



# DESDE ÍNDICES NACIONALES HASTA LA ACCIÓN REGIONAL UN ANÁLISIS SOBRE LA SEGURIDAD DE LA COMIDA, AGUA Y ENERGÍA EN ECUADOR, BOLIVIA Y PERÚ<sup>†</sup>

Paniz Mohammadpour\*, Tasnuva Mahjabin\*, Jose Fernandez\*, Caitlin Grady‡

## RESUMEN

El nexo comida-energía-agua (FEW) ha emergido desde la década pasada para construir un entendimiento sobre la interconexión de estos recursos como una herramienta para alcanzar un desarrollo sostenible. Varios marcos de trabajo creados para implementar este pensamiento en conjunto no siempre consideran como ramas de estudio el acceso o la disponibilidad de los recursos en una perspectiva de seguridad. Además, los índices que calculan el FEW evaluado a nivel nacional no necesariamente describen de forma adecuada la variación global de este índice dentro del país. Para mayor entendimiento acerca de la complementación de estos recursos naturales y herramientas que promuevan su desarrollo, este artículo presenta un acercamiento

que cuantifica la seguridad del FEW y resalta algunos casos en Ecuador, Perú y Bolivia donde las estadísticas nacionales dejan una importante variación regional. El resultado es un acercamiento en conjunto para cuantificar la medida de seguridad que puede implementarse en una escala de nivel institucional. Este acercamiento no solo da una vista dentro de la seguridad de FEW en Ecuador, Perú y Bolivia, sino también puede ser una herramienta efectiva para evaluar el desarrollo múltiple de prioridades simultáneas en todas las partes del mundo.

**Palabras claves:** Seguridad de la comida-Seguridad del agua-Seguridad de la energía-Desarrollo de objetivos-sosteniblemente-Bolivia-Perú-Ecuador

† Artículo traducido por Sergio Escalante Gonzales y originalmente titulado como "From National indices to regional action – An analysis of food, energy, security in Ecuador, Bolivia, and Peru", publicado por The Environmental Science and Policy Journal N° 101. Puede ser encontrado en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901119302722>

Fernandez, J., Grady, C., Mahjabin, T. y Mohammadpour, P. (2019). From National indices to regional action – An analysis of food, energy, security in Ecuador, Bolivia, and Peru. Environmental Science and Policy 101, 291-201. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.08.014>

\* Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad Estatal de Penn, Estados Unidos.

‡ Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental e Instituto "Rock Ethics" de la Universidad Estatal de Penn, Estados Unidos. Autora correspondiente. Correo electrónico: [cgrady@psu.edu](mailto:cgrady@psu.edu)



## 1. INTRODUCCIÓN

Para mantener un futuro seguro y confiable en recursos como la alimentación, la energía y el agua (FEW, por sus siglas en inglés) y que ello beneficie el medioambiente y apoye el crecimiento económico y su desarrollo, las interconexiones o interdependencias entre estos tres recursos deben ser entendidos de una mejor manera. Además, respecto a las interconexiones de estos tres recursos, se debe considerar que el cambio climático también influencia la dispensación de los mismos. Debido a estas complejas conexiones, el nexo del agua, comida y energía ha emergido como un campo que estudia la interconexión entre recursos limitados para garantizar su uso sostenible. Entendiendo cómo cuantificar la seguridad de provisión de agua, comida y energía, y cómo es que estos sistemas son interrelacionados, podemos generar ideas en cómo implementar aproximaciones integradoras para manejar sosteniblemente nuestros recursos naturales. Para un mayor entendimiento de estos articulados recursos naturales, los objetivos de este documento son (i) mostrar cómo las aproximaciones para cuantificar la seguridad nacional del nexo FEW dejan fuera la importante variación regional que, en el futuro, podría (ii) ayudarnos a mejorar los esfuerzos de desarrollo sostenible a nivel mundial. El resultado de este trabajo brinda un marco fácil de implementar, sin necesidad de un equipamiento informático especializado o matemáticas complejas, haciéndolo bien adecuado para la implementación por una gran variedad de actores del desarrollo.

### 1.1 NEXO ENTRE SEGURIDAD Y FEW

A pesar de que el concepto de investigación de FEW ha estado rondando por décadas, la popularidad de esta conexión se expandió precipitosamente, luego de la conferencia Bonn 2011 (Hoff, 2011; Yuan et al, 2018). Hoff (2011) resumió las definiciones de seguridad de comida, energía y agua, presentadas en la conferencia Bonn 2011, como la tenencia de disponibilidad y accesibilidad a suficiente, segura y nutritiva comida, facilidad a servicios de energía limpia, confiable y económica, y accesibilidad a tomar agua saludable y a servicios de salubridad, respectivamente, todos los cuales están estrechamente relacionados con los Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS). Los estudios del nexo FEW pueden ser caracterizados basándose en escalas geográfica (tanto como a nivel global, nivel local, o según su cercanía a un centro de abastecimiento de agua), escala temporal (condiciones

actuales vs escenarios futuros), metodología de estudio (cuantitativo, cualitativo), disponibilidad de los datos, y quién está realizando el estudio (Kurian, 2017). Pesquisas anteriores han desarrollado muchos enfoques analíticos y marcos de referencia para poder abordar los desafíos del nexo FEW (Bazilian et al., 2011; Leck et al., 2015; Perrone and Hornberger, 2014). La huella ecológica u otros métodos indicadores han sido aplicados para evaluar los impactos del consumo y producción de materias primas (Mahjabin et. AL, 2018) donde el conjunto de indicadores puede estar compuesto por agua, carbón, tierra y otros materiales donde se puede aplicar la huella ecológica. El método de la evaluación del ciclo de vida (LCA, por sus siglas en inglés) estima el impacto medioambiental de contabilizar productos durante toda su vida y el método de "Insumo-Producto Ambientalmente Extendida" (EEIO) sigue constantemente flujos monetarios en cadenas de suministros para evaluar la interdependencia entre sectores (Paterson et al., 2015). Chang et al. (2016) realizó el modelado de nexos comprensivos para investigar las interconexiones FEW y cuantificar el uso de agua en la producción de energía y comida, así como el consumo de energía en el suministro de agua y manejo de procesos de elaboración de comida. Una reseña sistemática sobre





las metodologías que estudian el nexo FEW encontró varias limitaciones en los enfoques actuales, incluyendo que el uso de métodos específicos y reproducibles es poco común (Albrecht et al., 2018).

Claramente, existe una amplia variedad de estudios que han cuantificado aspectos del nexo FEW. La mayoría de estos estudios, sin embargo, se enfocan en comida, energía, y agua, con poca consideración en incorporar una perspectiva de seguridad. Por lo tanto, podremos describir brevemente varias perspectivas en seguridad de comida, energía, y agua y como esta perspectiva guía nuestro trabajo. La Organización de Comida y Agricultura de las Naciones Unidas (FAO) definen la seguridad alimenticia como “cuando todas las personas, en todo tiempo, tienen acceso físico, social y económico a comida suficiente, segura y nutritiva que satisface sus necesidades dietéticas y preferencias de comida para una vida activa y saludable” (FAO, 1996). En ese sentido, la FAO ha desarrollado una serie de indicadores para evaluar el estado de la inseguridad alimenticia en el mundo que son basados clasificadamente en

4 dimensiones, las cuales son disponibilidad, acceso, utilización y estabilidad. Un enfoque alternativo viene de la Unidad de Inteligencia Economista (EIU) desarrollada por el índice de seguridad que considera asequibilidad, disponibilidad y la calidad (EIU, 2015). Varios estudios han resaltado la relevancia entre las políticas de alimentación, gobierno y la cadena agro-alimentos con respecto a la definición de seguridad de comida para FAO (Mayett-Moreno and López Oglesby, 2018) así como el uso del análisis del ciclo de vida (Gava et al., 2018) para monitorear y trabajar en función a lograr la seguridad alimenticia.

Así como seguridad de comida, existen múltiples definiciones para describir la seguridad de la energía. En una reseña sobre las definiciones e índices para esta, se encontró que, dentro de las definiciones existentes, se incluía componentes de uno o mas de siete temas claves: energía, disponibilidad, infraestructura, precios de energía, efectos sociales, medioambiente, gobernabilidad, y eficiencia energética (Anget et al., 2015). La Agencia de Energía Internacional (IEA) desarrolló el Índice de



Desarrollo Energético (EDI) que incluye cuatro indicadores: desarrollo económico, rentabilidad de servicios eléctricos y accesos a cocina, instalaciones y electricidad (IEA, 2010). Parecido a los índices descritos, muchos otros estudios han propuesto trabajar con índices de seguridad energética agregados, incluyendo varios indicadores relacionados a la energía (Kruyt et al., 2009; Paravantis et al., 2018; Sovacool and Mukherjee, 2011).

Respecto a la seguridad del agua, en su artículo reseña (Wheater and Gober, 2015) se clasificó una variedad de definiciones de seguridad de agua que incluyeron la examinación de los recursos del agua en términos de calidad, cantidad, acceso y riesgos para evaluar la sostenibilidad de los sistemas integrados multidimensionalmente. Sun et al. (2018) evaluaron la seguridad del agua en términos de cantidad, calidad y peligros en áreas kársticas, desarrollando un índice basado en la fuerza motriz-presión-estado-impacto-respuesta-gestión (DPSIRM). Karamouz et al. (2017) desarrolló un índice híbrido de sostenibilidad del agua, con enfoque en la cantidad de agua para evaluar la sostenibilidad (equilibrio) entre la oferta y la demanda de agua.

Las estadísticas de las Naciones Unidas ofrecen un vistazo de la abrumadora realidad que muestra que billones de personas alrededor del mundo tienen escaso acceso a recursos clave relacionados con FEW. En el 2019, la ONU estimó que cerca de 1 billón de personas carecían de acceso a electricidad, 3 billones de personas no tienen acceso a combustibles modernos para cocinar, más de 2 billones de personas no tienen acceso a servicios de sanidad básica, y millones de personas viven sin agua limpia o suficiente comida todos los días (Naciones Unidas, 2019). Estos sorprendentes números presentan una clara necesidad de proporcionar a los tomadores de decisiones un marco de referencia que sea capaz de abstraer la superposición de esfuerzos de FEW en un nivel apropiado, que requiere un análisis exhaustivo de áreas específicas donde se necesita una mayor seguridad alimentaria-energética-hídrica. Tomando en cuenta la perspectiva en seguridad, el índice de seguridad *RAND Pardee FEW* ha trabajado para integrar algunas de estas dimensiones variables en una cuantificación de seguridad FEW para cada país en todo el mundo (Willis et al., 2016). Este índice, que ha influido mucho en el trabajo previo presentado, intenta cuantificar la seguridad FEW utilizando medidas de tanto accesibilidad como disponibilidad para cada subcomponente de seguridad. Mientras que el índice de seguridad *RAND Pardee FEW* sirve como punto de partida para comprender la seguridad FEW de una manera que puede ser útil para tomadores de decisiones, todavía sufre de varias limitaciones, que hemos explorado mediante la investigación de la variación regional en la seguridad FEW.

## 1.2 LA DIMENSIÓN REGIONAL

Como lo demuestran los índices mencionados hasta ahora, muchos de los índices y definiciones de FEW proporcionados

en la literatura actual se crean a partir de fuentes nacionales e internacionales, midiendo alimentos, energía y agua para estadísticas a nivel nacional. Muy pocos estudios han tratado de entender las dimensiones espaciales y regionales de seguridad dentro del nexo y, por lo tanto, es necesario examinar estos patrones espaciales de consumo, producción y disponibilidad de recursos, cómo estos se mueven de un lugar a otro, y posibles enlaces ascendentes y descendentes, para comprender las posibilidades de abordar desafíos FEW, a través de enfoques regionales o de cuencas hidrográficas (Bach et al., 2012; Mcgrane et al., 2018; Rasul, 2016). Mcgrane et al. (2018) presentan una variedad de marcos de nexos existentes y enfoques de modelado que muestran algunas fortalezas y debilidades cada uno, sin embargo, su artículo general articula la necesidad de un esfuerzo más integral para evaluar las interconexiones entre la variedad de escalas (es decir, espacial, temporal y de gobierno) para futuros estudios del nexo FEW. En un esfuerzo por abordar algunos de estas críticas del estudio del nexo FEW, buscamos desarrollar y aplicar un método para medir la seguridad FEW a múltiples escalas usando tres países vecinos como casos para esta prueba de concepto. Ecuador, Perú y Bolivia, que representan colectivamente alrededor del 15% de la población de América del Sur, mantienen puntos claves ecológicos que se verán afectados por cambio climático (Turco et al., 2015). Pérdida de glaciares en la Cordillera de los Andes debido al cambio climático presenta riesgos hidro-sociales para los tres países (Mark et al., 2017; Vuille et al., 2018). Toda la región también juega un papel clave en los mercados mundiales de productos agrícolas como exportadores netos, sin embargo, la productividad agrícola también está en riesgo debido a los cambios climáticos (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2016). A pesar de estos riesgos de seguridad, los índices de seguridad FEW han calificado a Bolivia, Ecuador y Perú como relativamente seguros utilizando estadísticas a nivel



nacional (Willis et al., 2016). Como tal, esta región presenta una oportunidad perfecta para estudiar la variación entre el nivel nacional y el nivel regional en las medidas de seguridad FEW que promueven la literatura sobre dimensiones regionales de niveles apropiados de seguridad FEW y de implantación, para los tomadores de decisiones.

Para asegurar los alimentos para una población, se necesita agua para satisfacer las demandas agrícolas (por ejemplo, agua utilizada para riego). Además, el agua también es vital para asegurar la producción de energía (por ejemplo, generación de electricidad). Finalmente, también se requiere energía para asegurar adecuadamente el agua para su población (por ejemplo, sistemas de distribución de agua). Es necesario para comprender y abordar las complicadas interconexiones entre los componentes de seguridad FEW y sus subcomponentes para los ODS. Este documento evalúa índices de seguridad FEW anteriores analizando su aplicabilidad para estudiar la variación subnacional entre aprovisionamiento de alimentos, energía y agua en tres países de América del Sur. Luego de presentar los resultados de este análisis de cada país a nivel regional, discutimos cómo podría aplicarse esta metodología para abordar los ODS de una manera más eficiente y efectiva como comunidad mundial que trabaja para alcanzar los objetivos para el 2030.



FIGURA 1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS SITIOS DE ESTUDIO





## 2. METODOLOGÍA

Para analizar la seguridad de los alimentos, la energía y el agua (FEW) a nivel regional, cuantificamos la seguridad FEW mejorando un sistema integrado existente de índices de seguridad FEW para garantizar la transferibilidad, reproducibilidad y accesibilidad. En este artículo académico, el índice de seguridad alimentaria-energética-hídrica (FEWI) es formulado para evaluar las condiciones del nexo FEW en los países sudamericanos de Ecuador, Perú y Bolivia en sus respectivos niveles de áreas administrativas (provincias, regiones y departamentos, respectivamente). El marco utilizado para esta evaluación se basa en el trabajo presentado por Willis et al. (2016), el cual va a ser referido como el enfoque RAND Pardee. Primero, hacemos una descripción detallada de nuestra área de estudio, luego, en la Sección 2.2, se describe el enfoque existente de RAND Pardee, y finalmente describimos nuestro enfoque y cómo este fortalece la transferibilidad, reproducibilidad, y precisión del trabajo anterior para un índice de seguridad FEW integrado.

### 2.1 SITIOS DE ESTUDIO- ECUADOR, PERÚ Y BOLIVIA

Ecuador, Perú y Bolivia tienen una población colectiva de aproximadamente 60 millones de personas y densidad de población de 59, 25 y 10 de personas por km<sup>2</sup>, respectivamente. En la Figura 1 (Fig 1. Geographic Location of Study Sites) se muestra el mapa de la ubicación de estos países y sus ciudades capitales. Estos tres países comparten características geográficas y características naturales similares, que son aspectos que tienen impacto en sus respectivas situaciones de nexo FEW. Por ejemplo, el borde oriental de cada país abarca una parte de la selva amazónica. Adicionalmente, la cordillera de los Andes, que abarca una parte de la zona central y occidental de cada país, influye en las condiciones hidroclimáticas a través de la región.

Estos tres países también comparten similitudes en sus estadísticas de desarrollo nacional. Los tres tienen alta seguridad nacional FEW (Willis et al., 2016), índice de desarrollo humano (IDH) de alto a medio (PNUD, 2019), y exhiben riesgos clave para el cambio climático (Villamizar et al., 2017; Vuille et al., 2018). Estos también lograron importantes avances hacia el logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM). Basándose en el informe del PNUD, estos países lograron una mejora asegurada en la accesibilidad a mercados, asistencia oficial para el desarrollo y acceso a las nuevas tecnologías de información y comunicación, que son tres dimensiones importantes para avanzar hacia los ODM (CEPAL, 2010).

Debido a la naturaleza única de los recursos FEW en estos países y los fuertes índices nacionales FEW, son muy adecuados para servir como estudio de caso para investigar la variación regional en la seguridad FEW. Además, este trabajo está impulsado por la hipótesis de que las variaciones regionales de índices FEW existen y son significativamente diferentes de las estadísticas de nivel nacional. Explorar dicha variación regional proporcionará nuevas miras sobre dónde la seguridad de los recursos en cada país es más alta y más baja, cómo se distribuye la variación y cuáles son los factores que contribuyen a la inseguridad de recursos para cada región. Mientras trabajamos para implementar los ODS, identificando áreas subnacionales con necesidad en múltiples categorías de recursos, se tiene el potencial para ayudar a los profesionales del desarrollo a priorizar el desarrollo de estrategias y la implementación de proyectos. La Tabla A1 enumera las fuentes de datos para indicadores de seguridad FEW en las áreas administrativas de los tres países.

**TABLA 1:**  
**COMPONENTES Y SUBCOMPONENTES DEL ÍNDICE DE SEGURIDAD DE FEW (MODIFICADO COMO FUE DESCRITO EN EL ENFOQUE PARDEE RAND, WILLIS ET AL., 2016)**

SUBÍNDICES	INDICADORES DE SEGURIDAD	MEDIDA	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
<b>Alimentos</b>	Disponibilidad de Alimento	Oferta de alimento dietético	Oferta de alimento per cápita	$\frac{Kcal}{Cap.día}$
		Requerimiento dietético mínimo	Promedio ponderado de la mínima energía requerida de los diferentes grupos de edades en la población	$\frac{Kcal}{Cap.día}$
	Accesibilidad a Alimento	Índice del nivel de precios de los alimentos	Una medida del cambio mensual en los precios de la canasta básica en cada región	Radio
		Parte de la oferta dietética proveniente de alimentos sin almidón	Ratio del suministro de energía provisto por todos los alimentos, excepto cereales, vegetales de raíz y tubérculos, al total del suministro dietético de energía	$\frac{Kcal}{Cap.día}$ $\frac{Kcal}{Cap.día}$
<b>Energía</b>	Disponibilidad de Energía	Consumo de electricidad	Consumo de electricidad per cápita	kWh/Cap
		Requerimiento de electricidad per cápita	Requerimiento de electricidad per cápita para el abastecer las necesidades humanas básicas: 4000*	kWh/Cap
	Accesibilidad a Energía	Tasa de electrificación	Porcentaje de la población con acceso a electricidad	Radio
		Porcentaje de acceso a combustible moderno para cocinar y calefacción	Porcentaje de la población usando combustibles modernos para cocinar y calefacción	Radio
<b>Agua</b>	Disponibilidad de Agua	Captación de agua municipal	Captación de agua total a nivel nacional para uso municipal	lit/día
		Población	Población de la región	Valor continuo
		Necesidad de abastecimiento de agua per cápita para el consumo humano	Requisitos de agua per cápita para propósitos municipales básicos (cocinar, comer, y salubridad): 50*	$\frac{lit}{Cap.día}$
	Accesibilidad al Agua	Porcentaje de acceso a fuentes mejoradas de agua potable	La proporción de la población usando una fuente mejorada de agua potable	Radio
		Porcentaje de acceso a servicios de salubridad mejorados	La proporción de la población usando servicios de salubridad mejorados	Radio

## 2.2 EL ENFOQUE RAND PARDEE

La corporación RAND desarrolló un índice global para evaluar la Seguridad del FEW que se llama Índice FEW. Este índice prepara información para agencias de desarrollo e investigación (Willis et al., 2016). El índice FEW integrado es una media geométrica no ponderada de tres subíndices; alimentos, energía y agua. El Índice FEW se mencionan como FEWI en este estudio, y se determina usando la ecuación (1):

$$FEWI = \sqrt[3]{(FI) \times (EI) \times (WI)} \quad (1)$$

Donde FI, EI y WI son un subíndice de seguridad alimentaria, seguridad energética y seguridad del agua, respectivamente. Entre las diferentes dimensiones que pueden afectar la seguridad (por ejemplo, confiabilidad del suministro, diversidad y sostenibilidad), cada subíndice de recurso en el FEWI incluye dos, o más, indicadores que reflejan tanto la disponibilidad como aspectos de accesibilidad.

La disponibilidad se define como la medida en que una población determinada tiene suficientes recursos para cumplir con sus requerimientos diarios. La accesibilidad describe cómo los recursos FEW se distribuyen en una población determinada. Según lo adoptado por el enfoque RAND Pardee, definimos disponibilidad de alimentos como los suministros de alimentos suficientes para satisfacer las necesidades nutricionales básicas de la población. Accesibilidad a una dieta diversa para satisfacer las necesidades nutricionales de una población se definen como la accesibilidad a los alimentos. Basado en el informe RAND Pardee, la disponibilidad de energía se define como una situación en la cual “la infraestructura eléctrica de la nación satisface las necesidades de los individuos para promover el desarrollo humano” y el acceso a la energía se define cuando “los individuos tienen acceso a formas modernas de energía para usos residenciales”. Los usos de energía residenciales incluyen electricidad, calefacción moderna y combustibles para cocinar. La disponibilidad de agua se define como la cantidad de extracciones de agua en relación con la cantidad de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de agua doméstica (cocinar, comer y saneamiento). La accesibilidad al agua se describe como “acceso de la población de cada país a agua potable y saneamiento mejorado”. Para la seguridad del agua, se considera la capacidad de adaptación del agua además de la disponibilidad y accesibilidad, y se define como “disponibilidad de recursos hídricos para satisfacer nuevas necesidades o compensar la disminución de las fuentes existentes” (Willis et al., 2016). Willis et al. (2016) consideró la electricidad per cápita requerida para satisfacer necesidades humanas básicas como 4000 kwh (Pasternak, 2000; Steinberger y Roberts, 2009)



y los requisitos de agua per cápita para propósitos municipales básicos como 50 lit/Cap. día (Gleick, 1996), que se presentan en la Tabla 3 con el símbolo \* encima de ellos.

Al calcular los índices y subíndices, Willis et al. (2016) decidieron normalizar el valor para evitar que los índices se vean afectados por la escala de cualquiera de sus componentes. En general, niveles más alto de valores en esta ecuación representan niveles más altos de seguridad, mientras que los valores más bajos representan una mayor inseguridad.

$$\text{Valor Normalizado} = \frac{\text{Valor Actual} - \text{Mínimo Lógico}}{\text{Máximo Valor Lógico} - \text{Mínimo Lógico}} \quad (2)$$

Para seleccionar los valores mínimos y máximos lógicos, consideraron tanto “el concepto que se está midiendo” como la “distribución de países a lo largo de la escala”. Específicamente, para un mínimo lógico, “0” fue el valor adecuado en todos los casos, mientras que, para el máximo lógico, en general, se consideró el valor máximo observado. Sin embargo, cuando el valor observado fue mayor que el valor máximo posible, el valor máximo posible se consideró como el máximo lógico. Los valores mínimos y máximos lógicos utilizados para normalizar los indicadores son presentados en el informe Pardee RAND (Willis et al., 2016).

## 2.3 DE ÍNDICES NACIONALES A ACCIÓN REGIONAL

Con la finalidad de construir sobre los indicadores existentes y probar nuestra hipótesis en la variación regional, comenzamos desarrollando variables claramente reproducibles y ecuaciones para cada subíndice. La ecuación para cada indicador comenzó en función de la definición de RAND Pardee para el indicador correspondiente, sin embargo, hemos realizado modificaciones y saltos lógicos cuando la información adecuada no fue proporcionada por el informe RAND Pardee para calcular cada subíndice. El enfoque de las aplicaciones del nexo FEW en el enfoque RAND Pardee fue a nivel nacional. La diferencia entre este estudio y el RAND Pardee en la escala del área de estudio se debe considerar al implementar las ecuaciones. Por ejemplo, en este estudio, los usos de los recursos, las demandas y los valores de la población fueron basados en las áreas administrativas subnacionales de cada país en lugar de su valor nacional. También eliminamos el cálculo de RAND Pardee para la capacidad adaptativa del agua porque, según lo definido por RAND Pardee, la medida no estaba calculando un valor que tuviera relevancia para el significado de “capacidad de adaptación” de acuerdo con los ODS. Por lo tanto, nuestros indicadores del subíndice de seguridad del agua consisten en un valor calculado para accesibilidad y disponibilidad de agua. Otro cambio importante en nuestro método comparado con el enfoque RAND Pardee está en la definición de Índice de Nivel de Precios de alimentos (FPI). Calculamos el FPI basado en la descripción que se define FAO como “una medida del cambio mensual en precios internacionales de una canasta de productos

alimenticios”. No obstante, el informe RAND Pardee definió el FPI como la relación entre el precio de los alimentos en un país y el precio de la canasta de consumo genérico. La información que el informe RAND Pardee citó para su definición de FPI no

estaba disponible, por lo tanto, utilizamos la definición de la FAO para permitir que los países reproduzcan fácilmente análisis similares. Las Tablas 1 y 2 delimitan cada descripción de variable y definición utilizada en todo el análisis.

TABLA 2:  
VARIABLES DESARROLLADAS Y ECUACIONES PARA LOS ÍNDICES FEW

SECTOR	INDICADORES DE SEGURIDAD	ECUACIÓN	DEFINICIONES DE LAS VARIABLES	NÚMERO DE LA ECUACIÓN
	Disponibilidad de Alimento	$FAV = \frac{DFS}{MDR}$	FAV: Disponibilidad de alimento DFS: Suministro de alimentos dietéticos MDR: Mínimo Requerimiento Dietético	(3)
Alimentos	Accesibilidad a Alimento	$FAC = \sqrt[2]{(FPI \text{ Normalizado})^{-1} \times \frac{SDS_{\text{sin almidón}}}{DFS}}$	FAC: Accesibilidad a Alimento FPI: Índice del nivel de precios de los alimentos SDS <sub>sin almidón</sub> : Parte del suministro dietético de alimentos no provenientes del almidón DFS: Suministro de alimentos dietéticos	(4)
	Subíndice de Seguridad de Alimento	$FI = \sqrt[3]{FAV \times FAC}$	FI: Subíndice de Seguridad de alimento	(5)
	Disponibilidad de Energía	$EAV = \frac{\log(EC_{cap})}{\log(ER_{cap})}$	EAV: Disponibilidad de energía EC <sub>cap</sub> : Consumo de Electricidad Per Cápita ER <sub>cap</sub> : Requerimiento de Electricidad Per Cápita	(6)
Energía	Accesibilidad a Energía	$EI = \sqrt[3]{E_{tasa} \times AMF_{c,h}}$	EAC: Accesibilidad a Energía E <sub>tasa</sub> : Tasa de Electrificación (%) AMF <sub>c,h</sub> : Acceso a Combustibles Moderno para cocinar y calefacción	(7)
	Subíndice de Seguridad de Energía	$EI = \sqrt[3]{EAV \times EAC}$	EI: Subíndice de Seguridad de Energía	(8)
	Disponibilidad de Agua	$WAV = \frac{NWW_{cap}}{WNC_{cap}}$	WAV: Disponibilidad de Agua MWW <sub>cap</sub> : Captación de Agua Per Cápita a nivel Municipal WNC <sub>cap</sub> : Necesidad de Agua Per Cápita para el Consumo Humano	(9)
Agua	Accesibilidad al Agua	$WAC = \sqrt[2]{AID \times AIS}$	WAC: Accesibilidad al Agua AID: Acceso a una Mejor Agua Potable (%) AIS: Acceso a Mejor Salubridad (%)	(10)
	Subíndice de Seguridad del agua	$WI = \sqrt[3]{WAV \times WAC}$	WI: Subíndice de Seguridad del Agua	(11)
FEW	Índice de Seguridad de Alimento-Energía-Agua	$FEWI = \sqrt[3]{FI \times EI \times WI}$	FEWI: Índice de Seguridad de Alimento-Energía-Agua	(12)

Finalmente, el Índice de Seguridad FEW se puede determinar utilizando la ecuación (12) que es igual a la ecuación (1). Después de calcular los índices de seguridad FEW para cada área administrativa en nuestra sede de estudio, comparamos resultados a escala regional y nacional para comprender mejor si, y cómo, las estadísticas nacionales pueden representar de forma confiable la seguridad FEW de un país en particular. Al determinar la variación espacial de la seguridad para cada

FEW, visualizamos y analizamos los patrones geográficos de su situación de seguridad, y describimos los factores potenciales que contribuyen a la seguridad de cada recurso e inseguridad dentro de cada región. Destacando cada índice calculado, fortalece y promueve la literatura previa sobre la cuantificación de la seguridad FEW. Estas ecuaciones son accesibles informáticamente para los profesionales del desarrollo de múltiples disciplinas

FIGURA 2: RESULTADOS DE LOS ÍNDICES DE SEGURIDAD DE FEW PARA CADA REGIÓN

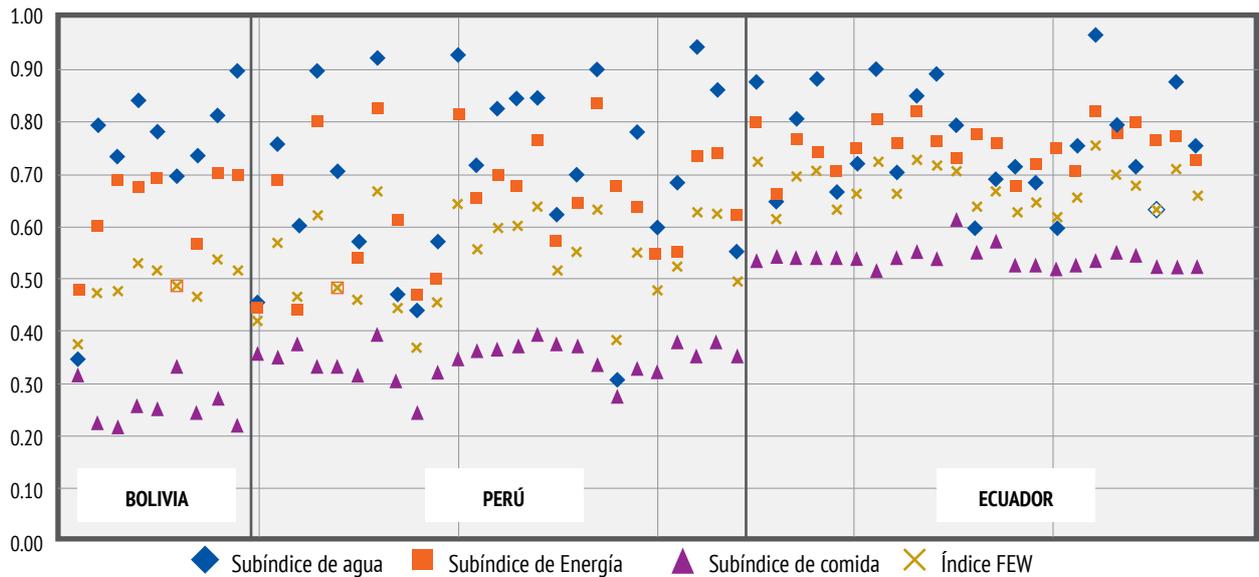
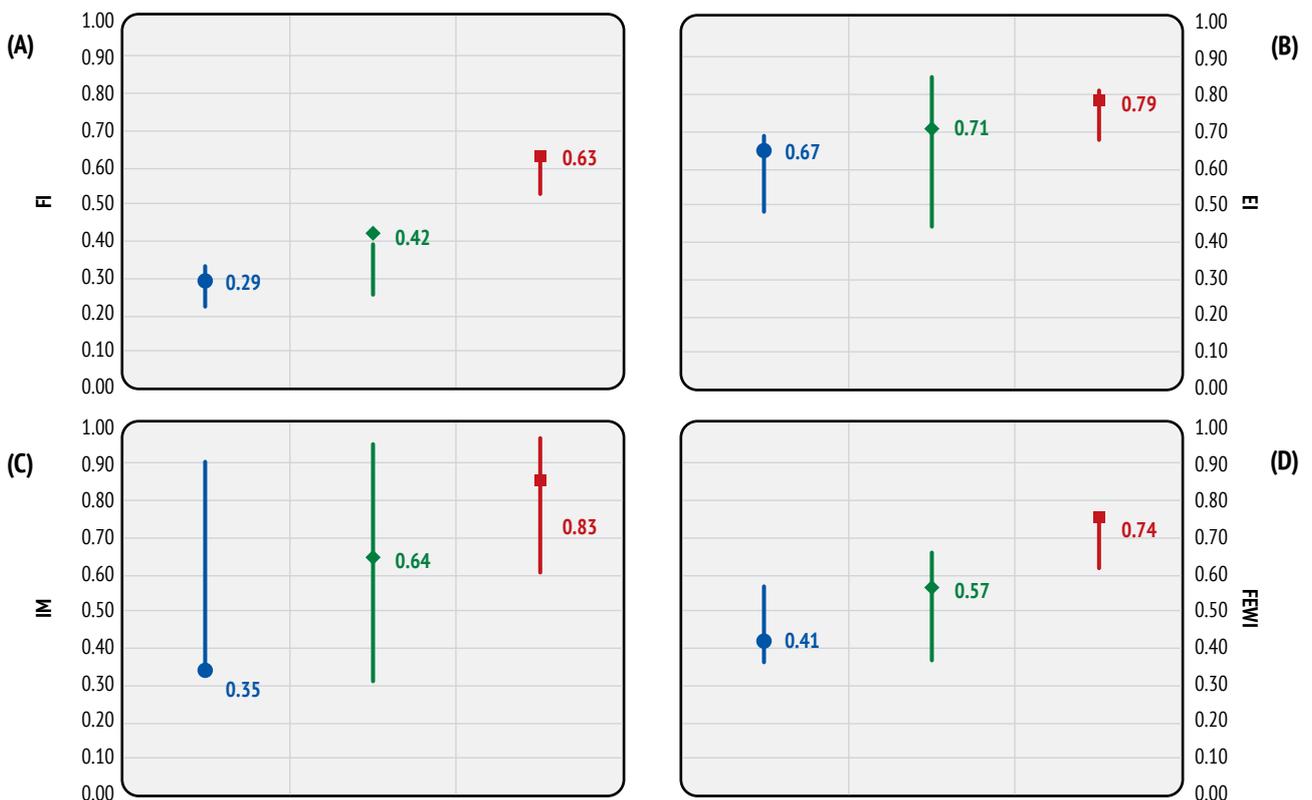


FIGURA 3: VALORACIÓN Y VALORES NACIONALES CALCULADOS PARA CADA PAÍS PARA FI (PANEL A), EI (PANEL B), WI (PANEL C) Y PEWI (PANEL D)





### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 ÍNDICES DE SEGURIDAD FEW PARA BOLIVIA, PERÚ Y ECUADOR

Como se muestra en la Figura 2, encontramos una amplia variación entre los índices calculados para cada región dentro de nuestros países de interés. Ecuador mostró los valores más altos en general, con todos sus índices por encima de 0.5. Los tres países siguieron tendencias similares donde los resultados de seguridad del agua fueron más altos y los resultados de seguridad alimentaria fueron más bajos. En cada país, existe una mayor variación en la seguridad del agua y la energía entre las diferentes regiones, en contraste con la seguridad alimentaria, que exhibe menor variación entre diferentes regiones de cada país.

Mientras la Figura 2 muestra el conjunto de resultados para cada provincia, un objetivo clave de este estudio fue investigar cómo este tipo de enfoque (regional) puede diferir de los enfoques a nivel nacional para medir seguridad FEW. La Figura 3 muestra la variación regional para cada índice con respecto a la estadística nacional calculada. Para Ecuador, valores nacionales de los índices FI, EI y FEW se acercan al límite superior de la variación rango, indicando que una estadística nacional reportada puede sobreestimar la seguridad FEW en comparación con los valores de nivel regional. El rango de variación espacial más amplio de los índices está relacionado con la seguridad del agua en Perú (0.31 – 0.94), indicando que, a pesar de que el Índice Nacional de Seguridad del Agua para Perú representa cerca de la cantidad regional promedio, la seguridad hídrica difiere significativamente entre la región menos segura y la más segura dentro del país. Según la Figura 3, otro punto es que, para los 4 índices, la variación regional más amplia y las cantidades mínimas (excepto el índice de alimentos) están relacionados con Perú, aunque a nivel nacional todos sus índices son más altos que Bolivia. Para Bolivia, el valor nacional para

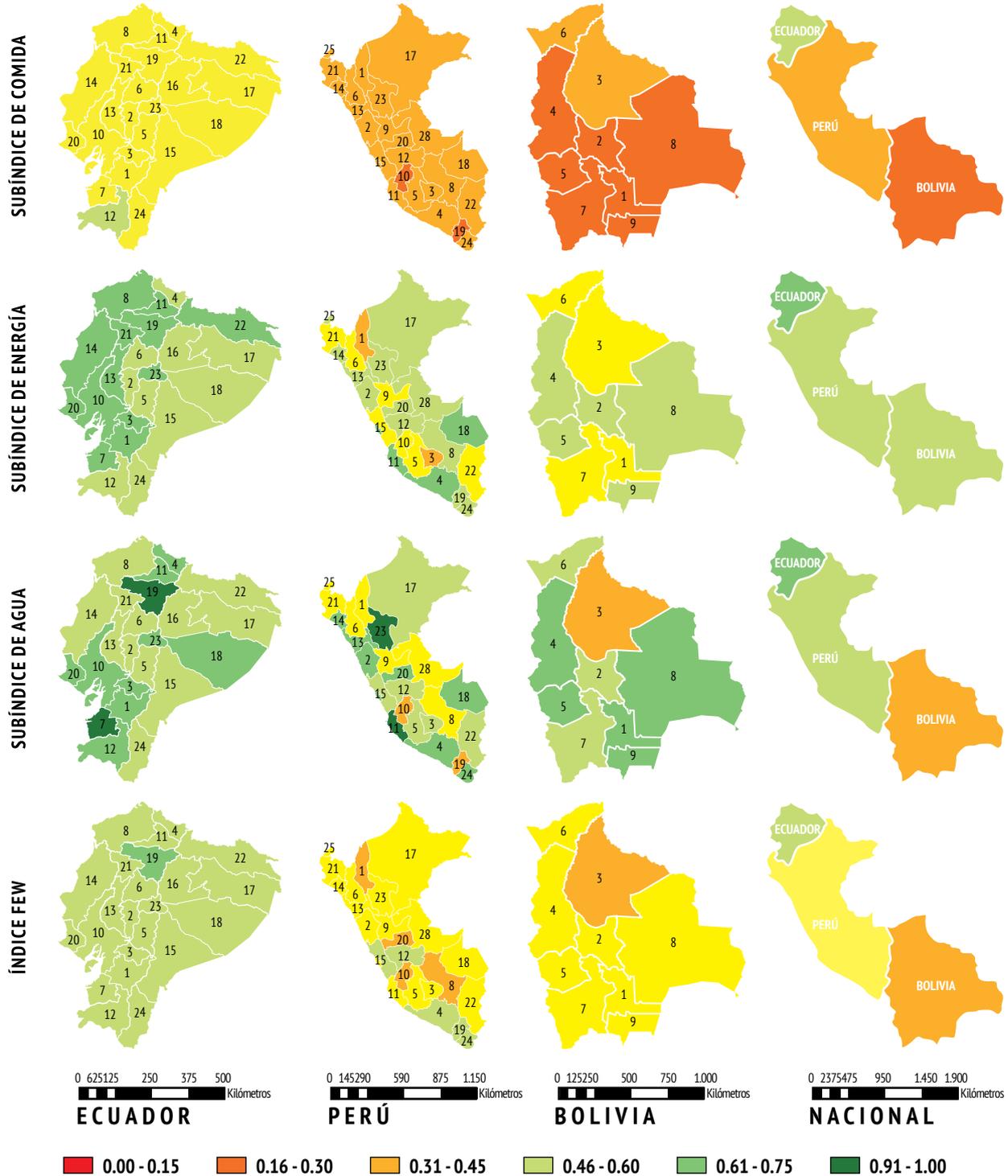
los índices WI y FEW están cerca del límite inferior del rango de variación, lo que significa que el valor nacional puede estar subestimando la seguridad regional WI y FEW, mientras que la tendencia opuesta es cierta para la seguridad de la EI de Bolivia.

#### 3.2 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ÍNDICES DE SEGURIDAD FEW

Después de calcular estos índices a nivel regional a lo largo de nuestra área de estudio, evaluamos la distribución espacial de los resultados como se muestra en la Figura 4. Interpretando la variación espacial de los resultados, en cuanto a la Seguridad Energética y la Seguridad Hídrica en Bolivia, observamos que las regiones centrales del país comparten patrones de distribución similares con ambas regiones de los bordes este y oeste, estas regiones tienen índices de seguridad más altos que las provincias del norte y del sur. La diferencia entre los niveles de Seguridad Alimentaria y del Agua para las regiones numeradas 1, 4, 5, 8 y 9 de Bolivia también es visible. En particular, dos provincias en Bolivia, La Paz y Oruro, tienen alta seguridad hídrica a pesar de estar localizadas en las montañas de los Andes con precipitaciones anuales más bajas que en la parte noreste del país, la cual está dominada por las lluvias del Amazonas. El Beni se presenta como la región en Bolivia con el valor más bajo para seguridad FEW que está dominado por alimentos bajos y seguridad del agua según este índice.

Perú comparte patrones de distribución similares a Bolivia donde las áreas con subíndices de alta energía y agua son similares para ambas medidas. En Perú, se muestra que Huancavelica tiene la medida más baja de Seguridad FEW que está dominada por los bajos índices de seguridad alimentaria y de agua. En general, Bolivia y Ecuador muestran una distribución espacial algo uniforme en seguridad FEW en comparación con Perú, cuyas regiones menos seguras están ubicados en el centro del país. Este índice calcula Ecuador como el FEW más seguro.

FIGURA 4: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS RESULTADOS DE SEGURIDAD DE PEW<sub>s</sub> CORRESPONDIENTE A LOS NOMBRES DE LAS PROVINCIAS A LA UBICACIÓN NUMERADA ENCONTRADA EN EL ANEXO DE LA TABLA A2



### 3.3 DISCUSIÓN, LIMITACIONES Y APLICACIONES DE SEGURIDAD FEW

Si bien medir la seguridad FEW puede ser una parte importante de lograr el progreso global, nuestro estudio muestra que las estadísticas nacionales a menudo tergiversan la variación regional para varios indicadores de alimentos, energía y seguridad del agua. Complementando otra literatura que ha resaltado este desafío (Cash et al., 2006; Mcgrane et al., 2018), nosotros hemos presentado una metodología potencial para que

las agencias de desarrollo pueden analizar datos subnacionales. Una investigación de múltiples escalas dentro del nexo puede mostrar la disparidad entre las acciones humanas y el entorno dentro del cual tienen lugar estas acciones (Cash et al., 2006). Esta metodología tiene el potencial de ser utilizada en varias escalas y unidades de gobierno. Albrecht et al. sugirieron en su revisión sistemática de estudios de nexo que las estrategias para abordar mejor las necesidades de políticas incluyen un análisis



de escenarios, diseños de investigación de campo específicos, e involucrar a las partes interesadas en actividades participativas tiene el potencial de avanzar enfoques de nexos (Albrecht et al., 2018). Este artículo intenta alejarse de herramientas de evaluación de FEW a nivel nacional y se dirige hacia enfoques específicos para regiones y en el futuro análisis específico del sitio. Como se muestra en la Figura 3, sin embargo, es importante tener en cuenta que moverse entre escalas tiene el potencial de presentar resultados marcadamente diferentes que destacan una limitación de este enfoque. Además, con respecto a la replicabilidad y aplicabilidad en los contextos futuros, el empleo de este método no requiere de un software especializado o de matemáticas complejas, por lo que resulta ser muy adecuado para los actores de desarrollo con múltiples antecedentes. Aunque no hayamos realizado un análisis de escenarios o se involucró directamente con los principales interesados, ambos enfoques podrían ser los próximos pasos lógicos para este trabajo.

Varias limitaciones para los marcos de referencia del nexo han argumentado que estos enfoques a menudo demuestran falta de originalidad, falta de claridad, falta de aplicabilidad práctica, y / o han excluido información clave debido al sesgo, asegurando que los marcos puedan contribuir a una discusión sobre estos temas pero que finalmente no produzcan ninguna acción (Albrecht et al., 2018; Mojones y Krzywoszynska, 2016; Wichelns, 2017). A medida que construimos sobre anteriores herramientas de cuantificación para el nexo, es importante reflexionar sobre estas limitaciones. Hemos presentado un marco de trabajo que podría aplicarse a múltiples escalas con datos que muchos gobiernos de todo el mundo ya están recopilando para proporcionar una herramienta que pueda ayudar a los tomadores de decisiones de múltiples niveles de gobierno. Una gran limitación de este marco de referencia presentado es que hemos calculado estos índices para un punto en el tiempo respectivo, por lo tanto, no se tiene en cuenta una adecuada variabilidad de series de tiempo en datos de interacciones de seguridad FEW incluyendo los cambios en la disponibilidad de recursos debido al cambio

climático. Además, hemos elegido denotar nuestra escala con respecto a las fronteras políticas en sus niveles administrativos correspondientes (provincias, regiones y departamentos) en estos países que limitan la capacidad para nosotros de construir un entendimiento sobre los aspectos ecológicos de seguridad FEW que trascienden las fronteras políticas (Cash et al., 2006).

La fuerza de cualquier herramienta de cuantificación para estudios de nexos FEW también es fuertemente ligado a la fuerza de los datos. Como tal, la calidad de los datos puede ser investigada como una limitación de este trabajo. Por ejemplo, dentro del índice de seguridad del agua, utilizamos la contabilidad de recursos hídricos que históricamente no ha tenido en cuenta la disponibilidad y el uso de recursos de aguas subterráneas con precisión. En el uso futuro de este marco de referencia, será crítico para continuar mejorando la disponibilidad de datos dentro de los índices. Otra búsqueda interesante que quedó fuera del alcance de este trabajo es cómo el acceso a los recursos puede cambiar en el futuro. Por ejemplo, actualmente existe una gran dependencia del gas en Perú y Bolivia, y el gas y el crudo en Ecuador por recursos energéticos. Sería interesante rastrear y construir mayor comprensión de cómo los recursos FEW están conectados uno a otro y cómo los cambios en el acceso a los recursos, como el movimiento del gas a la energía hidroeléctrica podría afectar la seguridad de recursos FEW.

#### 4. CONCLUSIONES

El método propuesto en este documento para cuantificar la seguridad de alimentos, energía y agua proporciona un enfoque nuevo y práctico para el avance del desarrollo global; en particular, propone una visión más holística para implementar los ODS en asociación con más de un objetivo de desarrollo a la vez. Con esta perspectiva, el análisis de la seguridad de la fuente se puede mejorar para incluir aspectos de acceso y disponibilidad para seguridad FEW nacional y regional.

La primera parte del análisis destacó aún más las llamadas anteriores a comprender la variación regional detrás de las estadísticas nacionales para garantizar que los agentes de desarrollo no dejen a las poblaciones atrás cuando las estadísticas nacionales representan una mejor imagen que muchas personas que viven en todas partes del país. Luego, el enfoque sugiere que la representación geográfica de estas estadísticas puede permitir apuntar a prioridad de seguridad múltiple a la vez. Proponemos utilizar “proxies” / indicadores seleccionados basados principalmente en literatura previa y datos disponibles que permiten ciencia reproducible para continuar influyendo en la práctica del desarrollo. Traer seguridad alimentaria, energética y de agua también tiene el potencial de permitir actores del desarrollo para priorizar regiones para mejorar en múltiples objetivos al mismo tiempo.

## REFERENCIAS

- ARCONEL. (2016).** *Cobertura Anual del Servicio Eléctrico*. Quito: ARCONEL.
- Banco Central de Reserva del Perú. (2018).** *Índice de Precio al Consumidor Nivel Nacional*. Lima: Banco Central de Reserva del Perú.
- Colque, V. C. (1987).** *Recursos hídricos de Bolivia*. La Paz.
- ENSANUT-ECU. (2012).** *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición*. Quito: ENSANUT-ECU.
- FAO. (2013).** *Perfil de Seguridad Alimentaria y Nutricional Bolivia*. FAO.
- FAO. (2014).** *Perfil de Seguridad Alimentaria y Nutricional Ecuador*. FAO.
- FAO. (2014).** *Perfil de Seguridad Alimentaria y Nutricional Perú*. FAO.
- FAO, WHO, UNU. (2001).** *Human Energy Requirements*. Rome: FAO.
- INE. (2000).** *Bolivia: Proyecciones de población por departamentos, según sexo y grupos de edad periodo 2000-2030*. La Paz: INE.
- INE. (2012).** *Principal combustible de energía que utilizan para cocinar*. La Paz: INE.
- INE. (2016).** *Bolivia: Consumo y Número de Abonados de Energía Eléctrica, Según Departamento*. La Paz: INE.
- INE. (2016).** *INE: Nota de prensa*. La Paz: INE.
- INE. (2018).** *Bolivia: Índices de Precios al Consumidor, Según División, Enero 2008-Enero 2018*. La Paz: INE.
- INEC. (2010).** *Fascículos Provinciales Ecuador*. Quito: INEC.
- INEC. (2016).** *Consumo Anual Per Capita Ecuador*. Quito: INEC.
- INEC. (2018).** *Variaciones Porcentuales e Índices, Según Divisiones de Bienes y Servicios: Nacional, Regional, y Ciudades*. Quito: INEC.
- INEI. (2009).** *Índice de Precios al Consumidor por Departamentos*. Lima: INEI.
- INEI. (2013).** *Compendio Estadístico Perú: Electricidad y Agua*. Lima: INEI.
- INEI. (2014).** *Perú: Población total al 30 de junio, por grupos quinquenales de edad, según departamento, provincia y distrito*. Lima: INEI.
- INEI. (2015).** *Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales 2015*. Lima: INEI.
- INEI. (2015).** *Perú: Formas de acceso al agua y saneamiento básico*. Lima: INEI.
- INEI. (2017).** *Población Estimada al 30 de junio, por años, calendario y sexo*. Lima: INEI.
- INEI, ENAHO. (2007).** *Sala Situacional Alimentaria Nutricional 2: Consumo Alimentario*. Lima: INEI.
- Ministerio de Energía y Minas. (2009).** *Anuario Estadístico de Electricidad 2009*. Lima: Ministerio de Energía y Minas.
- Ministerio de Hidrocarburos y Energía. (2011).** *Mapa del Sistema Eléctrico Nacional Año 2011*. La Paz: Ministerio de Hidrocarburos y Energía.
- Ministerio de Hidrocarburos y Energía. (2015).** *Informe de Rendición Pública de Cuentas*. La Paz: Ministerio de Hidrocarburos y Energía.
- OSINERGMIN. (2011).** *Acceso a la Energía en el Perú: Algunas Opciones de Política*. Lima: OSINERGMIN.
- Portal, X. A. (2014).** *Seguridad Alimentaria en Bolivia: La brecha existente entre disponibilidad y demanda calorífica*. La Paz.
- SENAGUA. (2008).** *Breve descripción de la administración de los recursos hídricos en el Ecuador*. Quito: SENAGUA.
- SENPLADES. (2014).** *Agua potable y alcantarillado para erradicar la pobreza en el Ecuador*. Quito. La Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES).
- UDAPE and PNUD. (2012).** *Agua y saneamiento básico: derecho para todos los bolivianos*. La Paz. Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas (UNDAPE), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en Bolivia (PNUD Bolivia).