



Universidad Autónoma de Querétaro  
 Facultad de Ciencias Naturales  
 Maestría en Nutrición Humana

Uso de Vectores de Impedancia Bioeléctrica para el ajuste de peso seco en  
 pacientes sometidos a hemodiálisis.

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de  
 Maestro en Nutrición Humana

Presenta:

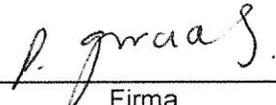
Iris del Carmen Nieves Anaya

Codirigido por:

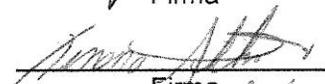
Dra. Ximena Atilano Carsi  
 Dr. Pablo García Solís

SINODALES

\_\_\_\_\_  
 Pablo García Solís  
 Presidente

  
 \_\_\_\_\_  
 Firma

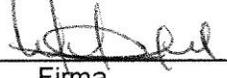
\_\_\_\_\_  
 Ximena Atilano Carsi  
 Secretario

  
 \_\_\_\_\_  
 Firma

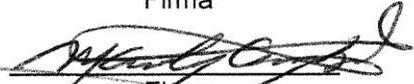
\_\_\_\_\_  
 Ma. de los Ángeles Aguilera Barreiro  
 Vocal

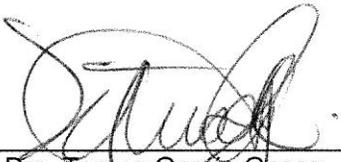
  
 \_\_\_\_\_  
 Firma

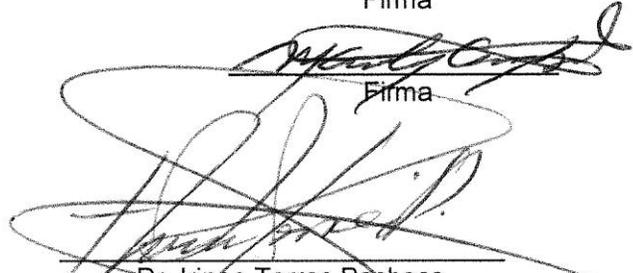
\_\_\_\_\_  
 Diana Beatriz Rangel Peniche  
 Suplente

  
 \_\_\_\_\_  
 Firma

\_\_\_\_\_  
 Miriam Aracely Anaya Loyola  
 Suplente

  
 \_\_\_\_\_  
 Firma

  
 \_\_\_\_\_  
 Dra. Teresa García Gasca  
 Directora de la Facultad de  
 Ciencias Naturales

  
 \_\_\_\_\_  
 Dr. Irineo Torres Pascheco  
 Director de Investigación y Posgrado

## RESUMEN

La sobrehidratación presente en los pacientes nefrópatas es factor de riesgo de morbi-mortalidad, por lo que es importante su diagnóstico y tratamiento. Los vectores de impedancia bioeléctrica (VIBE), permiten realizar estimaciones objetivas del estado de hidratación. El objetivo de este estudio fue comparar la eficiencia de VIBE contra los parámetros clínicos convencionales para ajustar el ultrafiltrado y alcanzar el peso seco en pacientes en hemodiálisis.

Participaron 47 pacientes adultos que fueron aleatorizados en dos grupos. En el grupo A, el peso seco fue ajustado por VIBE hasta llegar a la normohidratación. En el grupo B, el peso seco fue ajustado conforme a los parámetros clínicos convencionales. A todos los pacientes se les realizaron mediciones mensuales de impedancia bioeléctrica pre y post hemodiálisis durante cuatro meses. Al iniciar el estudio, no se encontraron diferencias significativas entre los grupos. Los VIBE basales pre y post-hemodiálisis indicaron sobrehidratación, sin encontrar diferencias significativas entre éstos. Después de cuatro meses de intervención, los vectores de los pacientes pertenecientes al grupo A en el periodo post-diálisis, mostraron el logro de peso seco, a diferencia del vector post-diálisis de los pacientes del grupo B, el cual se mantuvo en la parte inferior de las elipses ( $p < 0,009$  A vs B). Se encontró una diferencia significativa en los vectores basales y finales del grupo A ( $p < 0.001$ ); disminución del edema clínico (grupo A: 95.7% basal vs 0% final, grupo B: 83.3% basal vs 54.2% final,  $p < 0.001$ ). Inicialmente, 82.6% y 95.8% de los pacientes se encontraron sobrehidratados en el grupo A y B respectivamente. El peso seco se alcanzó en 95.7% de los pacientes del grupo A y en 4.2% en el grupo B. El análisis de los VIBE es una herramienta útil para ajustar el peso seco en pacientes en hemodiálisis, siendo superior a los parámetros clínicos usados comúnmente para este propósito.

**(Palabras clave:** vectores, impedancia, hemodiálisis, peso seco)

## SUMMARY

The over-hydration in patients with nephropathy is a risk factor for morbidity and mortality, so its diagnosis and treatment is important.

Bioelectrical impedance vectors (VIBA) allow objective estimates of hydration status. The purpose of this study was to compare the efficiency of VIBA against conventional clinical parameters to adjust the ultrafiltration and achieve dry weight in hemodialysis patients.

The study included 47 adult patients who were randomized into two groups. In group A, the dry weight was adjusted according to BIVA to reach euhydration. In group B, the dry weight was adjusted according to conventional clinical parameters. Monthly measurements of bioelectrical impedance were performed in all patients pre and post hemodialysis for four months. At baseline, no significant differences between groups were found. The basal VIBA pre and post-hemodialysis indicated overhydration, with no significant differences between them. After four months of intervention, the vectors belonging to group A in the post-dialysis showed the achievement of dry weight, as opposed to post-dialysis vectors corresponding to group B, which remained in the bottom of the ellipses ( $p < 0.009$  A vs B). A significant difference at baseline and in final vectors in group A ( $p < 0.001$ ) was found. Clinical edema decreased (group A: 95.7% base line vs 0% final, group B: 83.3% base line vs 54.2% final,  $p < 0.001$ ). Initially, 82.6% and 95.8% of patients were overhydrated in group A and B respectively. The dry weight was achieved in 95.7% of patients in group A and 4.2% in group B.

Analysis of BIVA is a useful tool to adjust dry weight in hemodialysis patients, being superior to clinical parameters commonly used for this purpose.

**(Keywords:** vector, impedance, hemodialysis, dry weight)

## **AGRADECIMIENTOS**

Me complace de sobre manera, a través de este trabajo exteriorizar mi sincero agradecimiento a la Universidad Autónoma de Querétaro específicamente a la Facultad de Ciencias Naturales y en ella a los distinguidos docentes de la Maestría en Nutrición Humana quienes con profesionalismo y ética, me acompañaron en la difícil tarea de conducir y cerrar mi trabajo de investigación.

Quiero agradecer a aquellas personas que compartieron sus conocimientos conmigo para hacer posible la conclusión de esta tesis.

Especialmente agradezco a la Dra. Ximena Atilano Casi, por su dirección, paciencia, entrega y valiosos consejos que aun en la distancia, me permitieron alcanzar los objetivos de esta tesis.

Al Dr. Ernesto Sabath por su ayuda y confianza al permitirme trabajar con los pacientes de la unidad de hemodiálisis en busca de más conocimiento.

A María Elena Rojo, Maira Galicia y Ricardo Orozco porque sin su invaluable ayuda no hubiera sido posible llevar a buen término este proyecto.

Al personal operativo y administrativo de la unidad de hemodiálisis del Hospital General del estado de Querétaro en donde se realizó la presente investigación.

Gracias a los Dres. Pablo García, Ángeles Aguilera, Beatriz Rangel y Aracely Anaya por sus ideas y recomendaciones respecto a esta investigación.

Al Hospital Tec 100, especialmente a Lorena Villeda, por permitir ausentarme de mi área laboral cuando las clases y mi trabajo de investigación lo requerían.

## **DEDICATORIA**

A Dios, por darme las virtudes y fortalezas necesarias para salir siempre adelante pese a las dificultades que se me han presentado a lo largo de la vida.

A mis padres, porque son ustedes quienes verdaderamente son los dueños de este título, sin su apoyo no lo habría logrado, gracias por ser mis guías y mostrarme que los sueños se logran a base de responsabilidad, trabajo, esfuerzo y dedicación.

A mis hermanos que aunque en la mayoría de las veces parece que estuviéramos en una batalla, disfrutan conmigo cada momento importante de mi vida.

A mis abuelitos, que siempre han creído en mí y me han brindado su apoyo en cualquier situación.

A Daniel por brindarme todo su amor, apoyo, comprensión y paciencia, en las dificultades y triunfos alcanzados durante esta etapa de mi vida.

# INDICE

	Página
Resumen	I
Summary	II
Agradecimientos	III
Dedicatoria	IV
Índice	V
Índice de cuadros	VI
Índice de figuras	VII
<b>I.INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
<b>II.ANTECEDENTES</b>	<b>3</b>
<b><i>2.1 Epidemiología de la enfermedad renal crónica y las terapias de reemplazo de la función renal</i></b>	<b>3</b>
<b><i>2.2 Enfermedad renal crónica avanzada</i></b>	<b>4</b>
<i>2.2.1 Definición</i>	4
<i>2.2.2 Estadios de la enfermedad renal crónica</i>	5
<i>2.2.3 Causas de la enfermedad renal crónica</i>	6
<i>2.2.4 Alteraciones fisiopatológicas en la enfermedad renal crónica</i>	7
<b><i>2.3 Terapias de reemplazo de la función renal</i></b>	<b>8</b>
<i>2.3.1 Definición de diálisis</i>	9
<i>2.3.2 Hemodiálisis</i>	10
<i>2.3.3 Diálisis peritoneal</i>	11
<i>2.3.4 Adecuación de diálisis</i>	13

<b>2.4 El estado de nutrición y su evaluación en la enfermedad renal crónica avanzada</b>	<b>14</b>
2.4.1 Prevalencia de desnutrición	14
2.4.2 Definición de desnutrición	15
2.4.3 Causas de desnutrición	15
2.4.4 Desnutrición y mortalidad	16
2.4.5 Evaluación del estado de nutrición	18
<b>2.5 Composición Corporal</b>	<b>18</b>
2.5.1 Modelos para el estudio de la composición corporal	19
2.5.2 Métodos de composición corporal	20
<b>2.6 Impedancia bioeléctrica</b>	<b>21</b>
2.6.1 Fundamentos de la técnica	22
2.6.2 Predicción de la composición corporal por impedancia bioeléctrica	24
2.6.3 Ventajas y desventajas de la impedancia bioeléctrica	27
<b>2.7 Composición corporal mediante IBE en pacientes renales</b>	<b>27</b>
2.7.1 Validación de la impedancia bioeléctrica en enfermos renales	28
2.7.2 Limitaciones de la impedancia bioeléctrica en enfermos renales	29
2.7.3 Aplicaciones clínicas de la impedancia bioeléctrica	30
2.7.3.1 Importancia del peso seco la aplicación de la impedancia bioeléctrica en su determinación.	31
<b>2.8 Análisis de vectores de impedancia y gráfica RXc</b>	<b>33</b>
2.8.1 Fundamentos del análisis de vectores de impedancia	33
2.8.2 Interpretación de los vectores de impedancia	35
2.8.3 Poblaciones de referencia	36
<b>III. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>38</b>
<b>IV. HIPOTESIS</b>	<b>40</b>
<b>V. OBJETIVOS</b>	<b>41</b>
<b>VI. METODOLOGIA</b>	<b>42</b>
6.1 Diseño de estudio	42
6.2 Características del Diseño	42

6.3 Población a estudiar	42
6.4 Criterios de Inclusión	42
6.5 Criterios de Exclusión	43
6.6 Criterios de Eliminación	43
6.7 Tipo de Muestra	43
<b>6.8 Estimación del tamaño de muestra</b>	<b>43</b>
6.8.1 Tamaño de muestra ajustada a las perdidas	44
<b>6.9 Método para determinar peso seco</b>	<b>44</b>
6.9.1 Signos Clínicos	45
6.9.2 Medidas antropométricas y evaluación del estado de nutrición	45
6.9.3 Determinaciones Bioquímicas	46
6.9.4 Impedancia Bioeléctrica y Análisis de Vectores	47
6.9.4.1 Impedancia Bioeléctrica	48
6.9.4.2 Análisis de Vectores de Impedancia	48
6.9.5 Intervención	49
6.9.5.1 Grupo 1 (experimental): peso seco estimado por medio del análisis de vectores de impedancia	49
6.9.5.2 Grupo 2 (control): peso seco estimado por parámetros clínicos convencionales	50
<b>6.10 Análisis Estadístico</b>	<b>51</b>
<b>6.11 Cuestiones Éticas</b>	<b>52</b>
<b>VII. RESULTADOS</b>	<b>53</b>
<b>LITERATURA CITADA</b>	<b>76</b>

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
1	<i>Etapas de la enfermedad renal.</i>	5
2	<i>Causas de ERCA en México en el año 2011.</i>	6
3	<i>Alteraciones fisiopatológicas en la ERCA</i>	7
4	<i>Factores que contribuyen al desarrollo de desnutrición proteico-energética</i>	16
5	<i>Métodos de composición corporal.</i>	21
6	<i>Los componentes de la impedancia bioeléctrica y su relación con la composición corporal.</i>	23
7	<i>Tipos de evaluaciones de los vectores de impedancia.</i>	36
8	<i>Características basales de la población</i>	54
9	<i>Fluidos corporales basales de la población</i>	55
10	<i>Análisis bioquímicos basales de la población</i>	55
11	<i>Comparación de la diferencias de las características generales basales y finales de los grupos de estudio</i>	56
12	<i>Comparación de las diferencias de los fluidos corporales basales y finales de los grupos de estudio</i>	57
13	<i>Comparación de la diferencias de los parámetros de impedancia bioelectrica basales y finales de los grupos de estudio</i>	58
14	<i>Comparación de la diferencia de los análisis bioquímicos basales y finales de los grupo de estudio</i>	59
15	<i>Comparación de la diferencia de los parámetros antropométricos basales y finales de los grupos de estudio</i>	63
16	<i>Comparación de las diferencias de las frecuencias se Signos y síntomas basales y finales de los dos grupos de estudio</i>	64

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1	<i>Diálisis peritoneal</i>	8
2	<i>Hemodiálisis</i>	9
3	<i>Modelo de 5 niveles</i>	20
4	<i>El cuerpo humano como circuito bioeléctrico.</i>	23
5	<i>Comportamiento de la impedancia a diferentes frecuencias de corriente</i>	24
6	<i>Posición de electrodos en manos y pies.</i>	26
7	<i>Gráfico RXC</i>	34
8	<i>Método gráfico VIBE. Elipses de tolerancia</i>	34
9	<i>Interpretación del gráfico RXC</i>	35
10	<i>Causas de ERCA del total de la población estudiada</i>	53
11	<i>Comparación de los vectores basales pre y post diálisis de los grupos de estudio</i>	59
12	<i>Comparación de los vectores finales pre y post diálisis de los grupos de estudio</i>	60
13	<i>Migración mensual del vector grupo VIBE</i>	61
14	<i>Migración mensual del vector grupo convencional</i>	61
15	<i>Diagnostico nutricional y basal de los grupos de estudio</i>	62
16	<i>Condición basal y final del estado de hidratación</i>	65
17	<i>Análisis de concordancia Bland-Altman entre los dos métodos para la estimación del peso seco</i>	65
18	<i>Sensibilidad y especificidad por el evaluador del método convencional</i>	66

## I. INTRODUCCIÓN

La estimación del peso seco es relacionada por algunos autores más con un arte, o con un modelo de ensayo error, que con fórmulas matemáticas exactas, lo que constituye un desafío clínico que sirve de referencia para valorar el estado de hidratación de los pacientes en hemodiálisis. Aunque inexacta, la definición más extendida de peso seco sería: aquel peso postdiálisis con el cual la presión arterial es óptima, en ausencia tanto de datos clínicos de sobrecarga de volumen como de síntomas de hipotensión ortostática, y además el paciente, permanece normotenso hasta la sesión siguiente, en ausencia de medicación antihipertensiva.

Dada la estrecha relación de volumen extracelular y plasmático, son frecuentes las referencias que asocian el peso seco y la tensión arterial, sin embargo no siempre se pueden correlacionar ambos parámetros, especialmente cuando el paciente toma medicación antihipertensiva.

Para algunos autores, el peso seco se puede estimar con la combinación de datos clínicos, radiografía de tórax y datos analíticos (hematocrito, proteínas totales y albúmina sérica). Sin embargo, para otros autores este ejercicio es difícil, inseguro, poco exacto, intuitivo y no reproducible, por lo que abogan por el uso de otros métodos de estimación del peso seco, invasivos y no invasivos, pero indudablemente más exactos. De entre estos métodos, uno de los mejor estudiados es la impedancia bioeléctrica (IBE), que básicamente consiste en la aplicación de una corriente eléctrica de una intensidad muy pequeña, por debajo de los umbrales de percepción en el tejido a medir. Esta corriente produce una tensión eléctrica que es tan alta cuanto mayor sea la impedancia que muestra el tejido evaluado al paso de dicha corriente. De este modo la IBE contiene dos elementos de importancia clínica; por un lado la resistencia debida a la oposición de los fluidos al paso de la corriente, que indica el estado de hidratación, y la reactancia, debida a la resistencia de las membranas celulares, lo que es un indicador de la masa celular corporal o estado nutricional.

Recientemente, se desarrolló un sistema vectorial estableciendo un nomograma de esferas concéntricas, basado en el vector de impedancia llamado método gráfico RXc, el cual supera las limitaciones convencionales del análisis de IBE, ya que no requiere de asunciones de los componentes corporales ni de ecuaciones de predicción. El método se basa en el análisis de la distribución bivariada del vector de impedancia en una población sana. Dicho método considera a la resistencia (R) y a la reactancia (Rx) como miembros del vector de impedancia (Z), así como el ángulo de fase. Los dos componentes de la impedancia estandarizados por la estatura (R/E, Xc/E) se pueden representar en coordenadas rectangulares, lo que permite visualizarlos como dos variables que forman la distribución normal (Gaussiana) bivariada. Las correlaciones entre estas dos variables determinan la forma elipsoidal de la distribución, a lo que se le llama gráfica RXc.

La sobrehidratación y desnutrición son dos problemas que atañen a la población con insuficiencia renal crónica bajo tratamiento conservador o sometidos a diálisis. La evaluación de estas dos entidades no es sencilla y las herramientas disponibles no siempre son fiables. Los vectores de impedancia bioeléctrica (VIBE) han cobrado gran relevancia en el cuidado de los pacientes nefrópatas en los últimos años. Debido a esto el objetivo de este estudio fue evaluar la efectividad del análisis de VIBE en comparación con los parámetros clínicos para ajustar el ultrafiltrado y alcanzar el peso seco en pacientes sometidos a hemodiálisis.

## II. ANTECEDENTES

### ***2.1. Epidemiología de la insuficiencia renal crónica y las terapias de remplazo de la función renal***

En los países desarrollados la tasa de prevalencia de insuficiencia renal crónica es aproximadamente entre 500 – 1400 pacientes por millón de habitantes. La incidencia en tratamiento sustitutivo es aproximadamente 300 - 340 pacientes por millón de habitantes y se incrementa alrededor de un 10% anualmente (Radecki y Nissenson, 2010). En los países en vías de desarrollo, ambas tasas son mucho menores y está en correspondencia con su nivel económico. En la región de Latinoamérica la prevalencia es de 447 pacientes por millón de habitantes y la incidencia en ingreso a tratamiento sustitutivo es de 147 pacientes por millón de habitantes (Castro-Serralde, 2014).

Con respecto a la modalidad de remplazo renal, esta varía de acuerdo al país. La hemodiálisis es la modalidad de tratamiento más utilizada a nivel mundial (Bargman, 2007), la prevalencia varía de 40% en Australia hasta el 95% en Japón. En la mayoría de los países, el porcentaje de pacientes en diálisis peritoneal es del 10 al 25%. El uso del trasplante renal varía también alrededor del mundo (Radecki y Nissenson, 2010), solamente el 5% del total de pacientes con enfermedad renal en etapa terminal recibe un trasplante renal. Los donadores vivos relacionados constituyen del 30 al 40% del total de trasplantes realizados mundialmente.

En México existen 10 millones de personas (10.3%) con algún grado de insuficiencia renal, de las cuales cerca de 129 mil se encuentran en etapas avanzadas y con requerimientos de diálisis o hemodiálisis (Castro-Serralde 2014). En otros países, el promedio de enfermos renales oficialmente censados es el 11.5% de la población total (López–Gómez y Jofre, 2006).

Con respecto al sexo, los hombres se ven más afectados, con un porcentaje del 55%, situación más o menos similar a la observada en Estados Unidos (53%), afectando más al grupo de edad de 45 a 65 años. La modalidad de diálisis peritoneal continua ambulatoria (DPCA) es el tratamiento de remplazo más común y la diabetes mellitus es la causa más frecuente de enfermedad renal crónica avanzada (ERCA). La ERCA es actualmente la quinta causa de muerte general en México y la tercera a nivel hospitalaria (INSP, 2011).

## **2.2. *Enfermedad renal crónica avanzada***

### **2.2.1. Definición**

La ERCA se define como la reducción progresiva e irreversible del filtrado glomerular a menos de 60 ml/min por más de tres meses. Este proceso fisiopatológico, producto de múltiples patologías resulta en la pérdida de número y funcionalidad de las nefronas (Avedaño et al., 2003; Brenner et al., 2005).

La disminución del número de nefronas funcionales, condiciona la hipertrofia de las nefronas residuales (Guyton y Hall, 1997), debido a un mecanismo adaptativo de hiperfiltración por aumento del flujo y presión glomerular, con el fin de compensar el déficit estructural (Pérez et al., 2005). Este proceso adaptativo tiene un límite y la prolongación de los cambios compensatorios provoca esclerosis y mayor falla renal (Martínez et al., 1993).

### 2.2.2 Estadios de la insuficiencia renal crónica

Una de las características más importantes de la ERCA es su tendencia a la progresión (Brenner, 2005), motivo por el cual, la National Kidney Foundation (2002), ha clasificado a la ERC en 5 estadios de acuerdo a la tasa de filtrado glomerular, siendo los estadios mayores los que representan menor función renal. El establecimiento de estadios facilita el diagnóstico, evaluación y tratamiento de la enfermedad renal (Tabla 1).

**Tabla 1 Etapas de la enfermedad renal.**

<b>Etapas</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tasa de filtrado glomerular (TFG) ml/min</b>
<b>1</b>	Daño renal con TFG normal	> 90
<b>2</b>	Enfermedad renal leve	60 – 89
<b>3<sup>a</sup></b>	Enfermedad renal Moderada	45 – 59
<b>3<sup>b</sup></b>		30 - 44
<b>4</b>	Enfermedad renal severa	15 – 29
<b>5</b>	Enfermedad renal avanzada (diálisis)	< 15

National Kidney Foundation, 2002

Durante las dos primeras etapas de la enfermedad renal, los pacientes suelen estar asintomáticos, sin embargo cuando la TFG disminuye a menos de 60 ml/min, aparecen múltiples complicaciones que se hacen más graves en la etapa final de la ERCA (Brenner, 2005), llegando a comprometer las actividades cotidianas (Kopple y Massry, 2003), el estado nutricional y la vida, si no se aplican terapias de remplazo de la función renal (Avendaño et al., 2003).

### **2.2.3 Causas de la enfermedad renal crónica**

La mayor parte de las enfermedades renales tienen la capacidad de producir daño estructural que compromete la funcionalidad y disminuye el filtrado glomerular (Brenner, 2005), por tanto las causas de enfermedad renal son equivalentes a todas aquellas enfermedades con afecciones renales, que incluyen procesos inmunológicos anormales, trastornos metabólicos, enfermedades vasculares, infecciosas, trastornos que provocan obstrucción del flujo urinario, malformaciones congénitas y alteraciones genéticas, entre otras (Avendaño et al., 2003). Además de todas estas causas, hay un alto porcentaje de casos de etiología no filiada, ya que el diagnóstico es difícil de establecer cuando la ERC está muy avanzada. La frecuencia de las distintas causas de enfermedad renal representa grandes diferencias geográficas, siendo la nefropatía diabética y la nefroangioesclerosis las principales causas en países desarrollados (INSP, 2011), mientras que las enfermedades renales secundarias a procesos infecciosos y la glomerulonefritis los son en países en vías de desarrollo (Castro- Serralde, 2014) (Tabla 2).

**Tabla 2 Causas de ERCA en México en el año 2011**

<b>CAUSAS</b>	<b>INCIDENCIA (%)</b>
Diabetes mellitus	22.4
Presión arterial alta (hipertensión)	21.2
Glomerulonefritis	17.1
Enfermedad renal poliquística (ERPQ)	12.2
Enfermedad renovascular	9.3
Pielonefritis crónica	6.8
Lupus eritematoso	6.2
Cálculos renales	3.4
Infecciones en las vías urinarias	1.2

**Instituto Nacional de Salud Pública, 2011**

### **2.2.4 Alteraciones fisiopatológicas en la enfermedad renal crónica avanzada**

La ERCA afecta prácticamente a todos los órganos y funciones del cuerpo. En la fase final de la enfermedad se desarrolla el síndrome urémico, que se puede definir como un síndrome tóxico que se asocia a alteraciones en las funciones tubulares y endócrinas del riñón y se caracteriza por la acumulación de desechos tóxicos, cambios en el volumen y composición electrolítica de los fluidos corporales y el exceso o deficiencia de varias hormonas (Koople y Marssry, 2003). Las alteraciones fisiopatológicas que se presentan en la fase final de la enfermedad renal se mencionan en la Tabla 3.

**Tabla 3. Alteraciones fisiopatológicas en la ERCA.**

<b>Función del riñón</b>	<b>Alteraciones provocadas</b>
Función excretora	Retención de líquidos, hipertensión, edema, enfermedad cardiovascular, acidosis metabólica, hiperkalemia, alteraciones de la contracción muscular, calambres, hiperfosfatemia, hipocalcemia, hiperparatiroidismo secundario, osteodistrofia renal.
Función endócrina	Disminución de la producción de eritropoyetina (anemia) y calcitriol, (hipocalcemia, osteodistrofia), hipersecreción de PTH, resistencia a GH e IGF-1, aumento de citocinas proinflamatorias.
Función Metabólica	
Hidratos de carbono	Intolerancia a la glucosa, resistencia a la insulina, insulinemia, hiperglucagonemia.
Proteínas	Anormalidad en la concentración de aa libres y disminución de aa esenciales.
Lípidos	Aumento de VLDL, LDL y triglicéridos séricos, disminución de HDL.

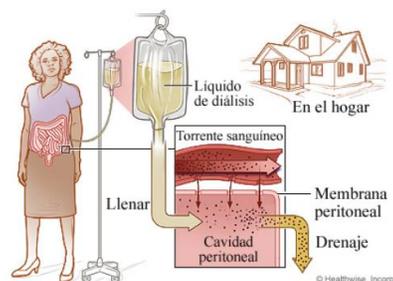
PTH: hormona paratiroidea, GH: hormona de crecimiento, IGF-1: factor de crecimiento similar a la insulina, AA: aminoácidos, VLDL: lipoproteínas de muy baja densidad, LDL: lipoproteínas de baja densidad, HDL: lipoproteínas de alta densidad. Adaptado de: Martínez et al., (1993); Avendaño et al., (2003); Koople y Marssry (2003); Brenner (2005)

Cuando la función renal se encuentra muy disminuida, es necesario iniciar terapias de remplazo de la función renal (Hakim y Lazarus, 1995). Las indicaciones absolutas para el inicio de diálisis son pericarditis, sobrecarga de volumen descontrolada, hipertensión que no responde a tratamiento, encefalopatía urémica, náusea, vómitos severos y persistentes. Dicha sintomatología corresponde normalmente a una TFG de 10 ml/min, sin embargo hay indicaciones relativas para el inicio de diálisis, que incluyen aquellas que reflejan una calidad de vida disminuida como anorexia, desnutrición, fatiga, debilidad, falta de concentración y memoria, prurito y malestar generalizado (Avendaño et al., 2003)

El inicio temprano de la diálisis, antes de que el filtrado glomerular caiga a 10 ml/min, se ha asociado con una mejor calidad de vida, estado nutricional y disminución de la morbi-mortalidad (Daugidas y Ing, 1996).

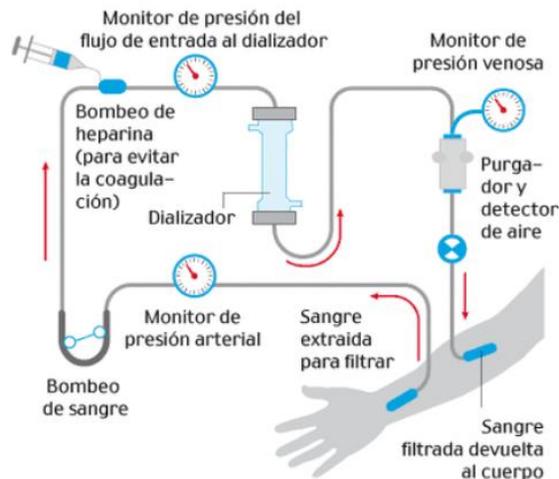
### **2.3 Terapias de remplazo de la función renal**

Existen tres tipos distintos de terapia sustitutiva para el tratamiento de la insuficiencia renal crónica, la diálisis peritoneal, la hemodiálisis y el trasplante renal (Figuras 1 y 2). La hemodiálisis es la modalidad terapéutica más común (Pérez et al., 2005). La elección del tipo de terapia sustitutiva depende de diversos factores como la edad del paciente, comorbilidades, habilidad y preferencias del enfermo (Daugidas y Ing, 1996).



**Figura 1 Diálisis peritoneal**

En este esquema se observa el líquido de diálisis llena el abdomen y saca minerales y líquidos adicionales del torrente sanguíneo. Estos residuos luego drenan fuera del cuerpo junto con el líquido de diálisis en una bolsa de recolección.



**Figura 2 Hemodiálisis**

En este esquema se observa la extracción de sangre del organismo para hacerla circular de forma continua a través de un dializador de doble compartimiento en donde se eliminan las toxinas y el exceso de fluidos para posteriormente regresarla al cuerpo.

### **2.3.1 Definición de diálisis**

La diálisis es un proceso físico mediante el cual la composición de solutos de una solución es modificada al exponerla a una segunda solución a través de una membrana semipermeable (Daugidas y Ing, 1996). Las moléculas de agua y los solutos de bajo peso molecular en las dos soluciones pueden pasar a través de los poros de la membrana, pero los solutos de mayor peso molecular no, de tal manera que permanecen sin modificación (Pobo et al., 2005).

Los solutos se transportan mediante dos mecanismos, la difusión y la ultrafiltración (May, 1993). La difusión se define como el movimiento pasivo de solutos a través de una membrana por diferencia en el gradiente de concentración y la ultrafiltración es el movimiento neto de agua desde una solución a través de una membrana a favor de un gradiente de presión osmótico o hidrostático. Durante la ultrafiltración, el transporte de agua arrastra a otras moléculas disueltas en ella, dicha transferencia de solutos se denomina convección (Bargman, 2007).

### **2.3.2 Hemodiálisis**

La hemodiálisis es una técnica de depuración de la sangre mediante un sistema extracorpóreo (Daugidas y Ing, 1996), en el que se pone en contacto la sangre con un líquido de diálisis de características predeterminadas, por el que se eliminan las sustancias tóxicas y se corrigen las alteraciones electrolíticas, el desequilibrio ácido-base y la sobrecarga de volumen (Vaziri y Moradi, 2006).

La técnica de hemodiálisis consiste en hacer circular la sangre del paciente por un dializador, contenido en una máquina de diálisis, por el cual fluyen tanto la sangre como el líquido de diálisis, separados entre sí por una membrana semipermeable a través de la cual se da el intercambio de solutos. Al salir la sangre del filtro, vuelve al paciente tras haberse desprendido de solutos urémicos y agua y haber adquirido amortiguadores y iones del líquido de diálisis (Bargman, 2007).

Las membranas de diálisis son actualmente de materiales sintéticos biocompatibles, lo que disminuye los procesos inflamatorios y la producción de citosinas (May, 1993). Los líquidos de diálisis están compuestos fundamentalmente de agua, iones, glucosa y un agente alcalinizante (Pérez, et al, 2005).

Para llevar a cabo el proceso de hemodiálisis se debe tener un acceso vascular, que garantice un flujo sanguíneo de 250-300mL/min, principalmente mediante una fístula arteriovenosa de larga duración, la cual se realiza mediante la anastomosis de una arteria con una vena, siendo de primera elección la radiocefálica (Pobo, et al., 2005). Una alternativa de acceso vascular cuando no se puede llevar a cabo la fístula o bien es necesario un acceso de corta duración, es un catéter venoso femoral, yugular o subclavio (Rodríguez, et al., 2005).

La duración y frecuencia de la hemodiálisis depende en gran parte de la función renal residual y de la cantidad de diálisis que requiera el paciente, siendo el esquema más habitual, el de tres sesiones por semana con una duración de entre 3 a 5 horas (Bargman, 2007).

Las complicaciones agudas más frecuentes durante las sesiones de hemodiálisis son hipotensión, calambres, náuseas y vómitos, cefalea y escalofríos (Koope, 2003). También se presentan otras complicaciones menos frecuentes pero más graves, entre las que se encuentran el síndrome de desequilibrio, reacciones de hipersensibilidad, arritmias, taponamiento cardíaco, hemorragias, convulsiones, hemólisis y embolia gaseosa (Vaziri y Moradi, 2006).

### ***2.3.3 Diálisis peritoneal***

La diálisis peritoneal es una terapia de remplazo de la función renal donde a diferencia de la hemodiálisis, la sangre se limpia dentro del organismo. Consiste en la infusión de una solución de diálisis en la cavidad peritoneal, para propiciar el intercambio de solutos entre la sangre y el líquido de diálisis a través del peritoneo, éste actúa como una membrana semipermeable natural de filtración (Brenner, 2005).

El peritoneo es usado como filtro por sus numerosos poros y vasos sanguíneos que permiten un adecuado intercambio de sustancias (Avendaño et al., 2003). El acceso a la cavidad peritoneal es a través de un catéter insertado en la pared abdominal por medio de técnicas quirúrgicas, guías o laparoscopia. Los catéteres pueden ser temporales o definitivos dependiendo de las necesidades del paciente (Bargman, 2007). El más común es el catéter de Tenckhoff, aunque existen muchos otros con modificaciones respecto a este. La funcionalidad del catéter es decisiva en el éxito del tratamiento (Flanigan y Gokal, 2005).

La diálisis peritoneal de largo plazo produce alteraciones estructurales y funcionales en la membrana peritoneal. Estas alteraciones se relacionan principalmente con las soluciones de diálisis utilizadas, por lo que se han desarrollado soluciones biocompatibles, que producen menor daño peritoneal (Bargman, 2007). Las soluciones de diálisis tienen características muy diversas, desde diferentes volúmenes y concentraciones hasta agentes osmóticos, alcalinizantes y sistemas de bolsas. En general, las soluciones tienen un agente osmótico, un álcali y diversos electrolitos. El agente osmótico más poderoso y usado es la glucosa, sin embargo, por sus consecuencias adversas, las nuevas soluciones utilizan icodextrina y aminoácidos. Dentro de los agentes alcalinizantes se encuentran el lactato y el bicarbonato, el uso de este último provoca caramelización de la glucosa y precipitación de carbonato cálcico, aunque esto se ha superado por el uso de sistemas bicompartimentales (Bajo et al., 2008).

Existen varias formas de diálisis peritoneal, la continua ambulatoria (DPCA) que consiste en la infusión manual de 1 a 3 L de dializado en la cavidad peritoneal con tres o cuatro intercambios durante el día. El drenaje del dializado toma aproximadamente 20 min y se efectúa de manera manual a favor de la gravedad, antes de que la siguiente solución de diálisis se infunda (Brenner, 2005). El número de intercambios y la concentración de las bolsas de diálisis dependen de las características y necesidades de cada paciente. La diálisis peritoneal automatizada (DPA) incluye modalidades que necesitan de una máquina que dosifica el volumen y tiempo de permanencia de los intercambios, en función de las características del peritoneo de cada paciente (Avendaño et al., 2003).

Debido a que las características del peritoneo varían de un paciente a otro, es necesario realizar pruebas de función peritoneal, que permiten conocer la transferencia de solutos en relación a la concentración de los mismos en sangre y dializado; permite clasificar a los pacientes en transportadores, promedio alto, promedio bajo y bajo. Los pacientes con permeabilidad alta y media alta se caracterizan por una excelente depuración de solutos y baja ultrafiltración, al

contrario de los transportadores bajos y medio bajos, que tienen una ultrafiltración alta pero con una lenta saturación del líquido de diálisis. Estos patrones son útiles para orientar acerca del tipo de tratamiento más adecuado para cada paciente, sin embargo no sirven para evaluar y adecuar la dosis de diálisis (Bargman, 2007).

### **2.3.4 Adecuación de diálisis**

Se puede definir como diálisis adecuada a aquellas medidas encaminadas a disminuir la morbilidad, mejorar la calidad de vida y prolongar la sobrevida de los enfermos en diálisis. Se enfoca principalmente en determinar la cantidad de diálisis que se debe prescribir a cada paciente para que se corrija la sintomatología urémica y las alteraciones metabólicas (Pérez et al., 2005).

Actualmente, el parámetro más utilizado para cuantificar la dosis de diálisis necesaria se basa en el modelo cinético de la urea o  $Kt/V$ , donde la  $K$  expresa la depuración de urea, la  $V$  el volumen de distribución de la urea, que es comparable al agua corporal total, en tanto que la  $t$  es el tiempo, que en hemodiálisis se considera la duración de la sesión. Cabe aclarar que en diálisis peritoneal, un periodo de 24 horas, es en realidad el término que describe el aclaramiento o depuración de urea de los líquidos corporales durante el tiempo en el que el paciente se está dializando. La disminución de la dosis de diálisis se ha asociado a un incremento de la morbimortalidad, por lo que el objetivo de adecuación en hemodiálisis es mantener un  $Kt/V \geq 1.2$  y en diálisis peritoneal  $\geq 2.0$  (Kopple y Marsry, 2003).

La ultrafiltración en diálisis se calcula de una manera más empírica, basándose principalmente en variables clínicas. El ultrafiltrado en hemodiálisis es la pérdida de peso que experimenta el paciente en un periodo agudo de 3 o 4 horas y que se considera pérdida de agua corporal. En la diálisis peritoneal es la diferencia entre el volumen de solución de diálisis instilado y el extraído en un día. Se asume que cuando el paciente ha sido dializado, se ha removido suficiente

líquido y se encuentra en peso seco, es decir el peso ideal en condiciones de normohidratación (Kalantar-Zede et al., 2009). El cálculo del peso seco, la sobrehidratación y su influencia en la evolución del paciente se comentará posteriormente.

## ***2.4 El estado de nutrición y su evaluación en la enfermedad renal crónica avanzada***

La acumulación de toxinas y las alteraciones metabólicas y hormonales características de la insuficiencia renal, contribuyen al deterioro del estado nutricional y la composición corporal. La desnutrición aparece en etapas tempranas de la enfermedad renal, incluso antes de los tratamientos dialíticos, y progresa paulatinamente conforme la enfermedad renal avanza (Kalantar-Zede et al., 2009).

Los pacientes con insuficiencia renal crónica avanzada presentan frecuentemente pérdida de peso, disminución de las reservas proteínicas y de masa muscular, así como bajas concentraciones de albúmina, prealbúmina y colesterol sérico (Kalantar-Zede et al., 2003).

### ***2.4.1 Prevalencia de desnutrición***

Múltiples estudios, han demostrado una alta prevalencia e incidencia de desnutrición energético-proteínica en pacientes sometidos a hemodiálisis o diálisis peritoneal, con diferencias en el número de casos, lo cual depende de la herramienta utilizada para evaluar el estado nutricional (Aparicio et al., 1999). En general se considera que entre el 16 y 54% de los pacientes en diálisis presentan desnutrición (Laville y Fouque, 2000), siendo la mayor parte de grado leve o moderado y del 6 al 8% de grado severo (Mehrotra y Kopple, 1991). En México se estima que el 23-76% de los pacientes en hemodiálisis suelen presentar desnutrición energético–proteínica (Mendoza et al., 2004).

### **2.4.2 Definición de desnutrición**

Se ha definido a la desnutrición energético-proteínica como “el estado de disminución de las reservas corporales de proteína y grasa”, asociada con disminución de la capacidad funcional. (Cianciaruso et al., 1995; Fouque et al., 2008).

### **2.4.3 Causas de desnutrición**

La desnutrición en los enfermos renales es de origen multifactorial, está relacionada tanto con el consumo de alimentos como con procesos totalmente ajenos a la ingesta. En la Tabla 4 se muestran los factores que contribuyen al desarrollo de desnutrición energético-proteínica en pacientes con enfermedad renal crónica avanzada (Lowrie y Lew, 1990; Lindholm y Bergstrom, 1992; Ikizler y Hakim, 1996; Brown-Catwright et al., 1998; Stenvinkel et al., 2000; Pérez et al, 2005).

La anorexia principalmente es causada por el acumulo de toxinas urémicas, sin embargo hay otros factores que contribuyen a esta condición, como la inflamación (aumento de proteína C reactiva (PCR), factor de necrosis tumoral alfa (TNF $\alpha$ ), interleucina 1 (IL-1) e interleucina 6 (IL-6), la hiperleptinemia y factores asociados al proceso de diálisis (Brown-Catwright et al., 1998).

**Tabla 4. Factores que contribuyen al desarrollo de desnutrición energético-proteínica**

1. Ingesta alimentaria disminuida	2. Hipermetabolismo /alteraciones metabólicas	3. Factores relacionados con el proceso de diálisis
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anorexia por toxicidad urémica</li> <li>• Factores psicológicos y financieros (depresión, aislamiento, pobreza, etc)</li> <li>• Dietas restrictivas, inadecuadas o desagradables al paladar</li> <li>• Problemas gastrointestinales: gastroparesia, reflujo, úlcera péptica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acidosis metabólica</li> <li>• Inflamación: anorexia e hipermetabolismo</li> <li>• Resistencia a la insulina, GH e IFG-1: aumento del catabolismo proteínico</li> <li>• Aumento de glucagon y paratohormona</li> <li>• Metabolismo proteínico anormal</li> <li>• Aumento de agentes anorexígenos: leptina, TNF-<math>\alpha</math>, IL-6.</li> <li>• Comorbilidades</li> <li>• Toma de muestras sanguíneas frecuentes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dosis de diálisis insuficiente</li> <li>• Pérdida de aminoácidos, proteínas y vitaminas en el dializado</li> <li>• Supresión del apetito por absorción de glucosa del dializado</li> <li>• Distensión abdominal por instilación del dializado</li> <li>• Peritonitis</li> <li>• Incompatibilidad de membranas</li> <li>• Secuestro de sangre en los dializadores</li> <li>• Producción de citosinas proinflamatorias</li> </ul>

GH. Hormona de crecimiento, IFG-1: factor de crecimiento similar a la insulina, TNF $\alpha$ : factor de necrosis tumoral, IL-6: interleucina 6

#### **2.4.4 Desnutrición y mortalidad**

La desnutrición es un importante factor de riesgo de morbi-mortalidad en enfermos sometidos a diálisis, principalmente por causas cardiovasculares (Fort, 2005). Los pacientes con mayor número de marcadores de desnutrición tienen dos veces mayor riesgo de mortalidad en comparación con los que no lo tienen (Kovesdy et al., 2009). Probablemente la relación entre inflamación y desnutrición en enfermos renales, sea una explicación de la alta mortalidad asociada a desnutrición (Kalantar-Zadeh et al., 2003).

Uno de los predictores clásicos de mortalidad en este grupo de pacientes es la albúmina sérica y se ha encontrado que las concentraciones menores a 2.5 g/dL incrementan el riesgo de muerte 20 veces más, en comparación con pacientes con concentraciones de albúmina mayores a 4 g/dL (Ikisler y Hakim, 1996). Las concentraciones de prealbúmina sérica menores a 20 mg/dL se asocian con un incremento de entre el 43 y 63% en el riesgo de muerte de pacientes en diálisis, así mismo una reducción de prealbúmina de más de 10 mg/dL en un periodo de 6 meses provoca un incremento del 78% en el riesgo de muerte en comparación con los pacientes en los que los valores de prealbúmina sérica se mantienen estables (Rambod et al., 2008).

Diversos marcadores asociados a una disminución de eventos cardiovasculares y mayor sobrevida en la población general son en la población en diálisis, factores de riesgo de morbi-mortalidad cardiovascular, fenómeno que se conoce como epidemiología inversa. Algunos marcadores como un índice de masa corporal (IMC) elevado, correspondiente a sobrepeso u obesidad, hipercolesterolemia, hipertensión y altas concentraciones de creatinina parecen ser protectores y se asocian con una mayor sobrevida en enfermos con tratamiento dialítico, especialmente en hemodiálisis (Kalantar-Zadeh et al., 2003). El sobrepeso y la obesidad, en enfermos con diálisis, se ha asociado a una mejora en la sobrevida, mientras que el bajo peso, correspondiente a un IMC menor a 19 Kg/m<sup>2</sup> incrementa la mortalidad. El factor protector del IMC parece estar relacionado principalmente con el aumento de la masa muscular y no con la masa grasa (Mafdra et al., 2008), sin embargo, también la pérdida de grasa corporal, con valores por debajo del 12% se relaciona con un riesgo de muerte 4 veces mayor (Hylander et al., 1997). Por lo tanto una cantidad adecuada de masa muscular y el mantenimiento de la masa grasa con una buena distribución corporal a través del tiempo, mejora la sobrevida de estos pacientes (Kato et al., 2003; Kakiya et al., 2006; Mafdra et al., 2008; Dong et al., 2008).

#### **2.4.5 Evaluación del estado nutricional**

Debido a la alta prevalencia de desnutrición energético-proteínica, la evaluación y seguimiento del estado de nutrición es un componente fundamental de la atención nutricional. Para realizar dicha labor existen diversas herramientas, siendo las más comúnmente utilizadas la evaluación global subjetiva y su adaptación para pacientes en diálisis (Chung et al., 2007; Chiu et al., 2009; Muscaritoli et al., 2009) También se utilizan métodos antropométricos que incluyen la medición de circunferencias y pliegues cutáneos, estimaciones de ingesta y marcadores bioquímicos como la albúmina sérica, prealbúmina sérica, transferrina, cuenta total de linfocitos, entre otros (Fort, 2005; Pupim et al, 2005; Rambod et al.,2008; Kovesdy et al.,2009).

Se ha recomendado incluir cuatro categorías para el diagnóstico de desnutrición energético-proteínica en el paciente con daño renal, a saber, parámetros bioquímicos (albúmina, prealbúmina y colesterol), evaluación de masa corporal (IMC, pérdida de peso, porcentaje de masa grasa), evaluación de masa muscular y estimación de la ingesta dietética (Mafra et al., 2008; Kovesdy y Kalantar-Zadeh, 2009).

Así mismo se sugiere la utilización de nuevas herramientas que pueden ser de gran utilidad para la evaluación de la composición corporal de estos pacientes (Kato et al., 2003; Kakiya et al., 2006; Dong et al., 2008).

#### **2.5 Composición Corporal**

La composición corporal es de gran interés debido a sus diversas aplicaciones clínicas en distintos campos de la medicina y nutrición (Detsky et al., 1987). Constituye una parte importantísima de la valoración del estado de nutrición y su seguimiento. Igualmente contribuye de distintas formas y grados al

diagnóstico y tratamiento de cambios en la composición de tejidos y líquidos corporales en diferentes patologías (Heymsfield et al., 1996; Cano et al., 2009).

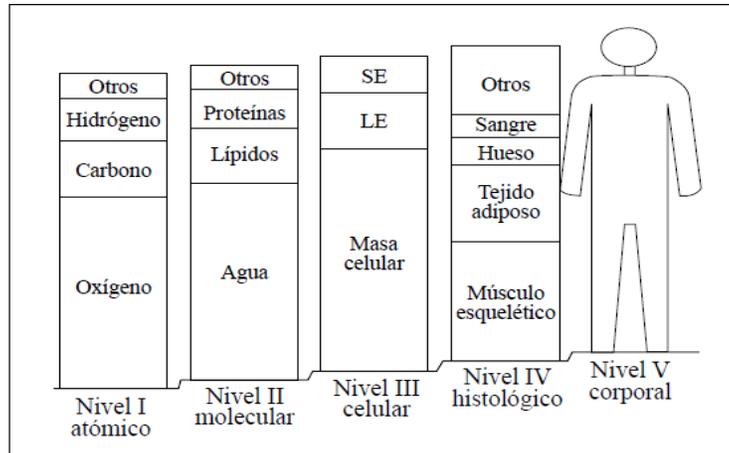
### ***2.5.1 Modelos para el estudio de la composición corporal***

Para el estudio de la composición corporal existen varios modelos que difieren en dificultad y precisión, el primero, más sencillo y utilizado es el modelo bicompartimental, que divide al cuerpo humano en dos compartimentos distintos, la masa grasa (MG) y la masa libre de grasa (MLG) (Lukaski, 1987). Definiendo la masa libre de grasa por cualquiera de los métodos de composición corporal disponibles, la masa grasa puede ser determinada indirectamente por la diferencia con el peso corporal total (Valtuna et al., 1996).

Los otros modelos de estudios son los multicompartimentales, que comprenden la medida de diversos compartimentos corporales por diferentes técnicas independientes una de otras, este enfoque posee claras ventajas frente al modelo de dos compartimentos ya que tiene menos errores; sin embargo, al tener que utilizar varias técnicas en un mismo individuo, lo que de inicio complica su estudio, se puede aumentar la probabilidad de acumular errores asociados a cada una de ellas (Pietrobelli et al., 1998).

La composición corporal puede estudiarse mediante el método de cinco niveles (Figura 3), el cual se ha convertido en el estándar para su estudio e investigación, dicho enfoque surgió por la necesidad de desarrollar un modelo claro y bien definido que caracterizara los mayores componentes corporales. De acuerdo con este modelo hay más de 30 componentes corporales que están organizados en cinco niveles: atómico, molecular, celular, tisular y corporal. Cada componente es diferente, bien definido y ocupa solo un nivel (Heymsfield et al., 1996). En estado de equilibrio, se pueden establecer relaciones entre componentes, independientemente del nivel al que pertenezcan, con lo que, es

posible calcular algunos componentes a partir de otros conocidos (Pietrobelli et al., 1998).



SE: sólidos extracelulares LE Líquidos extracelulares

**Figura 3. Modelo de 5 niveles**

Distintos niveles en los que se puede dividir el cuerpo humano: Nivel I (Atómico), Nivel II (Molecular). Nivel III (Celular), Nivel IV (Sistemas y Tejidos), Nivel V (Cuerpo completo)

Todos los métodos de composición corporal utilizan ecuaciones que asumen relaciones entre cantidades cuantificables y funciones matemáticas que las relacionan, e indican que un componente desconocido puede ser medido mediante la combinación de una cantidad cuantificable, que puede ser una propiedad y/o un componente, con una función matemática. Las propiedades cuantificables son el fundamento de los métodos de composición (Heymsfield et al., 1996).

### **2.5.2 Métodos de composición corporal**

Existen diversos métodos de composición corporal que se presentan en la Tabla 5, y que varían en cuanto a compartimento estimado, precisión, exactitud, costo, duración y dificultad de estudio, etc. (Lukaski, 1987; Heymsfield et al., 1997).

**Tabla 5. Métodos de composición corporal.**

<b>Técnicas</b>	<b>Tipos</b>
Técnicas dilucionales	Agua corporal total
	Potasio corporal total
Técnicas densitométricas	Densitometría hidrostática
	Pletismografía
Técnicas de imagen	Tomografía axial computarizada
	Resonancia magnética
	Análisis de activación de neutrones
	Absorciometría dual de rayos X
Técnicas de medición de grasa subcutánea	Interactancia cercana al infrarrojo
	Pliegues cutáneos
Técnicas de conductancia eléctrica	Impedancia bioeléctrica
	Conductividad eléctrica corporal total

### **2.6 Impedancia bioeléctrica**

En los últimos 15 años el uso de la impedancia bioeléctrica (IBE) para la estimación de la composición corporal ha crecido rápidamente ya que es un método simple, seguro y relativamente barato. El método de IBE ha sido utilizado ampliamente y probado en múltiples poblaciones tanto sanas como en diversos estados patológicos, lo que demuestra que dicha técnica ha cobrado gran importancia en el estudio de la composición corporal (Ellis, 2000).

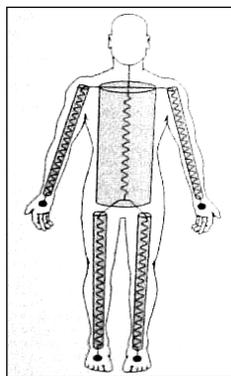
### **2.6.1 Fundamentos de la técnica**

Este método se basa en la conducción de una corriente eléctrica a través del organismo y se puede estudiar mediante la respuesta de oposición de un cilindro lleno de fluido a una corriente eléctrica. Dicha corriente eléctrica es conducida a través de los iones presentes en el fluido pero también encuentra oposición a su flujo, lo que se denomina resistencia (Valtuna et al., 1996). La resistencia de un cilindro está relacionada a la longitud e inversamente relacionada con el diámetro, por lo que si estas variables son conocidas, los cambios en la resistencia reflejan el volumen contenido en el cilindro.

La aplicación de estas bases biofísicas al estudio de la composición corporal, hace que se considere al cuerpo humano como una serie de cilindros conductores, representados por los brazos, tronco y piernas (Figura 4). Al conocer la longitud de los cilindros, representada por la estatura, y la resistencia medida a lo largo del cuerpo, se puede conocer el contenido total de líquidos corporales (Pietrobelli et al., 1998; Chertow, 1999; Ellis, 2000).

La impedancia es la función matemática que hay entre dos componentes y puede ser expresada como  $Z = (R^2 + Xc^2)$ , donde R es la resistencia y Xc la reactancia.

La resistencia determina el 98% de la impedancia y la reactancia contribuye al 2% restante (Heymsfield et al., 1996) En la Tabla 6 se muestran los componentes de la impedancia y su significado biológico.



**Figura 4. El cuerpo humano como circuito bioeléctrico.**

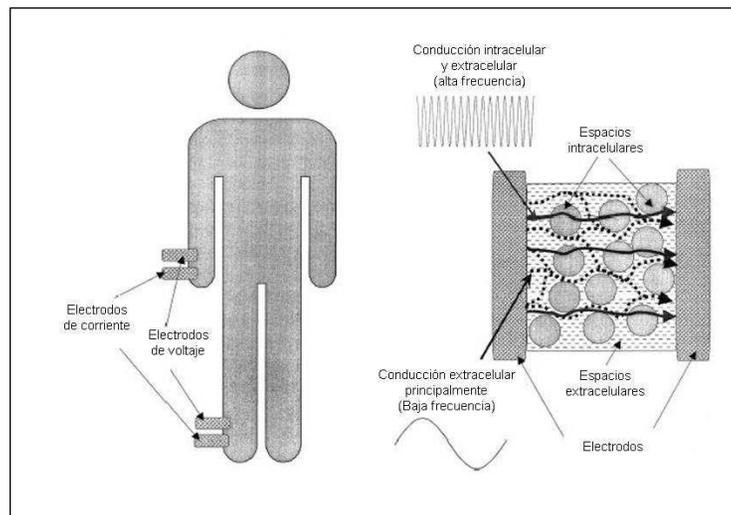
El cuerpo humano como una serie de cilindros conductores, representados por los brazos, tronco y piernas

**Tabla 6. Los componentes de la impedancia bioeléctrica y su relación con la composición corporal.**

<b>Componente</b>	<b>Definición</b>	<b>Significado biológico</b>
<b>Resistencia (R)</b>	Oposición al flujo de corriente eléctrica	Volumen de líquidos corporales
<b>Reactancia (Xc)</b>	Capacitancia: cambio en la corriente eléctrica debido a la polarización de las membranas celulares.	Integridad de membranas celulares. Cantidad de masa magra.
<b>Ángulo de fase (AF)</b>	Cambio de fase de la corriente eléctrica. Es el arco tangente entre la R y Xc.	Celularidad, masa celular corporal (masa metabólicamente activa)

La reactancia se considera un marcador del estado nutricional, ya que refleja la capacidad funcional de las proteínas somáticas. Aunque el significado biológico del ángulo de fase no está del todo claro, se considera un indicador de la masa celular, de la distribución del agua en los espacios extra e intracelular y se ha relacionado con la sobrevida de pacientes en diversas patologías. Además junto con la reactancia y la masa celular corporal es un excelente indicador del estado nutricional (Detsky et al., 1987; Heymsfield et al., 1996).

La impedancia trabaja a una corriente de  $800\mu\text{A}$ , comúnmente a una frecuencia de  $50\text{kHz}$ , sin embargo también puede ser llevada a cabo a múltiples frecuencias, que van desde 5 hasta  $1000\text{ kHz}$ . Dependiendo de la frecuencia de la corriente, la conducción eléctrica se hace a través de los espacios extra y/o intracelulares (Valtuna et al., 1996). A bajas frecuencias la impedancia de las membranas celulares es muy grande para conducir la corriente a través de ellas, por lo que solo fluye por el espacio extracelular (Lukaski, 1996). Si la frecuencia aumenta, entonces la corriente atraviesa las células y fluye tanto por el espacio intracelular como el extracelular (Figura 5).



**Figura 5. Comportamiento de la impedancia a diferentes frecuencias de corriente.**

A bajas frecuencias la impedancia de las membranas celulares solo fluye por el espacio extracelular, conforme aumenta la frecuencia la corriente atraviesa las células y fluye tanto por el espacio intracelular como el extracelular.

### ***2.6.2 Predicción de la composición corporal por impedancia bioeléctrica***

La IBE estima la composición corporal mediante ecuaciones de predicción, derivadas de regresiones lineales de las variables eléctricas de impedancia, resistencia y reactancia de una población sana de referencia. Se deben de tener en cuenta varias asunciones hechas durante el desarrollo de las ecuaciones de

predicción con el fin de garantizar su precisión. Por ejemplo, la consideración del cuerpo como un circuito de cinco cilindros conectados entre sí, la relación de la longitud de las piernas y el tronco, la hidratación normal de la masa libre de grasa (73%) y la fracción grasa. Debido a que estas características varían de acuerdo a la edad, raza, geometría corporal y condiciones clínicas diversas, no es posible tener una ecuación universal para la estimación de la composición corporal, por lo que las ecuaciones deben ser específicas para cada población, de tal manera es necesario seleccionar una ecuación lo más similar posible a la población de estudio (Barbosa-Silva y Barros, 2003). Estas últimas premisas, principalmente la concerniente al nivel de hidratación del 73% de la masa libre de grasa, representa un problema en la estimación de la composición corporal en poblaciones con alteración de líquidos corporales (Pupim et al., 1999). Aun cuando se disponga de ecuaciones de predicción adecuadas para la población a estudiar, se debe tener en cuenta los puntos en los que se pueden producir errores que afecten la validez, reproducibilidad y precisión de las mediciones como la falta de metodología estandarizada para las mediciones (posición corporal, posición de los electrodos, consumo de alimentos, realización de actividad física reciente, entre otros), el error estándar de la ecuación (Barbosa-Silva y Barros, 2003; Woodrow, 2007), la limitación del método de referencia usado para la validación, las diferencias en la geometría corporal y las variables biológicas de los pacientes.

La metodología de la IBE se puede enfocar de cuatro formas:

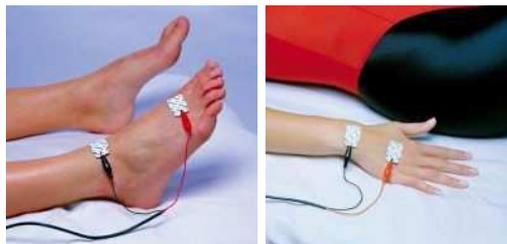
- Impedancia monofrecuencia (50kHz): que permite evaluaciones directas de agua corporal total y mediante ecuaciones de predicción de la distribución de líquidos (AEC, AIC) y tejidos corporales (MG, MLG y MCC).
- Impedancia multifrecuencia: debido al uso de bajas (1-5kHz) y altas frecuencias (100-500kHz) permite la estimación de agua corporal total y agua extracelular. El AIC es estimada por diferencia.

- Impedancia espectroscópica: con frecuencias de 1 a 1000kHz mediante el método de Cole, permite la predicción de agua corporal total y sus compartimentos intra y extracelulares.
- Impedancia vectorial: estima cualitativamente la composición corporal mediante los valores de resistencia y reactancia a 50kHz graficados sobre el plano R/Xc (Picoli et al.,2005)

Se ha encontrado que hay una equivalencia de información, entre la impedancia monofrecuencia a 50 kHz y la impedancia espectroscópica en la evaluación del compartimiento hídrico en pacientes en diálisis, por lo que la utilización de la impedancia espectroscópica no representa ventajas en la determinación de la composición corporal. En la práctica clínica, es más fácil y útil el uso de impedancia monofrecuencia y de sus vectores (Tattersall, 2009).

Para llevar a cabo la medida de impedancia, se coloca al sujeto en posición supina sobre una superficie no conductora con los brazos y piernas extendidas evitando el contacto de estas con el tronco y se colocan los electrodos en las extremidades derechas (Pupim et al., 1999).

Una corriente eléctrica imperceptible es liberada por los electrodos emisores y captada tras su paso por el cuerpo por los electrodos sensores (Figura 6).



**Figura 6. Posición de electrodos en manos y pies.**

### **2.6.3 Ventajas y desventajas de la impedancia bioeléctrica**

Dentro de las ventajas de la IBE se encuentran su bajo precio, fácil transporte, metodología sencilla y rápida, necesidad de poca colaboración por parte del paciente, además de no ser invasiva e indolora y tener poca variabilidad interobservador. Una de sus desventajas es que las asunciones hechas en las metodologías utilizadas para la estimación de la composición corporal, pueden ser inválidas en estados patológicos, como la insuficiencia renal, llevando a una mala interpretación de los resultados (Valtuna et al., 1996). Otra de sus desventajas, es la dificultad para determinar los cambios agudos de la composición corporal, principalmente entre los cambios en la masa libre de grasa y en el estado de hidratación de los pacientes (Kushener et al., 1996).

### **2.7 Composición corporal mediante IBE en pacientes renales**

La evaluación de la composición corporal, que incluye el estado de hidratación y contenido de tejidos corporales en el paciente nefrópata, es de vital importancia para su adecuado manejo tanto médico como nutricional (Chumlea, 2004).

Existen técnicas más precisas para la estimación de la composición corporal en pacientes con insuficiencia renal que la IBE, como es la dilución de isótopos y el método de la vena cava inferior. Dichas técnicas eluden los problemas que presenta la IBE en relación al estado de hidratación y de la masa libre de grasa; sin embargo, son costosas, invasivos y poco aplicables en la práctica clínica, por lo que el uso de la IBE en este grupo de pacientes es muy frecuente y a pesar de sus inconvenientes técnicos se han establecido como parte fundamental del manejo médico y nutricional de los enfermos renales (Woodrow, 2007).

### **2.7.1 Validación de la impedancia bioeléctrica en enfermos renales**

Múltiples estudios se han llevado a cabo para validar la impedancia bioeléctrica, obteniendo resultados un tanto dispares, sin embargo la mayor parte de estos han encontrado una correlación mayor del 90% entre la IBE y métodos estándar de oro, tales como la dilución de isótopos y absorciometría dual de rayos X (DEXA) (Kushner et al., 1996). Cooper encontró que las estimaciones de agua corporal total y MLG por medio de IBE y por dilución de isótopos, no fueron estadísticamente diferentes en pacientes en diálisis peritoneal, hemodiálisis o con trasplante renal (Cooper et al., 2000).

Se ha evaluado la composición corporal de pacientes en hemodiálisis por medio de IBE, DEXA y dilución de isótopos, encontrándose que la MLG, masa celular y agua corporal total determinadas por IBE muestran una alta correlación con las estimaciones realizadas por las metodologías de dilución de isótopos y DEXA, lo que indica que la IBE es un método reproducible para evaluar el estado de nutrición e hidratación de pacientes en hemodiálisis (Chewtow et al., 1995; Abrahamsem et al., 1996).

En pacientes en diálisis peritoneal, las estimaciones de agua intracelular (AIC) con equipos mono y multifrecuencia, se correlacionaron con las medidas hechas por métodos dilucionales (Van de KJ et al., 2003).

Así mismo, se han observado altas correlaciones, en las determinaciones de agua corporal total (ACT) y agua extracelular (AEC), entre las técnicas de dilución y la impedancia multifrecuencia, tanto en pacientes en hemodiálisis como en diálisis peritoneal (Cox-Rejiven et al., 2001; Konings et al., 2002).

### ***2.7.2 Limitaciones de la impedancia bioeléctrica en enfermos renales***

A pesar de que la IBE ha mostrado tener buena correlación con los métodos de referencia de composición corporal, una de sus desventajas es que las estimaciones pueden ser poco precisas por el estado de hidratación de los tejidos y la magnitud de los compartimentos hídricos, principalmente a nivel troncal (Lindley et al., 2005). En las mediciones de impedancia de cuerpo entero, se ha observado que el agua contenida en el tronco no es estimada correctamente, ya que, debido a su longitud y diámetro, este segmento corporal solo contribuye al 10% de la impedancia total, por lo que el agua contenida suele ser subestimada. Esta falta de sensibilidad de la IBE de cuerpo entero, no permite realizar determinaciones correctas del fluido intraperitoneal. De hecho en un estudio llevado a cabo en 14 pacientes en diálisis peritoneal con mediciones de impedancia de cuerpo entero y segmental, se encontró que los cambios en el volumen extracelular del tronco solo fue detectado por la impedancia segmental (Zhu et al., 2000).

Otra limitación de la impedancia es que la medición en los pacientes nefróticos no debe ser llevada a cabo en cualquier momento o situación ya que puede afectar su precisión, por ejemplo se ha visto que en los pacientes en hemodiálisis las estimaciones de los compartimentos hídricos son más confiables en el periodo postdiálisis, por lo que es recomendable llevar a cabo las mediciones al final del tratamiento dialítico (Chumela, 2004).

No hay un punto de acuerdo en cuanto al momento exacto para realizar las mediciones, debido principalmente al efecto de relleno de solutos y líquidos entre el espacio extra e intracelular, pero parece que las estimaciones de la IBE son reproducibles durante los 120 minutos subsiguientes a la finalización de la sesión de hemodiálisis y pueden ser tomadas en cualquier momento, sin que los resultados se alteren (Picoli et al., 2005).

En cuanto a los pacientes en diálisis peritoneal, las mediciones son más confiables cuando el estado de hidratación es clínicamente estable, sin embargo no hay acuerdo en el momento ideal para llevarlas a cabo, ya que los cambios en los líquidos corporales debidos a la diálisis son más lentos, a diferencia de los pacientes en hemodiálisis (Kotanko et al., 2008).

Debido a la insensibilidad de la IBE para estimar los cambios en los fluidos del tronco, las mediciones pueden llevarse a cabo con la cavidad llena o vacía, según la conveniencia clínica (Kyle et al., 2003).

### ***2.7.3 Aplicaciones clínicas de la impedancia bioeléctrica***

Las aplicaciones clínicas de la IBE en enfermos renales se enfocan en dos grandes campos, el diagnóstico nutricional y la evaluación y manejo del estado de hidratación. Probablemente la mayor contribución de la IBE en pacientes en diálisis son las mediciones repetidas para el seguimiento de la composición corporal y estado de hidratación a lo largo del tiempo (Kyle et al., 2003).

En cuanto a la evaluación del estado nutricional, puede hacerse convencionalmente mediante la comparación de las estimaciones de MLG y MG con valores de referencia o bien por nuevos indicadores como la reactancia o la masa celular (MC). Debido a que la MLG presenta una composición heterogénea ya que comprende la masa ósea, muscular y agua intra y extracelular, los cambios en ésta, pueden reflejar alteraciones en el estado de hidratación, de nutrición o de ambos, por lo que el uso de la MC es más confiable y refleja solo cambios en el estado de nutrición, así mismo el agua intracelular, al constituir el 72% de la MC, puede ser utilizada como indicador del estado de nutrición (Di et al., 2004).

En cuanto al estado de hidratación, la IBE tiene varias aplicaciones, puede ser usada en la prescripción y monitorización de la dosis de diálisis mediante el

cálculo del agua corporal total para ser aplicada en el modelo cinético de la urea, para la evaluación del estado de hidratación en pacientes en hemodiálisis o diálisis peritoneal con el objetivo de minimizar los problemas relacionados con el exceso o disminución de líquidos corporales o para el ajuste de peso seco en los pacientes sometidos a hemodiálisis, mediante la estimación del agua corporal total y la relación con su distribución compartimental, siendo esta última una de las aplicaciones más utilizada (Dumler, 2004).

### ***2.7.3.1 Importancia del peso seco y la aplicación de la impedancia bioeléctrica en su determinación.***

En relación al peso seco, hay que decir que una correcta determinación es de vital importancia, ya que la sobrehidratación crónica presente en los pacientes en terapia sustitutiva, favorece el desarrollo de hipertensión, hipertrofia del ventrículo izquierdo, falla cardiaca congestiva, así como inflamación crónica y desnutrición, complicaciones todas asociadas a una pobre supervivencia y alta mortalidad general y cardiovascular (Levin, 2001).

El peso seco se puede definir como el peso en el cual el paciente está lo más cercano a un estado de normohidratación (50% ACT en mujeres y 60% ACT hombres) sin presentar síntomas indicativos de deshidratación o sobrehidratación. En el paciente en hemodiálisis, se considera al peso seco como el menor peso que el paciente pueda tolerar al final del tratamiento dialítico sin sintomatología intra o interdiálisis y en el paciente en diálisis peritoneal se puede considerar el peso en el cual el paciente no desarrolla edema, episodios hipertensivos o cualquier otra sintomatología que indique exceso de líquidos corporales (Jaeger y Mehta; 1999).

En la práctica clínica, el peso seco se establece mediante parámetros clínicos, lo cual lleva a grandes errores en su cálculo, ya que en situaciones de

sobrehidratación se pueden acumular varios litros de agua sin evidencia clínica de edema, por lo que se requieren métodos más precisos para establecer el peso seco y determinar la cantidad de líquidos que deben ser eliminados por medio de la diálisis, evitando el mayor número de complicaciones posibles (Jaeger y Meht, 1999; Kuhlmann et al., 2005).

Debido a la importancia de una correcta estimación del estado de hidratación, se han empleado diversas técnicas con la finalidad de establecer el peso seco de una manera más objetiva, entre las que se encuentran la monitorización del volumen sanguíneo, el diámetro de la vena cava y algunos parámetros bioquímicos como el péptido natriurético atrial (PNA) y el monofosfato de guanidina cíclico (cGMP) (Chamney, 2002).

Tanto el PNA como el cGMP son muy variables, se correlacionan pobremente con la volemia y no detectan la depleción de volumen, además su evaluación es difícil en pacientes con problemas cardiacos. El diámetro de la vena cava es efectivo, pero tiene diversas limitaciones, como la dificultad para llevarse a cabo en pacientes con disfunción cardiaca y que es poco práctico en el ámbito clínico (Yu et al., 2006).

La monitorización del volumen sanguíneo durante la hemodiálisis permite la detección de la caída rápida del volumen de sangre durante el proceso de diálisis, cuando la ultrafiltración sobrepasa la tasa de relleno plasmático, sin embargo esto no permite diferenciar si es debido a que se ha alcanzado el peso seco o bien a que la tasa de ultrafiltrado es muy alta (Jeeger y Mehta, 1999).

En vista de lo anterior, hasta el momento no hay parámetros clínicos ni de laboratorio que sean confiables, sencillos y accesibles, que indiquen cuál es el peso seco y el exceso de líquidos real de los pacientes en diálisis, por lo que en los últimos años se ha aplicado la impedancia bioeléctrica por su capacidad de estimar el ACT, AEC y AIC y por lo tanto el peso seco, pudiéndose utilizar con

distintos enfoques entre los que se encuentran la pendiente de normovolemia /hipervolemia (Chamney et al., 2002), la impedancia intradialisis de pantorrilla (Zhu et al., 2004) y los vectores de impedancia (Piccoli et al., 1994).

## **2.8 Análisis de vectores de impedancia y gráfica RXc**

La IBE aplicada a pacientes con alteraciones en los líquidos corporales puede producir sesgos en la evaluación de la composición corporal, debido al uso de ecuaciones de predicción (Lindley et al., 2005), por lo que es preferible el uso de valores en crudo de resistencia y reactancia, así como sus indicadores, el ángulo de fase y vectores de impedancia, ya que son independientes de ecuaciones de predicción y es más fácil y útil su uso en la práctica clínica (Chumlea, 2004).

Debido a los problemas encontrados en la estimación del estado de hidratación y peso seco en los pacientes en diálisis, Piccoli et al., 2002, planteó un nuevo sistema para monitorizar las variaciones en los fluidos corporales sin utilizar ecuaciones de predicción, lo cual imparte a este tipo de análisis una ventaja sobre la IBE convencional (Kushner et al., 1996).

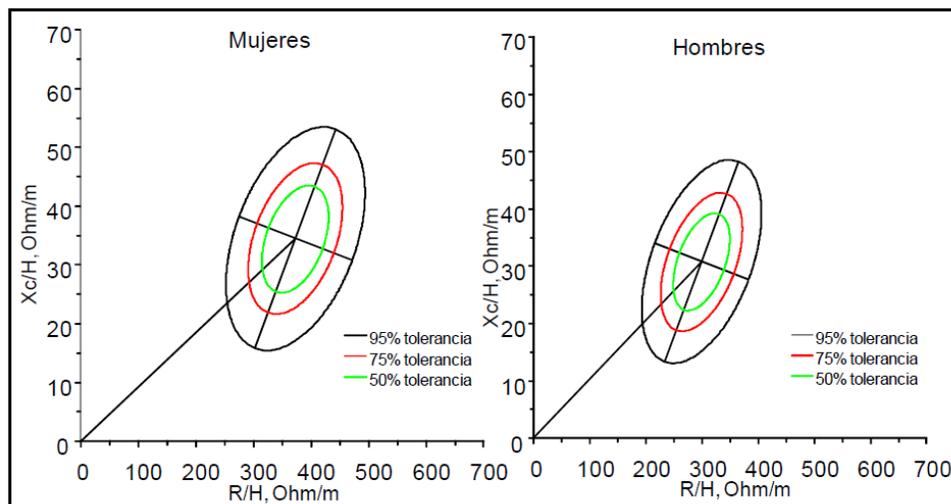
### **2.8.1 Fundamentos del análisis de vectores de impedancia**

El método se basa en el análisis de la distribución bivariada del vector de impedancia tanto en población sana como en pacientes con un incremento en el peso corporal debido a obesidad o edema (Piccoli, 1998).

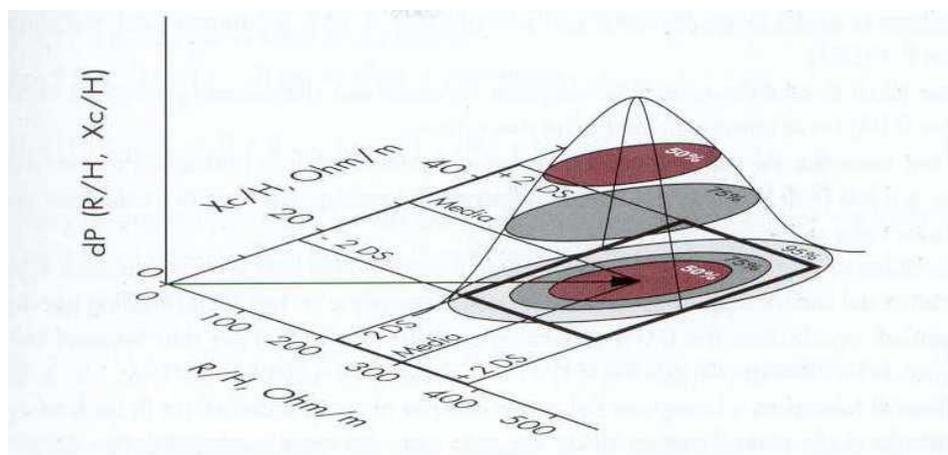
Se considera a la resistencia, la reactancia y el ángulo de fase como miembros del vector impedancia. Los dos componentes de la impedancia estandarizados por la estatura ( $R/H$  y  $Xc/H$ ) se pueden representar en coordenadas rectangulares, lo que permite visualizarlos como dos variables que

forman la distribución normal bivariada y que se expresan en percentiles; las correlaciones entre estas dos variables determina la forma elipsoidal de la distribución, a lo que se le llama gráfica RXc (Figura 7).

Esta distribución normal se realizó en población sana, de la cual se desprendieron tres percentiles de referencia o elipses de tolerancia al 50%, 75% y 95% (Figura 8) (Piccoli et al., 2002).



**Figura 7. Gráfico RXc.**

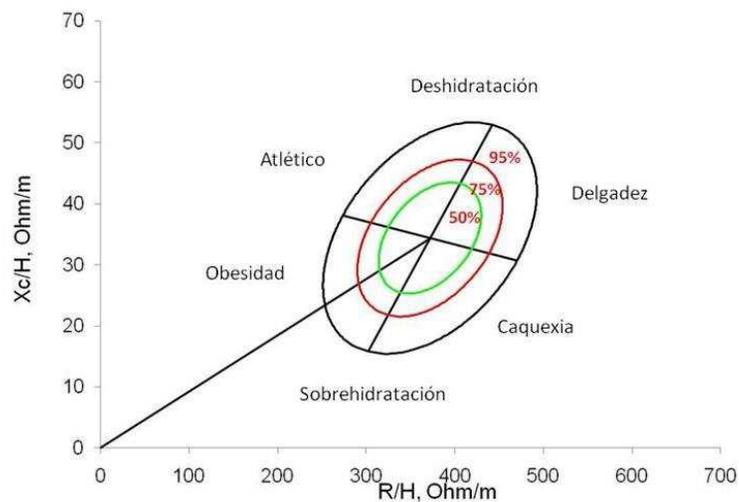


**Figura 8. Método gráfico VIBE. Elipses de tolerancia.**

### 2.8.2 interpretación de los vectores de impedancia

Sobre las elipses de tolerancia para la población sana, se pueden representar las variables R/H, Xc/H y ángulo de fase de la población con alteraciones del estado de hidratación, los cuales se pueden analizar de la siguiente manera (Figura 9):

- a) Las variaciones de la hidratación sin alteraciones en la estructura de los tejidos se asocian con un acortamiento o un alargamiento del vector impedancia a lo largo del eje mayor de las elipses de tolerancia (Piccoli et al., 2002; Jha et al., 2006).
- b) Las variaciones de la cantidad de los tejidos blandos se asocia con un desplazamiento del vector en la dirección del eje menor de las elipses, con un aumento o reducción progresiva del ángulo de fase y
- c) Las variaciones combinadas de hidratación y estructura de los tejidos asociada con migraciones del vector a lo largo de las dos direcciones principales de los ejes (Piccoli et al., 1994).



**Figura 9. Interpretación del gráfico RXc.**

Este enfoque permite conocer al mismo tiempo tanto el estado de hidratación como el estado de nutrición de los pacientes y considera una composición corporal adecuada, en cuanto a tejidos blandos y líquidos corporales, cuando el vector se sitúa dentro de las elipses del 50 y hasta el 75%. Además este método puede ser utilizado también como prueba estadística para la adecuada aplicación de ecuaciones de predicción, ya que cuanto más cercano se encuentre el vector a la elipse de tolerancia del 50%, más exacta será la fórmula, lo que se mantiene satisfactoriamente hasta la elipse del 75% (Rossi et al., 1996).

Las evaluaciones que permite este método se presentan en la Tabla 7.

**Tabla 7. Tipos de evaluaciones de los vectores de impedancia.**

<b>Tipo de evaluación</b>	<b>Medida requerida</b>	<b>Tipo de gráfico</b>
<b>Comparación entre Grupos</b>	Media de los vectores	Gráfica media o de confianza
<b>Evaluación de un vector simple sobre las elipses de referencia</b>	Valores R/H y Xc/H	Gráfica de punto RXc
<b>Seguimiento o trayectoria del vector de impedancia.</b>	Medidas sucesivas de R/H y Xc/H	Gráfica de trayectoria RXc

R/H: resistencia/talla, Xc/H: reactancia/talla

### **2.8.3 Poblaciones de referencia**

El método original de vectores de impedancia está diseñado con percentiles de una población de referencia italiana. Teniendo en cuenta las diferencias de composición corporal en las poblaciones, se han llevado a cabo diversos estudios con el fin de realizar elipses de tolerancia con distintas poblaciones de ambos

sexos, de tal manera que hasta este momento existen elipses de referencia para población italiana (Piccoli et al., 2002), norteamericana (Piccoli et al., 2002), hindú (Jha et al., 2006), mexicana (Espinosa-Cuevas et al., 2007) para ancianos (Piccoli et al., 1995), niños y adolescentes (De PT et al., 2000).

El gráfico RXc del método de análisis de vectores de impedancia, brinda una evaluación cualitativa del estado de hidratación, por medio de una comparación entre las propiedades eléctricas corporales medidas y los percentiles de una población sana de referencia, se considera una herramienta útil que puede ser utilizada para la identificación, monitoreo y tratamiento de los pacientes renales que presentan alteraciones en el estado de hidratación (Piccoli et al., 1994; Piccoli y Nescolarde, 2002).

### III. JUSTIFICACIÓN

La sobrehidratación y desnutrición presente en los pacientes nefrópatas son factores de riesgo de morbi-mortalidad principalmente de origen cardiovascular, por lo que es importante su diagnóstico y tratamiento.

La estimación del peso seco se considera más como un arte, o como un modelo de ensayo error, que una estimación con fórmulas matemáticas exactas, lo que constituye un desafío clínico que sirve de referencia para valorar el estado de hidratación de los pacientes en hemodiálisis.

La combinación de algunos datos clínicos, síntomas como cefalea, disnea, calambres, ortopnea e hipotensión ortostática; y signos como edemas, crepitantes auscultatorios, peso medido en báscula, comportamiento de la presión arterial durante la sesión, o ganancia de peso interdiálisis, radiografía de tórax (silueta cardiaca, índice cardiorácico, infiltrados) y algunos datos analíticos (hematocrito, proteínas totales y albúmina sérica) pueden ser insuficientes para aproximar con exactitud el peso seco del paciente. Aunado a esto, estas medidas son difíciles, inseguras, poco exactas, intuitivas y no reproducibles; y la metodología de composición corporal más confiable (dilución de isótopos) es costosa y requiere equipos y personal especializado, por lo que se aboga por nuevos métodos que ayuden a determinar el estado de hidratación, peso seco y composición corporal en estos pacientes.

Los vectores de impedancia bioeléctrica (VIBE), con sus distintos enfoques, permiten realizar estimaciones objetivas de la composición corporal y del estado de hidratación; de ahí la importancia de incorporar esta técnica a la práctica clínica diaria, ya que utiliza un equipo sencillo, fácil de aplicar incluso por personal no especializado, cuya ejecución no lleva más de 5 minutos y que es de bajo costo, además de utilizar equipo portátil y con una exactitud muy buena comparado con métodos estándar de oro.

Por tanto, es de suma importancia para el clínico, evaluar si la incorporación de tecnologías como los VIBE en las unidades de hemodiálisis, son útiles y confiables en la evaluación del estado de hidratación, con el fin de asegurar la normohidratación mediante la eliminación eficiente y segura la sobrecarga hídrica.

Los resultados de este estudio mostrarán si los VIBE pueden ser utilizados como parte del protocolo para el ajuste del ultrafiltrado en el manejo del paciente en hemodiálisis y de esta forma alcanzar el peso seco.

#### **IV. HIPOTESIS**

El análisis de los vectores de impedancia en comparación con los parámetros clínicos convencionales, son una herramienta útil que pueden utilizarse de manera rutinaria para ajustar el ultrafiltrado y alcanzar el peso seco en pacientes sometidos a hemodiálisis.

## V. OBJETIVOS

### **Objetivo General**

Comparar la efectividad del análisis de vectores de impedancia bioeléctrica contra los parámetros clínicos convencionales utilizados en las unidades de hemodiálisis para ajustar el ultrafiltrado y alcanzar el peso seco en pacientes sometidos a hemodiálisis.

### **Objetivos Específicos**

- Identificar el cambio en los signos y síntomas clínicos asociados a la disminución de líquidos corporales por VIBE y por el método convencional.
- Evaluar el cambio en la presión arterial y número de medicamentos antihipertensivos asociados a la disminución de líquidos corporales.
- Identificar si el estado nutricional tiene influencia sobre el logro de peso seco.

## **VI. METODOLOGÍA**

### **6.1. Diseño de estudio**

Estudio prospectivo de casos y controles en dos grupos de pacientes en hemodiálisis con intervención para el ajuste de peso seco durante cuatro meses guiado por:

Grupo 1.- Vector de Impedancia bioeléctrica (Grupo VIBE) (n=23)

Grupo 2.- Parámetros clínicos convencionales (Grupo Convencional) (n=24)

### **6.2. Características del diseño**

- Experimental
- Ensayo clínico no farmacológico

### **6.3. Población a estudiar**

Se estudiaron todos aquellos pacientes con insuficiencia renal crónica terminal que se encontraban recibiendo hemodiálisis en el turno matutino y vespertino, de la unidad de hemodiálisis del Hospital General del Estado de Querétaro, entre agosto del 2013 y noviembre del 2013.

### **6.4. Criterios de inclusión**

- Pacientes ambulatorios con ERCA en hemodiálisis crónica de ambos sexos.
- Mayores de 18 años de edad.
- Que acepten su inclusión en el estudio.
- Pacientes con más de 3 meses en tratamiento sustitutivo en hemodiálisis

### 6.5. Criterios de exclusión

- Pacientes con amputaciones de algún miembro superior o inferior.
- Pacientes con algún implante metálico.

### 6.6. Criterios de eliminación

- Pacientes con errores en la medición.
- Pacientes que no concluyeran con el tiempo de seguimiento debido a trasplante de riñón, hospitalización, amputación, cambio de terapia sustitutiva o muerte.

### 6.7. Tipo de muestra

- Asignación aleatoria

Se recurrió a una Tabla de números aleatorios utilizando para la asignación la fila 13, considerando los números pares para el grupo de ajuste de peso seco por VIBE y los impares para el grupo de ajuste de peso seco por parámetros clínicos convencionales.

### 6.8. Estimación del tamaño de muestra

El tamaño de muestra se estimara con la siguiente fórmula para la comparación de dos proporciones

$$n = \frac{[Z_{\alpha} * \sqrt{2p(1-p)} + Z_{\beta} * \sqrt{p_1(1-p_1) + p_2(1-p_2)}]^2}{(p_1 - p_2)^2}$$

Dónde:

n = sujetos necesarios en cada una de las muestras

Z  $\alpha$  = Valor Z correspondiente al riesgo deseado (1.960)

Z  $\beta$  = Valor Z correspondiente al riesgo deseado (1.645)

p1 = Valor de la proporción en el grupo de referencia, placebo, control o tratamiento habitual. (0.50)

p2 = Valor de la proporción en el grupo del nuevo tratamiento, intervención o técnica. (0.90)

p = Media de las dos proporciones p1 y p2 estimada con la siguiente formula: (0.7)

$$p = \frac{p_1 + p_2}{2}$$

Por lo tanto cada grupo estará integrado por 19 pacientes.

### **6.8.1. Tamaño muestral ajustado a las pérdidas:**

El tamaño muestral ajustado a las pérdidas se calculó con la siguiente formula:

$$\text{Muestra ajustada a las pérdidas} = n (1 / 1-R)$$

Donde

n = número de sujetos sin pérdidas (15)

R = proporción esperada de pérdidas (15%)

Por lo tanto cada grupo de estudio se conformó por 22 pacientes

### **6.9. Descripción de la maniobra**

Los pacientes fueron examinados semanalmente desde la segunda sesión de hemodiálisis, hasta que alcanzaron los 4 meses de seguimiento. El día de inicio del estudio se obtuvo la edad, tiempo en diálisis, características de la sesión de hemodiálisis (frecuencia y horas en diálisis), presencia de diabetes y otras comorbilidades.

### **6.9.1 Signos clínicos.**

Se tomó la presión arterial (sistólica y diastólica) pre- y postdiálisis semanalmente, con la cual se obtuvo la presión arterial media (TAM), mediante la siguiente fórmula:

$$TAM = ((PAS - PAD)/3 + PAD)$$

Donde PAS es la presión arterial sistólica y PAD la presión arterial diastólica.

Se calculó la ganancia de peso interdiálisis considerándola como la diferencia entre el peso postdiálisis y el peso prediálisis de la siguiente sesión y el ultrafiltrado como la diferencia entre el peso pre- y postdiálisis de la misma sesión. Tanto la ganancia de peso como el ultrafiltrado se calcularon con los valores promedios de cada semana de duración del estudio.

### **6.9.2. Medidas antropométricas y evaluación del estado de nutrición.**

La medición de las variables antropométricas se realizó exclusivamente al inicio y al final del estudio, con excepción del peso corporal el cual se tomó inmediatamente antes del inicio de cada sesión de hemodiálisis y al finalizar la misma. Las mediciones de peso y talla se realizaron por el mismo investigador, con el mismo equipo y metodología dos veces o si existió variación, una tercera.

- Talla: se midió con un estadiómetro estándar al 0.5 cm más próximo. Los sujetos se midieron sin zapatos con los talones juntos, los brazos extendidos a lo largo del cuerpo y la espalda recta. La cabeza se colocó conforme al plano de Frankfort (Chumlea, 2004).
- Peso: se midió con una báscula electrónica de pie con precisión de 100 gramos. Los sujetos se colocaron de pie, sin zapatos y con el mínimo de ropa en el centro de la plataforma de la báscula (Chumlea, 2004).

- Índice de masa corporal (IMC): se calculó dividiendo el peso en Kg entre la talla en m<sup>2</sup> (Chumlea, 2004).

Se tomó la anchura de codo, para determinar la complejión de los individuos, así como la circunferencia de brazo (CB) y el pliegue cutáneo tricipital (PCT), con lo que se calculó la circunferencia muscular de brazo (CMB) mediante la siguiente fórmula:

$$\text{CMB (mm)} = \text{CB en mm} - (3.1416 \times \text{PCT en mm})$$

Las medidas antropométricas fueron tomadas en el periodo postdiálisis. Se utilizó la metodología y tablas de referencia de Frisancho (1981). De igual manera se realizó la evaluación global subjetiva de Detsky (1987).

El diagnóstico nutricional se llevó a cabo mediante el índice de Bilbrey (1989), el cual incluye parámetros antropométricos, bioquímicos y clínicos, a saber: proporción peso/talla, pliegue cutáneo tricipital, circunferencia de brazo y circunferencia muscular de brazo, así como albúmina sérica, transferrina sérica, cuenta total de linfocitos y la clasificación de la evaluación global subjetiva. A cada parámetro se le asignó un puntaje de acuerdo al grado de déficit del valor ideal, pudiendo tener cuatro categorías finales: estado de nutrición normal, desnutrición leve, desnutrición moderada y desnutrición grave. El índice fue modificado con el fin de excluir la transferrina, ya que su determinación es infrecuente en los exámenes bioquímicos de rutina.

### **6.9.3. Determinaciones bioquímicas.**

Se siguió el protocolo de extracción y determinaciones bioquímicas de la unidad de hemodiálisis del Hospital General del Estado de Querétaro, al inicio del estudio, con el paciente en ayunas, llevándose a cabo las determinaciones rutinarias, con lo que se obtuvo medidas mensuales de creatinina sérica, proteínas

totales, prealbúmina sérica, albumina, leucocitos y linfocitos (para el cálculo de la cuenta total de linfocitos).

Todas las muestras sanguíneas para las determinaciones bioquímicas se tomaron por el acceso vascular en condiciones de ayuno antes del inicio de la sesión de hemodiálisis y se analizaron por métodos certificados del Hospital General de Querétaro.

#### **6.9.4 Impedancia bioeléctrica y análisis de vectores.**

Basalmente y semanalmente se midió la composición corporal y el estado de hidratación de todos los pacientes en la segunda sesión de hemodiálisis por medio de BIE, inmediatamente antes del inicio de la sesión y 10 minutos posteriores al término de la sesión de hemodiálisis durante los cuatro meses de seguimiento. Al término de la primera medición de BIE se le otorgó a cada paciente una colación que consistía en una barra de amaranto.

Para este procedimiento se utilizó un impedanciometro monofrecuencia (50kHz) modelo RJL System Quantum II. La medición se realizó según los criterios establecidos por el National Institute of Health Technology Assessment Conference Statement (1987). Los sujetos permanecieron en posición supina sobre una superficie no conductora con los brazos y piernas separados del cuerpo y las palmas de las manos hacia abajo. Se colocaron dos pares de electrodos en las extremidades libres del acceso vascular (los cuales permanecieron adheridos a paciente durante toda la sesión). Los emisores de corriente se situaron en el dorso de la mano y el pie próximos a las articulaciones falange-metacarpales y falange-metatarsiales y los sensores en la apófisis estilóide de la muñeca y entre el maléolo medial y lateral del tobillo.

Para que la medición pudiera llevarse a cabo, los sujetos debieron cumplir con los siguientes puntos según Barbosa-Silva (2005):

1. Ayuno nocturno o de 4 horas previas a la medición.
2. No tener objetos metálicos en el cuerpo.
3. No haber realizado ejercicio extenuante 24 horas antes de la medición.
4. No estar menstruando en el caso de las mujeres.

#### **6.9.4.2. Análisis de vectores de impedancia:**

Los valores de resistencia y reactancia obtenidos de las mediciones de IBE fueron usados para las determinaciones de los porcentajes de MG, MLG, MC, MM, ACT, AEC y AIC, así como el ángulo de fase, a través del software RJL Systems Body Composition Analysis. Así mismo la resistencia y reactancia estandarizadas por la talla ( $R/H$ ,  $Xc/H$ ) de cada paciente se graficaron sobre las elipses de referencia de la población mexicana mediante el BIVA Software 2002 (BIVA Tolerance file) con el fin de conocer de manera individual el estado de hidratación y composición corporal de todos los sujetos de estudio.

Para la interpretación de los vectores de impedancia se consideró deshidratación cuando el vector se situaba en la parte superior y sobrehidratación cuando el vector se situaba en la parte inferior, ambos por fuera de la elipses del 75%. En los cuadrantes derechos por fuera de la elipse del 75% se consideró como depleción de tejidos o desnutrición y en los cuadrantes izquierdos, exceso de tejidos corporales (obesidad o incremento de la masa muscular y grasa). Los vectores situados dentro de las elipses del 50 y 75% se consideraron normales (Piccoli et al., 1994).

### **6.9.5 Intervención.**

A todos los participantes del estudio se les realizaron las mediciones que se han descrito con anterioridad; sin embargo los participantes fueron asignados de manera aleatoria al grupo 1 (donde el peso seco se estimó por medio del análisis de vectores de impedancia) y al grupo 2 (donde el peso seco se estimó por las medidas habituales que utiliza el médico de la unidad de hemodiálisis).

#### **6.9.5.1 Grupo 1 (experimental): peso seco estimado por medio del análisis de vectores de impedancia**

La intervención se basó en los resultados del análisis de los vectores de BIE pertenecientes a la medición de impedancia pos hemodiálisis de cada semana.

- Aquellos sujetos en los que, el vector posthemodiálisis se situó dentro de las elipses del 50 y 75% fueron considerados en peso seco, por lo que no requirieron algún tipo de intervención hídrica para ajustar el peso seco.
- En aquellos sujetos en los que sus vectores posthemodiálisis se situaron fuera de la elipse del 75% se consideraron como pacientes sobrehidratados o deshidratados y requirieron de un reajuste en el peso seco; la intervención se hizo de la siguiente manera:
  - Si el vector se ubicaba fuera de la elipse del 75% pero dentro de la del 95%, por arriba o por debajo del eje mayor, se ajustó en 0.5 Kg del peso seco preestablecido del paciente. Si por el contrario, el vector se encontraba fuera de la elipse del 95%, el peso seco se ajustó en 1.0 Kg y este peso ajustado fue tomado como referencia para la siguiente sesión de hemodiálisis.
  - En el momento en el que, mediante las modificaciones hídricas, los pacientes se situaron dentro de las elipses del 50

o 75% se consideró que habían alcanzado su peso seco por lo que no se requirió continuar con las modificaciones del peso seco preestablecido.

- En aquellos pacientes que inicialmente se encontraron en peso seco y que por alguna razón a lo largo de los cuatro meses de estudio se situaron en las elipses del 75%, se reajustó el peso, con el fin de regresarlos a la normohidratación.

#### **6.9.5.2. Grupo 2 (control): peso seco estimado por parámetros clínicos convencionales utilizados en la unidad de hemodiálisis**

Para el ajuste del peso seco en este grupo de pacientes el médico responsable no tuvo conocimiento alguno de la ubicación de los vectores y determinó el ultrafiltrado mediante los siguientes parámetros clínicos.

- Datos de la última sesión: pérdida de conocimiento durante la sesión de hemodiálisis, hipotensiones, calambres, cefaleas, HTA, ultrafiltración horaria y si fue necesario finalizar la sesión antes de lo pautado.
- Datos clínicos: índice de masa corporal, circunferencia abdominal, tensión arterial pre y postdiálisis, exploración física (edemas, auscultación), dificultad respiratoria y ganancia interdiálisis.
- Datos gastrointestinales: náusea, vómito, diarrea, estreñimiento
- Datos analíticos: albúmina, hemoglobina y creatinina.

## 6.10. Análisis Estadístico

Los datos fueron procesados con el programa SPSS versión 16 (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA).

Se realizó un análisis inicial de datos para determinar si se observaba una distribución normal y considerar realizar pruebas paramétricas. Se llevaron a cabo pruebas de estadística descriptiva para obtener medidas de tendencia central como media y desviación estándar de las variables consideradas en el estudio. Se aplicó la prueba de t de Student para la comparación de medias entre sexos y una t de Student pareada para comparar las variables de composición corporal pre y post hemodiálisis. Los análisis de correlación entre los valores de resistencia y reactancia estandarizadas, así como entre las variables de composición corporal se realizaron por el coeficiente de Pearson.

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), para comparar los cambios en la composición corporal de acuerdo al diagnóstico nutricional.

Para comparar los vectores de impedancia se utilizó la prueba  $T^2$  de Hotelling con el programa BIVAMEAN (1998).

Para comparar la concordancia entre los métodos se utilizó la prueba Bland Altman.

En todos los casos se consideró significativa una  $p < 0.05$ .

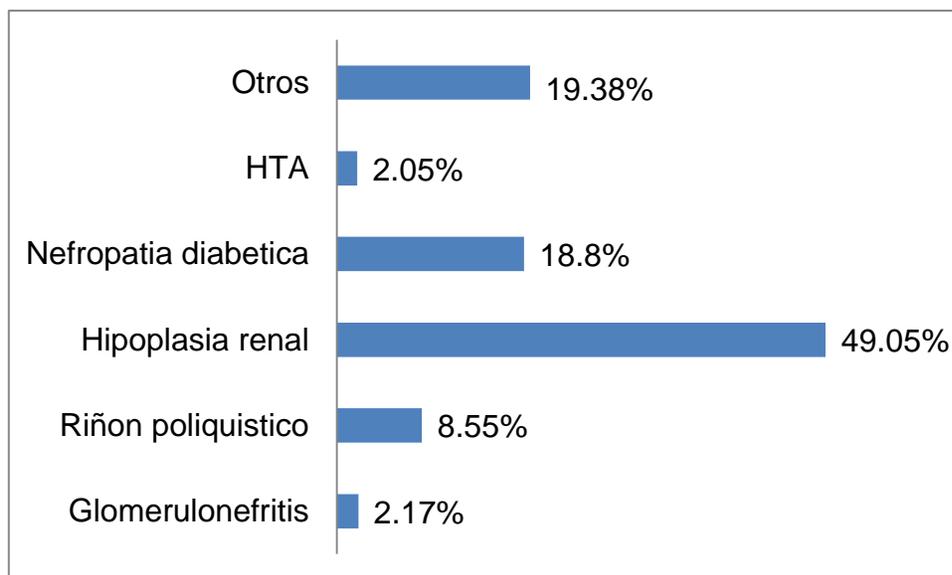
### **6.11. Cuestiones éticas**

El protocolo fue registrado y aprobado por el Comité de Bioética de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro con el No.1FCN2013. A todos los pacientes participantes se les explicó el procedimiento y los objetivos del estudio y firmaron el consentimiento informado.

## VII. RESULTADOS

Se estudiaron un total de 56 pacientes, de los cuales 9 fueron eliminados por no completar el seguimiento debido a cambio de entidad federativa (n=4) y por defunción (n=5). La muestra final se conformó por 47 pacientes, de los cuales 23 estaban asignados al grupo VIBE y 24 al grupo Convencional

Las principales causas de ERCA en la población se muestran en la Figura 10 siendo la hipoplasia renal y la nefropatía diabética las primordiales.



**Figura 10. Causas de ERCA del total de la población estudiada**

El 53% de la muestra total correspondió al sexo femenino. La media de edad fue de  $39.8 \pm 18.3$  años, con un tiempo en hemodiálisis de  $9.2 \pm 2.9$  meses. La presión arterial media pre y postdiálisis fue de  $115.5 \pm 14.1$  y  $105.8 \pm 11.9$  mmHg respectivamente. El número de antihipertensivos usados por paciente al inicio del estudio fue de  $1.7 \pm 0.42$ .

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las variables demográficas, clínicas y antropométricas (Tabla 8), fluidos corporales

(Tabla 9) y análisis bioquímicos (Tabla 10) basales entre los grupos con excepción de la tensión arterial media postdiálisis, siendo menor para el grupo VIBE( $p < 0.040$ ). (Tabla 8)

**Tabla 8. Características basales de la población**

	Grupo VIBE n=23	Grupo Convencional n=24	P
Edad (años)*	38.2 ± 18.1	41.4 ± 18.6	ns
Sexo (F/M)	12/11	13/11	ns
Tiempo en hemodiálisis (meses)*	8.9 ± 2.8	9.5 ± 3.1	ns
Número antihipertensivos*	1.6 ± 0.4	1.8 ± 0.3	ns
Diuresis (L)	0 (0-500)	0 (0-70)	ns
TAM pre diálisis (mmHg)*	111.7 ± 12.6	119.1 ± 14.8	ns
TAM pos diálisis (mmHg)*	102.2 ± 11.6	109.3 ± 11.3	0.040
Talla (cm)*	156.3 ± 8.5	156.5 ± 9.7	ns
Peso pre diálisis (kg)*	57.8 ± 12.8	60.4 ± 13.5	ns
Peso pos diálisis (kg)*	55.4 ± 12.9	58 ± 12.2	ns
IMC pre diálisis (kg/m <sup>2</sup> )	22.3 (18.9-33)	25.05 (17-32.7)	ns
IMC pos diálisis (kg/m <sup>2</sup> )	21.5 (17.8-32)	23.85 (16-31.2)	ns
Puntuación Bilbrey*	28.3 ± 4.6	28.9 ± 3.7	ns

\* Se muestra el media ± desviación estándar. **TAM**: tensión arterial media; **F**: femenino; **M**: masculino; **IMC**: índice de masa corporal

**Tabla 9. Fluidos corporales basales de la población**

	Grupo VIBE n=23	Grupo Convencional n=24	<i>P</i>
ACT pre diálisis (L)*	38.0 ± 10.7	36.0 ± 8.6	ns
ACT post diálisis (L)*	33.2 ± 9.7	31.7 ± 7.7	ns
AEC pre diálisis (L)*	20.2 ± 7.5	17.8 ± 4.7	ns
AEC post diálisis (L)*	18.4 ± 7.2	16.1 ± 4.5	ns
AIC pre diálisis (L)*	19.7 ± 5.7	18.3 ± 4.6	ns
AIC post diálisis (L)*	16.9 ± 5.1	15.6 ± 3.7	ns

\* Se muestra el media ± desviación estándar. **ACT**: agua corporal total, **AIC**: agua intra celular, **AEC**: agua extracelular.

**Tabla 10. Análisis bioquímicos basales de la población**

	Grupo VIBE n=23	Grupo Convencional n=24	<i>P</i>
Creatinina (mg/dl)*	12.8 ± 4.7	14.4 ± 5.9	ns
BUN (mg/dl)*	88.6 ± 26.8	89.0 ± 38.5	ns
Sodio (mg/dl)*	138.7 ± 3.3	138.5 ± 4.1	ns
Albúmina (g/dl)	3.8 (3.0 -4.4)	3.7 (2.4-4.20)	ns

\* Se muestra el media ± desviación estándar. **BUN**: nitrógeno de urea

Al comparar las variables basales y finales, se encontraron diferencias estadísticamente significativas tanto para el grupo VIBE como para el grupo convencional, sin embargo, como se puede observar en la Tabla 11, la diferencia del peso, IMC, TAM, pre y postdiálisis fueron superiores en el grupo de ajuste de

peso seco guiado por vectores de impedancia. En el grupo convencional se observó una disminución de aproximadamente 1.82 Kg de peso postdiálisis y 2.6 L de ACT, mientras que en el grupo VIBE el cambio de peso postdiálisis fue de 4 Kg y 7.6 L de ACT. En ambos grupos se encontró disminución de la TAM, sin embargo con respecto al número de antihipertensivos, solo se observó una disminución en el grupo VIBE ( $p < 0.0027$ ).

**Tabla 11. Comparación de la diferencia de las características generales basales y finales de los grupos de estudio**

	Grupo VIBE n=23		Grupo Convencional n=24		p**
	Delta	p	Delta	p	
Peso pre hemodiálisis (Kg)*	-3.52 ± 2.46	0.000	-1 ± 1.6	0.000	ns
Peso post hemodiálisis (Kg)*	- 4.02 ± 2.7	0.000	-1.2 ± 1.2	0.000	ns
Peso seco real(kg)*	-2.3 ± 2.54	0.000	0.62 ± 1	0.000	ns
Ganancia de peso inter diálisis (kg)*	-0.32 ± 1.1	ns	-0.09 ± 1	ns	ns
IMC pre diálisis (kg/m <sup>2</sup> )	1.24 (-16.5 – 9)	0.000	0.38 (-1.0 – 2.2)	0.000	ns
IMC post diálisis (kg/m <sup>2</sup> )	1.82 (-16.08 – 10)	0.000	0.30 (-2.4 – 1.46)	0.000	ns
Ultrafiltrado (L)*	2.34 ± 1.3	0.000	0.90 ± 1.1	ns	0.000
Antihipertensivos (#)*	-0.60 ± 0.49	0.000	-0.45 ± 0.58	ns	0.0027
TAM pre diálisis (mmHg)*	-14.20 ± 10.3	0.000	-13.20 ± 10.5	0.000	0.010
TAM post diálisis (mmHg)*	-10.96 ± 10.2	0.003	-9.3 ± 8.4	0.000	0.005

\* Se muestra el media ± desviación estándar \*\* Comparación entre grupos (VIBE final vs. Convencional final) **TAM**: tensión arterial media

En cuanto a las variables correspondientes a fluidos corporales (Tabla 12), observamos como al comparar los datos VIBE final vs. convencional final, encontramos significancia estadística en todos los indicadores, siendo superior la diferencia para el grupo VIBE por más del doble de litros.

**Tabla 12. Comparación de la diferencia de los fluidos corporales basales y finales de los grupos de estudio**

	Grupo VIBE n=23		Grupo convencional n=24		p**
	Delta	p	Delta	p	
ACT pre diálisis (L)*	-7.75 ± 8.4	0.000	-2.5 ± 2.8	0.000	0.142
ACT post diálisis (L)*	-7.6 ± 7.6	0.000	-2.6 ± 2.3	0.000	0.075
AIC pre diálisis (L)*	-4.0 ± 6.1	0.005	-1.07 ± 1.3	0.001	0.065
AIC post diálisis (L)*	-4.1 ± 6	0.003	-1.04 ± 1.2	0.000	0.489
AEC pre diálisis (L)*	-5.6 ± 5.3	0.000	-1.51 ± 1.9	0.001	0.016
AEC post diálisis (L)*	-5.67 ± 4.8	0.000	-1.55 ± 1.7	0.000	0.003

\* Se muestra el media ± desviación estándar \*\* Comparación entre grupos (VIBE final vs. Convencional final); **ACT**: agua corporal total; **AIC**: agua intracelular; **AEC**: agua extracelular

La Tabla 13 nos muestra como la diferencia de los parámetros de la BIE (resistencia, reactancia, ángulo de fase) incrementan estadísticamente para todas las variables, revelando el incremento de 1° en el ángulo de fase postdiálisis para el grupo VIBE y solo 0.44° para el grupo Convencional. En cuanto a resistencia y reactancia tanto pre como postdiálisis, podemos observar como la diferencia se triplica para el grupo VIBE con respecto al grupo Convencional.

**Tabla 13. Comparación de la diferencia de los parámetros de impedancia bioeléctrica basales y finales de los grupos de estudio.**

	Grupo VIBE n=23		Grupo convencional n=24		p**
	Delta	p	Delta	p	
R pre diálisis (ohm)*	122.9 ± 121	0.000	40.7 ± 50.4	0.000	ns
R post diálisis (ohm)*	169.2 ± 147.8	0.000	61.9 ± 59.2	0.000	0.050
Xc pre diálisis (ohm)*	-18 (-30 – 21.5)	0.001	-3.0 (-26.5 – 6.0)	0.007	0.000
Xc post diálisis (ohm)	-27.5 (-44 – 20.25)	0.000	-8.65 (-24 – 26.5)	0.001	0.000
AF pre diálisis (°)*	0.66 ± 0.9	0.002	0.19 ± 0.6	0.000	0.007
AF post diálisis (°)*	1.0 ± 1.0	0.000	0.44 ± 0.5	0.000	0.003

\* Se muestra el media ± desviación estándar \*\* Comparación entre grupos (VIBE final vs. Convencional final); **R**: resistencia; **Xc**: reactancia; **AF**: ángulo de fase.

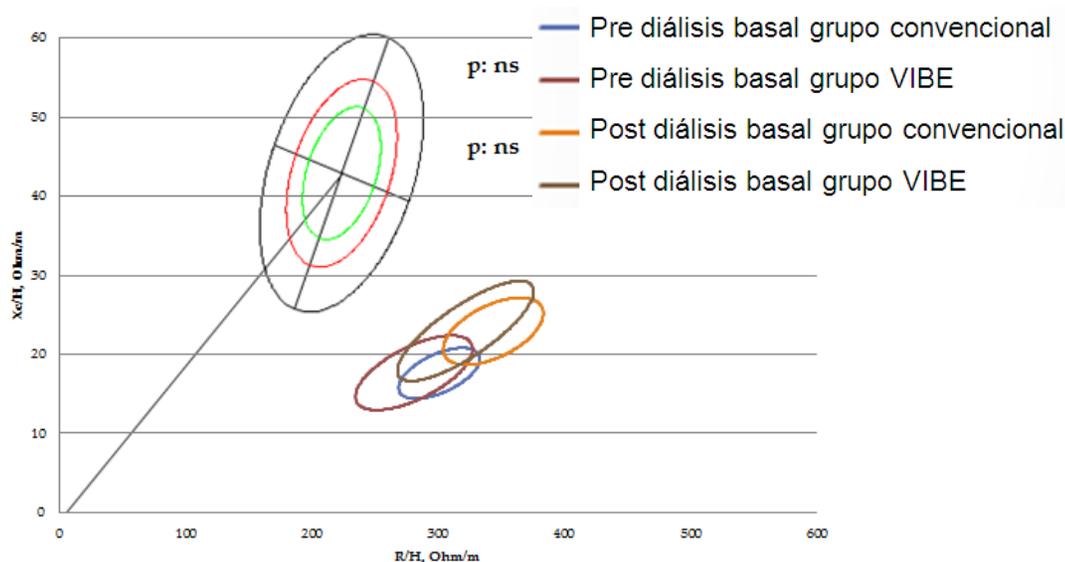
Al finalizar los 4 meses de intervención, se puede observar en la Tabla 14 como los parámetros bioquímicos muestran una significancia estadística únicamente para el nitrógeno de urea, disminuyendo  $22.3 \pm 18.2$  mg/dl para el grupo VIBE.

**Tabla 14. Comparación de la diferencia de los análisis bioquímicos basales y finales de los grupos de estudio.**

	Grupo VIBE n=23		Grupo convencional n=24		p*
	Delta	p	p		
Creatinina (mg/dl)*	-0.03 ± 3	ns	0.22 ± 4.2	0.000	ns
BUN (mg/dl)*	-22.3 ± 18.2	0.000	7.9 ± 32.2	0.002	0.000
Sodio (mg/dl)*	2.08 ± 4.5	0.039	-5.4 ± 25.9	ns	ns
Albumina (g/dl)	-1.01 (-0.3 – 2.6)	0.000	-0.93 (-0.4 – 2)	0.000	ns

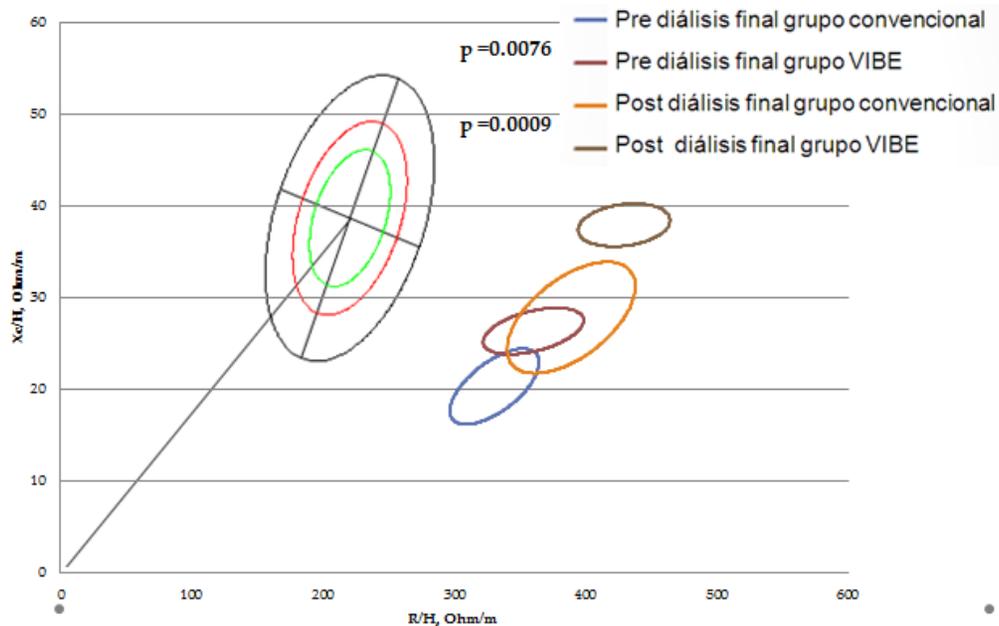
\* Se muestra el media ± desviación estándar \*\* Comparación entre grupos (VIBE final vs. Convencional final); **BUN**: nitrógeno de urea

Como se muestra en la Figura 11, los vectores de impedancia pre y postdiálisis basales de ambos grupos, se encontraban en el cuadrante inferior derecho, indicando sobrehidratación y desnutrición, sin haber diferencias significativas entre ellos.



**Figura 11. Comparación de los vectores basales pre y post diálisis de los grupos de estudio.**

Después de cuatro meses de intervención, los vectores del grupo VIBE en el periodo postdiálisis mostraron un claro desplazamiento hacia la parte superior de las elipses (ver Figura 12), encontrándose dentro de las elipses del 50 y 75% a lo largo del eje mayor, indicando menor cantidad de líquidos corporales, no así los vectores postdiálisis del grupo Convencional, los cuales permanecieron en la parte inferior de las elipses de tolerancia, indicando mayor sobrehidratación ( $p < 0.009$  vector postdiálisis grupo VIBE vs. vector postdiálisis grupo Convencional).



**Figura 12. Comparación de los vectores finales pre y post diálisis de los grupos de estudio.**

Se encontró una diferencia significativa en los vectores basal y final del grupo VIBE ( $p < 0.001$ ), mientras que los del grupo Convencional, permanecieron sin cambios desde el inicio hasta el final del estudio ( $p$ :ns). Figura 13 y 14.

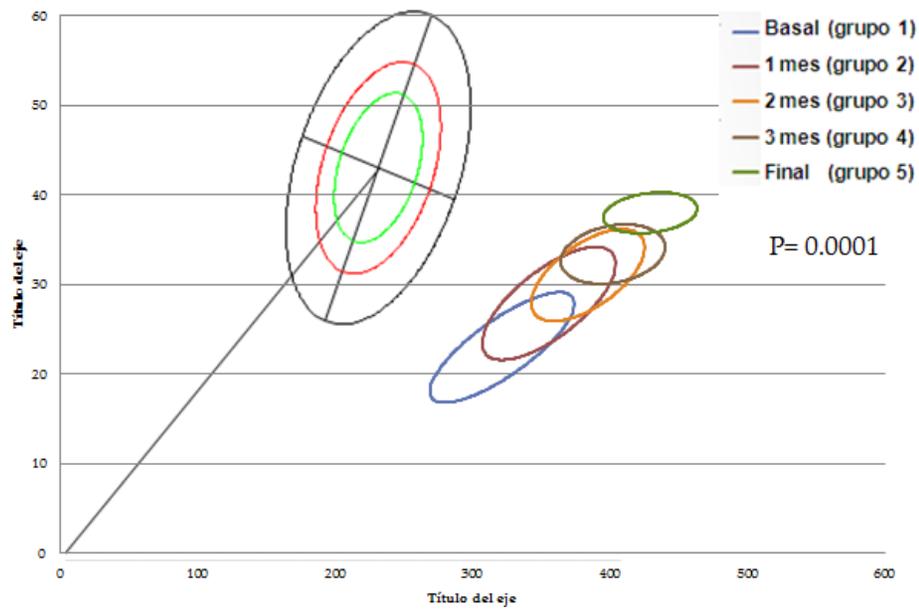


Figura 13. Migración mensual del vector grupo VIBE

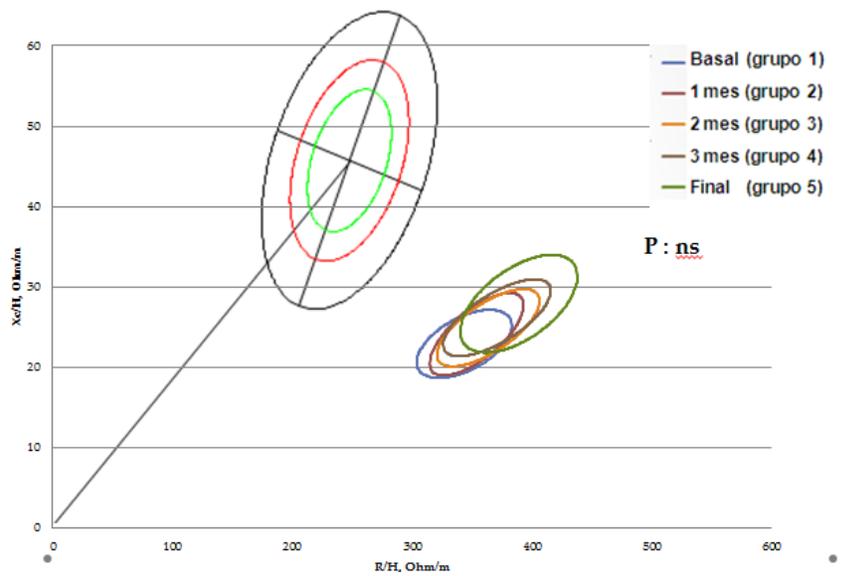
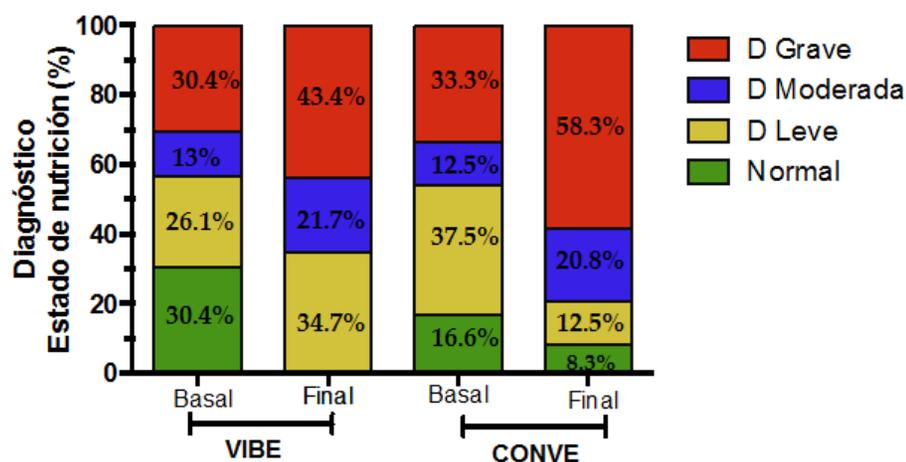


Figura 14. Migración mensual del vector grupo convencional

En la Figura 15 podemos observar como inicialmente la desnutrición grave representaba el 30.4% para el grupo VIBE y el 33.3% para el grupo Convencional, y al finalizar el tiempo de intervención, este mismo tipo de desnutrición se incrementa para el grupo VIBE un 13% más, llegando hasta un 43.4%, sin embargo, para el grupo 2 el incremento llega a ser el doble del que muestra el grupo VIBE con un 58.3%. Los datos para el grupo VIBE reflejan el estado real de nutrición ya que la sobrehidratación enmascara el diagnóstico.



**Figura 15. Diagnóstico nutricional basal y final de los grupos de estudio.** VIBE: grupo guiado por vectores de impedancia bioeléctrica; CONVE: grupo guiado por el método convencional. D: desnutrición.

La diferencia del porcentaje de masa grasa y porcentaje de la circunferencia muscular de brazo (ver Tabla 15), muestra una disminución de 2.2% y 1.6% respectivamente para el grupo VIBE y de 2.7% y 1.3% respectivamente para el grupo Convencional sin llegar a mostrar significancia estadística.

**Tabla 15. Comparación de la diferencia de los parámetros antropométricos basales y finales de los grupos de estudio.**

	Grupo VIBE n=23		Grupo Convencional n=24		<i>p</i> **
	Delta	<i>p</i>	Delta	<i>p</i>	
Masa grasa (%)*	-2.2 ± 1.8	0.4	-2.7 ± 1.14	0.5	0.5
CMB (%)*	-1.6 ± 1.7	0.3	-1.3 ± 2.1	0.25	0.2

\* Se muestra el media ± desviación estándar.

\*\* Comparación entre grupos (VIBE final vs. Convencional final).

**CMB:** circunferencia muscular del brazo.

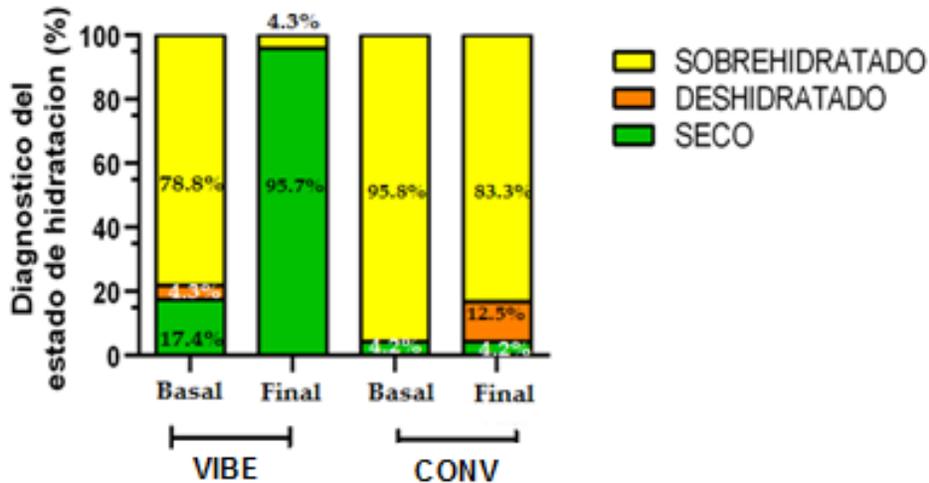
En cuanto a la sintomatología intradiálisis (ver Tabla 16), se encontró una reducción significativa de los episodios de cefalea en ambos grupos (Grupo VIBE: 4% vs grupo Convencional: 12.5%,  $p < 0.000$ ), sin embargo al comparar los valores entre los grupos no se muestra diferencia estadísticamente significativa; así mismo podemos cotejar el edema clínico, donde se observa la disminución del 95.7% para el grupo VIBE vs el incremento de 29.1% del grupo Convencional ( $p < 0.000$ ). Los episodios de hipotensión solo se redujeron en el grupo VIBE (4.34%) mientras que para el grupo Convencional aumentaron (20.9%),  $p < 0.046$ .

**Tabla 16. Comparación de la diferencia de las frecuencias de signos y síntomas basales y finales de los dos grupos de estudio.**

	Grupo VIBE n=23		Grupo Convencional n=24		<i>p</i> *
	Delta	<i>p</i>	Delta	<i>p</i>	
Pérdida de conocimiento (%)	0	ns	0	ns	ns
Calambres (%)	8.70	0.000	8.30	ns	ns
Cefalea (%)	-4.00	0.000	-12.5	0.000	ns
Termino de diálisis por sintomatología (%)	-4.30	ns	0	ns	ns
Hipotensión (%)	-4.34	0.000	20.9	0.000	0.046
Nausea (%)	4.26	0.000	0	ns	ns
Vomito (%)	0	ns	0	ns	ns
Edema clínico (%)	-95.7	0.000	29.1	0.000	0.000

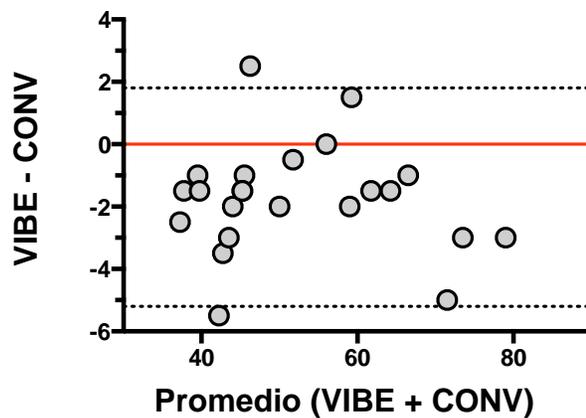
\*Comparación entre grupos (VIBE final vs. Convencional final)

Con base en los resultados individuales de los vectores de impedancia, al inicio del estudio, el 82.6% de los pacientes pertenecientes al grupo VIBE se encontraban con alteraciones en el estado de hidratación (4.3% con deshidratación y el 78.3% restante con sobrehidratación), mientras que para el grupo Convencional el 95.8% mostró sobrehidratación y el 4.2% normohidratación. Al final del estudio, se alcanzó el peso seco en el 95.7% de los pacientes asignados al grupo VIBE, mientras que para el grupo Convencional se mantuvo el 4.2%. (Ver Figura 16).



**Figura 16. Condición basal y final del estado de hidratación.** VIBE: grupo guiado por vectores de impedancia bioeléctrica; CONV: grupo guiado por el método convencional.

La Figura 17 permite observar la concordancia entre el método VIBE contra el método Convencional para la estimación del peso seco, donde se muestra que más de un 99% de los puntos de coincidencia de los pares de predicciones están fuera de lo admitido, revelando la subestimación de la cantidad de líquido en cada paciente, con lo cual se invalida la utilización del método convencional como método para ajustar el peso seco en los pacientes sometidos a hemodiálisis.



**Figura 17. Análisis de concordancia Bland-Altman entre los dos métodos para la estimación del peso seco.** VIBE: grupo guiado por vectores de impedancia bioeléctrica; CONV: grupo guiado por el método convencional.

La Figura 18 nos muestra cómo el método convencional tiene una sensibilidad del 23% y una especificidad del 4% para determinar peso seco por el evaluador con base en los parámetros clínicos convencionales y el VIBE.

		Método convencional		
		(+)	(-)	
(+)	6	20	26	
(-)	20	1	21	
	26	21		

**Figura 18. Sensibilidad y especificidad por el evaluador del método convencional**

## VIII. DISCUSIÓN

Este trabajo, es el primer estudio en la literatura científica que compara los VIBE con los parámetros clínicos convencionales utilizados en las unidades de hemodiálisis para ajustar el ultrafiltrado y alcanzar el peso seco en los pacientes en hemodiálisis, y de él podemos extraer algunas conclusiones y reflexiones que se comentan a continuación.

Los sujetos incluidos en este estudio son pacientes sin seguridad social y de bajos recursos económicos que son referidos a la Unidad de Hemodiálisis del Hospital General del Estado de Querétaro por el médico nefrólogo, quien se encarga de establecer las características de la sesión así como la determinación de peso seco.

Las causas de nefropatía en estos pacientes, difieren de las principales causas a nivel nacional. La principal etiología de IR en estos pacientes se debe a los criterios de selección establecidos por el Hospital General del Estado de Querétaro, en donde el principal criterio de inclusión para la terapia de hemodiálisis, es el grado de urgencia y trascendencia para prolongar la vida. En este caso, los pacientes con ERCA de etiología desconocida manifestada con hipoplasia renal, son detectados a edades más tempranas, por lo que su intervención tiende a ser más oportuna en comparación con los pacientes con Diabetes Mellitus u otra etiología, quienes son detectados en etapas más avanzadas por lo que su ingreso a la unidad es más tardío. Si bien el origen de la patología renal es diferente entre los pacientes, este estudio se centra en la determinación del peso seco sin importar la patología subyacente, puesto que una de las complicaciones de la ERCA en tratamiento sustitutivo en hemodiálisis es la retención hídrica independientemente del origen de la enfermedad.

La utilidad de los VIBE en pacientes nefrópatas para determinar el peso seco fue establecida previamente utilizando un equipo de bioimpedancia monofrecuencia (Atilano-Carsi et al., 2012). En el presente estudio se usó un equipo de monofrecuencia a 50kHz, lo cual implica la imposibilidad de que la corriente eléctrica penetre en la célula y por lo tanto no se puede estimar directamente el AIC. Sin embargo, a 50kHz se pueden estimar el ACT y el AEC y por diferencia el AIC en pacientes en hemodiálisis de forma confiable como lo demostraron Cigarran et al., (2009) y Vázquez et al., (2003). Los valores de resistencia y reactancia obtenidos a través de equipos de monofrecuencia a 50kHz son suficientes para graficar el vector de impedancia y ajustar el ultrafiltrado para alcanzar el peso en los pacientes sometidos a hemodiálisis.

La hipotensión es la complicación aguda más frecuente en el paciente en hemodiálisis, afecta entre 20 y 50% de los pacientes en diálisis, es de origen multifactorial; sin embargo, la causa más frecuente de hipotensión durante la hemodiálisis es la reducción del volumen sanguíneo por ultrafiltración excesiva con la consiguiente inestabilidad hemodinámica. Como era de esperarse, en este estudio, la hipotensión y el edema clínico son los principales signos clínicos que se redujeron significativamente con respecto al grupo Convencional. Lo anterior sugiere que la obtención del peso seco de una forma paulatina y controlada por los VIBE, resulta ser segura y a largo plazo conducirá a un aumento en el aporte de oxígeno tisular, disminución del daño en los tejidos cerebrales y cardíacos, disminución de la pérdida acelerada de la función renal residual con reducción en la morbilidad y mortalidad (Sotomayor, 2005).

El manejo del balance de los líquidos es una de las funciones primarias de la diálisis. Cuando se compara a los pacientes en HD antes del procedimiento dialítico y después de él, se observa que están sobrecargados de volumen antes de iniciar el tratamiento; la situación mejora después del procedimiento. Los pacientes en tratamiento dialítico han tenido siempre elevadas tasas de morbilidad y mortalidad, las que se han intentado reducir de varias formas. Por ejemplo, en el

estudio de Serra Cabañas et al., 2010 se aumentó la dosis de la HD, pero no se obtuvo ningún beneficio; Plum et al., 2001, administró estatinas a un grupo de pacientes en HD, tampoco se logró reducir la mortalidad; sin embargo varios autores concluyen que el aumento de la ultrafiltración podría reducir la mortalidad de los pacientes en HD (Daugirdas 1993; Owen 1998; Lunts et al., 2002; Borroto Díaz et al., 2006). En nuestro estudio, la determinación del ultrafiltrado utilizando el método establecido por Atilano-Carsi et al. (2012) para el grupo VIBE, podría reducir la mortalidad, debido a que el incremento de la ultrafiltración tiende a ser mayor para el grupo VIBE (VIBE:  $2.34 \pm 1.3L$  vs Convencional:  $0.9 \pm 1.1L$ ). Estos resultados, apoyan la reducción de la medicación antihipertensiva (VIBE:  $-0.6 \pm 0.49$  vs Convencional:  $-0.45 \pm 0.58$ ), PAM (VIBE:  $-10.96 \pm 10.2$  mmHg vs Convencional:  $9.3 \pm 8.4$  mmHg) y edema (VIBE:  $-95.7$  vs convencional  $29.1$ ), factores que indudablemente se relacionan con la mejora en el estado de hidratación, debido a la disminución de las variables de ACT, AIC y en mayor medida AEC. Esta disminución del estado de volemia refleja un incremento en la resistencia, con la consiguiente migración del vector sobre el eje mayor en dirección a los cuadrantes superiores, posicionando de esta forma, al grupo VIBE como el mejor método para la determinación del peso seco comparado con el método establecido para el grupo convencional.

El mantenimiento de cifras de presión arterial elevadas durante el período interdialítico, es sin duda uno de los factores patogénicos más importantes en la evolución de los enfermos bajo sustitución renal por hemodiálisis. En esta población, cerca del 90% de los casos de hipertensión arterial, se debe a una sobrecarga de volumen y por lo tanto, está asociada a una ganancia de peso excesiva entre las sesiones de diálisis (Kornerup, 2010). Como lo mencionamos con anterioridad, en este estudio, la ultrafiltración guiada por VIBE se correlaciona fuertemente con la disminución del estado de volemia del paciente y la presión arterial; por lo tanto, a mayor ultrafiltración, el estado de hidratación es más próximo a lo deseado y se tiene mejor control de la presión arterial. Aunado a esto, la tolerancia a la diálisis, con frecuencia está condicionada por la presencia de

hipotensión arterial, náuseas, vómitos, calambres musculares y cefalea. Las maniobras encaminadas a lograr una solución de diálisis que satisfaga los requerimientos terapéuticos y a su vez disminuya la aparición de síntomas intradialíticos constituye una de las armas fundamentales en la práctica nefrológica para procurar una aceptable tolerancia al tratamiento hemodialítico.

La náusea, el vómito y la cefalea, no se modifican significativamente entre grupos debido a que su origen no se relaciona directamente con la volemia sino con las concentraciones elevadas de urea, anorexia y la presencia de gastritis medicamentosa y/o urémica (Cheng et al., 2005). Cuando la terapia sustitutiva se realiza con el esquema de 2 sesiones o menos por semana, las concentraciones de urea tienden a permanecer elevadas (Radecki y Nissenson, 2010) ocasionando los signos y síntomas mencionados con anterioridad.

Para el grupo VIBE el incremento en los calambres musculares, fue notorio comparado con el grupo convencional, esto debido quizá a los trastornos hidroelectrolíticos (hiponatremia, hipocalcemia, hipomagnesemia), la brusca extracción de volumen por ultrafiltración y/o niveles elevados de uremia, pero sobre todo al grado de desnutrición en este grupo, puesto que la tolerancia a la extracción de líquidos resulta ser menor mientras el paciente empeora su estado de nutrición.

Cuando los pacientes progresan a ERCA incrementan las dificultades para manejar el volumen extracelular y sostener el estado nutricional. Ambos fenómenos permiten ser analizados mediante IBE (Atilano-Carsi et al., 2012). El ángulo de fase (AF) medido por BIE a 50 kHz se asocia con el estado nutricional como ha sido descrito por otros autores (Oliveira et al., 2010; Cupisti et al., 2011) y demuestra que es un factor de riesgo independiente de mortalidad a largo plazo. Segall et al. (2009), refieren que un AF inferior a  $6^{\circ}$  tomado con BIE a 50 kHz tiene un riesgo relativo de mortalidad al año de 4.1 frente a los que tienen un AF superior (Enia et al., 1993). Nuestros datos muestran un promedio del AF final de

5.1± 0.88 para el grupo VIBE y 4.2 ± 1.1 para el grupo Convencional, ambos por debajo del AF que disminuye el riesgo de mortalidad, sin embargo es importante mencionar que solo para el grupo VIBE se incrementó el AF (VIBE: 1 ± 1.0 vs Convencional: 0.44 ± 0.5). La explicación de este suceso concierne a la buena nutrición celular, ya que es sabido que al tener células adecuadamente nutridas, existen suficientes proteínas intracelulares para mantener la presión oncótica y evitar la fuga de agua hacia el espacio extracelular, lo que se traduce en una adecuada distribución de líquidos corporales y una buena cantidad de masa metabólicamente activa. Por consiguiente, al existir un buen estado de nutrición, el paciente tolerará con mayor facilidad la extracción de líquidos durante la sesión y por ende conseguirá un adecuado estado de hidratación en menor tiempo. Mushnick et al., (2003) y Fein et al., (2002) concluyen que el AF es la variable que mejor se correlaciona con los indicadores bioquímicos del estado nutricional en pacientes con ERCA, lo que apoya su utilidad en el monitoreo del estado nutricional en pacientes en diálisis. Barbosa y Silva (2005) encontraron que el AF, la cantidad de células metabólicamente activas y la capacidad funcional de las reservas de proteínas somáticas, son buenos indicadores del estado nutricional en enfermos renales. Por otra parte, Talluri et al., (2003) identificaron a la masa celular como un buen indicador de depleción de masa muscular y de estado nutricional, ya que no se ve afectado por el estado de hidratación.

El análisis de vectores de impedancia es un método gráfico cualitativo que permite evaluar al paciente en dos aspectos simultáneamente. Por un lado evalúa el estado de hidratación y por otro lado el estado nutricional, por lo que este método es de gran utilidad en pacientes sometidos a hemodiálisis cuyas fluctuaciones hídricas son constantes y la desnutrición está presente. Una de las consecuencias de la desnutrición es la disminución de la masa celular, la cual es reemplazada por fluidos extracelulares, causando expansión de volumen (Devolder et al., 2010). Asociado a esto, se ha encontrado que los pacientes con sobrehidratación tienen un inadecuado consumo proteínico (Maggiore et al., 1996). Los VIBE al inicio del estudio, se situaron en el cuadrante inferior derecho, indicando la presencia de

sobrehidratación y desnutrición, estos datos concuerdan con lo citado en la literatura para la población con las mismas características (Buckalew et al., 1996; Picoli, 1998; Atilano-Carsi et al., 2012). En nuestro estudio el estado de nutrición fue diagnosticado utilizando el índice de Bilbrey (1989), el cual fue modificado con el fin de excluir la transferrina sérica, ya que su determinación es infrecuente en los exámenes bioquímicos de rutina. Al ser un índice que incluye parámetros antropométricos, bioquímicos y clínicos, se confirmó que el estado de nutrición se enmascara por la sobrehidratación que usualmente tienen los pacientes en hemodiálisis. Lo anterior se debe a que los parámetros antropométricos utilizados para este índice compuesto, principalmente la circunferencia brazo y el pliegue cutáneo tricípital, arrojan valores alterados, esto debido a que la estimación de la circunferencia muscular del brazo utiliza los valores de las dos mediciones anteriormente mencionadas, lo que finalmente se traduce en una alteración del puntaje para tres de siete parámetros, este resultado se ve reflejado en el diagnóstico del estado de nutrición basal para ambos grupos de estudio. Sin embargo al finalizar el estudio, podemos observar como el grupo guiado por VIBE realmente refleja su verdadero estado de nutrición, puesto que la disminución de los fluidos corporales en este grupo de pacientes, nos permiten obtener datos antropométricos con un mayor grado de confiabilidad. Los pacientes guiados por el método Convencional mostraron un peor estado nutricional en comparación con los guiados por VIBE, reflejado por valores menores de  $X_c$ , ángulo de fase, masa celular y albúmina sérica, lo que señala nuevamente la relación estrecha entre el estado de hidratación y nutrición, que ha sido encontrada también por otros investigadores (Picoli et al., 1999; Guida et al., 2000; Atilano-Carsi et al., 2012).

Los pacientes en diálisis se caracterizaron por tener concentraciones séricas disminuidas de albúmina, así como creatinina y PCR aumentadas. Se ha considerado a la albúmina sérica como un indicador del estado nutricional, sin embargo sus concentraciones dependen del estado de hidratación e inflamación (Ikizler et al., 1999; Fouque et al., 2008; Cano et al., 2009). En esta investigación, las bajas concentraciones de albúmina en la población son consecuencia de la

combinación de desnutrición (disminución de masa celular y muscular) y sobrehidratación (acúmulo de agua extracelular causante de hemodilución). En este estudio no fue posible medir PCR ni algún otro marcador de inflamación para asociarlo con la concentración de albumina y el estado de nutrición de los pacientes. Es probable que la hipoalbuminemia sea causada por la elevación de las citoquinas y en gran medida por la reducción de la síntesis proteínica. Desde un punto de vista fisiopatológico la respuesta inflamatoria alterará la síntesis de proteínas viscerales y humorales. Más aún, no solo la desnutrición sería secundaria a la inflamación, sino también al proceso de la hemodiálisis y la bioincompatibilidad de los materiales, todos estos factores como consecuencia de un proceso inflamatorio subyacente local o generalizado. El estímulo inicial (patógeno, proteína extraña, etc.) estimula a los hepatocitos, células de Kupffer y a otros integrantes del sistema retículo endotelio histiocitario y monocitos produciéndose IL-1, IL-6, TNF  $\alpha$ , causales de reacción de fase aguda I y II. Paralelamente se puede observar un incremento del amiloide sérico A, P R, alfa-2 macroglobulina, complemento y fibrinógeno (Lavorato et al., 2001). A la vez sucede una reducción de concentración de la transferrina, prealbúmina y desde luego la albúmina; de esta manera podemos entonces comprender como marcadores nutricionales pueden ser también de inflamación.

Hay muchos factores que determinan el estado nutricional en hemodiálisis, como el estado urémico que ocasiona anorexia y vómito, procesos intercurrentes como infecciones o inflamaciones que ocasionan aumento del catabolismo, trastornos metabólicos como acidosis y resistencia a la insulina que afectan el anabolismo, aspectos relacionados con la técnica de diálisis como la pérdida de nutrimentos a través del procedimiento, la bioincompatibilidad del material extracorpóreo que activa la generación de citoquinas como IL-1 y caquectina como se menciona con anterioridad y finalmente los factores psicosociales de una enfermedad que por su alto costo afecta considerablemente la economía familiar y por lo tanto la capacidad de consumir dietas hiperproteínicas. Este último factor es especialmente importante para la población de estudio, ya que la mayoría de estos

pacientes poseen un nivel de educación básico y nivel socioeconómico bajo, el cual está estrechamente relacionado con una ingesta energética deficiente que se acompaña de una dieta hipoproteínica, estas características dietéticas comprometen aún más el estado nutricional.

El objetivo de la intervención de este estudio mediante al análisis de vectores de impedancia es llevar a los pacientes a un punto dentro de las elipses de tolerancia del 50 y 75%. Atilano-Carsi et al., (2012) concluyen que la desnutrición grave impide el logro del peso seco en pacientes en hemodiálisis guiados por VIBE. En nuestra población, pese a la desnutrición grave y el incremento en los calambres musculares, el peso seco se alcanzó en el 95.7% de los pacientes guiados por VIBE, el resto (4.3%) no alcanzo la normo hidratación debido al tiempo de intervención, ya que este porcentaje de pacientes al finalizar la intervención únicamente logró posicionarse en los límites del vector del 75%. Por lo que se debe considerar implementar estrategias para corregir el volumen de líquidos corporales y el estado de nutrición, mejorando la calidad de vida de los pacientes y disminuyendo la morbi-mortalidad.

Los vectores correspondientes a sobrehidratación, se han relacionado con un riesgo relativo mayor de muerte (Pillon et al., 2004) por lo que posiblemente los pacientes en los que el peso seco no fue alcanzado y por ende permanecieron sobrehidratados tendrán mayor riesgo de mortalidad, tal es el caso de los pacientes del grupo Convencional, en quienes solo se logró la obtención del peso seco en el 4.2% de la población.

De la misma forma que el trabajo realizado por Atilano-Carsi et al., (2012) la situación de los vectores prediálisis del grupo guiado por VIBE, no se modificó en ningún momento durante el tiempo de estudio, lo cual indica que la ganancia de peso entre sesiones de diálisis depende del control que los pacientes tengan en cuanto a consumo de líquidos. Los vectores postdiálisis de los pacientes con disminución del peso seco guiado por VIBE, migran sobre el eje mayor

posicionándose a la altura del cuadrante superior derecho, indicando pérdida de líquidos corporales. Por el contrario, los vectores postdiálisis de los pacientes guiados por el método convencional se mantuvieron en la parte inferior del eje mayor, reflejando el incremento programado de agua corporal sin la eliminación correcta de la misma.

Piccoli et al (1996, 1998, 1994) y Atilano-Carsi et al., (2012) en sus trabajos demostraron que los valores de los vectores sufren cambios después de la hemodiálisis, se desplazan hacia arriba y se vuelven más largos. En este trabajo se observó el mismo fenómeno para el grupo VIBE, sin embargo podemos constatar que mientras transcurre el tiempo de intervención, los vectores grupales van sufriendo una ligera disminución en el alargamiento hasta formar una elipse ligeramente circular, lo que representa la homogenización de este grupo de pacientes sin importar la ubicación inicial del vector.

El método convencional para determinar peso seco por el evaluador con base en parámetros clínicos convencionales, comparado con los VIBE, nos muestra únicamente un 23% de sensibilidad para detectar a los pacientes que se encontraron peso seco y una especificidad del 4%, esto debido a que el método convencional no alcanza a detectar a los pacientes cuando aún no han llegado el peso seco. Aunado a esto, la concordancia de las predicciones realizadas por cada uno de los métodos se estudió mediante el método de análisis de concordancia de Bland Altman, donde se utilizó el método VIBE como referencia, con un cálculo de los márgenes de oscilación de los límites del IC 95% (intervalo de confianza del 95% de la diferencia media de probabilidad de predicción para cada paciente) y del número de puntos situados fuera del IC 95%, admitiéndose un 5%, por definición, como cifra tolerable. El análisis del gráfico representado en la Bland Altman permite comprobar que, en el caso de análisis de concordancia entre el método VIBE y el Convencional, para determinar el peso seco en los pacientes en hemodiálisis, más de un 99% de los puntos de coincidencia de los pares de predicciones están fuera de lo admitido, revelando la subestimación de la

cantidad de líquido en cada paciente. Por lo que podemos, pues, afirmar, que no existe concordancia entre la predicción de peso seco guiado por los parámetros clínicos convencionales y que indudablemente los VIBE son el mejor método para realizar esta estimación.

## IX. CONCLUSIONES

- El análisis de los VIBE son una herramienta útil para determinar y ajustar el peso seco en los pacientes con ERCA sometidos a hemodiálisis que supera los métodos convencionales.
- La utilización de VIBE para determinar el peso seco de los pacientes en HD disminuye el riesgo de presentar complicaciones relacionadas con la sobrehidratación.
- La utilización de los VIBE como método para la estimación de peso seco en pacientes en HD, a largo plazo, permite disminuir el número de antihipertensivos, PAM, edema clínico y sintomatología.
- La correcta estimación y mantenimiento del peso seco en los pacientes en hemodiálisis es un factor importante a considerar entre los parámetros de diálisis adecuada.
- El diagnóstico del estado de nutrición en los pacientes en hemodiálisis se ve enmascarado por el exceso de líquidos corporales y puede interferir en el logro del peso seco.
- La utilización de los VIBE en el diagnóstico del estado de nutrición es un indicador más certero que los índices compuestos establecidos para estos pacientes.

## LITERATURA CITADA

- Abrahamsen B, Hansen TB, Hogsberg IM, Pedersen FB, Beck-Nielsen H. Impact of hemodialysis on dual X-ray absorptiometry, bioelectrical impedance measurements, and anthropometry. *Am J Clin Nutr* 1996; 63(1):80-86.
- Agarwal R, Alborzi P, Saytan S. Dry-weight reduction in hypertensive hemodialysis patients (DRIP): a randomized, controlled trial. *Hypertension* 2009; 53:500-507.
- Amenabar JJ, Garcia LF, Robles NR et al. Dialysis and transplantation report of the Spanish Nephrology Society and Autonomous Registries for the year 2000. *Nefrologia* 2002; 22(4):310-317.
- Aparicio M, Cano N, Chauveau, R Azar, B Canaud, A Flory, M Laville, Leverve P. Nutritional status of haemodialysis patients: a French national cooperative study. French Study Group for Nutrition in Dialysis. *Nephrol Dial Transplant* 1999; 14(7):1679-1686.
- Atilano-Carsi X, Johanan-Lopez M, Martinez-Martinez J, Sanchez –Rous R, Bioimpedance vector analysis as a tool for determination and adjustment of dry weight in hemodialysis patines. *Kidney Research and Clinical Practice* 2012;31(2):A17
- Avendaño L, Aljama P, Arias M, caramelo C, Egido J, Lamas S. *Nefrología Clínica*. Segunda ed. Madrid: Editorial Médica Panamericana, 2003
- Bajo MA, del PG, Sanchez-Villanueva R, Castro MJ, Aroeira L, Selgas R. New peritoneal dialysis solutions and their combinations. *Nefrologia* 2008; 28 Suppl 6:59-66.
- Barbosa-Silva MC, Barros AJ, Post CLA. Can bioelectrical impedance analysis identify malnutrition in preoperative nutrition assessment? *Nutrition* 2003; 19:422-426.
- Barbosa-Silva MC, Barros AJ, Wang J, Heymsfield SB, Pierson RN, Jr. Bioelectrical impedance analysis: population reference values for phase angle by age and sex. *Am J Clin Nutr* 2005; 82(1):49-52.
- Barbosa-Silva MC, Barros AJ. Bioelectrical impedance analysis in clinical practice: a new perspective on its use beyond body composition equations. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2005; 8(3):311-317.
- Bargman JM. New technologies in peritoneal dialysis. *Clin J Am Soc Nephrol* 2007; 2(3):576-580.

- Bilbrey GL, Cohen T. Identification and treatment of protein calorie malnutrition in chronic hemodialysis patients. *Dial and Transp* 1989; 18:669-677.
- Bioelectrical impedance analysis in body composition measurement: National Institutes of Health Technology Assessment Conference Statement. *Am J Clin Nutr* 1996; 64(3 Suppl):524S-532S.
- Bioelectrical impedance and body composition. *Lancet* 1992; 340(8834-8835):1511.
- Bioelectrical impedance vector analysis (BIVA) with BIVAPLOT Software. Department of Medical and Surgical Sciences. University of Padova. Padova, Italy.: 1998.
- Bioelectrical impedance vector analysis (BIVA)with BIVAMEAN: T2 Hotelling Software. Department of Medical and Surgical Sciences. University of Padova. Padova, Italy.: 1998.
- BIVA Software. BIVA Tolerance file. Department of Medical and Surgical Sciences. University of Padova. Padova, Italy: 2002.
- BIVA Software. BIVA confidence file. Department of Medical and Surgical Sciences. University of Padova. Padova, Italy.: 2002.
- Body composition-research techniques and nutritional assessment. Proceedings of the international workshop. Kaiserslautern, FRG, August 21 and 22, 1988. *Infusionstherapie* 1990; 17 Suppl 3:1-80.
- Brenner B. Disorders of the Kidney and Urinary Tract. In: Kasper D, Braunwald E, Fauci A, Hauser S, Longo D, Jameson JL, editors. *Harrison's Principles of Internal Medicine*. USA: Mc Graw-Hill, 2005: 1639-1724.
- Brown-Cartwright D, Smith HJ, Feldman M. Gastric emptying of an indigestible solid in patients with end-stage renal disease on continuous ambulatory peritoneal dialysis. *Gastroenterology* 1988; 95(1):49-51.
- Buckalew VM, Jr., Berg RL, Wang SR, Porush JG, Rauch S, Schulman G. Prevalence of hypertension in 1,795 subjects with chronic renal disease: the modification of diet in renal disease study baseline cohort. *Modification of Diet in Renal Disease Study Group. Am J Kidney Dis* 1996; 28(6):811- 821.
- Cano NJ, Miolane-Debouit M, Leger J, Heng AE. Assessment of body protein: energy status in chronic kidney disease. *Semin Nephrol* 2009;29(1):59-66.
- Castro-Serralde E. Panorama epidemiológico de la insuficiencia Renal crónica en México. *Hosp Gen Mexico (internet)*;20014; 30 (3) 53-6. Disponible en <http://>

[www.hospitalgeneral.salud.gob.mx/descargas/pdf/enfermeria/insuficiencia\\_renal.pdf](http://www.hospitalgeneral.salud.gob.mx/descargas/pdf/enfermeria/insuficiencia_renal.pdf)

Chamney PW, Kramer M, Rode C, Kleinekofort W, Wizemann V. A new technique for establishing dry weight in hemodialysis patients via whole body bioimpedance. *Kidney Int* 2002; 61(6):2250-2258.

Charra B, Chazot C, Laurent G. Clinical of dry weight. *Nephrol Dial Transplant* 1996; 11:16 -19

Charra B, Laurent G, Chazot C. Clinical assessment of dry weight. *Nephrol Dial Transplant* 11 (supl2) :16-19.1996.

Chazot C. Why are chronic kidney disease patients anorexic and what can be done about it? *Semin Nephrol* 2009; 29(1):15-23.

Cheng LT, Tang W, Wang T. Strong association between volume status and nutritional status in peritoneal dialysis patients. *Am J Kidney Dis* 2005; 45(5):891-902.

Chertow GM, LELNLJ. Bioelectrical impedance analysis predicts survival in hemodialysis patients. *J Am Soc Nephrol* 1996; 7:1442.

Chertow GM, Lazarus JM, Lew NL, Ma L, Lowrie EG. Bioimpedance norms for the hemodialysis population. *Kidney Int* 1997; 52(6):1617-1621.

Chertow GM, Lowrie EG, Wilmore DW et al. Nutritional assessment with bioelectrical impedance analysis in maintenance hemodialysis patients. *J Am Soc Nephrol* 1995; 6(1):75-81.

Chertow GM. Estimates of body composition as intermediate outcome variables: are DEXA and BIA ready for prime time? *J Ren Nutr* 1999; 9(3):138-141.

Chiu YW, Kopple JD, Mehrotra R. Correction of metabolic acidosis to ameliorate wasting in chronic kidney disease: goals and strategies. *Semin Nephrol* 2009; 29(1):67-74.

Chumlea WC. Anthropometric and body composition assessment in dialysis patients. *Semin Dial* 2004; 17(6):466-470.

Chung SH, Heimbürger O, Stenvinkel P, Wang HY, Lindholm B. Influence of peritoneal transport rate, inflammation, and fluid removal on nutritional status and clinical outcome in prevalent peritoneal dialysis patients. *Perit Dial Int* 2003; 23:174-183.

- Chung SH, Stenvinkel P, Lindholm B, Avesani CM. Identifying and managing malnutrition stemming from different causes. *Perit Dial Int* 2007;27 Suppl 2:S239-S244.
- Churchill DN, Thorpe KE, Nolph KD, Keshaviah PR, Oreopoulos DG, Page D. Increased peritoneal membrane transport is associated with decreased patient and technique survival for continuous peritoneal dialysis patients. The Canada-USA (CANUSA) Peritoneal Dialysis Study Group. *J Am Soc Nephrol* 1998; 9(7):1285-1292.
- Cianciaruso B, Brunori G, Kopple JD. Cross-sectional comparison of malnutrition in continuous ambulatory peritoneal dialysis and hemodialysis patients. *Am J Kidney Dis* 1995; 26(3):475-486.
- Comty CM. A longitudinal study of body composition in terminal uremics treated by regular hemodialysis. *Can Med Assoc J* 98: 482-491, 1968.
- Cooper BA, Aslani A, Ryan M et al. Comparing different methods of assessing body composition in end-stage renal failure. *Kidney Int* 2000; 58(1):408-416.
- Cordeiro CA, Qureshi AR, Stenvinkel P et al. Abdominal fat deposition is associated with increased inflammation, protein-energy wasting and worse outcome in patients undergoing haemodialysis. *Nephrol Dial Transplant* 2010; 25:562-568.
- Cox-Reijven PL, Kooman JP, Soeters PB, van der Sande FM, Leunissen KM. Role of bioimpedance spectroscopy in assessment of body water compartments in hemodialysis patients. *Am J Kidney Dis* 2001; 38(4):832- 838.
- Cueto-Manzano AM, Espinosa A, Hernandez A, Correa-Rotter R. Peritoneal transport kinetics correlate with serum albumin but not with the overall nutritional status in CAPD patients. *Am J Kidney Dis* 1997; 30(2):229-236.
- Cupisti A, Capitanini A, Betti G, D'Alessandro C, Barsotti G. Assessment of habitual physical activity and energy expenditure in dialysis patients and relationships to nutritional parameters. *Clin Nephrol* 2011;75(3):218-25.
- Daugirdas J, Ing T. *Manual de diálisis*. Segunda ed. Barcelona: Masson, 1996.
- Daugirdas J. Second generation logarithmic estimates of single-pool variable volume Kt/V: an analysis of error. *J Am Soc Nephrol* 1993; 4:1205-1213.
- De Francisco AL, Otero A. Epidemiology of chronic liver failure in Spain. *Nefrologia* 2003; 23(6):475-477.

- De Palo T, Messina G, Edefonti A, Perfumo F, Pisanello L, Peruzzi L, Di Iorio B, Mignozzi M, Vienna A, Conti G, Penza R, Piccoli A. Normal values of the bioelectrical impedance vector in childhood and puberty. *Nutrition* 2000; 16(6):417-424.
- Detsky AS, McLaughlin JR, Baker JP. What is subjective global assessment of nutritional status? *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 1987; 11(1):8-13.
- Devolder I, Verleysen A, Vijt D, Vanholder R, Van Biesen W. Body composition, hydration, and related parameters in hemodialysis versus peritoneal dialysis patients. *Perit Dial Int* 2010; 30:208-214.
- Di Lorio B, Scalfi L, Terracino V, Bellizzi V. A systematic evaluation of bioelectrical impedance measurement after hemodialysis session. *Kidney Int.* 65, 2435-2440. 2004. Ref Type: Generic
- Domoto DT, Weindel ME. Bioimpedance analysis of fluid compartments in female CAPD patients. *Adv Perit Dial* 1998; 14:220-222.
- Donadio C, Consani C, Ardini M. Estimate of body water compartments and of body composition in maintenance hemodialysis patients: comparison of single and multifrequency bioimpedance analysis. *J Ren Nutr* 2005; 15(3):332-344.
- Donauer J. Hemodialysis-induced hypotension: impact of technologic advances. *Semin Dial* 2004; 17(5):333-335.
- Dong J, Li YJ, Lu XH, Gan HP, Zuo L, Wang HY. Correlations of lean body mass with nutritional indicators and mortality in patients on peritoneal dialysis. *Kidney Int* 2008; 73(3):334-340.
- Dukkipati R, Kopple JD. Causes and prevention of protein-energy wasting in chronic kidney failure. *Semin Nephrol* 2009; 29(1):39-49.
- Dumler F. Best method for estimating urea volume of distribution: comparison of single pool variable volume kinetic modeling measurements with bioimpedance and anthropometric methods. *ASAIO J* 2004; 50(3):237-241.
- Ellis KJ. Human body composition: in vivo methods. *Physiol Rev* 2000; 80(2):649-680.
- Enia G, Sicuso C, Alati G. Subjective global assessment of nutrition in dialysis patients. *Nephrol Dial Transplant* 1993;8:1094-8.
- Espinosa-Cuevas ML, Rivas-Rodriguez L, Gonzalez-Medina EC, Atilano-Carsi X, Miranda-Alatriste P, Correa-Rotter R. Bioimpedance vector analysis for body composition in Mexican population. *Rev Invest Clin* 2007; 59(1):15-24.

- Fein PA, Gundumalla G, Jordan A, Matza B, Chattopadhyay J, Avram MM. Usefulness of bioelectrical impedance analysis in monitoring nutrition status and survival of peritoneal dialysis patients. *Adv Perit Dial* 2002; 18:195-199.
- Fein PA, Gundumalla G, Jordan A, Matza B, Chattopadhyay J, Avram MM. Usefulness of bioelectrical impedance analysis in monitoring nutrition status and survival of peritoneal dialysis patients. *Adv Perit Dial* 2002;18:195-199.
- Fernández-Reyes MJ, Auxiliadora M, del Peso G. Extracellular volume expansion caused by protein malnutrition in peritoneal dialysis patients with appropriate salt and water removal. *Perit Dial Int* 2008; 28(4):407-412.
- Flanigan M, Gokal R. Peritoneal catheters and exit-site practices toward optimum peritoneal access: a review of current developments. *Perit Dial Int* 2005; 25(2):132-139.
- Fort J. Chronic renal failure: a cardiovascular risk factor. *Kidney Int Suppl* 2005;(99):S25-S29.
- Fouque D, Kalantar-Zadeh K, Kopple J et al. A proposed nomenclature and diagnostic criteria for protein-energy wasting in acute and chronic kidney disease. *Kidney Int* 2008; 73(4):391-398.
- Fouque D, Kalantar-Zadeh K, Kopple J. A proposed nomenclature and diagnostic criteria for protein-energy wasting in acute and chronic kidney disease. *Kidney Int* 2008; 73(4):391-398.
- Frisancho R. New norms of upper limb fat and muscle areas for assessment of nutritional status. *Am J Clin Nutr* 1981; 34:2540-2545.
- Frisancho R. New standards of weight and body composition by frame size and height for assessment of nutritional status of adults and the elderly. *Am J Clin Nutr* 1984; 40:808-819.
- Gallar-Ruiz , Digoia , Lcalle, Hinostraza-Yanahuaya, Oliet-Pala, Herrero-Berron, olimpia Ortega , Ortiz-Libreros. Composición corporal en pacientes en hemodiálisis: relación con la modalidad de hemodiálisis, parámetros inflamatorios y nutricionales. *Nefrología* 2012;32(4):467-476
- Gotch FA, Sargent JA, Keen ML. Whither goest Kt/V? *Kidney Int Suppl* 2000; 76:S3-18.
- Guida B, De NL, Trio R, Pecoraro P, Iodice C, Memoli B. Comparison of vector and conventional bioelectrical impedance analysis in the optimal dry weight prescription in hemodialysis. *Am J Nephrol* 2000; 20(4):311-318.

- Guyton A, Hall J. Formación de la orina en los riñones: I. Filtración glomerular, riego sanguíneo renal y su regulación. In: Guyton A, editor. Tratado de Fisiología Médica. México: Mc Graw-Hill Interamericana, 1997:343-360.
- Hakim RM, Lazarus JM. Initiation of dialysis. *J Am Soc Nephrol* 1995;6(5):1319-1328.
- Heymsfield SB, Wang Z, Baumgartner RN, Ross R. Human body composition: advances in models and methods. *Annu Rev Nutr* 1997; 17:527-558.
- Heymsfield SB, Wang Z, Visser M, Gallagher D, Pierson RN, Jr. Techniques used in the measurement of body composition: an overview with emphasis on bioelectrical impedance analysis. *Am J Clin Nutr* 1996; 64(3 Suppl):478S-484S.
- Houtkooper LB, Lohman TG, Going SB, Howell WH. Why bioelectrical impedance analysis should be used for estimating adiposity. *Am J Clin Nutr* 1996; 64(3 Suppl):436S-448S.
- Hylander B, Barkeling B, Rossner S. Changes in patients' eating behavior: in the uremic state, on continuous ambulatory peritoneal dialysis treatment, and after transplantation. *Am J Kidney Dis* 1997; 29(5):691-698.
- Ikizler TA, Hakim RM. Nutrition in end-stage renal disease. *Kidney Int* 1996; 50(2):343-357.
- Ikizler TA, Wingard RL, Harvell J, Shyr Y, Hakim RM. Association of morbidity with markers of nutrition and inflammation in chronic hemodialysis patients: a prospective study. *Kidney Int* 1999; 55(5):1945- 1951.
- Jacobs D. Bioelectrical impedance analysis: Implications for clinical practice. *Nutr Clin Practice* 1997; 12(5):204-210.
- Jaeger JQ, Mehta RL. Assessment of dry weight in hemodialysis: an overview. *J Am Soc Nephrol* 1999; 10(2):392-403.
- Jankowska M, Debska-Slizien A, Rutkowski B. Bioelectrical impedance analysis before versus after a hemodialysis session in evaluation of nutritional status. *J Ren Nutr*. 16(2), 137-140. 2006.
- Jha V, Jairam A, Sharma MC, Sakhuja V, Piccoli A, Parthasarathy S. Body composition analysis with bioelectric impedance in adult Indians with ESRD: comparison with healthy population. *Kidney Int* 2006; 69(9):1649- 1653.
- K/DOQI clinical practice guidelines for chronic kidney disease: evaluation, classification, and stratification. *Am J Kidney Dis* 2002; 39(2 Suppl 1):S1-266.

- Kakiya R, Shoji T, Tsujimoto Y. Body fat mass and lean mass as predictors of survival in hemodialysis patients. *Kidney Int* 2006; 70(3):549-556.
- Kalantar-Zadeh K, Ikizler TA, Block G, Avram MM, Kopple JD. Malnutrition-inflammation complex syndrome in dialysis patients: causes and consequences. *Am J Kidney Dis* 2003; 42(5):864-881.
- Kalantar-Zadeh K, Kleiner M, Dunne E, Lee GH, Luft FC. A modified quantitative subjective global assessment of nutrition for dialysis patients. *Nephrol Dial Transplant* 1999; 14(7):1732-1738.
- Kalantar-Zadeh K, Kuwae N, Wu DY. Associations of body fat and its changes over time with quality of life and prospective mortality in hemodialysis patients. *Am J Clin Nutr* 2006; 83(2):202-210.
- Kalantar-Zadeh K, Regidor DL, Kovesdy CP. Fluid retention is associated with cardiovascular mortality in patients undergoing long-term hemodialysis. *Circulation* 2009; 119(5):671-679.
- Kato A, Odamaki M, Yamamoto T. Influence of body composition on 5 year mortality in patients on regular haemodialysis. *Nephrol Dial Transplant* 2003; 18(2):333-340.
- Kenneth, J.E., 2000. Human Body Composition: In vivo methods. *Physiol. Rev.*,80: 649-680
- Kinet JP, Soyeur D, Balland N, Saint-Remy M, Collignon P, Godon JP. Hemodynamic study of hypotension during hemodialysis. *Kidney Int* 21:868-876, 1982.
- Konings CJ, Kooman JP, Schonck. Assessment of fluid status in peritoneal dialysis patients. *Perit Dial Int* 2002; 22(6):683-692.
- Kopple JD, Massry SG. Nutritional management of renal disease. Segunda ed. USA: Lippincott Williams & Wilkins, 2003.
- Kopple JD. McCollum Award Lecture, 1996: protein-energy malnutrition in maintenance dialysis patients. *Am J Clin Nutr* 1997; 65(5):1544-1557.
- Kornerup HJ. Hypertension in end stage kidney disease. *Acta Med Scand*. 2002;20:257.
- Kotanko P, Levin NW, Zhu F. Current state of bioimpedance technologies in dialysis. *Nephrol Dial Transplant* 2008; 23(3):808-812.

- Kovesdy CP, George SM, Anderson JE, Kalantar-Zadeh K. Outcome predictability of biomarkers of protein-energy wasting and inflammation in moderate and advanced chronic kidney disease. *Am J Clin Nutr* 2009; 90(2):407-414.
- Kovesdy CP, Kalantar-Zadeh K. Why is protein-energy wasting associated with mortality in chronic kidney disease? *Semin Nephrol* 2009; 29(1):3-14.
- Kraemer M, Rode C, Wizemann V. Detection limit of methods to assess fluid status changes in dialysis patients. *Kidney Int* 2006; 69(9):1609-1620.
- Kuhlmann MK, Zhu F, Seibert E, Levin NW. Bioimpedance, dry weight and blood pressure control: new methods and consequences. *Curr Opin Nephrol Hypertens* 2005; 14(6):543-549.
- Kushner RF, de Vries PM, Gudivaka R. Use of bioelectrical impedance analysis measurements in the clinical management of patients undergoing dialysis. *Am J Clin Nutr* 1996; 64(3 Suppl):503S-509S.
- Kyle UG, Genton L, Karsegard VL, Raguso CA, Dupertuis YM, Pichard C. Percentiles (10, 25, 75 and 90th) for phase angle (PhA), determined by bioelectrical impedance (BIA), in 2740 healthy adults aged 20 - 75 yr. *Clin Nutr* 2004; 23:758(abstr).
- Kyle UG, Genton L, Slosman DO, Pichard C. Fat-free and fat mass percentiles in 5225 healthy subjects aged 15 to 98 years. *Nutrition* 2001; 17(7-8):534-541.
- Kyle UG, Piccoli A, Pichard C. Body composition measurements: interpretation finally made easy for clinical use. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2003; 6(4):387-393.
- Lameire N, Jager K, Van BW, de BD, Vanholder R. Chronic kidney disease: a European perspective. *Kidney Int Suppl* 2005;(99):S30-S38.
- Laville M, Fouque D. Nutritional aspects in hemodialysis. *Kidney Int Suppl* 2000; 76:S133-S139.
- Lavorato C, Coste E, Pérez-Loredo J. *Nefrología clínica*. 2da edición. 2001
- Levin NW, Zhu F, Keen M. Interdialytic weight gain and dry weight. *Blood Purif* 2001; 19(2):217-221.
- Lindholm B, Bergstrom J. Nutritional aspects on peritoneal dialysis. *Kidney Int Suppl* 1992; 38:S165-S171.
- Lindley E, Devine Y, Hall L. A ward-based procedure for assessment of fluid status in peritoneal dialysis patients using bioimpedance spectroscopy. *Perit Dial Int* 2005; 25 Suppl 3:S46-S48.

- Lopez Gomez JM, Jofré R. Balance hidrosalino en pacientes en hemodiálisis y su repercusión cardiovascular. Jofré R, Lopez Gomez JM, Luño J, Perez García R, Rodríguez Benitez P. En: Tratado de hemodiálisis. 2ª Edic Medica JIMS, Barcelona; 436-440. 2006.
- Lowrie EG, Lew NL. Death risk in hemodialysis patients: the predictive value of commonly measured variables and an evaluation of death rate differences between facilities. *Am J Kidney Dis* 1990; 15(5):458-482.
- Lukaski HC. Biological indexes considered in the derivation of the bioelectrical impedance analysis. *Am J Clin Nutr* 1996; 64(3 Suppl):397S- 404S.
- Lukaski HC. Methods for the assessment of human body composition: traditional and new. *Am J Clin Nutr* 1987; 46(4):537-556.
- Luño J, García de Vinuesa S, Gómez FJ, Rodríguez ML, D'Allanese C, Rodríguez A, Valderrábano F Hipertensión arterial en la enfermedad renal. *Nefrología* 1999; 17 (supl2): 6. 523-531
- Lunts P. Improving care and efficiency: appointment times in a haemodialysis unit. *EDTNA ERCA J.* 2002;28(1):7-10
- Machek P, Jirka T, Moissl U, Chamney P, Wabel P. Guided optimization of fluid status in haemodialysis patients. *Nephrol Dial Transplant* 2010; 25:538-544.
- Mafrá D, Guebre-Egziabher F, Fouque D. Body mass index, muscle and fat in chronic kidney disease: questions about survival. *Nephrol Dial Transplant* 2008; 23(8):2461-2466.
- Maggiore Q, Nigrelli S, Ciccarelli C, Grimaldi C, Rossi GA, Michelassi C. Nutritional and prognostic correlates of bioimpedance indexes in hemodialysis patients. *Kidney Int* 1996; 50(6):2103-2108.
- Marckmann P. Nutritional status of patients on hemodialysis and peritoneal dialysis. *Clin Nephrol* 1988; 29(2):75-78.
- Martínez M, Rodicio J, Herrera J. Tratado de Nefrología. Segunda ed. Madrid: Editorial Norma, 1993.
- May R. Effects of renal insufficiency of nutrient metabolism and endocrine function. In: Mitch W, Klahr S, editors. *Nutrition and the Kidney*. USA: Little Brown, 1993: 35-60.
- Mehrotra R, Kopple JD. Nutritional management of maintenance dialysis patients: why aren't we doing better? *Annu Rev Nutr* 2001; 21:343-379.

- Muscaritoli M, Molfino A, Bollea MR, Rossi FF. Malnutrition and wasting in renal disease. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2009; 12(4):378-383.
- Mushnick R, Fein PA, Mittman N, Goel N, Chattopadhyay J, Avram MM. Relationship of bioelectrical impedance parameters to nutrition and survival in peritoneal dialysis patients. *Kidney Int* 2003; 64:S53-S56.
- Nelson EE, Hong CD, Pesce AL, Peterson DW, Singh S, Pollak VE. Anthropometric norms for the dialysis population. *Am J Kidney Dis* 1990;16(1):32-37.
- Oliveira CM, Kubrusly M, Mota RS, Silva CA, Choukroun G, Oliveira VN. The phase angle and mass body cell as markers of nutritional status in hemodialysis patients. *J Ren Nutr* 2010;20(5):314-20.
- Ortega O. Importancia del ajuste del peso seco en los objetivos de la diálisis adecuada. *Nefrologia*. 1999;19(Supl 4):64-7.
- Owen WF. Dose of haemodialysis and survival. *JAMA*. 1998;280:1764-8.
- Passadakis P, Sud K, Dutta A. Bioelectrical impedance analysis in the evaluation of the nutritional status of continuous ambulatory peritoneal dialysis patients. *Adv Perit Dial* 1999; 15:147-152.
- Pérez J, Llamas F, Legido A. Insuficiencia Renal Crónica: revisión y tratamiento conservador. *Archivos de Medicina* 2005; 1(3):1-10.
- Piccoli A, Italian CAPD-BIA study group. Bioelectric impedance vector distribution in peritoneal dialysis patients with different hydration status. *Kidney Int* 2004; 65:1050-1063.
- Piccoli A, Nescolarde LD, Rosell J. Conventional and vectorial analysis of bioimpedance in clinical practice. *Nefrologia* 2002; 22(3):228-238.
- Piccoli A, Nigrelli S, Caberlotto A et al. Bivariate normal values of the bioelectrical impedance vector in adult and elderly populations. *Am J Clin Nutr* 1995; 61(2):269-270.
- Piccoli A, para Italian Hemodialysis- Bioelectrical Impedance Analysis study group. Identification of operational clues to dry weight prescription in hemodialysis using bioimpedance vector analysis. *Kidney Int* 53: 1036-1043, 1998.
- Piccoli A, Pastori G, Guizzo M, Rebeschini M, Naso A, Cascone C. Equivalence of information from single versus multiple frequency bioimpedance vector analysis in hemodialysis. *Kidney Int* 2005; 67(1):301-313.

- Piccoli A, Pillon L, Dumler F. Impedance vector distribution by sex, race, body mass index, and age in the United States: standard reference intervals as bivariate Z scores. *Nutrition* 2002; 18(2):153-167.
- Piccoli A, Pillon L, Tabbi MG. Major confounders for reactance as a marker of malnutrition in hemodialysis patients. *Kidney Int* 1999; 56(6):2311-2312.
- Piccoli A, Rossi B, Pillon L, Bucciante G. A new method for monitoring body fluid variation by bioimpedance analysis: the RXc graph. *Kidney Int* 1994; 46(2):534-539.
- Piccoli A, Rossi B, Pillon L, Bucciante G. Body fluid overload and bioelectrical impedance analysis in renal patients. *Miner Electrolyte Metab* 1996; 22(1-3):76-78.
- Piccoli A. 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* 1998; 53(4):1036-1043.
- Pietrobelli A, Wang Z, Heymsfield SB. Techniques used in measuring human body composition. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 1998; 1(5):439-448.
- Pillon L, Piccoli A, Lowrie EG, Lazarus JM, Chertow GM. Vector length as a proxy for the adequacy of ultrafiltration in hemodialysis. *Kidney Int* 2004; 66:1266-1271.
- Plum J, Schoenicke G, Kleophas W et al. Comparison of body fluid distribution between chronic haemodialysis and peritoneal dialysis patients as assessed by biophysical and biochemical methods. *Nephrol Dial Transplant* 2001; 16:2378-2385.
- Pobo V, Sesma A, Viviens B et al. Técnica quirúrgica, propiamente dicha, del acceso vascular autólogo. *Angiología* 2005; 57 (Suppl 2):S55-S64.
- Pupim LB, Caglar K, Hakim RM, Shyr Y, Ikizler TA. Uremic malnutrition is a predictor of death independent of inflammatory status. *Kidney Int* 2004; 66(5):2054-2060.
- Pupim LB, Flakoll PJ, Majchrzak KM, ftab Guy DL, Stenvinkel P, Ikizler TA. Increased muscle protein breakdown in chronic hemodialysis patients with type 2 diabetes mellitus. *Kidney Int* 2005; 68(4):1857-1865.
- Pupim LB, Kent P, Ikizler TA. Bioelectrical impedance analysis in dialysis patients. *Miner Electrolyte Metab* 1999; 25(4-6):400-406.

- Radecki SE, Nissenson AR. Hispanics with end stage renal disease. *Ann Intern Med* 2010; 121:723-724.
- Rambod M, Kovesdy CP, Bross R, Kopple JD, Kalantar-Zadeh K. Association of serum prealbumin and its changes over time with clinical outcomes and survival in patients receiving hemodialysis. *Am J Clin Nutr* 2008; 88(6):1485-1494.
- Rodríguez J, González E, Gutiérrez J. Guía de acceso vascular en hemodiálisis. *Angiología* 2005; 57:119-207.
- Rovira PJ, Ramos J, Lorezzo L, et al. Relación entre la tensión arteria y el peso seco. *Rev Soc Enferm Nefrol* 2002; (5) 4: 19-22.
- Segall L, Mardare NG, Ungureanu S, Busuioc M, Nistor I, Enache R, et al. Nutritional status evaluation and survival in haemodialysis patients in one centre from Romania. *Nephrol Dial Transplant* 2009;24(8):2536-40.
- Selgas R, Fernández-reyes MJ, Bosque E. Functional longevity of the human peritoneum: how long is continuous peritoneal dialysis possible? Results of a prospective medium long-term study. *Am J Kidney Dis* 1994; 23(1):64-73.
- Serra Cabañas N., Barros Freiría Barros Freiría X., Garro Martínez J., Blasco Pelicano M., Maduell Canals F., Torras Rabasa A. Dialysis dose measurements of Kt by ionic dialysance reveals less dialysis adequacy than the Kt/VUREA-based method in critically ill patients with acute renal failure. *Nefrología* 2010;30(2):232-235.
- Sociedad Española de Nefrología. Informe Preliminar del Registro Español de Enfermos Renales. Diálisis y Trasplante. 2007. Ref Type: Serial (Book, Monograph)
- Sotomayor G. Clinical application of technology in hemodialysis. *Medwave* 2005 Sept;5(8):e2307 doi: 10.5867/medwave.2005.08.23
- Stenvinkel P, Heimbürger O, Lindholm B, Kaysen GA, Bergström J. Are there two types of malnutrition in chronic renal failure? Evidence for relationships between malnutrition, inflammation and atherosclerosis (MIA syndrome). *Nephrol Dial Transplant* 2000; 15(7):953-960.
- Szeto CC, Law MC, Wong TY, Leung CB, Li PK. Peritoneal transport status correlates with morbidity but not longitudinal change of nutritional status of continuous ambulatory peritoneal dialysis patients: a 2-year prospective study. *Am J Kidney Dis* 2001; 37(2):329-336.

- Talluri A, Liedtke R, Mohamed EI, Maiolo C, Martinoli R, De LA. The application of body cell mass index for studying muscle mass changes in health and disease conditions. *Acta Diabetol* 2003; 40 Suppl 1:S286- S289.
- Tattersall J. Bioimpedance analysis in dialysis: state of the art and what we can expect. *Blood Purif* 2009; 27(1):70-74.
- U.S.Renal Data System, National Institutes of Health, Bethesda. Annual Data Report: Atlas of end Stage Renal Disease in the United States. 2009. Ref Type: Serial (Book, Monograph)
- Valtuna MS, Arijia V, V, Salas-Salvado J. The current status of methods for evaluating body composition: their description, reproducibility, accuracy, scope of application, safety, cost and future prospects. *Med Clin (Barc)* 1996; 106(16):624-635.
- Van de KJ, Konings CJ, van KB, van der Sande FM, Leunissen KM, Kooman JP. Bioimpedance analysis and assessment of intracellular water in peritoneal dialysis patients. *Perit Dial Int* 2003; 23(6):591-593.
- Van de KJ, Konings CJ, van KB, van der Sande FM, Leunissen KM, Kooman JP. Bioimpedance analysis and assessment of intracellular water in peritoneal dialysis patients. *Perit Dial Int* 2003; 23(6):591-593.
- Vasselai P, Kamimura MA, Bazanelli AP. Factors associated with body-fat changes in prevalent peritoneal dialysis patients. *J Ren Nutr* 2008; 18(4):363-369.
- Vaziri ND, Moradi H. Mechanisms of dyslipidemia of chronic renal failure. *Hemodial Int* 2006; 10(1):1-7.
- Wabel P, Chamney P, Moissl U, Jirka T. Importance of whole-body bioimpedance spectroscopy for the management of fluid balance. *Blood Purif* 2009; 27(1):75-80.
- Wabel P, Moissl U, Chamney P. Towards improved cardiovascular management: the necessity of combining blood pressure and fluid overload. *Nephrol Dial Transplant* 2008; 23(9):2965-2971.
- Wang AY, Sanderson J, Sea MM. Important factors other than dialysis adequacy associated with inadequate dietary protein and energy intakes in patients receiving maintenance peritoneal dialysis. *Am J Clin Nutr* 2003; 77(4):834-841.
- Ward LC, Heitmann BL, Craig P et al. Association between ethnicity, body mass index, and bioelectrical impedance. Implications for the population specificity of prediction equations. *Ann N Y Acad Sci* 2000; 904:199-202.

- Woodrow G, Devine Y, Cullen M, Lindley E. Application of bioelectrical impedance to clinical assessment of body composition in peritoneal dialysis. *Perit Dial Int* 2007; 27(5):496-502.
- Woodrow G. Body composition analysis techniques in adult and pediatric patients: how reliable are they? How useful are they clinically? *Perit Dial Int* 2007; 27 Suppl 2:S245-S249.
- Young GA, Kopple JD, Lindholm B. Nutritional assessment of continuous ambulatory peritoneal dialysis patients: an international study. *Am J Kidney Dis* 1991; 17(4):462-471.
- Yu SJ, Kim DH, Oh DJ, Yu SH, Kang ET. Assessment of fluid shifts of body compartments using both bioimpedance analysis and blood volume monitoring. *J Korean Med Sci* 2006; 21(1):75-80.
- Zhu F, Kuhlmann MK, Sarkar S. Adjustment of dry weight in hemodialysis patients using intradialytic continuous multifrequency bioimpedance of the calf. *Int J Artif Organs* 2004; 27(2):104-109.
- Zhu F, Schneditz D, Kaufman AM, Levin NW. Estimation of body fluid changes during peritoneal dialysis by segmental bioimpedance analysis. *Kidney Int* 2000; 57(1):299-306.