera erguido, con los pies juntos frente al examinador. El paciente, con el brazo derecho extendido (en caso de no poder, se midió el brazo izquierdo) hacia adelante hasta que estuviera perpendicular al cuerpo. Se flexionó el brazo del paciente de modo que el codo formara un ángulo de 90° con los dedos apuntando hacia arriba y la parte posterior de la muñeca hacia el examinador. Se sostuvo la pinza deslizante (pinza bicondilar) en un ángulo de 45° con respecto al plano del eje mayor de la parte superior del brazo y se encontró la mayor amplitud a lo largo de los epicóndilos del codo. (ISN, 2013).

### **Presión Arterial (PA)**

La medición de PA se realizó con un monitor automático incluido en el equipo de HD (Fresenius Medical Care 4008 S – OCM Kt/V). Para realizar la medición, el paciente debía que estar relajado y sentado cómodamente, a temperatura ambiente. No haberse bañado, beber alcohol o cafeína, fumar, hacer ejercicio o comer 30 minutos antes de tomar la medición. Sentado en una silla con los pies apoyados en el suelo, con la espalda recta, la banda para el brazo debía estar sobre la arterial braquial (del lado opuesto del catéter o fístula). Esta medición se realizó antes y después de HD, además del monitoreo rutinario durante la sesión.

### **Bioimpedancia Eléctrica**

Se le pidió con anterioridad al participante no realizar ejercicio 12 horas antes de la medición y no beber alcohol en las 24 horas antes de la medición de la bioimpedancia. La medición de BIA se realizó según los criterios establecidos por el “National Institute of Health Technology Assessment Conference Statement”, utilizando un sistema de monofrecuencia RJL Quantum II (RJL Systems, Inc.). Se realizó la medición antes y después de la sesión de HD. Los sujetos se colocaron en posición supina, con los brazos y piernas separados del cuerpo y las palmas de las manos hacia abajo, manteniéndose en esta posición de 5 a 10 minutos, antes de utilizar la BIA. Los electrodos se colocaron en las extremidades del lado opuesto de la fístula o catéter, situados en el dorso de la mano y el pie próximos a las articulaciones falange-metacarpales y falange-metatarsiales, y en la apófisis estiloide de la muñeca y entre el maléolo medial y lateral del tobillo, por los cuales se introdujo una corriente eléctrica imperceptible. Los datos obtenidos por este método fueron la resistencia (R) y reactancia ( $X_c$ ), con los cuales se calculó la impedancia (Z) y el ángulo de fase (AF). Los sujetos debían cumplir con las siguientes condiciones para que la medición pudiera realizarse: ayuno cuatro horas antes de la medición, no haber consumido bebidas alcohólicas durante las 48 horas anteriores a la prueba, no haber realizado ejercicio extenuante 24 horas antes de la medición, en el caso de las mujeres, no estar menstruando y no tener objetos metálicos en el cuerpo (Khalil et al., 2014; Kyle et al., 2004a, 2004b).

### **Análisis de Vectores de Bioimpedancia Eléctrica (BIVA)**

Se utilizaron los valores de las variables de R,  $X_c$  y estatura de cada uno de los individuos medidos para ser graficados sobre las elipses de referencia de población mexicana (Espinosa-Cuevas et al., 2007). Se utilizaron la R y  $X_c$  estandarizadas por la talla ( $R/\text{estatura}$  y  $X_c/\text{estatura}$ ) para graficar el vector de

los individuos dentro de los percentiles 50, 75 y 95 % de las elipses de tolerancia, diferenciados por sexo, utilizando los programas BIVA Software y BIVA Confidence 2002 (Piccoli & Pastori, 2002).

### **Pruebas de Laboratorio**

Se le tomó al paciente una muestra de sangre en ayuno antes de iniciar la sesión de HD, en la primera y última medición del estudio, con el fin de conocer el estado en que se encontraban los siguientes metabolitos: electrolitos séricos, glucosa, colesterol, triglicéridos, creatinina, BUN, albúmina, urea, linfocitos, leucocitos y hemoglobina.

### **Valoración Global Subjetiva (VGS)**

La valoración o evaluación global subjetiva (VGS) del estado nutricional, es un sistema de puntaje semicuantitativo basado en la historia y el examen físico. La historia consta de cinco componentes: pérdida de peso durante los 6 meses anteriores, síntomas gastrointestinales, ingesta de alimentos, capacidad funcional y comorbilidades. Cada una de estas características se califica por separado como A, B o C, lo que refleja las categorías bien nutrido, desnutrición leve-moderada y desnutrición severa. El examen físico incluye dos componentes: pérdida de grasa subcutánea y pérdida de masa muscular (la presencia de edema periférico o ascitis es el tercer componente del examen físico de la VGS original, por lo general no se usa en pacientes en diálisis). Estos dos componentes se clasifican de 0 a 3, y representan anomalías entre normales y severas. Los datos se califican de forma subjetiva, y los pacientes se clasifican en términos de los tres principales puntajes de la VGS: A = bien nutrido, B = desnutrición leve a moderada y C = desnutrición severa (Kalantar-Zadeh, Kopple, Block, & Humphreys, 2001).

### **Índice Nutricional de Bilbrey**

Es un instrumento que se emplea para establecer un diagnóstico nutricional del paciente. Este instrumento incluye parámetros clínicos, bioquímicos y antropométricos. Según la escala original, las categorías por la puntuación obtenida se definen como: normal = 25 puntos, desnutrición leve 26 – 28 puntos, desnutrición moderada 29 – 31 puntos, y desnutrición severa > 32 puntos (Bilbrey & Cohen, 1989). Sin embargo, en este estudio se excluyó el puntaje de transferrina, ya que no se realiza en los exámenes bioquímicos de rutina.

### **Score de Desnutrición-Inflamación (MIS, Malnutrition Inflammation Score)**

El MIS tiene 10 componentes, cada uno con cuatro niveles de severidad, de 0 (normal) a 3 (severamente anormal). La suma de los 10 componentes del MIS varía de 0 (normal) a 30 (desnutrición severa); un puntaje más alto refleja un grado más severo de desnutrición e inflamación. La hoja de puntaje consta de cuatro secciones (historia nutricional, examen físico, IMC y valores de laboratorio) y 10 componentes. La sección de historial incluye 5 componentes adoptados de la VGS. El cambio de peso se determina como el cambio en el peso corporal post hemodiálisis libre de edema en los últimos 6 meses. El puntaje más bajo (0) se da si la pérdida de peso es inferior a 0.5 Kg o si hay un aumento en el peso corporal. La puntuación 1 indica una pérdida menor de al menos 0.5 kg, pero menos de 1.0 Kg. El puntaje 2 se da para la pérdida de peso de al menos 1.0 Kg, pero menos del 5% del peso corporal, y el puntaje 3 indica una pérdida de peso del 5% o superior. La ingesta dietética se califica con 0 si es la ingesta habitual de alimentos sólidos, sin una disminución reciente en la cantidad o calidad de las comidas. Un puntaje de 1 indica una dieta sólida ligeramente subóptima, 2 indica una dieta líquida completa o una disminución moderada en la ingesta de alimentos, y 3 indica una ingesta diaria de nutrientes

que sería incompatible con la vida de forma crónica. Los síntomas gastrointestinales tienen una puntuación de 0 si el paciente tiene buen apetito y no tiene síntomas gastrointestinales; 1 si tiene una disminución leve del apetito o náuseas leves; 2 si tiene vómitos ocasionales u otros síntomas gastrointestinales moderados, como dolor abdominal; y 3 si presenta diarrea, vómitos frecuentes o anorexia severa. La capacidad funcional se califica con 0 para la capacidad funcional normal o una mejora considerable en el nivel de deterioro funcional previo. Una puntuación de 1 indica dificultad leve u ocasional con la deambulación de la línea de base o cansancio frecuente; 2, dificultad con actividades independientes; y 3, restricción a la actividad ligera o un estado persistente de cama y/o silla. Al igual que en la versión modificada de la VGS, la comorbilidad incluye la edad (número de años en terapia de diálisis) porque el elemento del tiempo puede influir en el grado de malnutrición e inflamación. Por lo tanto, la comorbilidad obtuvo 0 si no hay otras enfermedades médicas y el paciente tiene al menos 1 años de evolución en HD; El puntaje 1, comorbilidad leve, excluyendo comorbilidad tan importante como insuficiencia cardíaca congestiva clase III o IV, enfermedades graves de las arterias coronarias, síndrome de inmunodeficiencia adquirida clínicamente evidente, enfermedad pulmonar obstructiva crónica moderada a severa y tumores malignos metastásicos o terapia de diálisis por 1 a 4 años. El puntaje 2, comorbilidad moderada o terapia de diálisis por más de 4 años; y el puntaje 3, dos o más comorbilidades mayores. La sección de examen físico consta de dos componentes. Las reservas de grasa corporal se puntúan evaluando la deposición subcutánea de grasa en cuatro áreas del cuerpo, es decir, debajo de los ojos, tríceps, bíceps, y pecho. Los signos de desgaste muscular son obtenidos al examinar brevemente siete sitios: el área temporal del cráneo, clavícula, omóplato, costillas (espacios intercostales), cuádriceps, rodilla, y músculos interóseos. Para cada uno de estos dos componentes, se da una puntuación de 0 a 3, que representa cambios de normal a grave, se asigna de

acuerdo con las directrices convencionales de la VGS. El peso corporal ajustado por la altura en el sistema de puntaje tiene un valor predictivo de mortalidad para la diálisis. El índice de masa corporal (IMC), una relación de peso de diálisis final (en kilogramos) a la altura al cuadrado (en metros cuadrados), fue seleccionado para representar el peso estandarizado en altura. El IMC se califica en cuatro niveles, de 0 a 3, que representa un IMC mayor que 20, 18 a 19.99, 16 a 17.99 y menos de 16 Kg/m<sup>2</sup>, respectivamente. La cuarta sección del MIS incluye dos valores de laboratorio. El nivel de albúmina sérica es frecuentemente un fuerte predictor de mortalidad entre pacientes con ERC, y la hipoalbuminemia puede representar una respuesta a la inflamación (reacción de fase aguda), así como una baja ingesta de proteínas. La capacidad total de fijación de hierro (TIBC, por sus siglas en inglés) refleja la concentración de transferrina sérica y correlaciona significativamente con buen estado nutricional en pacientes en diálisis, aunque también cambia con la inflamación y las fluctuaciones del hierro almacenado. Por lo tanto, estos dos valores de laboratorio comprenden 20% del puntaje total de MIS (Kalantar-Zadeh et al., 2001).

### **Análisis Estadístico**

Todas las variables tuvieron una distribución normal y homogeneidad de varianza. Para el análisis de los datos se utilizó el paquete estadístico NCSS versión 10. Se aplicaron pruebas t de Student de muestras relacionadas para buscar diferencias por grupo de tiempo inicial y final. El análisis de los parámetros de presión arterial sistólica y diastólica, fuerza muscular y propiedades eléctricas del cuerpo a través del tiempo, se llevó a cabo utilizando las mediciones semanales durante 6 meses. Se construyeron modelos de regresión polinomial y sus respectivos gráficos para las variables anteriormente mencionadas. Para determinar la significancia de cada polinomio de grado “n”

se calculó el valor de  $t$ , a partir de los pares de valores de los coeficientes sobre el error del estimador. Los grados de libertad para la ubicación tabular de la  $t$  ( $\alpha = 0.05$ ) se calcularon como  $n-x$ , donde la  $n$  corresponde a los pares de valores de cada polinomio y la  $x$ , el número de coeficientes +1. Para el análisis de los vectores y conglomerados de BIA se utilizaron los programas BIVA Software y BIVA confidence (Piccoli & Pastori, 2002).

### **Aprobación Bioética**

Todos los procedimientos se realizaron con base en las normas éticas y aprobación del Comité de Bioética en Investigación del Departamento de Medicina y Ciencias de la Salud de la Universidad de Sonora, además del Comité de Bioética del Hospital donde se llevó a cabo el estudio, y de acuerdo con la Asociación Médica Mundial y la Declaración de Helsinki.

### **Registro en Clinical Trails**

Se registró el proyecto y fue aprobado para su realización en la plataforma Clinical Trails, con número de ID: NCT03232515.

## RESULTADOS

Al inicio del estudio, 45 pacientes con ERCA en tratamiento sustitutivo de HD fueron evaluados, de los cuales 20 fueron mujeres y 25 hombres. La edad en años cumplidos fue  $47 \pm 3$  y  $51 \pm 11$  respectivamente. En la tabla II se muestran las medidas antropométricas evaluadas al inicio, de las cuales, sólo la talla y el pliegue cutáneo tricipital fueron diferentes entre hombres y mujeres. El promedio de líquido ultrafiltrado por sesión de HD fue de 2,100 mL para ambos sexos (tabla II).

De los 45 pacientes que iniciaron el estudio, 35 (15 mujeres y 20 hombres) llegaron a la medición final a los 6 meses, debido a diversos factores como defunción (n=2), cambio de residencia/unidad médica o abandono del tratamiento (n=8). Las variables antropométricas mencionadas anteriormente no fueron diferentes al ser comparadas al inicio y final del estudio.

Tomando como indicadores al peso/talla, pliegue cutáneo tricipital, Circunferencia de brazo, Circunferencia muscular del brazo, albúmina, cuenta total de linfocitos, colesterol y valoración global subjetiva (VGS), se obtuvo el puntaje del índice de Bilbrey, el cual clasificó al 72% y 83% de los pacientes con algún grado de desnutrición al inicio y final del estudio respectivamente.

**Tabla II.** Características antropométricas iniciales

Variable	Mujeres (n = 20) (Media $\pm$ DE)	Hombres (n = 25) (Media $\pm$ DE)	p
Edad (años cumplidos)	47.8 $\pm$ 13.2	51.6 $\pm$ 11	0.30
Talla (m)	1.55 $\pm$ 0.07	1.67 $\pm$ 0.07	<0.001
Peso post-HD (Kg)	65.5 $\pm$ 17	73.8 $\pm$ 13.2	0.08
IMC post-HD (Kg/m <sup>2</sup> )	27.1 $\pm$ 5.96	26.5 $\pm$ 3.56	0.66
PCT (mm)	23.6 $\pm$ 5.82	16.2 $\pm$ 5.86	<0.001
Circunferencia de brazo (cm)	31.5 $\pm$ 5.33	30.8 $\pm$ 3.60	0.59
Ultrafiltrado (mL)	2125 $\pm$ 946	2148 $\pm$ 871	0.93

IMC: índice de masa corporal.

post-HD: después de la sesión de hemodiálisis.

PCT: pliegue cutáneo tricipital.

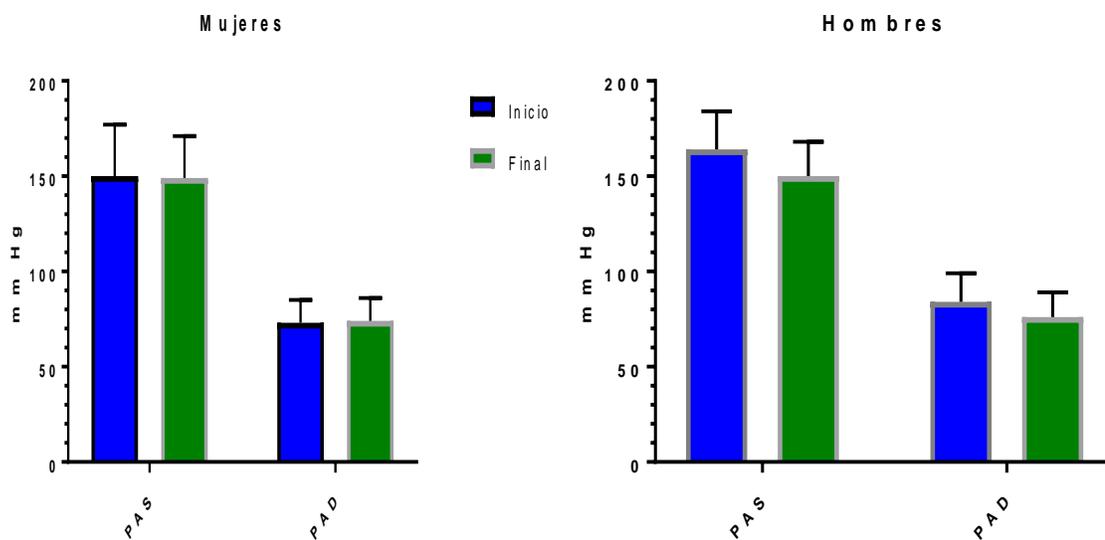
## **Presión Arterial y Fuerza Muscular**

### **Presión Arterial: Inicio vs Final**

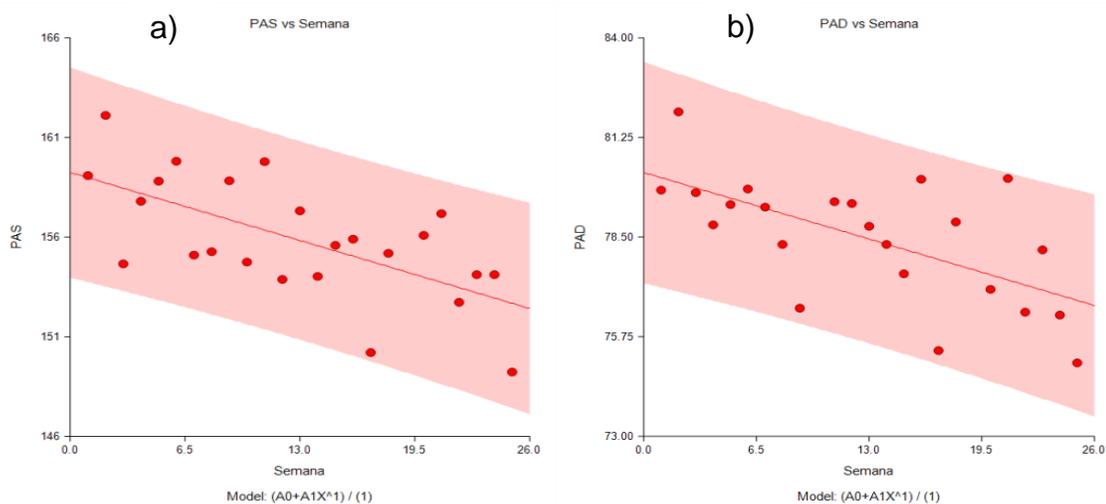
En la figura 2 se observa que no hubo cambios en las mujeres en presión arterial sistólica (PAS) y diastólica (PAD) después de 6 meses ( $p > 0.05$ ), sin embargo, en los hombres se observó una disminución de 14 mmHg ( $p = 0.02$ ) en la PAS y de 8 mmHg en la PAD ( $p = 0.013$ ). La información detallada de la figura 2 se encuentra en el apéndice 12.

### **Presión Arterial: Análisis en el Tiempo**

En la figura 3 se puede apreciar el comportamiento a lo largo del tiempo de la PAS y PAD, respectivamente. En el caso de la PAS se aprecia una tendencia a disminuir su promedio conforme pasan las semanas, con una  $R^2 = 0.42$  (EES = 2.35;  $p < 0.001$ ), mientras que para la PAD el comportamiento es similar, con una  $R^2 = 0.39$  (EES = 1.36;  $p < 0.001$ ). La información detallada de la figura 3 se encuentra en el apéndice 16, donde se muestran los componentes del modelo de regresión polinomial.



**Figura 2.** Cambios en la presión arterial sistólica (PAS) y diastólica (PAD) por sexo, inicio contra final.



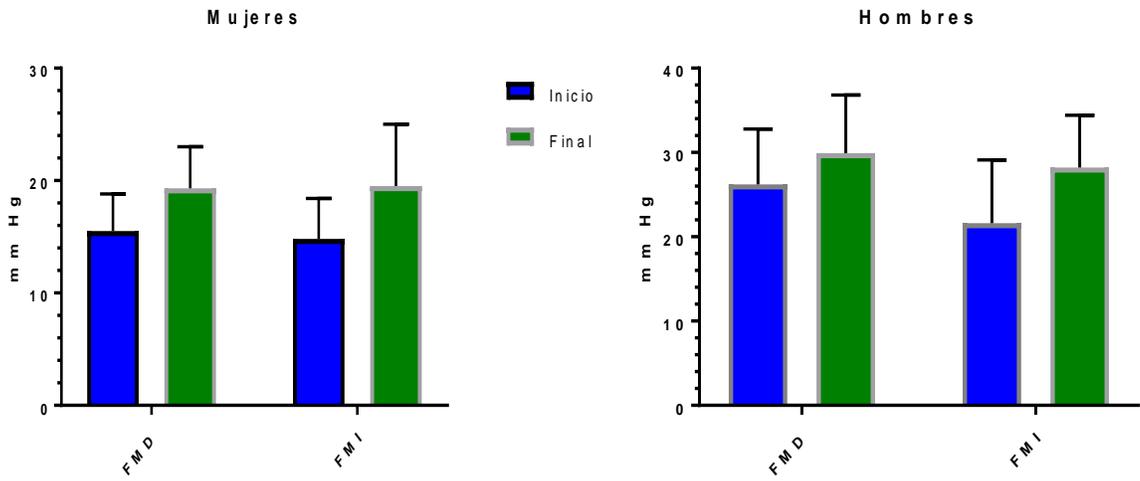
**Figura 3.** Comportamiento de la presión arterial sistólica (a) y diastólica (b) a lo largo del tiempo.

### **Fuerza Muscular: Inicio vs Final**

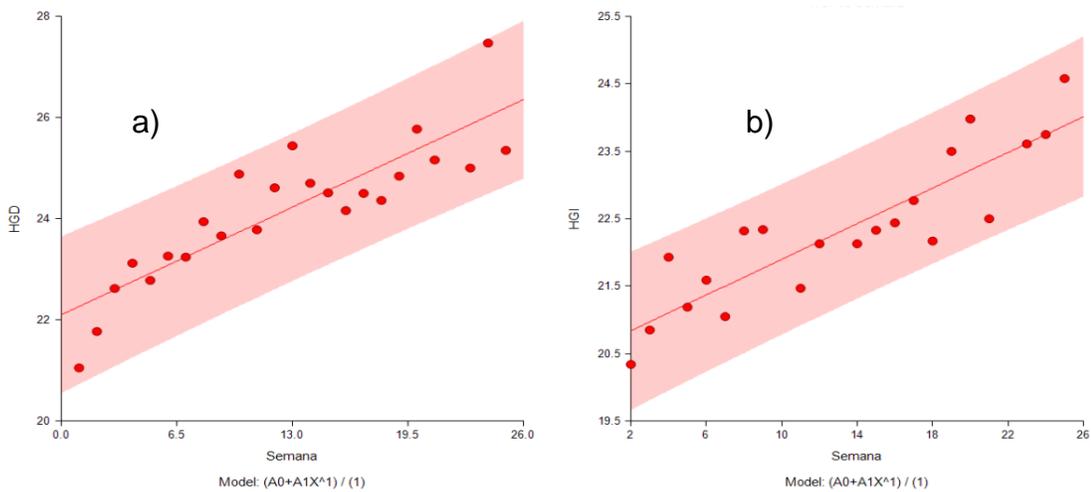
En la figura 4 se puede observar el cambio en la fuerza muscular aplicada con las manos, resultado de la prueba de dinamometría en hombres y mujeres, al inicio y final del estudio. Tanto los hombres como las mujeres lograron aumentar significativamente la fuerza aplicada con la mano derecha (Hombres: + 3.7 Kg,  $p = 0.024$ ; Mujeres: + 3.8 Kg,  $p = 0.005$ ) e izquierda (Hombres: + 6.6 Kg,  $p = 0.006$ ; Mujeres: + 4.7 Kg,  $p = 0.007$ ) después de 6 meses. La información detallada de la figura 4 se encuentra en el apéndice 14.

### **Fuerza Muscular: Análisis en el Tiempo**

En los gráficos 5 se puede apreciar el comportamiento a lo largo del tiempo de la fuerza aplicada con la mano derecha (FAMD) e izquierda (FAMI) respectivamente. En el caso de la FAMD se aprecia una tendencia a aumentar su promedio conforme pasan las semanas, con una  $R^2 = 0.76$  (EES = 0.69;  $p < 0.001$ ), mientras que, para la FAMI, el comportamiento es similar, con una  $R^2 = 0.78$  (EES = 0.52;  $p < 0.001$ ). La información detallada de la figura 5 se encuentra en el apéndice 16, donde se muestran los componentes del modelo de regresión polinomial.



**Figura 4.** Cambios en la fuerza muscular aplicada por dinamometría con mano derecha (FMD) e izquierda (FMI) por sexo, inicio contra final.



**Figura 5.** Comportamiento de la fuerza muscular aplicada por dinamometría con mano derecha (a) e izquierda (b) a lo largo del tiempo.

## **Bioimpedancia Eléctrica (BIA)**

### **Propiedades Eléctricas del Cuerpo: Inicio vs Final**

Los cambios de las propiedades eléctricas del cuerpo en mujeres y hombres al inicio contra final del estudio se muestran en la tabla III. A pesar de que los valores de R y Xc mostraron un comportamiento positivo, no se encontraron diferencias en hombres y mujeres al compararlos al inicio contra el final del estudio. Tanto la R, Xc y AF no tuvieron un cambio estadísticamente significativo al comparar la medición inicial contra la final del estudio.

### **Propiedades Eléctricas del Cuerpo: Análisis en el Tiempo**

Para el análisis de las propiedades eléctricas del cuerpo a través del tiempo se tomaron en cuenta las mediciones de la etapa 2 de la metodología anteriormente descritas. Sin embargo, se excluyó la semana 10 debido al bajo número de sujetos evaluados.

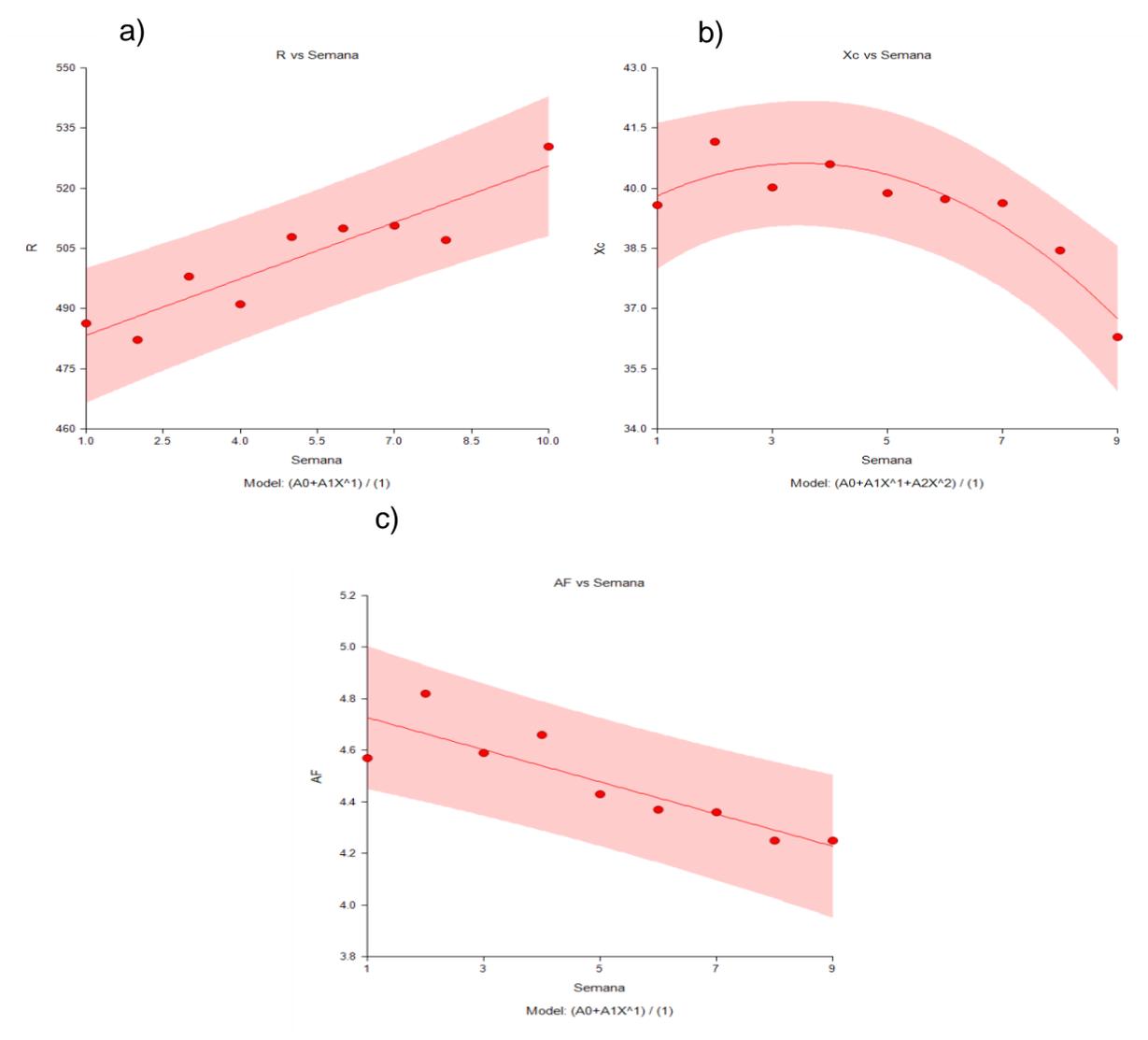
En la figura 6 se puede apreciar el comportamiento a lo largo del tiempo de la R, Xc y AF, respectivamente. En el caso de la R se aprecia una tendencia positiva a conforme pasan las semanas, con una  $R^2 = 0.85$  (EES = 6.1;  $p < 0.001$ ), mientras que, para la Xc y el AF, el comportamiento es el opuesto, con una  $R^2 = 0.87$  (EES = 0.58;  $p < 0.01$ ) y  $R^2 = 0.77$  (EES = 0.1;  $p < 0.001$ ) respectivamente.

En el caso de la Xc se utilizó un modelo cuadrático para su análisis, ya que este se ajustaba mejor al comportamiento de la variable. La información detallada de la figura 6 se encuentra en el apéndice 16, donde se muestran los componentes del modelo de regresión polinomial.

**Tabla III.** Cambios en las propiedades eléctricas del cuerpo por género post hemodiálisis inicio vs final.

Propiedades eléctricas	Mujeres (n = 15) (Media ± DE)				Hombres (n = 20) (Media ± DE)			
	Inicio	Final	Cambio	p	Inicio	Final	Cambio	p
R (ohms)	548 ± 84	566 ± 92	+18	0.245	444 ± 85	464 ± 86	+20	0.287
Xc (ohms)	43 ± 13	47 ± 11	+4	0.071	38 ± 16	41 ± 13	+4	0.192
AF	4.2 ± 0.9	4.2 ± 0.8	+0.07	0.497	4.4 ± 1	4.4 ± 0.9	-0.04	0.749

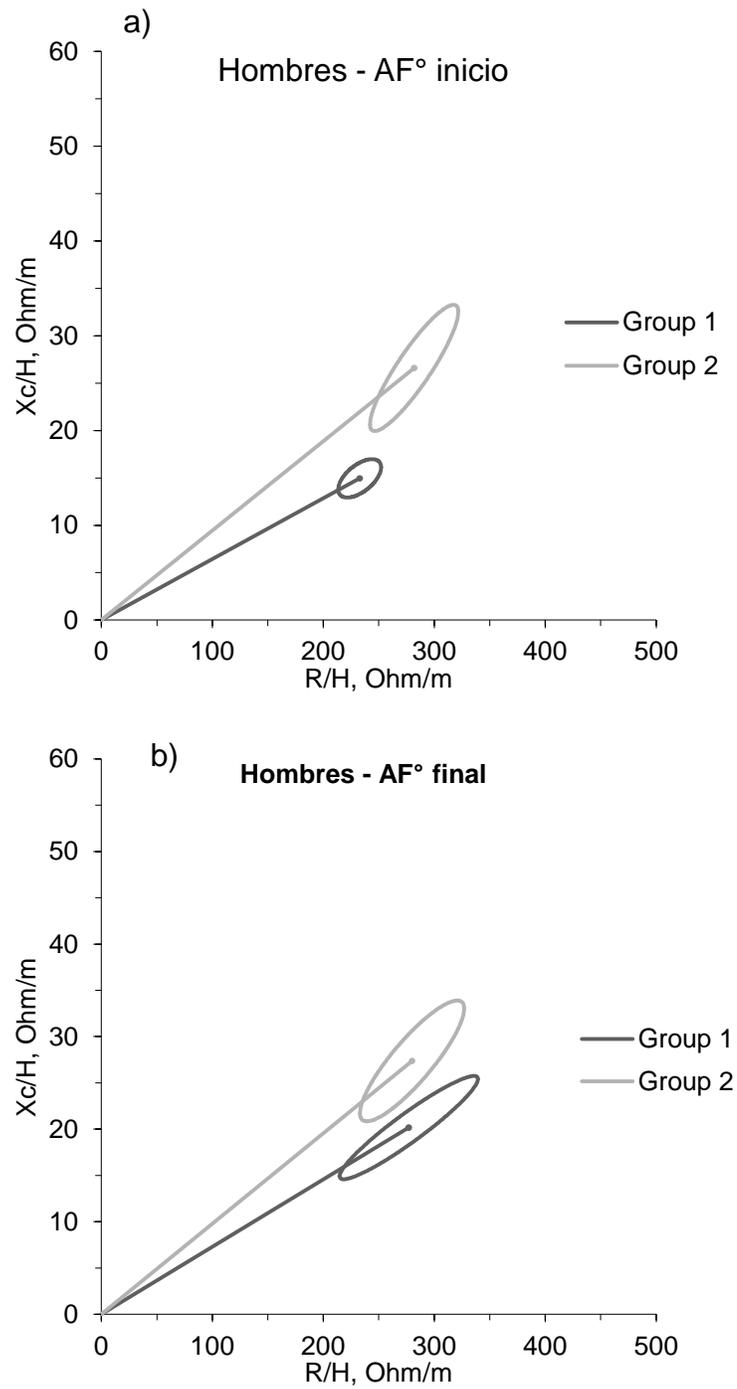
R: Resistencia, Xc: Reactancia, AF: Ángulo de fase.



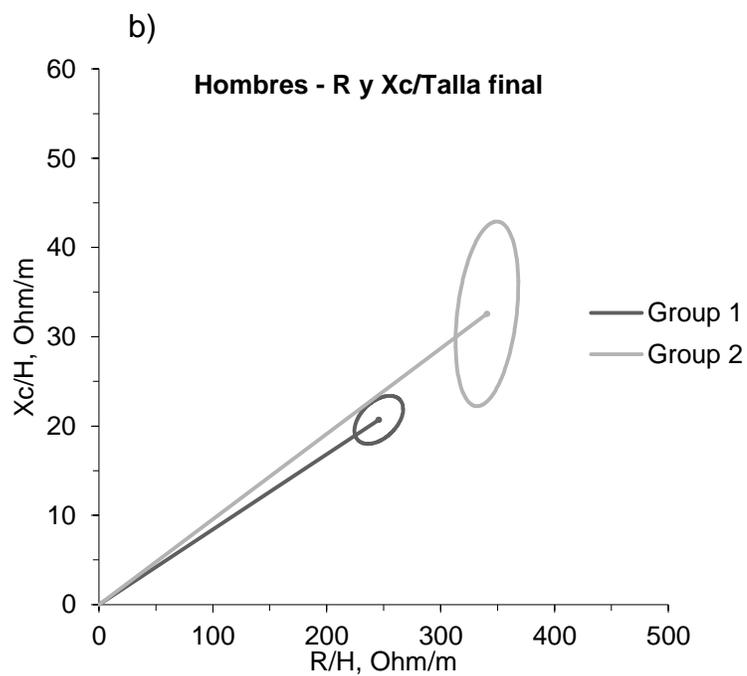
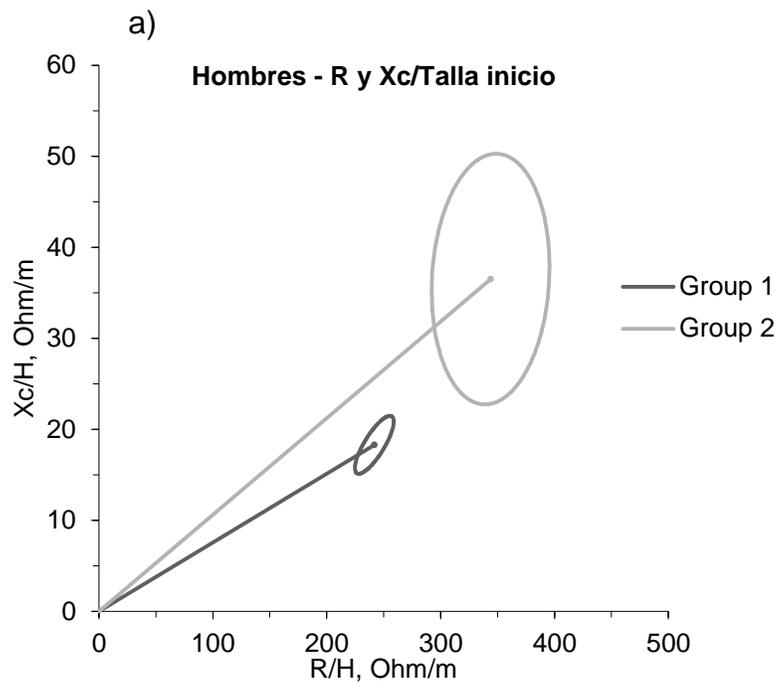
**Figura 6.** Comportamiento de las propiedades eléctricas del cuerpo, R-resistencia (a), Xc-reactancia (b) y AF-ángulo de fase (c) a lo largo del tiempo.

### **Análisis de Vectores de BIA**

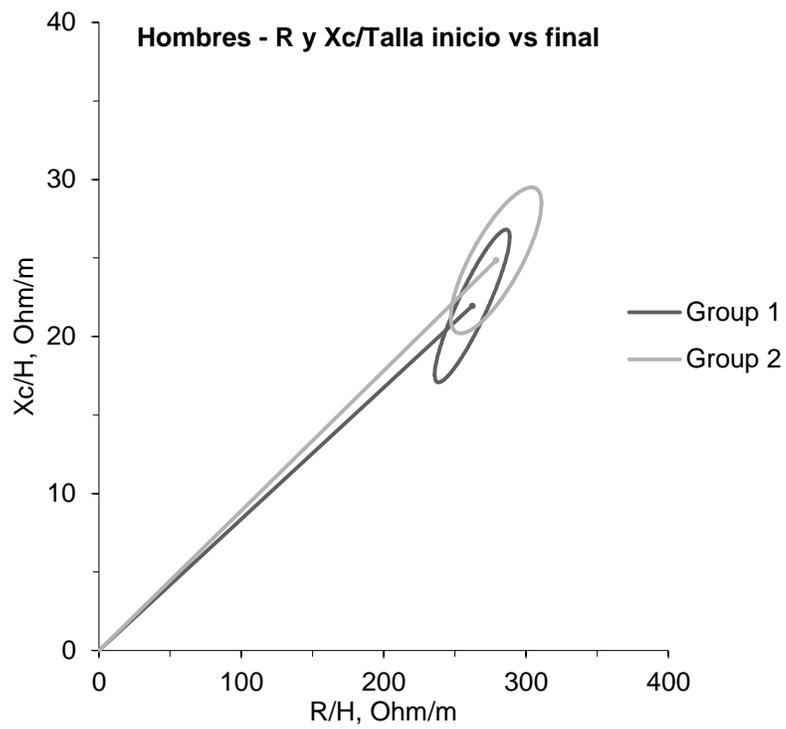
Las figuras 7-9 presentan los comparativos por los conglomerados conformados por los pacientes dependiendo de los valores de AF, R/T y Xc/T al inicio y final del estudio, además de comparar el cambio de R y Xc/T inicio vs final del estudio en hombres (apéndice 17), mientras que las figuras 10-12 muestran lo mismo para el caso de las mujeres (apéndice 18). En todos los análisis se observan diferencias significativas de los conglomerados analizados ( $p < 0.002$ ) a excepción de la comparación de R y Xc/T inicio vs final en hombres y mujeres. Para este último análisis también se presenta en la sección de apéndices (apéndices 19-22) el desplazamiento individual de los vectores de los pacientes.



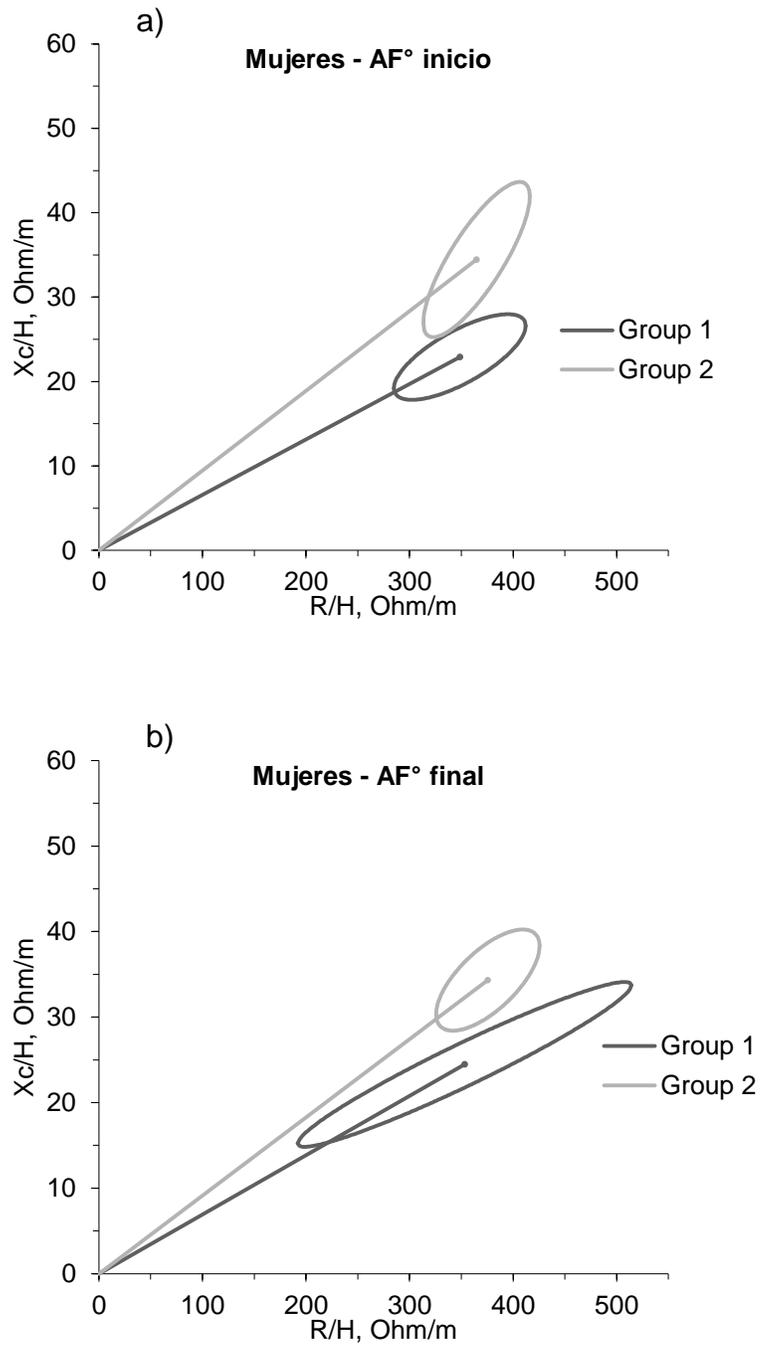
**Figura 7.** Comportamiento de los conglomerados de los hombres según el ángulo de fase al inicio (a) y final (b) del estudio.



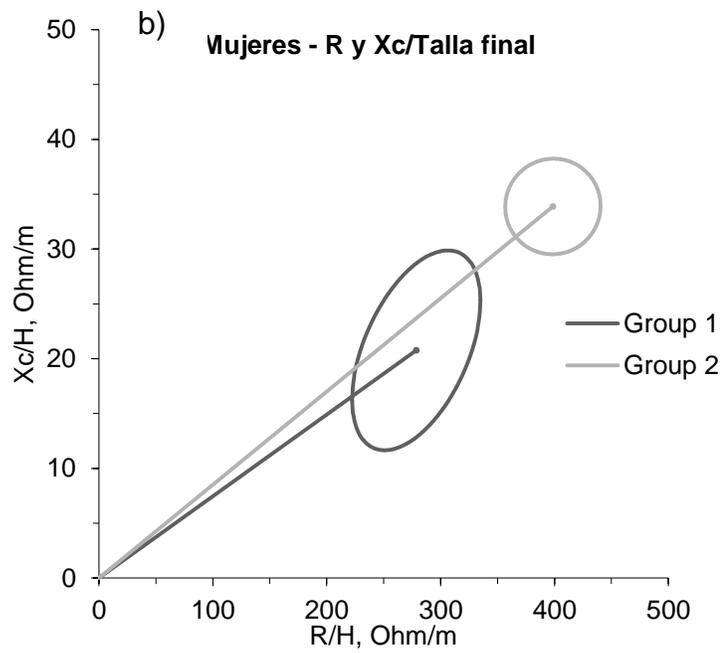
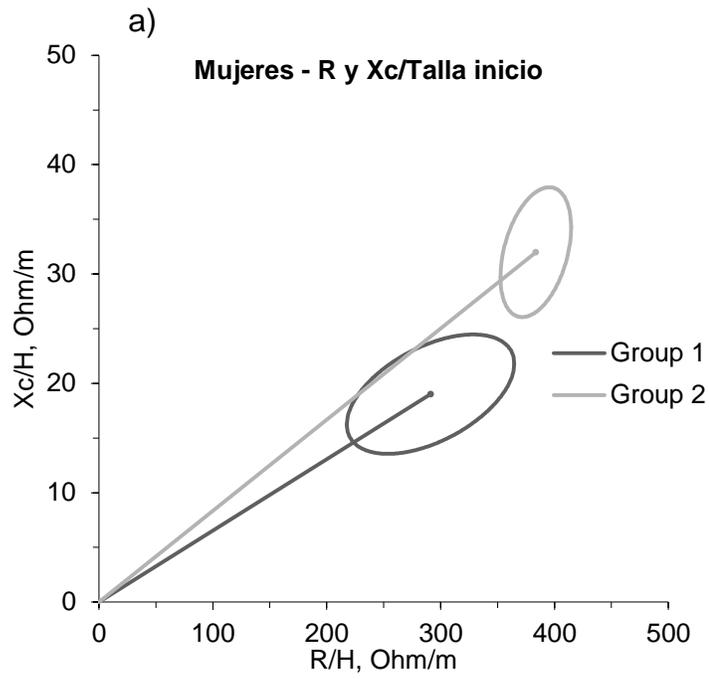
**Figura 8.** Comportamiento de los conglomerados de los hombres según la resistencia y reactancia al inicio (a) y final (b) del estudio.



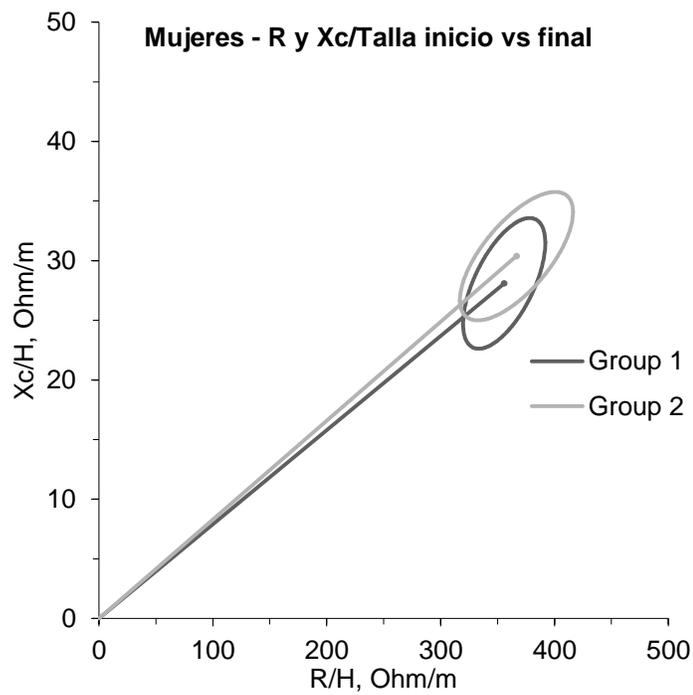
**Figura 9.** Desplazamiento de los conglomerados de los hombres según los cambios en la resistencia y reactancia al inicio y final del estudio.



**Figura 10.** Comportamiento de los conglomerados de las mujeres según el ángulo de fase al inicio (a) y final (b) del estudio.



**Figura 11.** Comportamiento de los conglomerados de las mujeres según la resistencia y reactancia al inicio (a) y final (b) del estudio.



**Figura 12.** Desplazamiento de los conglomerados de las mujeres según los cambios en la resistencia y reactancia al inicio y final del estudio.

## DISCUSIÓN

La evaluación del peso seco en pacientes en hemodiálisis no es una tarea fácil, ya que no hay métodos adecuados para estimarlo y los parámetros clínicos disponibles reflejan mal la remoción de líquido, lo que puede implicar complicaciones en el estado general del paciente. Es por lo anterior, que se requiere un método objetivo que permita su cálculo diario. Para este propósito, la impedancia con enfoque vectorial es un método sencillo, de bajo costo y no invasivo; que puede ser de gran utilidad en la práctica clínica (Atilano-Carsi et al., 2015; Espinosa-Cuevas et al., 2010).

La desnutrición proteico-energética (DPE) es muy común en pacientes con enfermedad renal crónica. La pérdida de fuerza muscular aplicada con la mano se considera un parámetro nutricional confiable que refleja la pérdida de masa muscular y esto se asocia con la DPE (Hasheminejad, Namdari, Mahmoodi, Bahrapour, & Azmandian, 2016). Los resultados obtenidos en este estudio indicaron que hubo mejoría en el estado de nutrición de los pacientes; al presentar un incremento en la fuerza muscular aplicada con la mano, sugiriendo también, un incremento de masa muscular.

En este estudio se utilizó el índice nutricional de Bilbrey para evaluar el estado de nutrición de los pacientes. Los resultados obtenidos por este índice demostraron una alta prevalencia de desnutrición en la población estudiada (72%), la cual coincide con los valores observados en otros estudios (prevalencia de desnutrición del 20-80%) (ISN, 2013).

Los valores de las propiedades eléctricas del cuerpo (R, Xc y AF) de la población estudiada antes y después de la sesión de HD se asemejan a los presentados en la literatura estudiada actual (Atilano-Carsi et al., 2015; Jankowska, Debska-Slizien, & Rutkowski, 2006).

Asimismo, el análisis de vectores de BIA mostró que, al finalizar el estudio, sólo 8 de los 35 pacientes (6 mujeres y 2 hombres) se encuentran dentro de las elipses que indican un estado de hidratación normal (elipses del 50 y 75% de tolerancia), mientras que el resto se encuentra en algún grado de sobrehidratación. En general, tanto en hombres como mujeres se puede apreciar un desplazamiento de los vectores ubicados en la parte inferior hacia la parte central del gráfico, que se interpreta como una mejoría en el estado nutricional e hidratación de los pacientes. Esto concuerda con el estudio realizado por Espinosa et al (Espinosa-Cuevas et al., 2010), en el cual se puede apreciar el mismo patrón de comportamiento de los vectores.

En la literatura, se ha descrito que, una disminución del ángulo de fase se asocia con mayor riesgo de mortalidad a largo plazo. Valores por debajo de 6 en pacientes con TRR de HD se asocian a una menor supervivencia (Atilano-Carsi et al., 2015; Fein et al., 2002; Jankowska et al., 2006; Oliveira et al., 2010). Al inicio de este estudio se observó un declive del AF en las primeras semanas (etapa 2). Cabe destacar que no se pudo seguir realizando mediciones de BIA periódicas a lo largo de todo el estudio, por lo que se desconoce el comportamiento y la razón de que no se presentaran cambios al comparar los resultados de inicio y final (AF = 4). Sin embargo, el mantenimiento del ángulo de fase después de 6 meses podría ser un indicador de que no hubo un deterioro en la composición corporal y salud del paciente.

A pesar del cambio en los vectores de ambos sexos al final del estudio no mostró diferencias estadísticas, sin embargo, puede observarse un claro desplazamiento de la media del vector grupal hacia una posición superior-central en las elipses para ambos sexos, lo anterior corresponde a una menor cantidad de agua corporal.

Cabe destacar que una de las variables que puede ser de relevancia es el sexo de los pacientes, ya que, en la población estudiada, se observó que los

hombres suelen contar con el apoyo de un cuidador de forma permanente. Por otro lado, las mujeres no contaban con este tipo de apoyo; lo cual tal vez podría explicar que los hombres mostraran mejor apego al tratamiento, al seguimiento de las recomendaciones y por consiguiente, mejores resultados.

El estudio presenta varias limitaciones que se señalan a continuación:

- El tamaño de muestra, consecuencia del elevado número de pacientes que tuvieron que ser excluidos o eliminados antes y durante la fase de reclutamiento y medición.
- Idealmente, un seguimiento con mediciones de BIA a los pacientes durante todo el estudio hubiera permitido evaluar con mayor detalle el cambio en los patrones de los vectores, así como de las propiedades eléctricas del cuerpo. Sin embargo, esto no pudo realizarse debido a la falta de recursos.
- La reducida cantidad de pruebas bioquímicas para comparar los cambios a través del tiempo, las cuales podrían ser de gran utilidad para hacer una evaluación del estado de nutrición con mayor profundidad.
- EL diseño de estudio de antes y después tiene limitaciones para inferir causalidad, además de que el presente estudio no tuvo una aleatorización de los pacientes en grupo de intervención y control.

## **CONCLUSIÓN**

Se observó una mejora del estado de hidratación de los pacientes evidenciado por el aumento en la fuerza muscular en ambos sexos, la mejora en las cifras de PAS y PAD en los hombres y el desplazamiento de los vectores de BIA hacia la parte central de las elipses. Con estos datos concluimos que la adecuación del peso objetivo guiado con el BIVA mejora el estado de hidratación y salud en general de los pacientes con ERC-HD.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alcazar, R., Orte, L., & Otero, A. (2008). Advanced chronic kidney disease. *Nefrología*, 28 Suppl 3, 3-6.
- Atilano-Carsi, X., Miguel, J. L., Martinez-Ara, J., Sanchez-Villanueva, R., Gonzalez-Garcia, E., & Selgas-Gutierrez, R. (2015). Bioimpedance vector analysis as a tool for the determination and adjustment of dry weight in patients undergoing hemodialysis. *Nutr Hosp*, 31(5), 2220-2229. doi:10.3305/nh.2015.31.5.8649
- Bilbrey, G., & Cohen, T. (1989). Identification and treatment of protein calorie malnutrition in chronic hemodialysis patients. *Dial and Transp*, 18, 9.
- Cameron, N. (2013). Essential anthropometry: Baseline anthropometric methods for human biologists in laboratory and field situations. *American Journal of Human Biology*, 25(3), 291-299. doi:10.1002/ajhb.22388
- Caplin, B., Kumar, S., & Davenport, A. (2011). Patients perspective of haemodialysis-associated symptoms. *Nephrol Dial Transplant*, 26(8), 2656-2663. doi:10.1093/ndt/gfq763
- Chronic Kidney Disease - World Kidney Day. (2018). Retrieved from <http://www.worldkidneyday.org/faqs/chronic-kidney-disease/>
- Daugirdas, J., Depner, T., Inrig, J., Mehrotra, R., Rocco, M., Suri, R., . . . Brereton, L. (2015). KDOQI Clinical Practice Guideline for Hemodialysis Adequacy: 2015 Update. *American Journal of Kidney Diseases*, 66(5), 884-930. doi:10.1053/j.ajkd.2015.07.015
- Durán-Arenas, L., Ávila-Palomares, P., Zendejas-Villanueva, R., Vargas-Ruiz, M., Tirado-Gómez, L., & López-Cervantes, M. (2011). Costos directos de la hemodiálisis en unidades públicas y privadas. *Salud pública Méx*, 53, 516-524.

- Earthman, C., Traugher, D., Dobratz, J., & Howell, W. (2007). Bioimpedance spectroscopy for clinical assessment of fluid distribution and body cell mass. *Nutr Clin Pract.*, 22(4), 7. doi:10.1177/0115426507022004389
- Espinosa-Cuevas, M., Rivas-Rodríguez, L., González-Medina, E., Atilano-Carsi, X., Miranda-Alatraste, P., & Correa-Rotter, R. (2007). Bioimpedance vector analysis for body composition in Mexican population. *Revista de Investigacion Clinica*, 59(1), 15-24.
- Espinosa-Cuevas, M., Rodriguez, G., Martinez, M., Atilano-Carsi, X., Alatraste, P., Gutiérrez, T., & Correa-Rotter, R. (2010). Body fluid volume and nutritional status in hemodialysis: Vector bioelectric impedance analysis. *Clinical Nephrology*, 73(4), 300-308.
- Fein, P., Gundumalla, G., Jordan, A., Matza, B., Chattopadhyay, J., & Avram, M. (2002). Usefulness of bioelectrical impedance analysis in monitoring nutrition status and survival of peritoneal dialysis patients. *Adv Perit Dial*, 18, 195-199.
- Glasscock, R., Warnock, D., & Delanaye, P. (2017). The global burden of chronic kidney disease: estimates, variability and pitfalls. *Nat Rev Nephrol*, 13(2), 104-114. doi:10.1038/nrneph.2016.163
- Gorostidi, M., Santamaría, R., Alcázar, R., Fernández-Fresnedo, G., Galcerán, J., Goicoechea, M., . . . Ruilope, L. (2014). Documento de la Sociedad Española de Nefrología sobre las guías KDIGO para la evaluación y el tratamiento de la enfermedad renal crónica. *Nefrologia*, 34, 15.
- Guzmán-Guillén, K., Fernández de Córdova-Aguirre, J., Mora-Bravo, F., & Vintimilla-Maldonado, J. (2014). Prevalencia y factores asociados a enfermedad renal crónica. *Revista Médica Del Hospital General De México*, 77(3), 108-113. doi:<https://doi.org/10.1016/j.hgmx.2014.06.001>
- Habas, E., Rayani, A., & Khammaj, A. (2012). Long-term Complications of Hemodialysis. *Sebha Medical Journal*, 11(1), 7.

- Hasheminejad, N., Namdari, M., Mahmoodi, M. R., Bahrampour, A., & Azmandian, J. (2016). Association of Handgrip Strength With Malnutrition-Inflammation Score as an Assessment of Nutritional Status in Hemodialysis Patients. *Iran J Kidney Dis*, 10(1), 30-35.
- Himmelfarb, J., & Ikizler, T. (2010). Hemodialysis. *N Engl J Med*, 363, 13. doi:10.1056/NEJMra0902710
- Horspool, S. (2016). Global Burden of Disease Study 2015 outlines chronic kidney disease as a cause of death worldwide. Retrieved from <https://www.theisn.org/news/item/2969-global-burden-of-disease-study-2015-outlines-chronic-kidney-disease-as-a-cause-of-death-worldwide>
- IHME. (2016). Institute for Health Metrics and Evaluation. The Global Burden of Disease: Mexico. Retrieved from <http://www.healthdata.org/mexico?language=149>
- ISN. (2012a). KDIGO Clinical Practice Guideline for Acute Kidney Injury. *Kidney International Supplements*, 2(1), 138. doi:10.1038/kisup.2012.1
- ISN. (2012b). KDIGO Clinical Practice Guideline for the Management of Blood Pressure in Chronic Kidney Disease. *Kidney International Supplements*, 2, 414. doi:doi:10.1038/kisup.2012.46
- ISN. (2013). KDIGO 2012 Clinical Practice Guideline for the Evaluation and Management of Chronic Kidney Disease. *Kidney International Supplements*, 3, 150. doi:doi:10.1038/kisup.2012.73
- ISN. (2017). KDIGO 2017 Clinical Practice Guideline Update for the Diagnosis, Evaluation, Prevention, and Treatment of Chronic Kidney Disease—Mineral and Bone Disorder (CKD-MBD). *Kidney International Supplements*, 7, 59. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.kisu.2017.04.001>
- Jankowska, M., Debska-Slizien, A., & Rutkowski, B. (2006). Bioelectrical Impedance Analysis Before Versus After a Hemodialysis Session in Evaluation of Nutritional Status. *Journal of Renal Nutrition*, 16(2), 4.

- Jian, Y., Li, X., Cheng, X., Chen, Y., Liu, L., Tao, Z., & Zuo, L. (2014). Comparison of bioimpedance and clinical methods for dry weight prediction in maintenance hemodialysis patients. *Blood Purif*, 37(3), 214-220. doi:10.1159/000362109
- Kalantar-Zadeh, K., Kopple, J., Block, G., & Humphreys, M. (2001). A Malnutrition-Inflammation Score is correlated with morbidity and mortality in maintenance hemodialysis patients. *American Journal of Kidney Diseases*, 38(6), 1251-1263. doi:10.1053/ajkd.2001.29222
- Khalil, S., Mohktar, M., & Ibrahim, F. (2014). The Theory and Fundamentals of Bioimpedance Analysis in Clinical Status Monitoring and Diagnosis of Diseases. *Sensors*, 14, 33. doi:10.3390/s140610895
- Komenda, P., Ferguson, T., Macdonald, K., Rigatto, C., Koolage, C., Sood, M., & Tangri, N. (2014). Cost-effectiveness of Primary Screening for CKD: A Systematic Review. *American Journal of Kidney Diseases*, 63(5), 789-797. doi:10.1053/j.ajkd.2013.12.012
- Kyle, U., Bosaeus, I., De-Lorenzo, A., Deurenberg, P., Elia, M., Gomez, J., . . . Pichard, C. (2004a). ESPEN Guidelines for bioelectrical impedance analysis (part 1: review of principles and methods). *Clinical Nutrition*, 23, 17.
- Kyle, U., Bosaeus, I., De-Lorenzo, A., Deurenberg, P., Elia, M., Gomez, J., . . . Pichard, C. (2004b). ESPEN Guidelines for bioelectrical impedance analysis (part 2: utilization in clinical practice). *Clinical Nutrition*, 23, 21.
- Levey, A., Stevens, L., & Coresh, J. (2009). Conceptual model of CKD: applications and implications. *Am J Kidney Dis*, 53(3 Suppl 3), S4-16. doi:10.1053/j.ajkd.2008.07.048
- Lozano, R., Gómez-Dantés, H., Garrido-Latorre, F., Jiménez-Corona, A., Campuzano-Rincón, J., Franco-Marina, F., . . . Murray, C. (2015). Burden of disease, injuries, risk factors and challenges for the health system in Mexico. 55. doi:<http://saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/7304>

- Massy-Westropp, N., Gill, T., Taylor, A., Bohannon, R., & Hill, C. (2011). Hand Grip Strength: age and gender stratified normative data in a population-based study. *BMC Research Notes*, 4, 127-127. doi:10.1186/1756-0500-4-127
- Morfin, J., Fluck, R., Weinhandl, E., Kansal, S., McCullough, P., & Komenda, P. (2016). Intensive Hemodialysis and Treatment Complications and Tolerability. *Am J Kidney Dis*, 68(5), 8. doi:<http://dx.doi.org/10.1053/j.ajkd.2016.05.021>
- Méndez-Durán, A., Méndez-Bueno, F., Tapia-Yáñez, T., Muñoz-Montes, A., & Aguilar-Sánchez, L. (2010). Epidemiología de la enfermedad renal crónica en México. *Diálisis y Trasplante*, 31(1), 7-11. doi:10.1016/S1886-2845(10)70004-7
- National Kidney Foundation. Global Facts: About Kidney Disease. (2015, 2015-01-08). Retrieved from <https://www.kidney.org/kidneydisease/global-facts-about-kidney-disease>
- Neild, G. (2017). Life expectancy with chronic kidney disease: an educational review. *Pediatric Nephrology (Berlin, Germany)*, 32(2), 243-248. doi:10.1007/s00467-016-3383-8
- NIDDKD. (2018). Hemodialysis. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>
- Oliveira, C., Kubrusly, M., Mota, R., Silva, C., Choukroun, G., & Oliveira, V. (2010). The phase angle and mass body cell as markers of nutritional status in hemodialysis patients. *J Ren Nutr*, 20(5), 314-320. doi:10.1053/j.jrn.2010.01.008
- Piccoli, A. (1998). Identification of operational clues to dry weight prescription in hemodialysis using bioimpedance vector analysis. The Italian Hemodialysis-Bioelectrical Impedance Analysis (HD-BIA) Study Group. *Kidney Int*, 53(4), 1036-1043. doi:10.1111/j.1523-1755.1998.00843.x

- Piccoli, A. (2005). Whole body-single frequency bioimpedance. *Contrib Nephrol*, 149, 150-161. doi:10.1159/000085478
- Piccoli, A. (2014). Estimation of fluid volumes in hemodialysis patients: comparing bioimpedance with isotopic and dilution methods. *Kidney International*, 85(4), 738-741. doi:10.1038/ki.2013.434
- Piccoli, A., Nescolarde, L., & Rosell, J. (2002). Conventional and vectorial analysis of bioimpedance in clinical practice. *Nefrologia*, 22(3), 228-238.
- Piccoli, A., & Pastori, G. (2002). BIVA software.: (available at E-mail: apiccoli@unipd.it).
- Piccoli, A., Pastori, G., Guizzo, M., Rebeschini, M., Naso, A., & Cascone, C. (2005). Equivalence of information from single versus multiple frequency bioimpedance vector analysis in hemodialysis. *Kidney Int*, 67(1), 301-313. doi:10.1111/j.1523-1755.2005.00083.x
- Piccoli, A., Rossi, B., Pillon, L., & Bucciante, G. (1994). A new method for monitoring body fluid variation by bioimpedance analysis: the RXc graph. *Kidney Int*, 46(2), 534-539.
- Schieppati, A., & Remuzzi, G. (2005). Chronic renal diseases as a public health problem: Epidemiology, social, and economic implications. *Kidney International*, 68, S7-S10. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1523-1755.2005.09801.x>
- Smith, D. H., Gullion, C. M., Nichols, G., Keith, D. S., & Brown, J. B. (2004). Cost of Medical Care for Chronic Kidney Disease and Comorbidity among Enrollees in a Large HMO Population. *Journal of the American Society of Nephrology*, 15, 7. doi:10.1097/01.ASN.0000125670.64996.BB
- Tamayo, J., & Lastiri, S. (2016). *La enfermedad renal crónica en México. Hacia una política nacional para enfrentarla.*: Intersistemas S.A. de C.V.
- Thomas, R., Kanso, A., & Sedor, J. (2008). Chronic Kidney Disease and Its Complications. *Prim Care Clin Office Pract*, 35, 16. doi:10.1016/j.pop.2008.01.008

- Turin, T., Tonelli, M., Manns, B., Ravani, P., Ahmed, S., & Hemmelgarn, B. (2012). Chronic kidney disease and life expectancy. *Nephrol Dial Transplant*, 27(8), 3182-3186. doi:10.1093/ndt/gfs052
- Vos, T., Allen, C., Arora, M., Barber, R. M., Bhutta, Z. A., Brown, A., . . . Murray, C. J. L. (2016). Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 310 diseases and injuries, 1990–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *The Lancet*, 388(10053), 1545-1602. doi:10.1016/S0140-6736(16)31678-6
- Wang, H., Naghavi, M., Allen, C., Barber, R. M., Bhutta, Z. A., Carter, A., . . . Murray, C. J. L. (2016). Global, regional, and national life expectancy, all-cause mortality, and cause-specific mortality for 249 causes of death, 1980–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *The Lancet*, 388(10053), 1459-1544. doi:10.1016/S0140-6736(16)31012-1
- Ávila, M., Conchillos, G., Rojas, I., Ordoñez, A., & Ramírez, H. (2013). Enfermedad renal crónica: causa y prevalencia en la población del Hospital General La Perla. *Med Int Mex*, 29(5), 6.

## APÉNDICES

### Apéndice 1. Dictamen Favorable del Comité de Bioética en Investigación de la Universidad de Sonora



Universidad de Sonora  
Departamento de Medicina y Ciencias de la Salud  
Comité de Bioética en Investigación  
Reg. CONBIOETICA26CEI00420140214 Reg. COFEPRIS 113301538x0337  
HHS-IRB 0008695



DMCS/CBIDMCS/D-87bis

Hermosillo, Sonora a 15 de junio de 2017

**Dr. Norberto Sotelo Cruz**  
**Jefe del Departamento de Medicina y Ciencias de la Salud**  
**Universidad de Sonora**

En respuesta a la solicitud de evaluación bioética a la notificación de cambios metodológicos al proyecto de investigación “El uso de la bioimpedancia eléctrica para evaluar el peso seco en pacientes con insuficiencia renal crónica en hemodiálisis”, del Dr. Mauro E. Valencia Juillerat, profesor adscrito al Departamento de Ciencias Químico Biológicas de la Universidad de Sonora, el Comité de Bioética en Investigación del Departamento de Medicina y Ciencias de la Salud *emite el siguiente:*

#### DICTAMEN FAVORABLE

El Comité considera que hay elementos suficientes para que el citado proyecto sea ejecutado en los tiempos que el investigador responsable ha señalado, toda vez que los cambios introducidos se apegan a principios bioéticos. El Comité también considera que el protocolo tiene la categoría de **Riesgo Mínimo**. Es importante que cualquier cambio metodológico sea informado a este Comité antes de su eventual implementación.

Cordialmente

Por el Comité de Bioética en Investigación

Dr. Gerardo Álvarez Hernández  
Presidente

## Apéndice 2. Dictamen Aprobatorio del Comité de Investigación del Hospital General del Estado “Dr. Ernesto Ramos Bours”.



Hospital General  
del Estado  
Dr. Ernesto Ramos Bours

COMITÉ DE  
INVESTIGACIÓN

SSS-HGE-DEI-CI-2017.49

Hermosillo, Sonora a 03 de julio de 2017

Asunto: Dictamen de Protocolo

**Dr. Mauro E. Valencia Juillerat**  
Investigador Titular  
Departamento de Ciencias Químico-Biológicas  
Universidad de Sonora

**Lic. Alan Eduardo Guzmán León**  
Investigador Asociado

Por medio de la presente en relación a su protocolo de investigación con registro 2017.49, titulado: “El uso de bioimpedancia eléctrica para evaluar el peso seco en pacientes con Insuficiencia Renal Crónica en Hemodiálisis”. Se le comunica que el Comité de Investigación en la sesión realizada el 30 de junio del presente año, llegó al siguiente Dictamen: Aprobado.

Sin otro particular por el momento quedo a sus órdenes, reciba saludos cordiales

Atentamente

  
**Dr. Juan Pablo Contreras Félix**  
Presidente del Comité de Investigación y  
Jefe de la División de Enseñanza e Investigación



C. c. p. Archivo del Comité de Investigación

JPCF/pcg

Blvd. Luis Encinas Johnson 9007 Colonia San Benito  
Tel. (662) 259 2534 C.P. 83190, Hermosillo, Sonora  
[investigacion.hge@gmail.com](mailto:investigacion.hge@gmail.com)

### Apéndice 3. Criterios y Justificación para la Definición de la Enfermedad Renal Crónica

Criteria	Rationale or Comment
Duration $\geq$ 3 mo based on documentation or inference	Duration is necessary to distinguish chronic from acute kidney diseases Inference of chronicity allows clinical judgment in the absence of documentation of past history
Kidney damage, defined as structural or functional abnormalities of the kidneys	Pathological abnormalities Markers, including: Urine abnormalities (eg, albuminuria) Blood abnormalities (eg, renal tubular syndromes) Imaging abnormalities (eg, polycystic kidneys, hydronephrosis, small and echogenic kidneys) History of kidney transplantation
Albuminuria as a marker of kidney damage (spot urine albumin-creatinine ratio $>$ 30 mg/g)	Albuminuria reflects increased glomerular permeability Threshold level is 2-3 times greater than normal value Higher levels are infrequent in young individuals ( $<$ 40 y) Higher levels are the earliest marker of kidney damage due to diabetes, glomerular disease, and hypertension Higher levels are associated with adverse outcomes, including progression of kidney and cardiovascular disease in individuals with or without diabetes mellitus Therapies that reduce albuminuria are associated with slowing the progression of diabetic and nondiabetic kidney disease
GFR $<$ 60 mL/min/1.73 m <sup>2</sup>	GFR is the best overall index of kidney function in health and disease Threshold level is substantially greater than the level associated with kidney failure Threshold level is approximately half the normal adult level Lower levels are rare in young individuals ( $<$ 40 y) Lower levels are associated with increasing complications of CKD Lower levels are associated with adverse outcomes, including cardiovascular disease morbidity and mortality in individuals with or without diabetes Threshold and lower levels can be detected by current estimating equations for GFR based on serum creatinine, but not by serum creatinine alone

*Note:* Conversion factor for units: GFR in mL/min/1.73 m<sup>2</sup> to mL/s/1.73 m<sup>2</sup>,  $\times 0.01667$ .  
Abbreviations: CKD, chronic kidney disease; GFR, glomerular filtration rate.

Fuente: (Levey et al., 2009).

## Apéndice 4. Factores de Riesgo para el Desarrollo, Progresión y Complicaciones de la Enfermedad Renal Crónica y sus Estrategias Preventivas

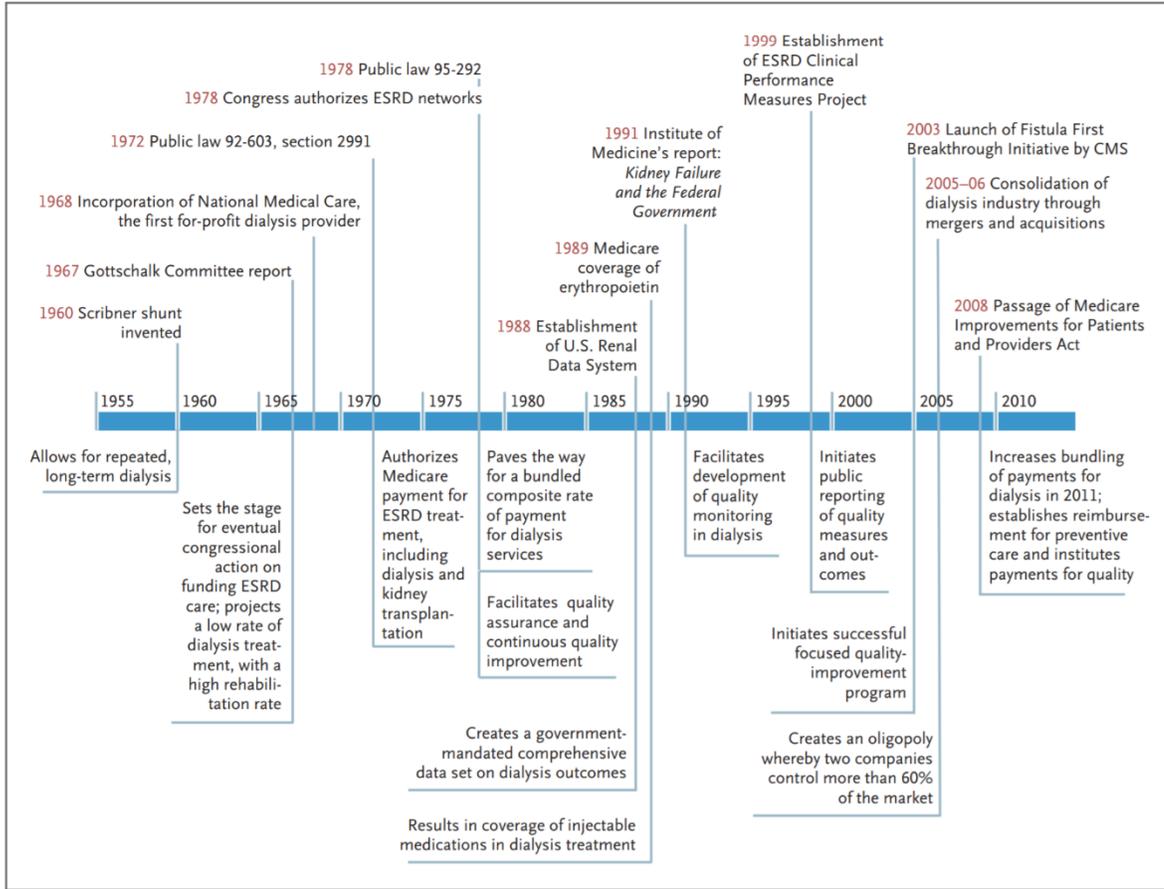
Risk Factor	Definition	Examples	Preventive Strategies
Development	Increase susceptibility to kidney damage	Older age, family history of CKD, US racial or ethnic minority status, reduced kidney mass, hyperfiltration states	Primary prevention
	Directly initiate kidney damage	Diabetes, high blood pressure, obesity, dyslipidemia, autoimmune diseases, infections, stones, obstruction	
Progression	Worsen kidney damage or accelerate GFR decrease	Higher level of proteinuria	Secondary prevention
Complications	Increase risk of complications of decreased GFR	Factors related to hypertension, anemia, malnutrition, bone and mineral disorders, neuropathy; drugs and procedures with kidney or systemic toxicity	Tertiary prevention
	Accelerate onset or recurrence of CVD	Traditional CVD risk factors; nontraditional "CKD-related" risk factors	
	Increase morbidity and mortality in kidney failure	Late referral, dialysis factors, comorbid conditions	

*Note:* Factors implicated at different stages in the development and progression of CKD are listed in the initial category in which they could potentially appear.

Abbreviations: CKD, chronic kidney disease; CVD, cardiovascular disease; GFR, glomerular filtration rate.

Fuente: (Levey et al., 2009).

## Apéndice 5. Línea del Tiempo para la Evolución de la Hemodiálisis



Fuente: (Himmelfarb & Ikizler, 2010).

## Apéndice 6. Esquema de Atención Clínica de Pacientes que Reciben Hemodiálisis

**Table 2. Clinical Care of Patients Receiving Hemodialysis.\***

Variable	Goals and Targets
Dialysis dose	Monitor urea kinetic modeling; target single-pool Kt/V <sub>UREA</sub> >1.4.†
Fluid management and estimated body weight	Carry out individualized management and assessment; interdialytic weight gain should ideally be less than 5% of total body weight.
Dialysate quality	Monitor endotoxin and bacteria concentrations in water used for dialysate; the use of ultrapure dialysate may reduce inflammation. <sup>49</sup>
Anemia	Try to attain a hemoglobin level of 10 to 12 g per deciliter (although current recommendations may change on the basis of results from clinical trials involving patients with chronic kidney disease <sup>50-53</sup> ); avoid high-dose erythropoietin; evaluate patients with erythropoietin resistance for inflammation and iron deficiency; monitor iron levels and treat iron deficiency; the long-term safety and efficacy of iron administration in patients with high ferritin levels have not been well established. <sup>54</sup> ‡
Vascular access	Implement strategies to increase the placement and use of fistulas and eliminate catheter use whenever feasible <sup>55</sup> ; monitor to detect possible access dysfunction.‡§
Bone and mineral disorders	Aim for a serum calcium level of 8.4 to 9.5 mg per deciliter and a serum phosphate level of 3.5 to 5.5 mg per deciliter; monitor serum levels of intact PTH; although the optimal target PTH level has not been well defined, maintain PTH level at >2 times the upper limit of the normal range to minimize risk of low bone turnover; suppress rising PTH levels with vitamin D analogues, calcimimetics, and phosphate binders.¶
Nutrition	Aim for serum albumin level >4.0 g per deciliter; consider enteral supplementation for progressive signs of protein energy wasting; refer patient to dietitian for nutritional counseling; restrict phosphorus, sodium, and potassium intake, as guided by laboratory studies.‡
Blood pressure	Optimal targets and management strategies have not been well defined. <sup>57</sup>
LDL cholesterol	Aim for LDL cholesterol level of <100 mg per deciliter; the relationship between LDL cholesterol and cardiovascular risk is confounded by inflammation; statins are without proven benefit. <sup>58-60</sup>
Diabetes management	Balance benefits of tighter glycemic control, which carries an increased risk of hypoglycemia, by means of individualized therapy; glycosylated hemoglobin targets have not been well defined <sup>61</sup> ; manage other aspects of diabetes, such as peripheral vascular disease, intestinal dysmotility, and eye problems.
Transplantation referral	Provide education about transplantation and timely referrals for suitable candidates; monitor status of wait-listed patients.§
Quality-of-life and psychosocial evaluation	The evaluation, conducted by a social worker with the support of a multidisciplinary team, should be aimed at optimizing adjustment to kidney failure and its treatment; the Kidney Disease Quality of Life (KDQOL-36) instrument is often used for the evaluation. <sup>62</sup> §

\* LDL denotes low-density lipoprotein, and PTH parathyroid hormone.

† This recommendation is supported by the Kidney Disease Outcomes Quality Initiative Clinical Practice Guidelines.<sup>38</sup>

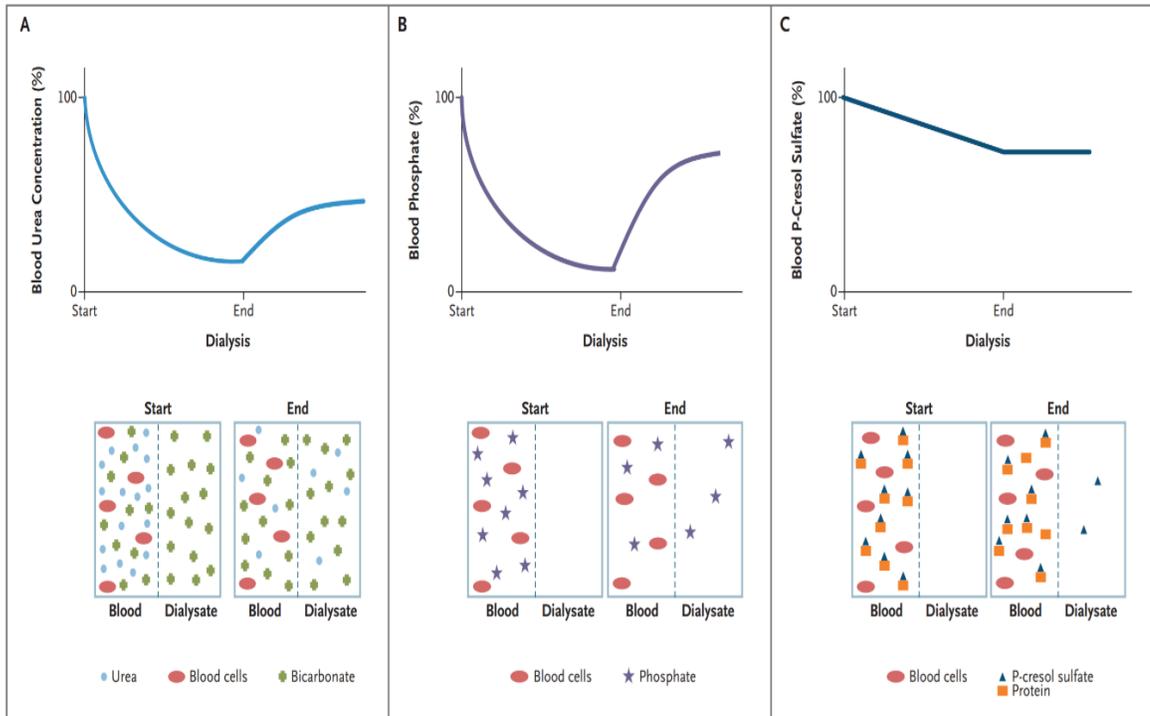
‡ This recommendation is compatible with those of the Food and Drug Administration and the European Medicines Agency.

§ This recommendation is mandated by the Centers for Medicare and Medicaid Services Conditions of Coverage for end-stage renal disease facilities.<sup>56</sup>

¶ This recommendation is supported by the Kidney Disease: Improving Global Outcomes Clinical Practice Guidelines.<sup>37</sup>

Fuente: (Himmelfarb & Ikizler, 2010).

## Apéndice 7. Patrones de Eliminación de Soluto con Hemodiálisis



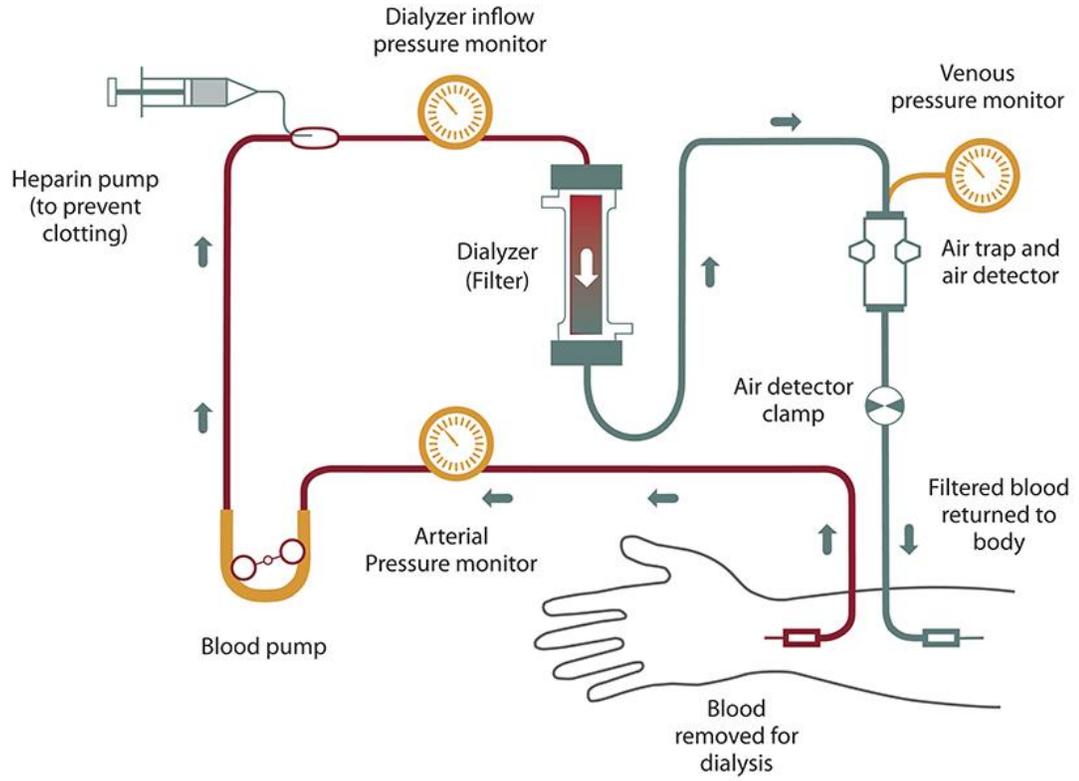
Fuente: (Himmelfarb & Ikizler, 2010).

## Apéndice 8. Componentes Clave de la Prescripción de Hemodiálisis

Component	Comments
Dialyzer	
Configuration	Hollow-fiber dialyzers are preferred owing to improved safety.
Membrane biomaterials	Synthetic membranes are used more frequently than cellulose membranes owing to fewer blood–membrane interactions.
Membrane permeability	High-flux membranes are constructed with larger pores, which allow greater removal of higher-molecular-weight solutes, with similar removal of lower-molecular-weight solutes as compared with low-flux membranes.
Treatment time	Usual treatment time is about 4 hours. Longer treatment times allow more fluid removal with less risk of intradialytic hypotension, and the removal of compartmentalized solutes such as phosphate is increased; nevertheless, increased dialysis time has limited effects on removal of many solutes because of decreasing plasma concentrations.
Treatment frequency	Usual frequency is 3 times per week. Increasing the frequency of dialysis to >3 times per week improves solute clearance and fluid removal; effects on clinical outcomes and quality of life are being evaluated in randomized trials.
Blood flow rate	Usual prescription is 200 to 400 ml per minute. Achievable blood flow depends on the type and quality of vascular access. Increasing blood flow increases solute removal; however, increased flow resistance will eventually limit the augmented clearance.
Dialysate flow rate	Usual rate is twice the achieved blood flow rate in order to attain near-maximal solute clearance.
Ultrafiltration rate	Should be less than 10 ml per kilogram of body weight per hour to reduce the risk of intradialytic hypotension.
Dialysate composition	
Sodium	Between 130 and 145 mmol per liter. Higher sodium concentrations decrease the risk of intradialytic hypotension but increase thirst and interdialytic weight gain.
Potassium	Generally 2 to 3 mmol per liter. Lower levels of dialysate potassium are associated with sudden cardiac death; intradialytic potassium removal is highly variable, and plasma potassium levels rebound about 30% after dialysis.
Calcium	Generally 1.25 to 1.75 mmol per liter. Only non–protein-bound calcium is removed; higher levels of dialysate calcium increase intradialytic blood pressure.
Magnesium	Generally 0.5 mmol per liter. The optimal level of magnesium is unresolved, and magnesium flux is difficult to predict.
Alkaline buffers	Commonly 30 to 40 mmol per liter. Predominantly bicarbonate with a small amount of acetate; bicarbonate concentration can be adjusted to correct metabolic acidosis.
Chloride	Defined by prescribed cations and alkaline buffers in dialysate.
Glucose	Commonly 100 to 200 mg per deciliter. Higher levels of glucose promote hypertriglyceridemia.
Intradialytic medications	Erythropoietin, iron, vitamin D analogues, antibiotics.
Anticoagulation	Heparin or other agents.

Fuente: (Himmelfarb & Ikizler, 2010).

## Apéndice 9. Diagrama del Proceso de Hemodiálisis



Fuente: (NIDDKD, 2018).

## Apéndice 10. Esperanza de Vida en la Enfermedad Renal Crónica Según la Función Renal, Sexo y Edad

Gender	Age group (year)	Kidney function (in ml/min/1.73 m <sup>2</sup> )			
		eGFR ≥60	eGFR 45–59	eGFR 30–44	eGFR 15–29
Male	30	39.1 (38.9–39.2)	28.4 (25.1–31.7)	20.1 (16.5–23.7)	15.3 (11.0–19.5)
	35	34.7 (34.6–34.9)	28.0 (26.3–29.8)	16.3 (13.3–19.2)	13.8 (11.0–16.7)
	40	30.5 (30.3–30.6)	24.5 (23.3–25.8)	14.5 (12.3–16.8)	10.4 (8.1–12.7)
	45	26.2 (26.1–26.4)	21.3 (20.4–22.2)	12.5 (10.9–14.2)	8.8 (7.1–10.5)
	50	22.3 (22.2–22.4)	18.3 (17.7–19.0)	10.6 (9.5–11.7)	7.4 (6.1–8.7)
	55	18.6 (18.5–18.7)	16.0 (15.5–16.5)	8.7 (7.9–9.5)	6.6 (5.6–7.6)
	60	15.1 (15.0–15.2)	13.6 (13.2–13.9)	7.8 (7.3–8.4)	5.6 (4.8–6.3)
	65	11.9 (11.8–12.0)	10.9 (10.7–11.2)	6.6 (6.2–7.0)	4.6 (4.2–5.1)
	70	9.0 (9.0–9.1)	8.4 (8.3–8.6)	5.9 (5.7–6.2)	3.9 (3.6–4.2)
	75	6.7 (6.6–6.7)	6.2 (6.0–6.3)	4.7 (4.5–4.9)	3.1 (2.9–3.3)
Female	30	43.8 (43.7–44.0)	33.6 (31.0–36.2)	21.4 (17.3–25.5)	12.7 (7.4–18.0)
	35	39.2 (39.0–39.3)	30.8 (28.9–32.8)	17.6 (14.0–21.2)	13.1 (10.1–16.0)
	40	34.6 (34.5–34.7)	28.7 (27.5–29.9)	16.5 (14.0–19.0)	9.1 (6.6–11.6)
	45	30.2 (30.1–30.4)	25.4 (24.5–26.3)	14.9 (13.0–16.7)	7.4 (5.6–9.3)
	50	26.0 (25.9–26.2)	22.3 (21.7–22.9)	13.2 (11.8–14.5)	7.4 (5.9–8.8)
	55	22.0 (21.9–22.1)	19.1 (18.6–19.6)	11.3 (10.3–12.3)	6.7 (5.6–7.8)
	60	18.2 (18.1–18.3)	16.5 (16.1–16.8)	10.6 (9.9–11.2)	6.2 (5.4–7.0)
	65	14.6 (14.5–14.7)	13.4 (13.1–13.6)	9.4 (8.9–9.9)	4.7 (4.2–5.2)
	70	11.3 (11.2–11.4)	10.5 (10.4–10.7)	7.9 (7.6–8.2)	4.1 (3.8–4.5)
	75	8.4 (8.3–8.5)	7.9 (7.8–8.0)	6.0 (5.9–6.2)	3.9 (3.6–4.1)
80	5.6 (5.5–5.7)	5.3 (5.2–5.4)	4.5 (4.4–4.6)	3.1 (3.0–3.2)	
85	3.0 (2.9–3.1)	2.8 (2.7–2.9)	2.2 (2.0–2.3)	1.6 (1.4–1.8)	

Values in table are presented as the mean life expectancy (in years), with the 95 % confidence interval in parenthesis, according to age, gender and level of estimated glomerular filtration rate (eGFR)

<sup>a</sup> Table is taken from Turin et al. [10] (used with permission)

Fuente: (Neild, 2017; Turin et al., 2012).

## Apéndice 11. Consentimiento Informado.

### Formato de Consentimiento Informado

**1. Título del proyecto:** El uso de la bioimpedancia eléctrica para evaluar el peso seco en pacientes con Enfermedad renal crónica en Hemodiálisis.

**2. Equipo de investigación:** M.C. Erika Ibarra, Dr. Ricardo Morales Álvarez, Dr. Mauro E. Valencia, Dra. Candia Plata, Dr. Giovanni Díaz, Dra. Ángeles Espinosa, L.C.N. Alan E. Guzmán, L.C.N. Maribel Rosas.

**3. Introducción/propósitos:**

La estimación precisa del peso seco (PS) es un problema importante y difícil en la práctica clínica. El PS se define como el peso más bajo después de la hemodiálisis donde el paciente, a menudo no desarrollará síntomas de hipotensión y shock. El lograr un equilibrio de líquidos beneficia el control de la presión arterial y reduce el riesgo cardiovascular. En la mayoría de los centros de diálisis, el peso seco se estima utilizando un método subjetivo dependiente de los signos y síntomas. Recientemente, varios enfoques han sido estudiados para desarrollar una técnica estandarizada de evaluación del peso seco. Entre estas, el análisis de vectores de bioimpedancia eléctrica (BIAVA) ha sido reconocida como un método simple y prometedor con alta reproducibilidad.

El mantenimiento de la cantidad adecuada de líquido corporal es indispensable para personas en hemodiálisis. Si el peso objetivo no se determina correctamente, demasiado o poco líquido será eliminado durante el proceso. Si se genera un exceso de líquido, la persona puede desarrollar problemas de hipertensión, edema, acumulación de agua en pulmones, entre otros, mientras que un exceso en la extracción de líquido puede llevar a la deshidratación, acidosis metabólica, hiperazoemia, hipercalemia y sus complicaciones. Por lo anterior, es necesario desarrollar métodos que permitan evaluar el estado de los fluidos corporales, para estos propósitos.

El objetivo de este estudio es utilizar el BIVA para mejorar la estimación del peso seco en pacientes con enfermedad renal crónica sometidos a hemodiálisis, tomando como referencia la cantidad de agua extracelular y la presión arterial.

#### 4. Procedimientos/intervenciones que se llevarán a cabo:

Nombre de la persona a evaluar:

---

##### **Declaración.**

Entiendo que éste estudio requerirá mi participación activa aproximadamente durante 1 hora y media, dentro del periodo del tratamiento de hemodiálisis.

*Mediciones a realizar:*

##### Participante:

- Aplicación de encuesta de datos básicos sociodemográficos, así como antecedentes familiares y personales
- Talla
- Peso corporal\*
- Presión arterial\*
- Valoración clínica del peso seco\*
- Bioimpedancia eléctrica\*
- Análisis bioquímicos\*
- Pliegue cutáneo tricipital
- Circunferencia de brazo
- Anchura de codo
- Fuerza muscular\*
- Encuestas para valorar el estado nutricional

\*Las evaluaciones se realizarán en 4 ocasiones distintas pre y post diálisis

#### 5. Riesgos/incomodidades que puede experimentar el sujeto

- Todos los equipos a utilizar han sido aprobados por comités de ética a nivel internacional en población pediátrica, adultos y adultos mayores.
- Ninguna de las mediciones representa un riesgo de salud ni incomodidades para los participantes, fuera de los procedimientos de la misma hemodiálisis.

6. **Beneficios previsible para el participante:** Determinación más acertada del peso seco, lo que puede llevar a que se presente menos problemas de hipertensión, edema, acumulación de agua en pulmones, deshidratación, acidosis metabólica, y alteraciones o eventos cardiovasculares a corto y largo plazo, mejorando así el estado de salud.

7. **Beneficios previsible para el área del conocimiento:** El análisis de vectores di bioimpedancia eléctrica (BIVA) es una metodología relativamente de bajo costo, que puede ser empleada en pacientes nefróticos y de otras patologías con alteraciones hídricas en el campo clínico hospitalario y utilizarse en futuras investigaciones con el fin de mejorar los procesos de hemodiálisis y otros tratamientos y por ende, mejorar la calidad de vida del paciente. Como beneficio para el hospital, se capacitará al personal de la salud encargado de los pacientes con estas características, para que puedan hacer uso de esta herramienta y brindar un mejor servicio a sus pacientes.
8. **Confidencialidad de la información:** Los datos proporcionados por el participante, así como los resultados obtenidos serán almacenados con la más estricta confidencialidad, con su respectiva clave numérica y resguardados bajo llave en el Laboratorio de Nutrición del Departamento de Medicina y Ciencias de la Salud.

De estar Ud. de acuerdo, con el mismo carácter de confidencialidad, los datos crudos, podrán usarse en análisis posteriores junto con los de otros estudios, y siempre guardando su carácter de confidencialidad. No siendo el caso de las muestras biológicas a las cuales el grupo de investigación no tendrá acceso.

9. **Problemas o preguntas:** El participante tiene derecho a preguntar sobre cualquier aspecto relacionado con la investigación, *así como de retirarse en cualquier momento, si así lo desea.*

*Para cualquier duda o pregunta que usted tenga, puede comunicarse a los siguientes teléfonos:*

<b>Investigador</b>	<b>Teléfono oficina</b>	<b>Teléfono celular</b>
Médico responsable: Dr. Ricardo Morales Álvarez	-----	66 21 23 01 46
Nutrióloga clínica responsable: M.C. Erika Ibarra	2 89 37 93	66 21 00 59 97
Investigador responsable: Dr. Mauro E. Valencia	2 59 21 21	66 21 11 07 86
Estudiante de Maestría: L.C.N. Alan E. Guzmán	2 59 21 21	66 21 71 56 51
Estudiante de Maestría: L.C.N. Maribel Rosas	2 59 21 21	66 22 78 22 48

## 10. Consentimiento/participación voluntaria

### DECLARACIÓN DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Por medio de este formato de consentimiento declaro que se me han explicado claramente los objetivos y mediciones de esta investigación, así como los beneficios que conlleva mi participación.

Entiendo que los procedimientos a utilizar no representan riesgos e incomodidades adicionales al proceso de diálisis que puedan afectar mi salud, más de lo explicado anteriormente.

Así mismo, acepto voluntariamente y me doy por enterado(a) de los procedimientos y análisis que se realizarán en este estudio:

- Aplicación de encuesta de datos básicos sociodemográficos, así como antecedentes familiares y personales
- Talla
- Peso corporal\*
- Presión arterial\*
- Valoración clínica del peso seco\*
- Bioimpedancia eléctrica\*
- Análisis bioquímicos\*
- Pliegue cutáneo tricípital
- Circunferencia de brazo
- Anchura de codo
- Fuerza muscular\*
- Encuestas para valorar el estado nutricional

\*Las evaluaciones se realizarán en 4 ocasiones distintas pre y post diálisis

**Reconozco que tengo el derecho a retirarme del estudio en cualquier momento, si así lo deseo.**

Fecha de aceptación: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
Día Mes Año Hora

Nombre del voluntario: \_\_\_\_\_

Firma de autorización: \_\_\_\_\_

**Apéndice 12. Cambios en Presión Arterial por Género post Hemodiálisis Inicio vs Final.**

Variable	Mujeres (n = 15) (Media ± DE)				Hombres (n = 20) (Media ± DE)			
	Inicio	Final	Cambio	p	Inicio	Final	Cambio	p
PAS (mmHg)	150 ± 27	149 ± 22	-1	0.885	164 ± 20	150 ± 18	-14	0.020
PAD (mmHg)	73 ± 12	74 ± 12	+1	0.712	84 ± 15	76 ± 13	-8	0.013

PAS: presión arterial sistólica, PAD: presión arterial diastólica.

**Apéndice 13. Cambios en Presión Arterial post Hemodiálisis Inicio vs Final.**

Variable	Mujeres y Hombres (N = 35)			
	Inicio (Media ± DE)	Final (Media ± DE)	Cambio	p
PAS (mmHg)	158 ± 22	149 ± 19	-9	0.041
PAD (mmHg)	79 ± 14	75 ± 13	-4	0.061

PAS: presión arterial sistólica, PAD: presión arterial diastólica.

**Apéndice 14. Cambio en Fuerza Muscular Aplicada con Dinamometría de Mano por Género Inicio vs Final.**

Fuerza de mano	Mujeres (n = 15) (Media ± DE)				Hombres (n = 20) (Media ± DE)			
	Inicio	Final	Cambio	p	Inicio	Final	Cambio	p
Derecha (Kg)	15.5 ± 3.3	19.3 ± 3.7	+3.8	0.005	26.2 ± 6.6	29.9 ± 6.9	+3.7	0.024
Izquierda (Kg)	14.8 ± 3.6	19.5 ± 5.5	+4.7	0.007	21.6 ± 7.5	28.2 ± 6.2	+6.6	0.006

**Apéndice 15. Cambios en las Propiedades Eléctricas del Cuerpo post Hemodiálisis Inicio vs Final.**

Variable	Mujeres y hombres (N = 35)			
	Inicio (Media ± DE)	Final (Media ± DE)	Cambio	p
R (ohms)	489 ± 98	508 ± 101	+19	0.121
Xc (ohms)	40 ± 14	44 ± 12	+4	0.035
AF	4.32 ± 0.96	4.33 ± 0.89	+0.01	0.974

R: Resistencia, Xc: Reactancia, AF: Ángulo de fase.

**Apéndice 16. Modelos de Regresión Polinomial de los Parámetros Fisiológicos Relacionados con el Estado de Hidratación en Función del Tiempo.**

Modelo	Variable		Coeficiente	Constante	R <sup>2</sup>	Error	t	p
	Dependiente	Independiente						
1	PAS	Semana	X1: -0.26	159	0.42	2.35	4.33	<0.01
2	PAD	Semana	X1: -0.14	80.3	0.39	1.36	4.66	<0.01
3	FAMD	Semana	X1: 0.16	22.1	0.76	0.69	8.42	<0.01
4	FAMI	Semana	X1: 0.13	20.6	0.78	0.52	11.5	<0.01
5	R	Semana	X1: 4.69	479	0.85	6.1	6.41	<0.01
6	Xc	Semana	X1: 0.90 X2: -0.13	39.1	0.87	0.58	4	<0.01
7	AF	Semana	X1: -0.06	4.79	0.77	0.1	6	<0.01

PAS: presión arterial sistólica, PAD: presión arterial diastólica, FAMD: fuerza aplicada con mano derecha, FAMI: fuerza aplicada con mano izquierda, R: resistencia, Xc, reactancia, AF: ángulo de fase.

**Apéndice 17. Análisis por Conglomerados de las Propiedades Eléctricas del Cuerpo en Hombres Inicio vs Final.**

Variable de agrupación	Grupo	Descripción	N	R (Media ± DE)	Xc (Media ± DE)	r	p
AF inicio	1	AF < 4	10	233 ± 19	15 ± 2	0.57	0.001
	2	AF > 4	15	282 ± 54	27 ± 9	0.89	
AF final	1	AF < 4	7	277 ± 44	20 ± 4	0.94	0.002
	2	AF > 4	13	280 ± 58	27 ± 8	0.87	
R y Xc/T inicio	1		20	242 ± 29	18 ± 5	0.80	0.001
	2		5	344 ± 23	37 ± 6	0.09	
R y Xc/T final	1		13	246 ± 26	21 ± 3	0.45	0.001
	2		7	341 ± 20	33 ± 7	0.31	
R y Xc/T inicio vs final	1	Inicio	25	262 ± 49	22 ± 9	0.90	0.516
	2	Final	20	279 ± 52	25 ± 8	0.78	

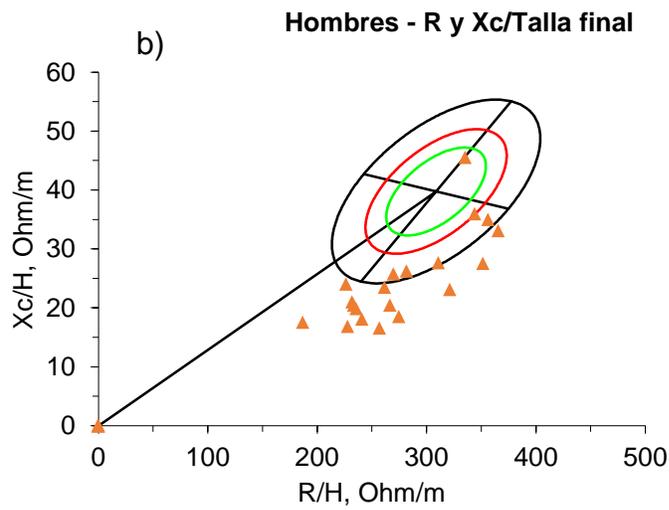
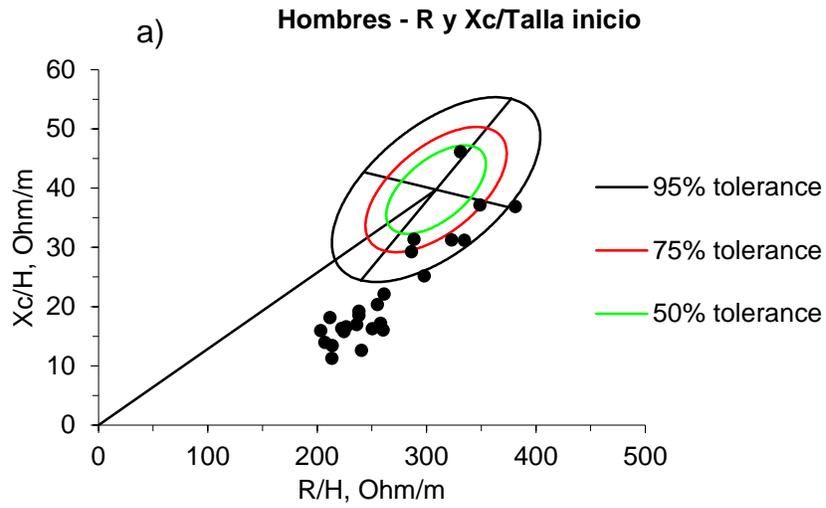
R: Resistencia, Xc: Reactancia, AF: Ángulo de fase, T: Talla.

**Apéndice 18. Análisis por Conglomerados de las Propiedades Eléctricas del Cuerpo en Mujeres Inicio vs Final.**

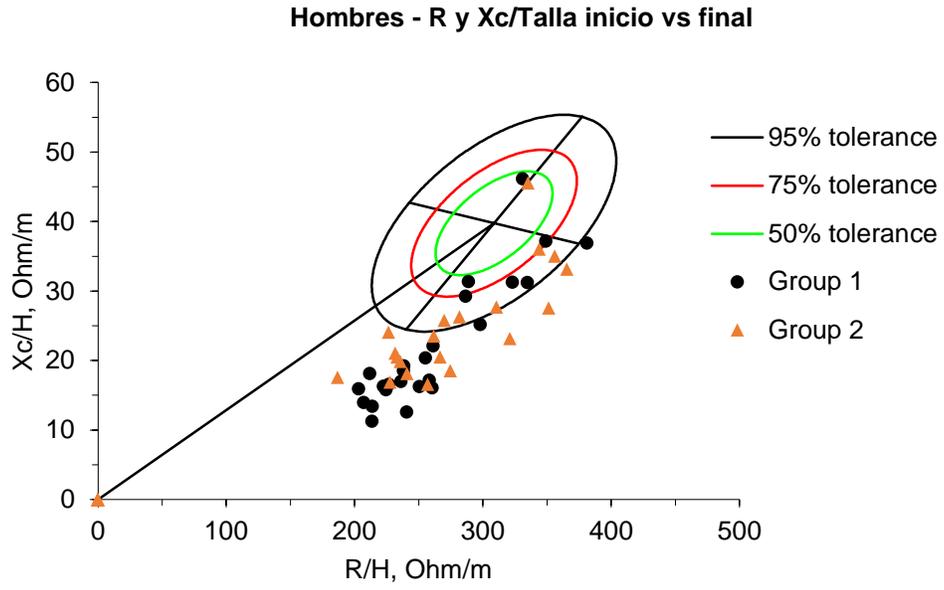
Variable de agrupación	Grupo	Descripción	N	R (Media ± DE)	Xc (Media ± DE)	r	p
AF inicio	1	AF < 4	11	349 ± 69	23 ± 5	0.73	0.001
	2	AF > 4	9	365 ± 49	34 ± 8	0.81	
AF final	1	AF < 4	6	353 ± 95	24 ± 6	0.96	0.001
	2	AF > 4	9	376 ± 46	34 ± 5	0.67	
R y Xc/T inicio	1		6	291 ± 43	19 ± 3	0.51	0.001
	2		14	384 ± 40	32 ± 8	0.38	
R y Xc/T final	1		4	279 ± 15	21 ± 2	0.49	0.001
	2		11	399 ± 45	34 ± 5	0.01	
R y Xc/T inicio vs final	1	Inicio	20	356 ± 59	28 ± 9	0.62	0.731
	2	Final	15	367 ± 67	30 ± 7	0.68	

R: Resistencia, Xc: Reactancia, AF: Ángulo de fase, T: Talla.

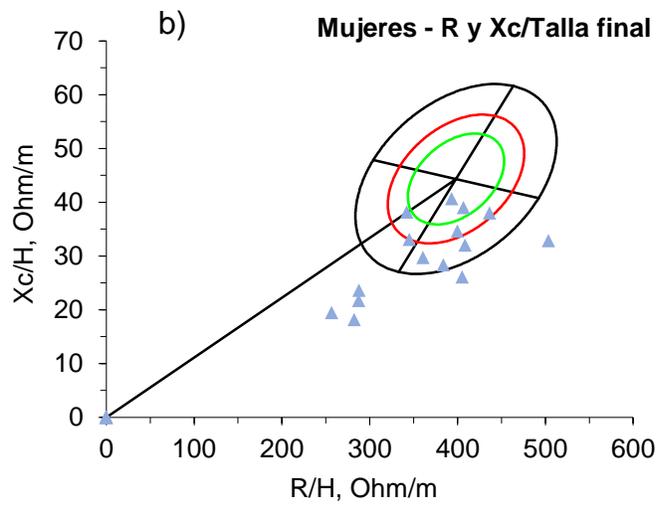
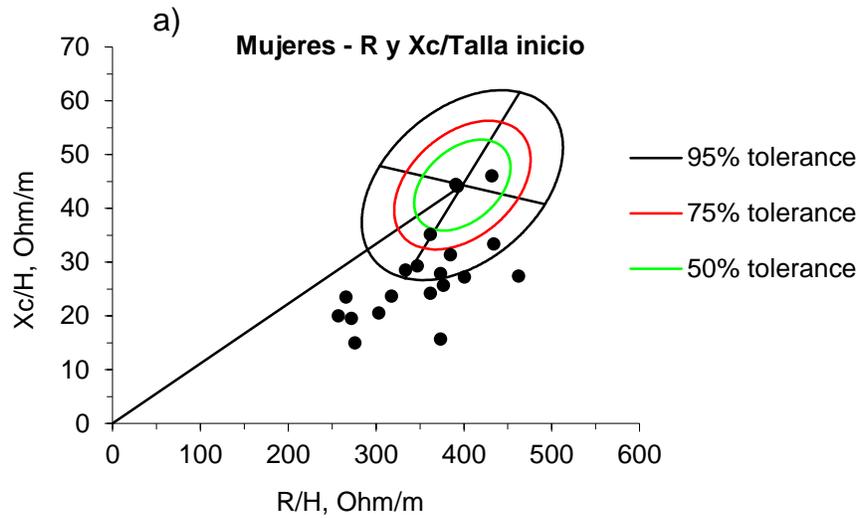
### Apéndice 19. Comportamiento de los Vectores de los Hombres al Inicio (a) y Final (b) del Estudio.



**Apéndice 20. Comparación del Desplazamiento de los Vectores de los Hombres al Inicio (Group 1) y Final (Group 2) del Estudio.**



**Apéndice 21. Comportamiento de los Vectores de las Mujeres al Inicio (a) y Final (b) del Estudio.**



**Apéndice 22. Comparación del Desplazamiento de los Vectores de las Mujeres al Inicio (Group 1) y Final (Group 2) del Estudio.**

