



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
POSGRADO EN CIENCIAS DE LA SOSTENIBILIDAD  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS  
POLÍTICA, GOBERNANZA E INSTITUCIONES

EVALUACIÓN DE LA IMPORTANCIA DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS  
PARA LA SEGURIDAD ALIMENTARIA: EL PAPEL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN MÉXICO

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
MAESTRA EN CIENCIAS DE LA SOSTENIBILIDAD

PRESENTA:  
VERÓNICA ELENA SOLARES ROJAS

TUTOR PRINCIPAL  
DR. ALONSO AGUILAR IBARRA  
Instituto de Investigaciones Económicas

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR  
DR. ARTURO FLORES MARTÍNEZ  
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

DRA. INGREET JULIET CANO CASTELLANOS  
CIESAS, Sureste

Ciudad Universitaria, Ciudad de México, enero de 2018.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Coordinación de Estudios de Posgrado  
Ciencias de la Sostenibilidad  
Oficio: CEP/PCS/373/17  
Asunto: Asignación de Jurado

Lic. Ivonne Ramírez Wence  
Directora General de Administración Escolar  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Presente

Me permito informar a usted, que el Comité Académico del Programa de Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, en su vigésimo octava sesión del 12 de septiembre del presente año, aprobó el jurado para la presentación del examen para obtener el grado de **MAESTRA EN CIENCIAS DE LA SOSTENIBILIDAD**, de la alumna **SOLARES ROJAS VERÓNICA ELENA** con número de cuenta **091317638** con la tesis titulada "Evaluación de la importancia de los servicios ecosistémicos para la seguridad alimentaria: el papel de los recursos hídricos en México", bajo la dirección del Dr. Alonso Aguilar Ibarra.

PRESIDENTE:	DRA. ELENA LAZOS CHAVERO
VOCAL:	DR. ARTURO FLORES MARTÍNEZ
SECRETARIO:	DRA. MARÍA PEREVOCHTCHIKOVA
SUPLENTE 1:	DRA. INGREET JULIET CANO CASTELLANOS
SUPLENTE 2:	DR. ALONSO AGUILAR IBARRA

**ATENTAMENTE**  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, Cd. Mx., 5 de diciembre de 2017.

  
Dra. Marisa Mazari Hiriant  
Coordinadora  
Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, UNAM

## Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por el apoyo económico otorgado durante los estudios de posgrado.

Al proyecto Conacyt-PAPIIT IN301617 titulado *“Análisis económico-ecológico de los servicios ecosistémicos relevantes para la seguridad alimentaria en México”* por el apoyo económico otorgado para la investigación.

Al Comité Tutorial: Dr. Alonso Aguilar Ibarra (Director de Tesis), Dr. Arturo Flores Martínez y la Dra. Ingreet Juliet Cano Castellanos. Dr. Alonso Aguilar, gracias por todo tu apoyo, consejos y confianza para lograr concretar este proyecto. Además de toda la parte académica muy valiosa y siempre muy acertada, no quiero dejar de mencionar que siempre recibí comentarios alentadores y todo el apoyo a largo de este proceso. Dr. Arturo Flores Martínez, sin duda siempre me apoyaste en este proceso, desde que te dije que pensaba renunciar al trabajo hasta la parte académica aceptando ser parte de mi comité tutorial. Recuerdo que me dijiste “bueno sólo porque te vas a hacer una maestría”. En todo este proceso tus consejos fueron muy valiosos para que el proyecto se enriqueciera. Dra. Ingreet Juliet Cano Castellanos, te agradezco todos tus consejos para concretar este proyecto y tu esmero en involucrarme más profundamente en otras visiones más sociales que desde la biología no siempre son bien analizadas.

A mi jurado. Dra. Elena Lazos Chavero, mil gracias por todo lo que me enseñaste en tus clases, definitivamente me abriste el mundo. Tus comentarios a esta tesis fueron muy valiosos y me permitieron precisar muchos aspectos sociales que son fundamentales. Dra. María Perevochtchikova, gracias por tu tiempo para revisar esta tesis y ayudarnos a darle una mejor estructura que sin duda permitió mejorarla.

Al Dr. Ahmed Cruz Leyva. Muchísimas gracias Ahmed por tu paciencia a la hora de enseñarme a calcular los balances hídricos e introducirme en el tema del análisis espacial, aspecto que fue fundamental para este proyecto.

A mi familia: Valentina, Sofía y Omar que cuando se me ocurrió la loca idea de renunciar a mi zona de confort me apoyaron e impulsaron a seguir mis sueños. Sofía como dijiste “hazlo mamá si no te vas a arrepentir y te vas a quedar con las ganas”, que mejor consejo puedo recibir en la vida, gracias. Vale siempre echándome porras y diciendo sí mamá hazlo. Omar, siempre apoyándome, creyendo en mí y animándome. Seguimos creciendo una al lado del otro. A mis padres que desde siempre han apoyado mis decisiones, me han echado muchas porras y en esta etapa estuvieron muy pendientes de que todo fuera bien. A mis hermanos: Alex y Armando con cariño.

A mis amigas de la Semarnat, Yasmin, Tere, Coty y Adriana que me acompañaron y apoyaron en mi felicidad al tomar la decisión de iniciar una etapa diferente y que a pesar de que todas tomamos caminos diferentes seguimos viéndonos, riéndonos y queriéndonos mucho, mucho. A mis amigos de Ecología Miguel y Jime, desde lejos pero siempre sintiéndolos cerca. A mi querida Daniela, amiga de la fac, de la Semarnat, del posgrado y seguro de muchos lugares más, gracias por compartirme la existencia de este posgrado y por viajar juntas una vez más en las aulas. A mis amigas del posgrado: Hanna, Junuen, Cristina, Dalia, Sol, Ale, Eri e Iris que cuando las conocí disfruté aún más este posgrado, hicieron que las tareas, lecturas y trabajos en equipo no sólo fueran más interesantes sino súper divertidos. A mi querida amiga Vicky que no sólo compartimos el llevar a las hijas a todos lados, ahora hasta asesor de tesis de posgrado. A todos los amigos de la Herminio que me echaron porras, no digo nombres porque somos muchos y seguro se me va alguno.

## **ÍNDICE**

	<b><i>Página</i></b>
1. Resumen	2
2. Introducción y marco teórico conceptual	
2.1 Introducción y relevancia del estudio	3
2.2 Pregunta de investigación, hipótesis y objetivos	7
2.3 Seguridad alimentaria y servicios ecosistémicos	8
3. Metodología y resultados	
3.1 Metodología general. Resumen	18
3.2 Análisis nacional	22
3.3 Análisis regional	41
4. Discusión y conclusiones	
4.1 Discusión	68
4.2 Conclusiones	85
Apéndice metodológico	87
Bibliografía	100

## 1. RESUMEN

El objetivo del estudio consistió en realizar una evaluación cuantitativa de la relación de los servicios hidrológicos con la seguridad alimentaria, tanto a nivel nacional como regional. Para ello, se identificaron flujos y reservas en el sistema agroalimentario y se propuso un esquema conceptual. Se construyó una base de datos, por estado, con variables de diversas fuentes y se aplicaron análisis de correlación, de componentes principales y conglomerados jerárquicos para buscar relaciones entre las variables y encontrar aquellas que mejor explican la variación entre estados. Posteriormente, y con base en el análisis nacional, se realizó un análisis similar a nivel regional (Chiapas) por municipio, que incluyó además un balance hídrico y su modificación por cambios en la vegetación y uso del suelo.

Los resultados mostraron que a nivel nacional y regional, las variables socioeconómicas, seguida de las de infraestructura y agrícolas son las que mejor explican la variación entre estados y municipios. En Chiapas, la pobreza, marginación, rezago y consumo de leña y carbón para cocinar junto con menor IDH y menor acceso a drenaje se asocian con carencia y pobreza alimentarias e inseguridad moderada y severa. Las variables asociadas con las actividades agrícolas y la modificación del balance hídrico son los temas que le siguen en importancia. Uno de los resultados más relevantes de este estudio es que se evidenció y cuantificó una fuerte relación entre un aspecto de la seguridad alimentaria (medido como pobreza alimentaria) y condiciones de baja modificación del balance hídrico, debida a una menor perturbación de los ecosistemas. Además, el trabajo propone al indicador de pobreza alimentaria, que es calculado para todos los municipios, como un indicador proxy a los indicadores de seguridad alimentaria propuestos por la Escala Mexicana de Seguridad Alimentaria que no cubren todos los municipios, con lo que se pierde cobertura y precisión.

## 2. INTRODUCCIÓN Y MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

### 2.1 INTRODUCCIÓN Y RELEVANCIA DEL ESTUDIO

La población continúa creciendo, se estima que en el año 2050 seremos alrededor de 9 550 millones de personas a nivel global (UN, 2014) y en México seremos aproximadamente 150.84 millones de habitantes (Conapo, 2013). Además, se calcula que un total de 805 millones de personas se encuentran actualmente en condición de desnutrición a nivel mundial y alrededor de 836 millones en pobreza extrema (IUFRO, 2015; Naciones Unidas, 2015). Ante esto, la humanidad enfrenta un gran desafío, ya que debe haber alimento suficiente, adecuado y accesible para todos. Sin embargo, el reto no sólo consistirá en llevar alimentos a la mesa de las personas, sino en cómo se producirán los alimentos sin acabar con el capital natural (Sarukhán, 2015).

La seguridad alimentaria, y con ello el bienestar social, dependen no sólo de la disponibilidad y acceso a los alimentos, sino también de los servicios ecosistémicos que son elementos clave en su generación y mantenimiento (Ericksen, 2008; FAO, 2015c; Sandhu *et al.*, 2010). Garantizar la seguridad alimentaria o bien combatir la inseguridad alimentaria representa un problema complejo dado que involucra no sólo aspectos sociales y económicos sino también ambientales. Formalmente, la seguridad alimentaria ha sido definida como la situación en la que “...todas las personas en todo momento tienen acceso físico y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias, así como sus preferencias para una vida sana y activa” (Ericksen, 2008; FAO, 2015c; Sandhu *et al.*, 2010). En consecuencia, la inseguridad alimentaria se considera como aquella situación en la que no se cumplen una o más de estas condiciones (Coneval, 2010; FAO, 2015c).

La seguridad alimentaria depende de los servicios y beneficios ecosistémicos en diversas formas. Por ejemplo, numerosos cultivos, a nivel global, dependen de la polinización por animales (Bailes *et al.*, 2015). Es frecuente que las comunidades rurales dependan significativamente de los recursos alimenticios que extraen directamente de los ecosistemas (Bharucha y Pretty, 2010; Sunderland *et al.*, 2013), o de la leña para cocinar y calentar alimentos (MEA, 2005; Sunderland *et al.*, 2013). Asimismo, la disponibilidad de agua es fundamental para la agricultura y para la preparación de alimentos (McCornick, 2012; MEA, 2005) y el control natural de plagas beneficia a los cultivos (Power, 2010). Estos y otros servicios ecosistémicos son clave para garantizar la seguridad alimentaria.

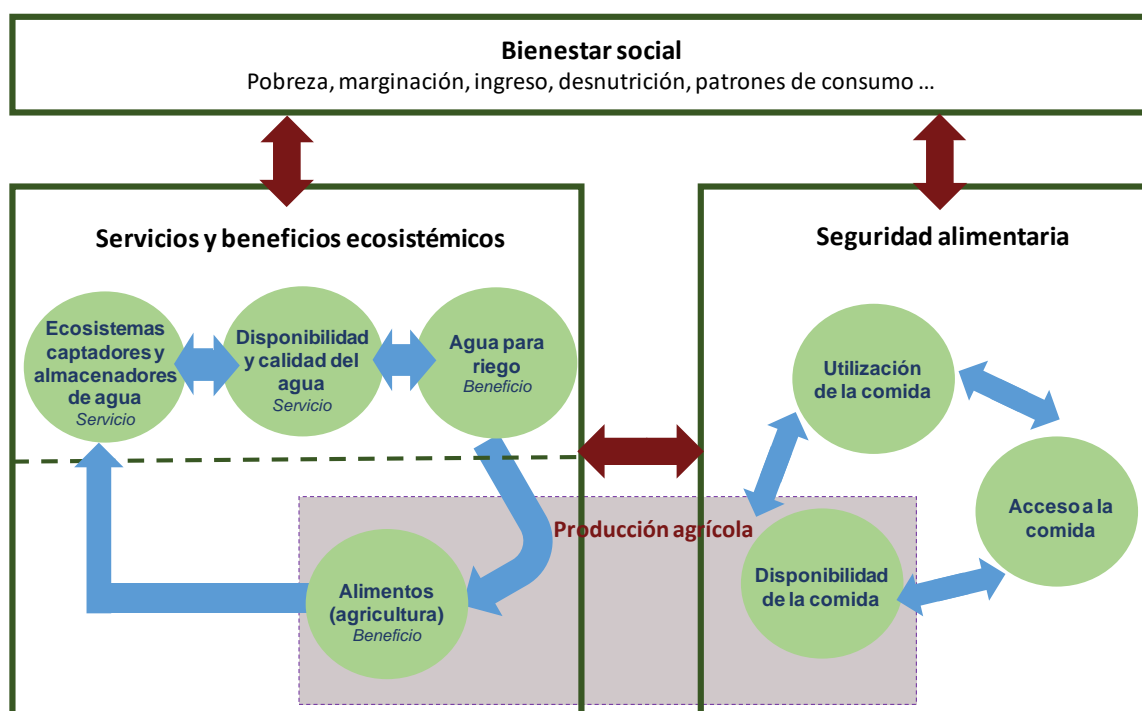
Sin embargo, existen factores que afectan directamente el mantenimiento y calidad de los servicios y beneficios ecosistémicos (Tudela, 2002; Lüdeke *et al.*, 2004; Sandhu *et al.*, 2010), así como el acceso y distribución de los recursos. El crecimiento poblacional y el desarrollo económico y social han generado una mayor demanda de

recursos y con ello la sobreexplotación y degradación de los ecosistemas. Entre los factores de presión sobre los ecosistemas y en particular sobre los servicios relacionados con los recursos hídricos, destacan la sobreexplotación y la contaminación del agua, así como el crecimiento de la frontera agrícola asociado a procesos de deforestación y cambio de uso del suelo. Las prácticas agrícolas intensivas y en general los sistemas alimentarios modernos, emplean grandes cantidades de fertilizantes y plaguicidas que contaminan el suelo y el agua; usan también grandes volúmenes de recursos hídricos y extensiones de tierra (Ericksen, 2008; Sandhu *et al.*, 2010). La sobreexplotación del agua y del suelo con fines agrícolas, ha generado la pérdida y degradación de los ecosistemas y los suelos, así como sus servicios ecosistémicos, (Tudela, 2002; Lüdeke *et al.*, 2004). En México, en el año 2012, las actividades agropecuarias consumieron poco más del 76% del total de agua concesionada (Semarnat, 2015). En el año 2011, el 29% del territorio nacional (cerca de 55.9 millones de hectáreas) con vegetación natural había sido transformado a otros usos del suelo (Semarnat, 2015). De acuerdo con el estudio más reciente de degradación de los suelos, en 2002, el 44.9% de los suelos del país estaban degradados: 17.8% del territorio nacional por degradación química, 11.9% por la erosión hídrica, 9.5% por erosión eólica y 5.7% por degradación física 9.5%; Semarnat, 2015). En este contexto, es esencial contar con evaluaciones cuantitativas sobre la aportación que hacen los servicios ecosistémicos a la seguridad alimentaria, no sólo para conocer el impacto potencial de la pérdida o degradación de estos servicios, sino para impulsar y enfocar estrategias de gobernanza para su conservación y aprovechamiento sustentable.

La relación de la seguridad alimentaria con los servicios ecosistémicos y el bienestar social es compleja y multidireccional (Poppy *et al.*, 2015), ya que es afectada y a su vez afecta las existencias de capital natural, los servicios ecosistémicos y el bienestar (Ericksen, 2008). Entre los servicios ecosistémicos clave en la seguridad alimentaria destaca el de los ecosistemas como captadores y almacenadores de recursos hídricos y formadores de nubes y el beneficio asociado de provisión de agua para las actividades agrícolas, ya sea de temporal o de riego (McCornick, 2012; Ellison *et al.*, 2017). Por ello, la integridad estructural y funcional de los ecosistemas es clave para el mantenimiento de los servicios ecosistémicos que proporcionan, entre ellos el de provisión de agua. Los factores de presión sobre los ecosistemas y en particular sobre los procesos naturales de captación, almacenamiento y suministro de agua pueden tener impactos sobre la producción agrícola. A su vez la actividad agrícola tiene impactos sobre los ecosistemas y los servicios ecosistémicos, por lo que se generan procesos de retroalimentación (Ericksen, 2008). La agricultura intensiva emplea grandes cantidades de recursos hídricos, plaguicidas y fertilizantes que afectan negativamente el acceso al agua así como su calidad. Por lo tanto, en la medida en que se pierdan o degraden ecosistemas, la cantidad y calidad de los recursos hídricos de las que depende la producción de alimentos se verá



afectada. La Figura 1 muestra la relación y retroalimentación entre los servicios y beneficios que brindan los ecosistemas con la seguridad alimentaria y el bienestar social.



**Figura 1. Los ecosistemas como proveedores y almacenadores de agua, un servicio ambiental clave en la seguridad alimentaria y su relación con el bienestar social**

Fuente: modificado de Ericksen, 2008.

Las tres áreas que aparecen en la Figura 1: servicios y beneficios ecosistémicos, seguridad alimentaria y bienestar social, son aquellas en las que comúnmente los tomadores de decisiones deben hacer elecciones de política. Generalmente existen compromisos a la hora de tomar una decisión, ya que la modificación de uno de los componentes modificará a los otros (Ericksen, 2008). Por ello, entre mejor sea el conocimiento sobre la importancia de los ecosistemas, como proveedores de agua, en la seguridad alimentaria mejor informadas serán las decisiones.

### **Relevancia de este estudio**

A pesar de que se reconoce su importancia, no hay análisis formales que midan y cuantifiquen los flujos y reservas de la relación de los ecosistemas como proveedores de agua con la seguridad alimentaria y bienestar social. La FAO plantea que los Estados deben *“asegurar el mantenimiento de la disponibilidad, la calidad y la estabilidad del agua en favor de la Seguridad Alimentaria y Nutricional (SAN) por medio de la conservación y la gestión sostenible de los territorios y los ecosistemas, en los distintos biomas...”* (FAO, 2015a). Sin embargo, aunque existen diversos estudios sobre la importancia de los

recursos hídricos para el sector agrícola, generalmente se enfocan en el análisis de los volúmenes de agua consumidos por el sector, actualmente y con cambio climático (Hangra y Qureshi 2010); así como en las estrategias para hacer más eficiente el consumo del líquido, ya sea través de la tecnificación (UN, 2011) o de prácticas agrícolas que consumen menos cantidades de agua (Sandhu *et al.*, 2010).

Por otro lado, también existen análisis sobre la seguridad o inseguridad alimentaria pero en general se enfocan en la disponibilidad, acceso y uso de los alimentos y su relación con la eficiencia agrícola y el uso del agua o factores puramente económicos, culturales o políticos (Allouche, 2011; FAO, 2013; FAO, 2015a; Coneval, 2010). Por lo tanto, si la seguridad alimentaria depende de la disponibilidad y calidad del agua proveniente de los ecosistemas (FAO, 2015a) es necesario analizar, con un enfoque transdisciplinario, en qué medida influyen estos servicios ecosistémicos sobre la seguridad alimentaria y el bienestar social.

En este sentido, este estudio plantea la relevancia de realizar una primera aproximación cuantitativa al tema de la relación e importancia de los servicios ecosistémicos con la seguridad alimentaria, en particular lo referente a los recursos hídricos. Se propone el desarrollo de un esquema conceptual de este sistema complejo, en el que se identifiquen las relaciones o flujos entre los ecosistemas como captadores y almacenadores de agua, la regulación y el suministro de agua, la producción agrícola y la seguridad (o inseguridad) alimentaria, así como su impacto en el bienestar social. Aunque existen datos e indicadores con los que se pueden alimentar los componentes de este esquema conceptual, se encuentran dispersos en bases de datos que son producidas o se encuentran alojadas en dependencias como el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, la Secretarías de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, entre otras. Es por ello, que el esquema conceptual apoyado con datos sobre esos flujos y reservas, permitirá realizar un análisis con el que se identifiquen los factores que influyen, y en qué medida, sobre la seguridad alimentaria, permitiendo un análisis completo e integral, lo cual es crucial para comprender el sistema.

El entendimiento y análisis del sistema completo aportará nuevos elementos y argumentos a la discusión sobre la seguridad alimentaria y su interrelación con los servicios ecosistémicos relacionados con los recursos hídricos. Este estudio, permitirá además identificar los flujos clave que influyen de manera significativa en el comportamiento del sistema, generando conocimiento para su comprensión, con lo que se pueden desarrollar recomendaciones para futuros estudios, así como para la política

pública de la seguridad alimentaria, en particular sobre su relación con los recursos hídricos provenientes de los ecosistemas.

## **2.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS**

### **Pregunta de investigación**

¿La seguridad alimentaria de las personas y con ello su bienestar, dependen de los servicios ecosistémicos hídricos, los cuales a su vez determinan el agua potencialmente disponible para las actividades humanas?

### **Hipótesis**

Si los ecosistemas son fundamentales para producir servicios hídricos, entonces, las alteraciones de este servicio se reflejarán en la disponibilidad de agua y con ello en la producción de alimentos y la seguridad alimentaria de las personas.

### **Objetivo general**

Evaluar y medir la relación de los servicios hidrológicos con la seguridad alimentaria, tanto a nivel nacional como regional.

### **Objetivos específicos**

- Identificar los flujos y reservas de agua que ocurren entre los ecosistemas y la producción agrícola de alimentos, así como aquellas relaciones que existen con la seguridad alimentaria y el bienestar social.
- Identificar y proponer indicadores que permitan analizar y evaluar la relación entre los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria.
- Identificar los factores, incluyendo los relacionados con servicios ecosistémicos hídricos, que influyen en la seguridad alimentaria y el bienestar social.
- Discutir el aporte del trabajo realizado para la toma de decisiones en materia ambiental y de seguridad alimentaria.

A continuación se presenta el marco conceptual de seguridad alimentaria y servicios ecosistémicos, así como la relación entre ellos. Posteriormente, se incluye una sección con la metodología y resultados. En esta sección, se incluye primero un texto que describe la metodología general empleada, donde se explica en qué se basa y cómo surge y se explica también a grandes rasgos la metodología para el análisis nacional y regional. Posteriormente, en esta misma sección con el fin de reflejar el proceso que siguió el trabajo, en el que el análisis nacional guio el regional, se explica en dos subsecciones el

análisis a nivel nacional con su metodología detallada y resultados y una siguiente sección también detallada del análisis regional (Chiapas), con su propia metodología y resultados. La discusión y conclusiones se presentan retomando los resultados, los objetivos planteados y se analizan los alcances del estudio así como las limitaciones. Por último, se incluye un apéndice metodológico que describe a detalle un componente de la metodología, a saber: el desarrollo de un balance hídrico superficial para Chiapas.

## **2.3 SEGURIDAD ALIMENTARIA Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**

### ***Definición y dimensiones de la seguridad alimentaria***

La seguridad alimentaria ha sido definida como la situación en la que “...todas las personas en todo momento tienen acceso físico y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias, así como sus preferencias para una vida sana y activa” (Ericksen, 2008; FAO, 2015c). Puede ser analizada a diferentes escalas o “unidades”; desde el nivel de individuo, familia, país, hasta el de una región o incluso a nivel mundial (Ericksen, 2008).

Se reconocen tres componentes o dimensiones principales de la seguridad alimentaria: acceso, disponibilidad y utilización (Ericksen, 2008; Coneval, 2010; Richardson, 2010). El acceso se refiere a la capacidad de una unidad (p. e. persona, hogar) para tener acceso al tipo, calidad y cantidad de alimento que requiere. Esta dimensión de la seguridad alimentaria implica que se cumpla con condiciones adecuadas de asequibilidad (capacidad de compra), asignación (cuándo, cómo y dónde conseguir los alimentos) y preferencia (normas y valores sociales y culturales que influyen en el consumidor; Ericksen, 2008). La disponibilidad de alimentos se refiere a la cantidad, tipo y calidad de alimentos que tiene para su consumo una unidad. Es resultado de la producción interna de productos primarios como industrializados, de las reservas, las importaciones y exportaciones, las ayudas alimentarias y la capacidad de almacenamiento y movilización. La disponibilidad supone estabilidad temporal, es decir que existan alimentos suficientes todo el año, implica también que sean inocuos y adecuados a las condiciones sociales y culturales (Ericksen, 2008; Coneval, 2010). Aunque la disponibilidad de alimentos es importante no es suficiente para asegurar la seguridad alimentaria, ya que pueden existir alimentos disponibles pero no asequibles para sectores de la sociedad en pobreza (Richardson, 2010). La FAO estimó que en el año 2009 existían alrededor de 1.02 miles de millones de personas con desnutrición, lo que representa un 37% más que veinte años antes. El 98% de esas personas vivía en países en desarrollo (Richardson, 2010). Finalmente la utilización se refiere a lo que en realidad consumen los individuos o los hogares, proveniente de la autoproducción, intercambio, ayuda o adquisición en los

mercados. Involucra el valor nutricional y social, así como que los alimentos sean seguros (que cumplan con estándares de producción, procesamiento y empaque; Ericksen, 2008; Coneval, 2010).

La escala a la que se aborde el análisis de la seguridad alimentaria tiene implicaciones diferentes. A nivel nacional es donde se adoptan la mayor parte de las decisiones de política en cuestiones agrícolas, mientras que una aproximación más local permite identificar con más detalle los factores que pueden estar generando una situación de inseguridad alimentaria, así como una mayor precisión en la identificación de necesidades. Esta visión en escalas diferentes es esencial para el diseño, evaluación o replanteamiento de políticas públicas que puedan enfocarse a los grupos más vulnerables y que estén en riesgo de entrar en una situación de inseguridad alimentaria o bien sacarlos de esa situación si ya están ahí (Germanwatch y Bread for the World, 2009).

Es importante mencionar que en años recientes se ha extendido también el concepto de soberanía alimentaria. En 1996, La Vía Campesina hizo un llamado por la soberanía alimentaria, en 2002 el concepto se difundió a nivel global y su definición ha ido evolucionando (Patel, 2009; Holt-Giménez y Altieri, 2013; Agarwal, 2014). Actualmente se define la soberanía alimentaria como “...*el derecho de los pueblos a alimentos saludables y culturalmente apropiados, producidos mediante métodos ecológicamente sanos y sostenibles y el derecho a definir sus propios sistemas alimentarios y agrícolas*” (Holt-Giménez y Altieri, 2013, pp. 68). Sin duda este concepto, práctica y posición política es fundamental en la discusión de las políticas agrícolas, sociales y ambientales. Se plantea, además que la solución a la crisis alimentaria puede ser el impulso a los sistemas agroecológicos de pequeños agricultores, idea apoyada e impulsada por el discurso de la soberanía alimentaria (Holt-Giménez y Altieri, 2013, pp. 68). Sin embargo, en este estudio, aunque se reconoce su importancia, se abordará el tema desde la seguridad alimentaria. La metodología planteada es uno de los factores determinantes para enfocar el estudio en la seguridad y no en la soberanía alimentaria, ya que la escala de los análisis, la disponibilidad de información y la propuesta de aproximación al tema sin un trabajo de campo en la zona de estudio permiten hacer análisis en el marco de la seguridad alimentaria más que en el de la soberanía.

## **Servicios y beneficios ecosistémicos**

### ***Evolución del concepto***

El concepto de servicios ecosistémicos ha evolucionado; entre las publicaciones que más han contribuido a su difusión y entendimiento, están el libro “Los Servicios de la Naturaleza” por Gretchen Daily en 1997 y el artículo de Costanza *et al.* (1997) “El valor de los servicios ecosistémicos y del capital natural mundial” (Balvanera, 2015). Otros

documentos relevantes que se han desarrollado para el análisis de los servicios ecosistémicos son la Evaluación Global de la Biodiversidad, publicada en 1995 y la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, publicada por primera vez en 2003 con subsecuentes productos en 2005 (MEA, 2005; Balvanera, 2015).

De acuerdo con la definición planteada en la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA, por sus siglas en inglés), los servicios ecosistémicos “...son las características, funciones o procesos ecológicos que directa o indirectamente contribuyen al bienestar humano...” (MEA, 2005; Costanza, 2012). Este documento propuso una clasificación de los servicios ecosistémicos que es la más ampliamente empleada en la difusión de la visión de los ecosistemas como proveedores de servicios ecosistémicos. El MEA propone cuatro categorías: servicios de provisión, regulación, culturales y de soporte (MEA, 2005). Sin embargo, en esta clasificación hay servicios que pueden entrar en una o más categorías, lo que genera conteos dobles cuando se pretende hacer una valoración económica. Por ejemplo, en el MEA, el ciclo de nutrientes es un servicio de soporte, la regulación del flujo de agua es un servicio de regulación y la recreación es un servicio cultural. No obstante, si se considerara la conversión de un humedal y se emplea un análisis de costo-beneficio que incluye estos tres servicios, se contaría dos veces, ya que el ciclo de nutrientes y la regulación del agua ayudan a proporcionar el mismo servicio considerado, proporcionando agua utilizable y el servicio de recreación es un beneficio humano de esa provisión de agua (Fisher *et al.*, 2008, 2009; Johnston y Russell, 2011).

Existen clasificaciones alternativas a la propuesta en el MEA. Por ejemplo, Fisher y colaboradores (2009) proponen una nueva definición y clasificación de los servicios ecosistémicos. Plantean que los servicios ecosistémicos son aquellos aspectos de los ecosistemas usados (activa o pasivamente) para producir bienestar humano. En esta clasificación destaca la subdivisión propuesta; donde unos son considerados servicios y otros beneficios ecosistémicos. Por ello, una aproximación más adecuada para su análisis clasifica a los servicios ecosistémicos en servicios intermedios, servicios finales y beneficios. Se considera que los servicios son fenómenos ecológicos y que no necesariamente son utilizados directamente por los humanos (Fisher *et al.*, 2009). Bajo esta concepción, los procesos y funciones de los ecosistemas son los servicios ecosistémicos y existen sin importar si hay un uso directo por los humanos o no. En contraste, los beneficios ecosistémicos sólo existen si contribuyen al bienestar humano (Fisher *et al.*, 2008, 2009). Uno de los ejemplos más conocidos es el de la regulación del flujo de agua que, de acuerdo con la clasificación del MEA, es un servicio de regulación y con base en la clasificación de Fisher podría considerarse como un servicio intermedio que proporciona un servicio final de provisión de agua limpia; mientras que el agua para

consumo humano (la cual requiere tecnologías de extracción) es considerada un beneficio (Fisher et al., 2009; Johnston y Russell, 2011).

En años recientes ha emergido el concepto “deservicios” o “anti-servicios” ambientales (Dunn, 2010). Este concepto surge, ya que en el marco de servicios ecosistémicos, la mayoría de los estudios se enfocan sólo en las relaciones positivas de la relación ecosistemas-sociedad. Sin embargo, esta relación no sólo involucra relaciones positivas, sino también negativas, por lo que se plantea que hay una omisión en el marco conceptual de servicios ecosistémicos. Por ejemplo, las plagas, enfermedades e inundaciones, que son procesos naturales, tienen efectos negativos sobre las poblaciones humanas. A este tipo de procesos se les conoce como deservicios. Actualmente, se plantea la importancia de identificar, analizar y valorar económicamente no sólo los servicios y beneficios ecosistémicos, sino también los deservicios que pueden causar pérdidas económicas importantes, así como tener impactos en el bienestar social (Lele *et al.*, 2013; Dunn, 2010). Sin embargo, es importante mencionar que tanto las plagas, como las enfermedades o inundaciones son procesos naturales que forman parte de la dinámica de los procesos ecosistémicos y que la visión negativa de estos procesos es únicamente desde la visión antropocéntrica.

Por otro lado, desde el punto de vista de los capitales considerados en el enfoque de sustentabilidad fuerte<sup>1</sup>, que incluye el capital manufacturado, capital natural, capital socio-organizacional y capital humano (Ekins *et al.*, 2003), los servicios ecosistémicos pueden ser definidos como la contribución relativa del capital natural a la producción de diversos beneficios para los humanos en combinación con otras formas de capital (humano, manufacturado y social-organizacional)(Costanza, 2012). El capital natural es un activo del que dependen las sociedades para su sobrevivencia, justo como dependen del capital social, financiero y físico (Ericksen, 2008). La destrucción del capital manufacturado rara vez es irreversible y hace uso del capital natural para su producción. En contraste, el consumo ilimitado del capital natural puede generar efectos irreversibles como la extinción de especies, algunos de los impactos del cambio climático o la pérdida de servicios y beneficios ambientales. Las funciones de soporte de los ecosistemas son prácticamente imposibles de sustituir (Ekins *et al.*, 2003; Dietz y Neumayer, 2007). Debe mencionarse que existen posiciones que no están de acuerdo con el uso del concepto de capital natural desde la sustentabilidad débil, en la que se asume que el capital natural puede ser sustituido por capital humano (p. e. por capital manufacturado). Gudynas (2000), plantea que concebir a la naturaleza como un tipo de capital, transforma a la

---

<sup>1</sup> La sustentabilidad fuerte plantea que la sustitución del capital natural por capital manufacturado es muy limitada dadas las características de irreversibilidad, incertidumbre y la existencia de componente críticos del capital natural (Ekins *et al.*, 2003).

conservación en una forma de inversión y que el concepto no refleja ni la diversidad ni la dinámica de la naturaleza y sus procesos. En su lugar se propone el uso del concepto de patrimonio natural, término que se refiere a los bienes que se heredan y al legado que se deja a los hijos; a bienes que han tenido valores espirituales y hoy son capitalizados. Se plantea que este término rescata la pluralidad de valores y concepciones sobre el ambiente y va más allá de lo puramente económico, se incluye lo ecológico, estético, religioso e histórico (Gudynas, 2000).

Costanza (2012) plantea que un nuevo modelo de desarrollo bajo el nuevo contexto mundial debe basarse en una meta de bienestar humano sustentable. Lo anterior requiere mediciones del progreso en esta meta que incluyan en su visión la sustentabilidad ecológica, equidad social y una eficiencia económica real. La equidad social implica el reconocimiento de que la distribución de la riqueza es un factor fundamental del capital social y de la calidad de vida. La eficiencia económica real supone que se incluyan todos los recursos que afectan el bienestar social sustentable y no sólo los bienes y servicios considerados por el mercado, también llamados de uso directo. El actual modelo de desarrollo excluye los bienes y servicios que no son de mercado pero que son importantes contribuidores al bienestar social, también llamados de uso indirecto y no consumibles (TEEB, 2010; Costanza, 2012).

Aunque todas las sociedades dependen de los servicios y beneficios ecosistémicos, frecuentemente el acceso y distribución de los recursos no es equitativo y las personas en condición de pobreza<sup>2</sup> son más vulnerables al deterioro o pérdida de los ecosistemas, ya que tienen menor capacidad de respuesta. El concepto de vulnerabilidad ha sido usado para referirse a grupos en condiciones de desventaja asociadas con factores sociales, económicos y geográficos (Murillo, 2015). De acuerdo con González (2012), la vulnerabilidad de la vida de familias de escasos recursos se expresa en los grandes riesgos que enfrentan ante la inestabilidad económica y en las prácticas de sobrevivencia en contextos de precariedad: sacar a los hijos de la escuela, no acudir al médico, disminuir la frecuencia y cantidad de alimentos, iluminar la vivienda con velas y no con electricidad, entre otras. Sin ingresos estables, los miembros de los hogares pobres son muy vulnerables y no cuentan con “colchones amortiguadores”, por lo que cada impacto

---

<sup>2</sup> Aunque se reconoce que hay diversas formas de conceptualizar y medir la pobreza para este estudio se emplea la definición de pobreza multidimensional del Coneval. Pobreza multidimensional: se considera que una persona se encuentra en situación de pobreza cuando tiene al menos una carencia social (en los seis indicadores de rezago educativo, acceso a servicios de salud, acceso a la seguridad social, calidad y espacios de la vivienda, servicios básicos en la vivienda y acceso a la alimentación) y su ingreso es insuficiente para adquirir los bienes y servicios que requiere para satisfacer sus necesidades alimentarias y no alimentarias. La palabra multidimensional se refiere a que la metodología de medición de pobreza utiliza varias dimensiones o factores económicos y sociales en su concepción y definición (Coneval, 2017).



negativo puede dar lugar a la acumulación de desventajas, mayor fragilidad y agudización de la pobreza de recursos (González, 2012). Se ha documentado que los servicios ecosistémicos constituyen la principal fuente de ingresos e insumos de las personas en condición de pobreza, ya que les proveen vivienda, comida, agua, salud y energía (Sukhdev, 2015). Aunque la utilización de los servicios ecosistémicos ha generado grandes beneficios a la humanidad, también ha generado grandes costos, ya que la degradación de los servicios ha exacerbado la pobreza en algunos grupos sociales y esto se ha asociado con el incremento de poblaciones carentes de recursos. Para poder revertir y frenar la degradación de los servicios ecosistémicos son necesarios cambios significativos en las políticas ambientales, agrícolas y de desarrollo social, así como en las instituciones (MEA, 2005).

### ***Factores de degradación: situación mundial y nacional***

El último siglo se ha caracterizado por un rápido crecimiento poblacional. A nivel mundial la población creció de 1 550 millones de personas en el año 1900, a alrededor de 7 240 millones en 2014. De acuerdo con estimaciones de la División de Población de las Naciones Unidas, la población mundial seguirá aumentando hasta alcanzar más de 9 550 millones en el año 2050 (UN, 2014). México no escapa a esta tendencia, su población aumentó de 20 millones de personas en 1910 a 119.71 para mediados de 2014. De acuerdo con las proyecciones, la población nacional alcanzará en el 2050 aproximadamente 150.84 millones de habitantes (Conapo, 2013).

El incremento poblacional conlleva un aumento en la demanda de energía, materias primas, alimentos, agua y recursos naturales en general. Con los sistemas de producción y consumo actuales, se incrementan las presiones sobre los ecosistemas que nos proveen de servicios y beneficios. De acuerdo con la FAO (2015a), las actuales tendencias de deterioro de los ecosistemas y sus servicios afectan el potencial de producción en zonas productoras de alimentos.

El informe de Evaluación de los Ecosistemas del Milenio plantea que durante los últimos 50 años, los humanos hemos modificado los ecosistemas más rápida y extensivamente que en cualquier otro periodo comparable. Concluye además que a nivel mundial, el 60% de los servicios ecosistémicos evaluados por el Informe (15 de 24) han sido degradados o son utilizados de forma insostenible (MEA, 2005). En este sentido, el mantenimiento de los flujos de servicios ecosistémicos requiere el conocimiento de cómo funcionan y brindan sus servicios los ecosistemas y del cómo podrían afectarlos las presiones que sobre ellos existen (TEEB, 2010).

El modelo de desarrollo económico y el crecimiento poblacional han llevado al impulso de prácticas agrícolas intensivas con el argumento de que se requiere producir más alimentos por el incremento en la demanda y consumo de alimentos, sin considerar resolver antes los problemas de distribución de alimentos y particularmente del inequitativo acceso a alimentos derivado del limitado acceso a recursos básicos como la tierra. Sin duda, la tenencia de la tierra es un elemento que impacta en la capacidad de las familias para asegurar condiciones dignas de vida entre las que se encuentran la seguridad y la soberanía alimentarias. En la década de los sesenta se propagó el modelo industrial de producción agrícola que requiere elevados insumos externos generalmente provenientes del Sur Global. Además, las políticas de ajuste estructural del Banco Mundial y del Fondo Monetario Internacional generaron la privatización de las agencias de gobierno, con lo que se eliminaron barreras a los flujos de capital del Norte, mientras el Sur Global<sup>3</sup> fue inundado con granos subsidiados (Holt-Giménez y Altieri, 2013). A este proceso de intensificación agrícola, se le conoce como la Revolución Verde y su objetivo original fue combatir la desnutrición. Sin embargo, se caracterizó por un impulso a los monocultivos y la tecnificación de prácticas agrícolas y no se contempló el efecto negativo en la distribución de alimentos ni que se generarían crisis alimentarias, migración, pobreza e incluso un incremento en la emisión de gases de efecto invernadero (Ludeke, et al., 2004).

La agricultura intensiva sigue utilizándose y emplea grandes cantidades de fertilizantes, plaguicidas, recursos hídricos y extensiones de tierra (Sandhu et. al., 2010). Se estima que anualmente se extraen entre 4000 (UN Water, 2014) y 7130km<sup>3</sup> (UNEP, 2011) de agua a nivel mundial, de los cuales la agricultura emplea la mayor parte: uso agrícola (70%), doméstico (10%) e industrial (20%; UN Water, 2014). Además, a nivel global se ha triplicado la demanda de agua desde los años cincuenta, mientras que su disponibilidad ha disminuido (Hangra y Qureshi, 2010). La producción global de alimentos se genera en alrededor de 1.5 mil millones de hectáreas de tierra cultivada (12% de la superficie total de tierras). De ellas, 1.1 mil millones de hectáreas (80% del área cultivada) son de cultivos de temporal dependientes de la precipitación y producen el 60% de los alimentos. La agricultura de riego cubre sólo el 19% del total pero contribuye con el 40% de la producción agrícola (Hangra y Qureshi, 2010). Con base en las proyecciones de crecimiento poblacional, la FAO ha estimado que, si se mantienen los patrones de producción y consumo actuales, a nivel mundial para el año 2050 se requerirá incrementar la producción agrícola en un 70% para alimentar a la población estimada para

---

<sup>3</sup> Sur Global es una expresión que aparece cada vez más frecuentemente en textos académicos, en la prensa y en el argot de los movimientos sociales, las organizaciones no gubernamentales y los grupos de solidaridad. En muchas ocasiones se usa como sinónimo de Tercer Mundo o mundo subdesarrollado, pero el concepto va más allá, ya que involucra un punto de vista cultural y político, de países, que comparten una posición estructural de periferia o semiperiferia en el sistema-mundo moderno (Carou y Bringel, 2010).

ese año (UNEP, 2011) y con ello se necesitarán 5600 km<sup>3</sup> anuales adicionales de agua (Hangra y Qureshi, 2010).

En México, al igual que en otras partes del mundo, la sobreexplotación de los recursos hídricos y del suelo con fines agrícolas, a pequeña escala o de forma intensiva, ha generado la pérdida y degradación de ecosistemas y sus servicios ecosistémicos, degradación de los suelos y contaminación y escasez de agua (Tudela, 2002; Lüdeke et al., 2004). Las actividades agropecuarias, a nivel nacional, ejercen la mayor presión sobre los recursos hídricos: en 2012 poco más del 76% del agua concesionada se utilizó en el riego y en las actividades ganaderas y acuícolas (Semarnat, 2015).

La conversión de terrenos hacia usos agropecuarios es una de las causas más importantes de la deforestación. En los años setenta, los pastizales dedicados a la ganadería ocupaban una superficie de más de 14.3 millones de hectáreas, en tanto que los terrenos agrícolas ocupaban unos 26 millones. De la década de los 70 a 1993, este tipo de coberturas antrópicas aumentaron conjuntamente su extensión en 6.3 millones de hectáreas, hasta cubrir una superficie total de 46.6 millones de hectáreas (crecieron cerca de 368 mil ha por año). De 2002 a 2007, los pastizales cultivados o inducidos aumentaron su superficie poco más de 132 mil hectáreas y, en conjunto, las áreas dedicadas a la agricultura y a pastizales destinados al ganado se incrementaron en casi 1.5 millones de hectáreas hasta alcanzar una extensión total de 51.1 millones de hectáreas (Semarnat, 2013). En el año 2011, el 29% del territorio nacional (cerca de 55.9 millones de hectáreas) con vegetación natural había sido transformado a otros usos del suelo (Semarnat, 2015). De acuerdo con información de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa), la superficie agrícola sembrada en México se ha mantenido relativamente constante, entre 1980 y 2012 osciló entre 16 y 20.5 millones de hectáreas. Sin embargo, de acuerdo con datos de las Cartas de Uso del Suelo y Vegetación del INEGI, la superficie agrícola continúa creciendo pero más lentamente. Lo anterior implica que se están abandonando tierras dedicadas al cultivo y se están abriendo nuevas a costa de la vegetación natural. Entre la década de los setenta y 1993, los terrenos agropecuarios se expandieron poco más de 368 mil hectáreas por año, mientras que en el periodo 2007-2011 crecieron poco más de 100 mil hectáreas anuales (Semarnat, 2015).

El crecimiento de la frontera agrícola y la misma actividad agrícola tienen impactos sobre los ecosistemas y sus servicios y a su vez la calidad y cantidad de los servicios ecosistémicos tienen también un efecto sobre la producción agrícola, por lo que se generan procesos de retroalimentación (Ericksen, 2008). Esto significa que la integridad funcional de los ecosistemas es clave en el mantenimiento de los servicios y beneficios

ecosistémicos, en este caso la regulación y provisión de recursos hídricos necesarios para mantener la producción agrícola de la cual depende la seguridad alimentaria.

### **Seguridad alimentaria: su relación con los servicios y beneficios ecosistémicos**

Los ecosistemas proveen de alimentos a la humanidad ya sea de manera directa por la extracción de alimentos de los bosques, selvas, desiertos o mares o bien mediante otros servicios ecosistémicos que soportan la producción de alimentos. Entre los servicios ecosistémicos relacionados con la producción de alimentos en la agricultura destacan la polinización, la formación del suelo, la prevención de la erosión del suelo, el ciclo de nutrientes, el ciclo hidrológico y el control biológico de plagas y enfermedades (Power, 2010; Sandhu *et. al.*, 2010). En este sentido, los servicios y beneficios ecosistémicos, en condiciones equitativas de acceso y distribución de recursos, sostienen la seguridad alimentaria, la cual a su vez afecta las existencias de capital natural y los servicios ecosistémicos (Ericksen, 2008). La seguridad alimentaria es afectada y afecta el bienestar social, es decir hay interacciones y ciclos de retroalimentación entre los componentes de este sistema (Ericksen, 2008; ver Figura 1).

Dentro de los servicios ecosistémicos de los que depende en buena parte la seguridad alimentaria, el agua es uno de los más importantes dado que es clave en el sector agrícola, de temporal y de riego, responsable de la producción de alimentos. Peter McCormick (2012) planteó que la seguridad alimentaria depende en gran medida de la seguridad del agua, en particular de su calidad y disponibilidad tanto en los cultivos de temporal (dependientes de la precipitación) como en los de riego (dependientes de las fuentes superficiales y subterráneas de agua).

La FAO reconoce en su Informe del Grupo de Alto Nivel de Expertos que los ecosistemas son el sostén de los recursos hídricos, ya que son un elemento clave en el ciclo del agua. Los bosques por ejemplo, aseguran la cantidad, calidad y estabilidad de los recursos hídricos para uso humano (FAO, 2015b). La gestión sostenible de los recursos hídricos para la seguridad alimentaria depende de la protección y conservación de ecosistemas específicos, especialmente humedales y bosques, que a su vez contribuyen a la seguridad alimentaria de las poblaciones locales (FAO, 2015b).

La valoración de los servicios ecosistémicos y en particular la del servicio ambiental de regulación del agua o bien del beneficio de contar con agua para su consumo permite hacer visibles los costos y beneficios tanto sociales como ambientales relacionados con la seguridad alimentaria. Se ha calculado el valor económico del suministro de agua en diferentes ecosistemas: bosques tropicales (300 dólares de 2007 por hectárea -USD/ha-), pastizales (378 USD/ha) y humedales (1 598 USD/ha), entre otros (Coates et al., 2013). Por

otra parte, el valor económico estimado de la regulación del flujo del agua para los bosques tropicales es de 19 USD/ha y de 4 660 USD/ha para humedales (Coates et al., 2013). Previamente Costanza *et al.* (1997) calcularon, con base en estudios previamente publicados y con cálculos propios, el valor anual por hectárea de los humedales como proveedores de alimentos. El valor estimado a nivel mundial fue de 84.5 miles de millones de dólares, en contraste con los 75.6 miles de millones que produce un área de cultivo de un tamaño cuatro veces mayor que la de los humedales.

Por otro lado, el derecho humano al agua potable, así como al saneamiento de la misma y a la alimentación están estrechamente vinculados entre sí. Es fundamental el acceso a agua con buena calidad para alcanzar y mantener la salud y una adecuada nutrición de la población. Para los productores de alimentos también es indispensable el acceso al agua, tanto para la producción en sí misma como para el ejercicio de su derecho a la alimentación (FAO, 2015b). La agenda actual de desarrollo sostenible ha planteado 17 objetivos entre los que incluye un objetivo global para los recursos hídricos. La agenda reconoce que el agua debe ser gestionada de manera sostenible para mantener el suministro para las personas como para los usos económicos. También reconoce que los Objetivos de Desarrollo Sostenible sobre reducción de la pobreza y la seguridad alimentaria, entre otros, no podrán cumplirse sin un suministro confiable de agua. Entre las metas propuestas a alcanzar en este acuerdo mundial, del cual México forma parte, se encuentran: mejorar el uso y desarrollo sostenible de los recursos hídricos; acceso universal a agua potable, saneamiento e higiene y fortalecer una gobernanza participativa, equitativa y responsable del agua (UN Water, 2014).

Aunque se reconoce la dependencia de la seguridad alimentaria de la integridad de los ecosistemas, en particular de los servicios y beneficios relacionados con el agua, la mayoría de los estudios se enfocan en la importancia de las reservas de agua para la producción alimentaria o bien en la necesidad de mejorar las tecnologías en la producción agrícola para hacer más eficiente el uso del líquido. En algunos casos se aborda también la relación de los ecosistemas con la seguridad alimentaria reconociéndolos como proveedores directos de alimentos para las comunidades (Richardson, 2010). Por lo tanto, si la seguridad alimentaria y con ello el bienestar social dependen del agua que a su vez proviene de los ecosistemas, es necesario analizar en qué medida influyen los ecosistemas en la disponibilidad de agua para su uso en el sector agrícola. En este sentido, el deterioro y pérdida de ecosistemas podría generar una situación de inseguridad alimentaria a diferentes niveles (local o nacional).

### 3. METODOLOGÍA Y RESULTADOS

Esta sección incluye tres grandes apartados. El primero, *Metodología general. Resumen* que describe las metodologías existentes tanto para el estudio de los servicios ecosistémicos como para la seguridad alimentaria y explica brevemente la metodología seguida en este estudio en sus dos niveles de análisis (nacional y regional). El segundo, *Análisis nacional* que incluye la metodología detallada y resultados del análisis nacional y finalmente el *Análisis regional* que también incluye la metodología detallada y resultados pero para Chiapas.

#### 3.1 Metodología general. Resumen

Tanto el estudio de los servicios ecosistémicos como el de la seguridad alimentaria cuentan con marcos conceptuales y metodologías propuestas para su análisis, que aunque siguen mejorándose, son ampliamente utilizados. En este contexto, muchas de las principales preguntas de investigación en servicios ecosistémicos incluyen el cómo integrar información ecológica y social en el análisis (Martínez *et al.*, 2009). En este trabajo, uno de los principales retos fue la integración y propuesta de una metodología que involucrara de manera simultánea el estudio de los servicios ecosistémicos, en particular los hídricos, y su relación con la producción agrícola y la seguridad alimentaria. No existe una metodología propuesta para realizar un análisis de este tipo pero sí hay diversos estudios que recurren a varios de los elementos de análisis empleados en el presente trabajo.

Diversos autores emplean, para el estudio de los servicios ecosistémicos, los análisis factoriales de componentes principales (ACP) o los de clasificación jerárquica como los dendrogramas para reducir el número de variables a partir de un conjunto inicial grande y para encontrar posibles grupos de variables relacionadas que permitan explicar ciertos comportamientos. A continuación se presentan algunos ejemplos. Raudsepp-Hearne y colaboradores (2010) identificaron grupos de servicios ecosistémicos que pudieron vincular a determinadas áreas del paisaje caracterizadas por distintas dinámicas socio-ecológicas e identificaron grupos de municipios con servicios ecosistémicos similares en Quebec, Canadá. Por otro lado, Martínez *et al.*, (2009) encontraron que tanto la diversidad de especies, como la diversidad de formas de crecimiento son muy diferentes en cada tipo de uso de suelo y que disminuyen junto con la calidad del agua en aquellas zonas con cambio de uso de suelo. García-Nieto *et al.*, (2013) hallaron que, en las Montañas Nevadas de España, existen grupos de servicios ecosistémicos consistentes en términos de oferta como de demanda y que los servicios de extracción o demanda están estrechamente relacionados con áreas sin estrategias de conservación.

Por otro lado, cuando se trata de cuantificar el agua de una región se recurre al cálculo de balances hídricos, que aunque son aproximaciones sencillas, que pueden mejorarse y hacerse más complejas sus ventajas radican precisamente en lo relativamente práctico de su cálculo por incluir pocas variables (precipitación, escurrimientos superficiales, infiltraciones y evapotranspiración). Existen numerosos estudios en los que se han calculado los balances hídricos de regiones o cuencas hidrográficas o bien que recomiendan su uso con estos fines. Entre ellos pueden mencionarse el cálculo de balances hídricos en la zona del Área Natural Protegida del Bosque de la Primavera, México (González, 2011), Cuenca del Río San Cristóbal en Bogotá (De las Salas y Olmos, 2000), Cuenca del Alto Atoyac, México (Abdias y Castillo, 2007) y El Mojar en Baja California, México (Toro-Guerrero, et al., 2014), sólo por citar algunos. Existen además diversos documentos técnicos que sugieren el uso de esta herramienta analítica para la evaluación de los recursos hídricos (Aparicio *et al.*, 2006).

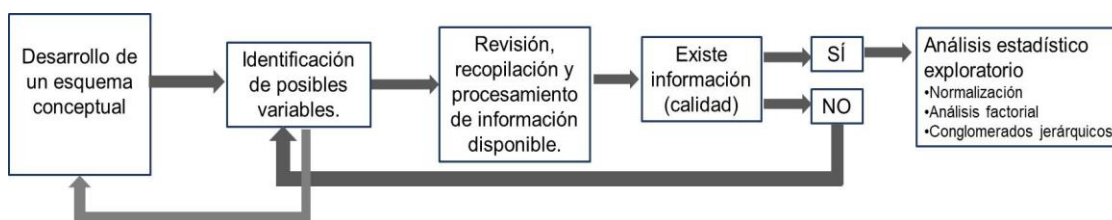
Por otro lado, en el caso de la seguridad alimentaria, su análisis se aborda desde diversas propuestas, está la de la FAO que propone un conjunto de indicadores con base en las dimensiones de la seguridad alimentaria, así como el desarrollo de una escala de seguridad alimentaria basada en encuestas que captan la percepción de las personas (FAO 2012 y 2016). En México, se ha retomado y adaptado al contexto nacional la propuesta de la FAO, se emplea, además de los indicadores, la Escala Mexicana de Seguridad Alimentaria (EMSA), adaptada de la Escala Latinoamericana y del Caribe de la Seguridad Alimentaria (ELCSA, propuesta por la FAO) (Coneval, 2010; Vega *et al.*, 2014). No obstante, también existen aproximaciones desde las ciencias sociales que analizan la situación de seguridad alimentaria, su relación con la pobreza y el éxito o fracaso de los programas gubernamentales para reducir la inseguridad alimentaria. Ejemplos de ello, se encuentran en diversos estudios de González R. M. (2012), Villafuerte Solís (2015), quienes analizan la crisis del campo y como se relaciona con la pobreza, condiciones de vulnerabilidad y sus consecuencias, entre ellas la seguridad y soberanía alimentarias.

Con todos estos elementos de la revisión de metodologías existentes, el siguiente paso consistió en plantear una metodología, específica para este trabajo, que permitiera abordar el tema de estudio de manera integrada. Se trabajó con un año de datos, 2010 que fue el año para el que hubo más información y se abordaron dos escalas de análisis: nacional (con desagregación estatal) y regional en Chiapas (con desagregación municipal). Cabe señalar que la decisión de que el análisis regional se realizara para Chiapas se derivó de los resultados del análisis nacional. La desagregación estatal de los datos, para la aproximación nacional, derivó en gran medida de la disponibilidad de información y se prefirió por la facilidad de su manejo. En el caso regional, la disponibilidad de información también fue crucial para decidir emplear los municipios, ya que la mayoría de las variables

no se producen de manera sistemática para todo el estado a nivel localidad y mucho menos a escalas menores. Otro punto importante, es que en ambos casos, tanto los estados como los municipios son unidades administrativas para las que se genera información pero también en las que se toman decisiones de política pública por lo que los resultados del estudio pueden ser más útiles en esas escalas.

Aquí se describe a grandes rasgos la metodología seguida tanto a nivel nacional como a nivel regional pero en las siguientes páginas de este trabajo se incluyen dos apartados que detallan por un lado el análisis nacional y por otro el regional en Chiapas, cada uno con su metodología y resultados. Esto se presenta así para facilitar la lectura y documentar el proceso que siguió este trabajo, ya que primero se realizó el análisis nacional y sus resultados fueron una guía para el análisis regional, que aunque no incluye exactamente las mismas variables que resultaron relevantes en el nacional, sí retoma los grandes temas que resultaron significativos.

La Figura 2 presenta a manera de resumen la metodología empleada en el análisis a nivel nacional con desagregación estatal. A grandes rasgos, incluyó el desarrollo y propuesta de un esquema conceptual en el que se identificaron las relaciones entre el agua proveniente de los ecosistemas, los cuales funcionan como captadores y almacenadores de agua en el ciclo hidrológico, con la producción agrícola y su influencia en la seguridad alimentaria y el bienestar social. La metodología incluyó como siguiente paso la identificación y recopilación de variables que permitieron documentar esas relaciones, así como el análisis exploratorio realizado posteriormente. Esta metodología y los pasos seguidos en cada una de sus etapas se explican con detalle en el apartado *Análisis nacional*.



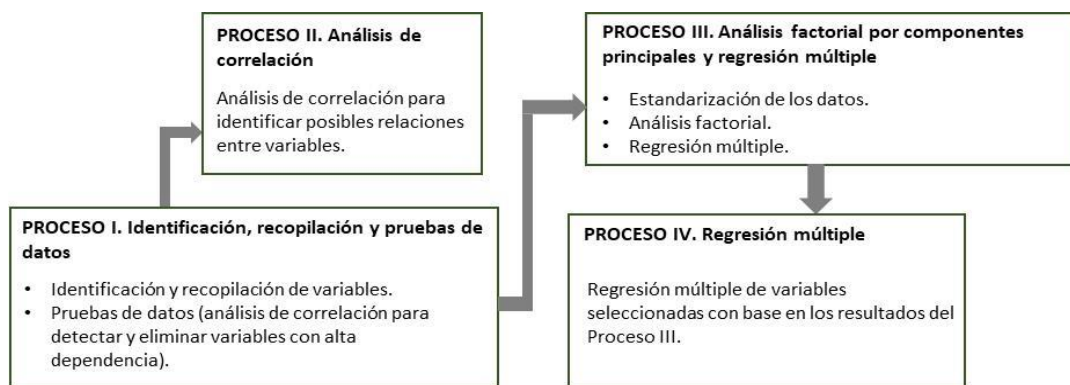
**Figura 2. Diagrama resumen de la metodología para el análisis nacional**

Como se verá, en el *Análisis nacional*, el desarrollo del esquema conceptual fue el punto de partida para el análisis y la construcción de una base de datos. El esquema conceptual constituye una propuesta de integración de los temas y las diferentes metodologías propuestas para su análisis. No obstante es importante mencionar que dado que no existe una metodología para abordar un estudio de este tipo y que las ciencias de la sostenibilidad, desde donde se realiza este trabajo, precisamente buscan generar nuevas formas de aproximación y nuevas epistemologías para el estudio de problemas



complejos, en este trabajo se plantea una propuesta metodológica integral basada en la revisión de los métodos ya existentes, probados y empleados en los diferentes temas, objeto de este trabajo, pero unidos bajo un esquema de flujos y reservas que se explican en la aproximación nacional.

Por otro lado, con base en los resultados del análisis nacional se escogió a Chiapas para realizar el análisis regional con desagregación municipal. Además, los temas y variables que resultaron relevantes en el nivel nacional guiaron la búsqueda de variables para el regional aunque no son exactamente las mismas variables en ambas escalas de análisis. La Figura 3 muestra un resumen de la metodología seguida para Chiapas, la cual incluye cuatro procesos. Proceso I Identificación, recopilación y pruebas de datos: durante éste se construyó la base de datos y se eliminaron variables con alta dependencia. Proceso II Análisis de correlación para detectar posibles relaciones entre variables. Proceso III Análisis factorial por componentes principales y regresión múltiple: incluye la estandarización de los datos para hacerlos comparables, ya que se reportan en unidades diferentes y un análisis factorial para reducir el número de variables, así como para encontrar grupos de variables más relevantes para el tema de estudio y con la regresión múltiple posibles relaciones significativa entre ellas. Finalmente, en el Proceso IV se realizaron regresiones múltiples entre variables derivadas del Proceso III. Sin embargo, como se explica en el *Análisis regional*, para Chiapas adicionalmente se calculó un balance hídrico y se propone un indicador que refleja el cambio en la disponibilidad de agua debido al cambio de uso del suelo entre dos años (2002 y 2011). Cada uno de estos procesos es explicado a profundidad en la sección *Análisis regional*.



**Figura 3. Diagrama resumen de la metodología para el análisis regional (Chiapas)**

## 3.2 ANÁLISIS NACIONAL

### Introducción

La ubicación geográfica y la topografía de México permiten que confluyan diversos climas y con ellos se generan las condiciones necesarias para la presencia de numerosos ecosistemas y con ello una gran biodiversidad. Esto coloca al país, junto con Brasil y Colombia, como uno de los países de Latinoamérica con mayor diversidad de ecosistemas (Semarnat, 2016). En lo que respecta a la diversidad de especies, México se ubica entre los primeros lugares a nivel mundial en riqueza para algunos grupos taxonómicos: segundo lugar en reptiles, tercero en mamíferos, quinto en plantas y sexto en anfibios (Semarnat, 2016). Esta gran diversidad genera servicios y beneficios ecosistémicos de los que depende el bienestar social, en particular la seguridad alimentaria factor de interés en este estudio. Sin embargo, como se mencionó en secciones anteriores los ecosistemas y sus servicios se enfrentan a diversos elementos de presión que generan su pérdida y deterioro.

En nuestro país, en el 2014, poco más del 46% de la población vivía en condiciones de pobreza (55.3 millones de personas), dentro de la cual 9.5% en pobreza extrema (11.4 millones) y 20.5% en pobreza alimentaria (Coneval, 2015). La desigualdad continúa siendo uno de los rasgos distintivos de la población mexicana: el coeficiente de Gini<sup>4</sup>, en 2014, fue de 0.503 (Coneval, 2015). El Índice de Desarrollo Humano<sup>5</sup> (IDH), en el año 2012, fue de 0.745, cuyo valor posiciona al país entre los países de alto desarrollo humano. Sin embargo, los contrastes al interior del país son dramáticos. Por ejemplo, la Ciudad de México reportó en 2012 el IDH más alto a nivel nacional (0.831), seguida por Nuevo León (0.789) y Sonora (0.779), lo que los ubica como estados con un alto desarrollo humano (PNUD-México, 2015). En contraste, en el mismo año, Chiapas (0.667), Guerrero (0.679) y Oaxaca (0.681) reportaron los valores más bajos considerados como IDH medio (PNUD-México, 2015). A nivel municipal, los contrastes son más evidentes. En el año 2010, se registraron municipios con valores muy altos, parecidos a los registrados en los países más desarrollados del mundo (por ejemplo, la delegación Benito Juárez, de la Ciudad de México, presentó el mismo valor que Suiza en 2013: 0.917). En contraste, municipios con los niveles más bajos de IDH (por ejemplo, Cochoapa el Grande, en Guerrero; San Miguel Santa Flor, San Simón Zahuatlán y Santa Ana Ateixtlahuaca, en Oaxaca), presentaron

---

<sup>4</sup> Este índice mide la desigualdad en la distribución del ingreso de la población y toma valores que van de 0 a 1; mientras más cercano sea el valor del coeficiente a 1, mayor desigualdad existe (Coneval, 2012).

<sup>5</sup> Índice que mide el desarrollo de la población en tres aspectos: salud, educación e ingreso. Adquiere valores entre 0 y 1; mientras más cercano a 1 sea el valor del índice hay una mejor condición de desarrollo (PNUD-México, 2015).

valores menores a 0.4, muy parecidos a los registrados en países del África subsahariana (Semarnat, 2016).

En lo que se refiere a los indicadores de seguridad alimentaria, en México en el año 2010, 55.7% de la población (63.8 millones de personas) se encontraban en condiciones consideradas como de seguridad alimentaria. Sin embargo, 44.3% de la población, es decir 50.7 millones de personas se encontraban en algún nivel de inseguridad alimentaria (19.5% leve, 14% moderada y 10.8% severa). Sacar a poco más de 50 millones de personas de una situación de inseguridad alimentaria requiere un enorme esfuerzo, pero acompañado de un amplio conocimiento de los factores que los están llevando o manteniendo en esa situación. Por ello, este estudio busca contribuir con la generación de dicho conocimiento, primero a través de un análisis a nivel nacional, que se presenta en esta sección, y posteriormente a nivel regional.

## **Metodología. Evaluación nacional**

En este apartado se explican a detalle todas las etapas de la metodología empleada para el análisis nacional, realizado para las 32 entidades federativas. Como primer paso se desarrolló un esquema conceptual para identificar flujos y reservas de agua. Con base en esta propuesta se identificaron y recopilaron variables que permitieran realizar una evaluación del sistema, posteriormente, se realizó un análisis estadístico exploratorio que incluyó la estandarización de los datos, un análisis factorial para reducción de variables (análisis de componentes principales) y uno de conglomerados jerárquicos (dendrogramas). En los siguientes párrafos se explican a detalle estas fases de la metodología.

### ***Desarrollo de esquema conceptual e identificación de flujos y reservas***

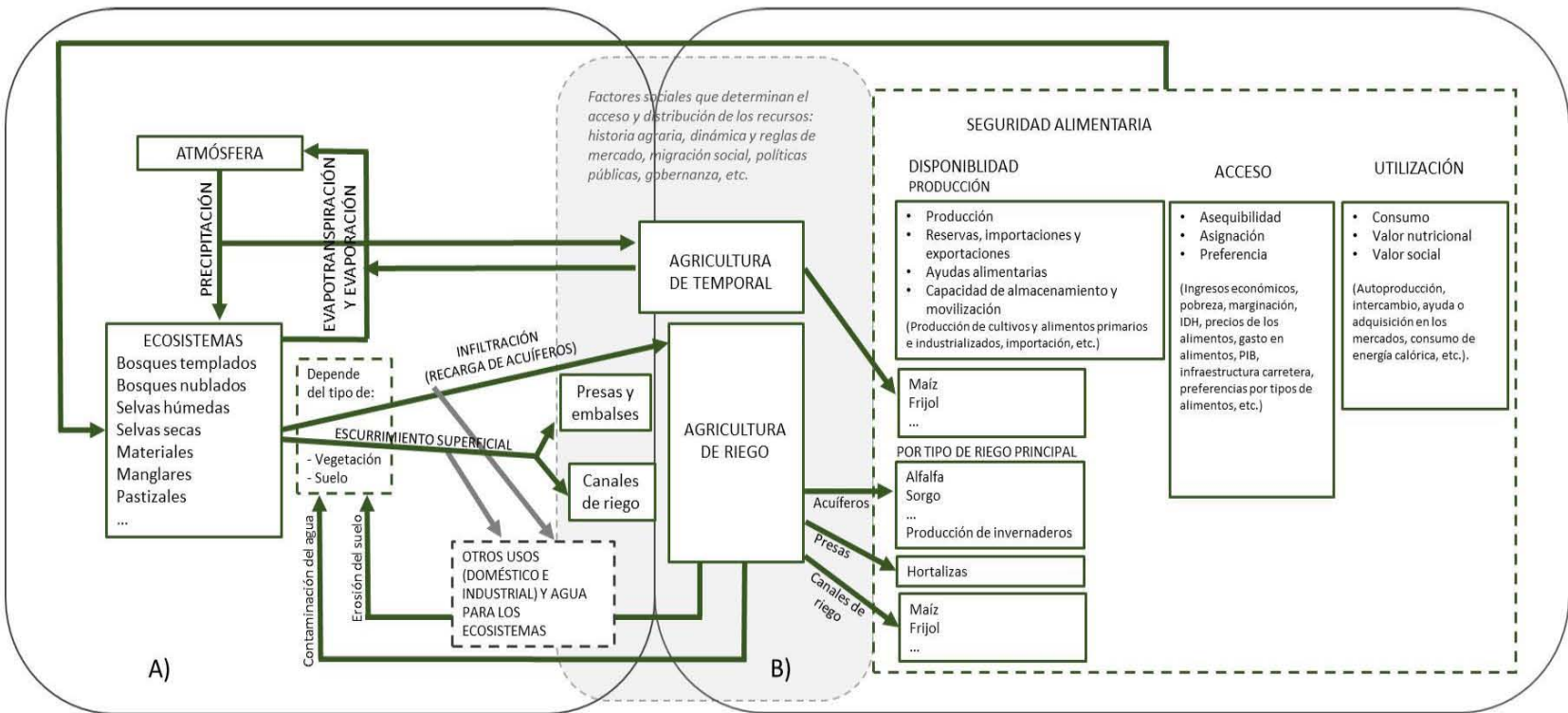
Con base en la literatura existente sobre el ciclo hidrológico, servicios ecosistémicos, producción agrícola y seguridad alimentaria, se construyó un esquema conceptual sobre la relación entre el agua proveniente de los ecosistemas, la producción agrícola y su impacto en la seguridad alimentaria y bienestar social. El desarrollo de este esquema conceptual retomó el marco del Análisis de Flujo de Materiales (AFM; CCA, 2003; WRI, 2005) con algunas adaptaciones para la problemática planteada. El AFM es una herramienta que se usa para documentar, caracterizar y cuantificar los flujos y reservas físicas de materiales en la economía (CCA, 2003; WRI, 2005). El AFM se emplea en el análisis de la eficiencia en el uso de recursos para así vincular el uso con los posibles impactos en el ambiente y la salud humana (CCA, 2003). Existen numerosos y diversos ejemplos en los que se emplea esta metodología como son el cálculo de flujo de agua en diferentes procesos industriales

como el empaquetado de leche, jugos y vinos; o bien se usa para el cálculo de pérdidas de metal por cortes en fábricas de marcos para ventanas; también se emplea en la industria de la construcción y en el análisis del consumo de materiales y energía para la generación de diversos productos para evaluar así su impacto ambiental, sólo por mencionar algunos ejemplos (ONUDI, 2017). Para este estudio, se empleó el planteamiento conceptual del AFM, precisamente porque esta herramienta es útil para los objetivos de este trabajo, ya que propone plantear el problema a analizar a partir de una visión de flujos y reservas, así como las relaciones entre ellos. Es importante mencionar que se empleó sólo el enfoque de planteamiento del problema y no así la metodología de análisis, ya que esta se basa en un balance de masa de materiales y en este estudio hay diversas variables tanto ambientales como socioeconómicas que no son medibles en esos términos. Tanto los elementos del esquema conceptual como las variables identificadas fueron ajustados a lo largo del proyecto dependiendo de su relevancia y de la disponibilidad y calidad de la información.

La construcción del esquema conceptual que se propone en este trabajo se logró a partir de la revisión bibliográfica sobre las relaciones entre los ecosistemas, los flujos de agua, la producción agrícola y el concepto de seguridad alimentaria. El esquema conceptual señala los flujos (flechas) y las reservas (rectángulos) involucrados en estas relaciones (Figura 4). Este esquema muestra el flujo de los recursos hídricos desde la precipitación hacia los ecosistemas, su infiltración, evaporación, evapotranspiración y escurrimiento hacia fuentes subterráneas (acuíferos) y superficiales (ríos, lagos, etc). Una parte del agua sigue su curso hacia la producción agrícola de temporal a través de las precipitaciones o bien hacia la producción de riego para los cultivos dependientes de esta práctica agrícola. La seguridad alimentaria depende, en parte, de los flujos anteriores y se mide a partir de la disponibilidad de alimentos, asociada entre otros factores a la producción agrícola, a las importaciones y exportaciones de alimentos y materias primas; el acceso, relacionado con la asequibilidad, asignación y preferencia de los alimentos en los que factores como la pobreza y la desigualdad social son determinantes; y la utilización, asociada al consumo, valor nutricional y social.

El ciclo de relaciones no se cierra ahí, ya que la seguridad alimentaria a su vez tiene influencia sobre los ecosistemas, ya que de ellos se extraen alimentos y materias primas. No obstante, el uso que se hace de los ecosistemas y el acceso y distribución de los recursos está determinado por aspectos sociales relacionados con las condiciones socioeconómicas de las poblaciones, las políticas públicas, la historia agraria, las dinámicas de mercado y la tenencia de la tierra, sólo por citar algunos ejemplos. Además, es fundamental reconocer que, en las relaciones que se analizan en este trabajo, en particular las que van desde la agricultura, incluyendo la distribución y uso del agua, hasta la seguridad alimentaria y el mismo uso de los ecosistemas, influyen todos esos factores

(Figura 4). Por ejemplo, la historia agraria que configura regiones y paisajes y define aspectos relacionados con la tenencia de la tierra, produce diferencias en el acceso a los recursos; las familias que no cuentan con terrenos no sólo deben pagar para habitar una vivienda sino que su acceso a los recursos en general o por ejemplo al uso de canales de riego puede verse limitado. Otro elemento importante es la dinámica y estructura de mercado; los precios de los alimentos están dados, en principio, con base en la oferta y la demanda pero factores como el acaparamiento o especulación influyen de manera significativa en ellos. En el caso del agua para riego, no siempre se da acceso y se distribuye equitativamente, ya que las concesiones de agua, los permisos para el uso de los canales de riego o la decisión de dónde se construyen presas y cómo se distribuye el agua, pueden ser monopolizados por algunos grupos. En este trabajo se reconoce la existencia e importancia de todos estos elementos que influyen en los flujos presentados en el esquema conceptual. Sin embargo, con el fin de facilitar el análisis se supondrá que existe un acceso y una distribución equitativa de los recursos, incluida el agua. No se pretende restar importancia a estos elementos, que son fundamentales en el análisis, pero para esta primera aproximación desde los servicios ecosistémicos hídricos y su influencia sobre la seguridad alimentaria no se incluirán.



**Figura 4. Esquema conceptual de los flujos y reservas de agua provenientes de los ecosistemas y su relación con la producción agrícola y la seguridad alimentaria**

Nota: las flechas se refieren a flujos y los recuadros a reservas. A) Aportación de este trabajo; B) Elaboración propia. Con base en: Ordoñez. 2011; Ericksen, 2008; Coneval, 2010; Richardson, 2010.

### **Identificación y documentación de variables**

Con base en el esquema conceptual propuesto se identificaron variables potenciales que permitan realizar una evaluación sobre la relación de los flujos y reservas de agua provenientes de los ecosistemas en la producción agrícola y su impacto en la seguridad alimentaria. Posteriormente se realizó una revisión exhaustiva en bases de datos existentes en diversas fuentes (Tabla 1). Se determinó la existencia de información estadística para numerosas variables relacionadas con el tema pero la revisión y selección de la información implicó que se dejaran fuera del análisis aquellas variables que no cumplieran con criterios de suficiencia de información. Estos criterios se definieron en este trabajo como: disponibilidad de la información con desagregación estatal, o que existencia de información para todos los estados, que las fuentes de información fueran confiables y que reportaran claramente metodologías y fuentes para su generación. Como resultado de esta revisión y recopilación de información se recabaron 40 variables y para cada una de ellas se obtuvo registro de las 32 entidades federativas del país.

**Tabla 1. Bases de datos empleadas para la documentación de variables para el año 2010**

<b>Base de datos</b>	<b>Fuente</b>
<p>Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Base de Datos Estadísticos del SNIARN. Disponible en: <a href="http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia_mce/html/mce_index.html">http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia_mce/html/mce_index.html</a></li> <li>- Indicadores Básicos del Desempeño Ambiental en México. Disponible en: <a href="http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/indicadores16/index.html">http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/indicadores16/index.html</a></li> <li>- Conjunto de Indicadores de Crecimiento Verde. Disponible en: <a href="http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/indicadores_verdes16/">http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/indicadores_verdes16/</a></li> </ul>	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en: <a href="https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119">https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119</a>	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
Medición de la Pobreza. Anexo Estadístico de Medición de la Pobreza. Disponible en: <a href="http://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/AE_pobreza_2014.aspx">http://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/AE_pobreza_2014.aspx</a>	Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social
Encuestas en hogares. Disponibles en: <a href="http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/encuestas/hogares/default.aspx">http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/encuestas/hogares/default.aspx</a>	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares</li> <li>- Encuesta Nacional de Gastos de los Hogares</li> <li>- Módulo de Condiciones Socioeconómicas</li> </ul>	
Sistema de Información de los Objetivos de Desarrollo del Milenio. Disponible en: <a href="http://www.objetivosdesarrollodelmilenio.org.mx/">http://www.objetivosdesarrollodelmilenio.org.mx/</a>	Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Gobierno de la República

De las 40 variables que sí cumplieron con los criterios antes mencionados, la disponibilidad temporal de los datos fue diversa, sin embargo el año más reciente para el que hubo información para todas las variables y todas las entidades federativas del país fue el 2010. Por esta razón, la información con excepción de los datos de vegetación y uso del suelo del INEGI (Serie V) que corresponden a 2011, ya que aunque existen datos para diversos años (1976 –con imágenes de varios años de la década de los setentas-, 1993, 2002, 2007 y 2011) el más cercano a 2010 es el 2011. Por otro lado, el único año para el que se consiguió información sobre erosión y degradación de los suelos fue el año 2002. La Tabla 2 incluye la lista completa de las variables analizadas.



**Tabla 2. Variables y fuentes de información para el análisis nacional por entidad federativa**

Clave de la variable	Nombre de la variable	Fuente
VN2011	Superficie de vegetación natural remanente, 2011 (porcentaje)	INEGI. 2013. Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie V (2011), escala 1: 250 000. INEGI. México. Disponible en: <a href="http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/">www.conabio.gob.mx/informacion/gis/</a> , <a href="http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recreat/usuarios/Default.aspx">http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recreat/usuarios/Default.aspx</a> .
ErosH	Superficie con erosión hídrica, 2002 (porcentaje)	Semarnat. Dirección General de Estadística e Información Ambiental. Con base en: Semarnat-Colegio de Postgraduados, Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana. Escala 1:250,000. Memoria Nacional 2001-2002, Semarnat-Colegio de Postgraduados, México.
ErosEol	Superficie con erosión eólica, 2002 (porcentaje)	
DegQuim	Superficie con degradación química, 2002 (porcentaje)	
DegFis	Superficie con degradación física, 2002 (porcentaje)	
pp	Precipitación media histórica, 2010 (milímetros)	Semarnat. Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales. Con datos de: Comisión Nacional del Agua, Unidad del Servicio Meteorológico Nacional, Septiembre, 2014. Disponible en: <a href="http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia_mce/html/mce_index.html">http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia_mce/html/mce_index.html</a>
VolAlmPre	Presas principales. Volumen de almacenamiento; 2010 (hectómetros cúbicos)	Semarnat. Indicadores Básicos del Desempeño Ambiental en México. Con datos de: Conagua, Semarnat. Estadísticas del Agua en México. Edición 2010. Disponible en: <a href="http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/indicadores16/index.html">http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/indicadores16/index.html</a>
VolSup	Volumen concesionado; abastecimiento superficial; 2010 (hectómetros cúbicos)	Semarnat. Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales. Con datos de: Conagua, Semarnat. Estadísticas del Agua en México. Edición 2010. Disponible en: <a href="http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia_mce/html/mce_index.html">http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia_mce/html/mce_index.html</a>
VolSubt	Volumen concesionado; abastecimiento subterráneo; 2010 (hectómetros cúbicos)	
VolConT	Volumen concesionado total; 2010 (hectómetros cúbicos)	
AgPotNR	Proporción de la población con acceso sostenible a fuentes mejoradas de abastecimiento de agua; no rural, 2010 (porcentaje)	
AgPotR	Proporción de la población con acceso sostenible a fuentes mejoradas de abastecimiento de agua; rural, 2010 (porcentaje)	Semarnat. Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales. Con datos de: Conagua, Semarnat. Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Edición 2010. Disponible en: <a href="http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia_mce/html/mce_index.html">http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia_mce/html/mce_index.html</a>
AgPotT	Proporción de la población con acceso sostenible a fuentes mejoradas de abastecimiento de agua; total, 2010 (porcentaje)	
SanBasNR	Proporción de la población con acceso a servicios de saneamiento mejorados; no rural, 2010 (porcentaje)	
SanBasR	Proporción de la población con acceso a servicios de saneamiento mejorados; rural, 2010 (porcentaje)	
SanBasT	Proporción de la población con acceso a servicios de saneamiento mejorados; total, 2010 (porcentaje)	
TratAR	Tratamiento de aguas residuales (tratado/generado), 2010 (porcentaje)	Semarnat. Indicadores Básicos del Desempeño Ambiental en México. Con datos de: Conagua, Semarnat. Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Edición 2010.
SupRgoS	Superficie de riego sembrada, 2010 (hectáreas)	SIACON. 2014. Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). México. Disponible en: <a href="https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119">https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119</a>
SupRgoC	Superficie de riego cosechada, 2010 (hectáreas)	
SupTmpS	Superficie de temporal sembrada, 2010 (hectáreas)	
SupTmpC	Superficie de temporal cosechada; 2010 (hectáreas)	
VolPrdTmp	Volumen de la producción temporal, 2010 (toneladas)	
VIPrdRgo	Volumen de la producción de riego, 2010 (toneladas)	
ValPrdTm	Valor de la producción temporal, 2010 (\$)	
ValPrR	Valor de la producción de riego, 2010 (\$)	
Pobl	Población, 2010 (número de habitantes)	CONAPO. Proyecciones de la población de México 1990-2010 y 2010-2050. Conciliación Demográfica.
HPobrAli	Población en pobreza alimentaria, 2010 (porcentaje)	Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Gobierno de la República. Sistema de Información de los Objetivos de Desarrollo del Milenio. Con datos de: CONEVAL. Estimaciones del CONEVAL con base en el MCS-ENIGH 2010 y la muestra del Censo de Población y Vivienda 2010. Disponible en: <a href="http://www.objetivosdesarrollodelmilenio.org.mx/">http://www.objetivosdesarrollodelmilenio.org.mx/</a>
UsoLena	Ocupantes de viviendas que usan leña o carbón para cocinar, 2010 (porcentaje)	Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Gobierno de la República. Sistema de Información de los Objetivos de Desarrollo del Milenio. Con datos de: CONEVAL. Estimaciones del CONEVAL con información de INEGI. MCS-ENIGH 2010. Disponible en: <a href="http://www.objetivosdesarrollodelmilenio.org.mx/">http://www.objetivosdesarrollodelmilenio.org.mx/</a>
PobExtr	Pobreza extrema, 2010 (porcentaje)	Estimaciones del CONEVAL con base en el MCS-ENIGH 2010 y la muestra del Censo de Población y Vivienda 2010.
Gini	Coefficiente de Gini, 2010	Estimaciones del CONEVAL con base en el MCS-ENIGH 2010 y la muestra del Censo de Población y Vivienda 2010. Sección Anexo estadístico de medición de la pobreza.
IDH	Índice de Desarrollo Humano, 2010	PNUD México. Cálculos de la Oficina de Investigación en Desarrollo Humano (OIDH). 2014. Índice de desarrollo humano municipal en México: nueva metodología. PNUD México.
Imarg	Índice absoluto de marginación, 2010	Conapo. Estimaciones del CONAPO con base en el INEGI, Censo de Población y Vivienda 2010.
Camino	Carreteras revestidas y pavimentadas, 2010 (porcentaje)	Secretaría de Comunicaciones y Transporte, Anuario Estadístico Sector Comunicaciones y Transporte [años 2002-2012], SCT, México, Ediciones 2003-2012.
PIB	PIB estatal per cápita, 2010 (pesos per cápita)	Inegi. 2015. PIB - Entidad Federativa, anual. Disponible en: <a href="http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/pibe/tabulados.aspx">http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/pibe/tabulados.aspx</a>
CarAlim	Carencia por acceso a la alimentación, 2010 (porcentaje)	Estimaciones del CONEVAL con base en el MCS-ENIGH 2010 y la muestra del Censo de Población y Vivienda 2010.
SegAlim	Seguridad alimentaria, 2010 (porcentaje)	Coneval. Medición de la Pobreza, Estados Unidos Mexicanos, 2010 - 2014. Disponible en: <a href="http://www.coneval.gob.mx/Medicion/MP/Paginas/AE_pobreza_2014.aspx">http://www.coneval.gob.mx/Medicion/MP/Paginas/AE_pobreza_2014.aspx</a>
InsAlLe	Inseguridad alimentaria leve, 2010 (porcentaje)	
InsAlMod	Inseguridad alimentaria moderada, 2010 (porcentaje)	
InsAlFu	Inseguridad alimentaria severa, 2010 (porcentaje)	
GAlimB	Gasto en alimentos y bebidas no alcohólicas respecto al gasto total (porcentaje)	INEGI. Encuesta Nacional de Gastos de los Hogares 2010. Tabulados básicos. Disponible en: <a href="http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/enchogares/modulos/mcs/2010/default.html">http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/enchogares/modulos/mcs/2010/default.html</a>

### **Análisis estadístico exploratorio**

El análisis estadístico de la información se llevó a cabo mediante dos métodos con el fin de robustecer los resultados e interpretaciones, por medio del programa SPSS versión 20. Se emplearon dos métodos de normalización de datos y en ambos se usó un análisis factorial de componentes principales, ya que como se describe en la sección de *Metodología general*, se eligió este tipo de análisis con base en estudios previos revisados sobre servicios ecosistémicos. Se decidió emplear estos dos métodos que tienen como variante la forma de estandarizar los datos y el número de componentes a analizar con el fin de compararlos y obtener el que explicara la mayor parte de la varianza de los datos. En la Tabla 3 se muestran las diferencias entre ambos métodos y en los siguientes párrafos se detallan cada uno de los pasos seguidos.

**Tabla 3. Métodos empleados para el análisis de los datos**

	<b>Método 1</b>	<b>Método 2</b>
Normalización	Mínimo y máximo $Z = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$	Centro reducción $z = (X_i - \bar{X}) / \sigma$
Análisis multivariado para reducción de variables	Análisis de componentes principales: 3 componentes rotados (59% de la varianza)	Análisis de componentes principales : 5 componentes rotados (72% de la varianza)
Conglomerados jerárquicos	Construcción de dendrogramas para: Variables Estados	

#### *Normalización o transformación de las variables*

Dado que las variables recopiladas tienen unidades de medición diferentes (p. e. porcentaje, hectáreas, hectómetros cúbicos, número de personas, etc.), se realizó la normalización o transformación de los datos para hacerlos comparables. Con dicha normalización, los datos de las variables se transformaron a una escala de las mismas proporciones. El primer método de normalización de las variables se realizó usando los valores máximos y mínimos reportados para cada variable, por lo que los datos se transformaron a una escala de entre 0 y 1 (Tabla 3). En el segundo método se empleó la técnica llamada centro reducción que usa el promedio y la desviación estándar de cada conjunto de datos. Esta transformación de los datos permite “...expresar una variable en función de cuántas veces (en unidades dadas por la desviación típica) un valor dado está por encima o por debajo de la media” (Cubero y Berzal, 2016, pp. 28).

### *Análisis factorial*

Dado que la relación entre servicios ecosistémicos hídricos, producción agrícola y seguridad alimentaria involucra un gran número de variables (hasta esta fase del análisis se contaba con 40 variables), como siguiente paso se redujo su número mediante un análisis multivariado. El análisis tiene precisamente como uno de sus objetivos reducir la dimensión o número de variables. El método elegido dentro de las opciones de este tipo de análisis fue el Análisis de Componentes Principales (ACP); herramienta estadística exploratoria que facilita la descripción e interpretación de los datos. De acuerdo con Peña (2002, pp. 137) el análisis de componentes principales tiene como objetivo que “...*dadas n observaciones de p variables, se analiza si es posible representar adecuadamente esta información con un número menor de variables construidas como combinaciones lineales de las originales*”.

Cuando se cuenta con variables con elevada dependencia es probable que un número pequeño de variables nuevas (menos del 20% de las originales) expliquen la mayor parte (más del 80%) de la variabilidad original (Peña, 2002). Con este método se reduce el conjunto original de variables, que miden información común, a nuevas variables derivadas conocidas como *Componentes Principales*, que no tienen repetición o redundancia de la información, facilitando con ello la interpretación de los datos (Abdi, Williams, 2010; De la Fuente, 2011). Las nuevas variables obtenidas, llamadas componentes principales son “...*combinaciones lineales de las anteriores y se van construyendo según el orden de importancia en cuanto a la variabilidad total que recogen de la muestra*” (De la Fuente, 2011, pp. 1). El primer componente explica la mayor cantidad de varianza de los datos posible; es la combinación lineal de las variables originales que tenga varianza máxima. Cada componente subsecuente explica la mayor cantidad posible de la variabilidad restante de los datos (De la Fuente, 2011; Peña, 2002). Entre menor proporción de la variabilidad explicada menor capacidad explicativa del componente principal.

El ACP también representa el patrón de similitud de las observaciones y las variables al desplegarlos como puntos en un mapa (Abdi, Williams, 2010). Con ello se puede inferir un patrón o agrupación de las variables incluidas en los Componentes Principales. Con el objetivo de probar dos alternativas que permitieran captar el mayor porcentaje de la varianza, para este estudio el ACP se realizó con tres y cinco componentes principales rotados que explicaron el 59 y 72%, respectivamente, de la varianza de las variables incluidas en el análisis (Tabla 3).

### *Conglomerados jerárquicos*

Dado que el ACP no forma grupos de variables sino que la agrupación se infiere con base en el mapa de distribución de variables en los componentes, se realizó un análisis de conglomerados jerárquicos para fortalecer la interpretación. El análisis se hizo tanto para las 40 variables como para las 32 entidades federativas del país (Tabla 3). Este tipo de análisis tiene como objetivo agrupar elementos (variables u observaciones) en grupos homogéneos en función de las similitudes entre ellos (Peña, 2002). Con la clasificación jerárquica los datos se ordenan en niveles, de forma que los niveles superiores contienen a los inferiores (Peña, 2002).

Se eligió el método de Ward y distancias euclídeas al cuadrado de las variables estandarizadas. Para visualizar, en una representación gráfica, el resultado del proceso de agrupamiento se usó el dendrograma o árbol jerárquico. Las uniones entre elementos se representan por tres líneas rectas; dos de ellas dirigidas a los elementos que unen y que son perpendiculares al eje de los elementos y una paralela a este eje que se sitúa al nivel en que se unen. Estas uniones se repiten hasta que todos los elementos están conectados por líneas rectas (Peña, 2002).

## **Resultados. Evaluación nacional**

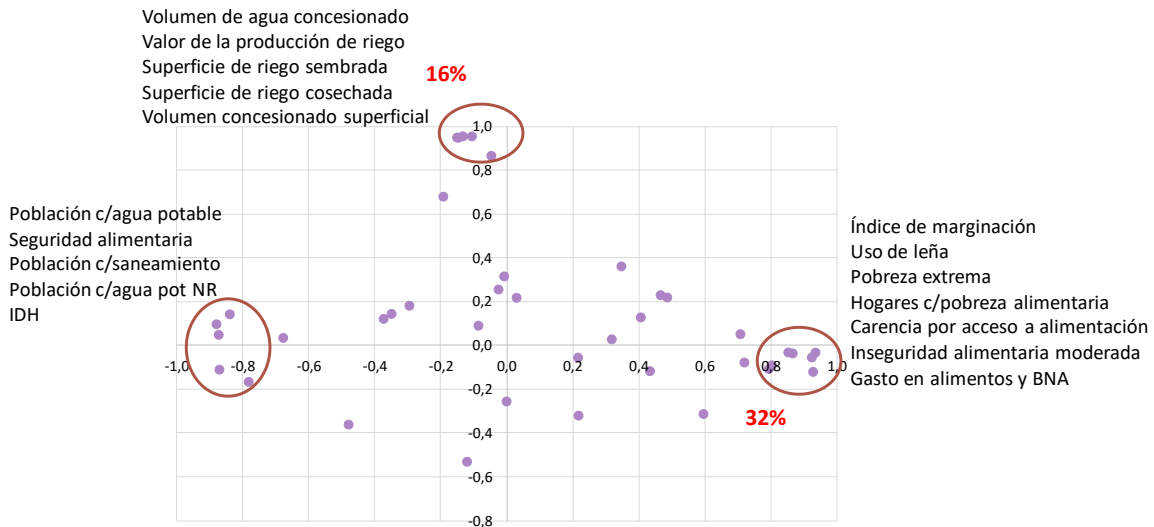
Una vez construida la base de datos y con los datos estandarizados para hacerlos comparables, se realizó el análisis estadístico de la información. A continuación se presentan los resultados de cada una de las etapas y los dos métodos empleados.

### ***Análisis factorial***

#### *Método 1. Tres componentes*

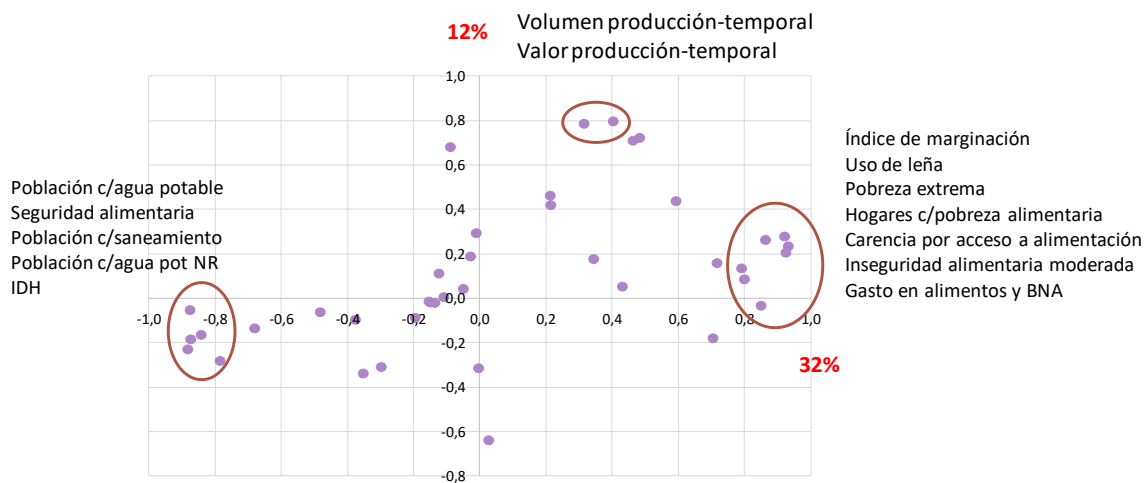
De acuerdo con el ACP, las variables que determinan la diferencia entre las entidades federativas del país son en primer lugar las socioeconómicas, de infraestructura y servicios, seguidas por las agrícolas de riego y temporal. El que las variables tomen valores positivos o negativos en los componentes indican la dirección de las relaciones, por ejemplo en el primer componente aquellos estados con altos índices de marginación, uso de leña, pobreza extrema y pobreza alimentaria (todas con valores positivos) tendrán un bajo porcentaje de población con agua potable y saneamiento, así como poca población con seguridad alimentaria y un bajo IDH. El primer componente, que explica el 31% de la varianza total de los datos, incluye variables relacionadas con aspectos socioeconómicos y de infraestructura y servicios (índice de marginación, uso de leña y carbón para cocinar, pobreza extrema, pobreza alimentaria, carencia alimentaria, inseguridad alimentaria moderada, gasto en alimentos y bebidas, población con agua potable y saneamiento, seguridad alimentaria e índice de desarrollo humano) (Figura 5). El

componente 2, con el 16% de la varianza explicada, incluye variables relacionadas con la siembra y producción agrícola de riego y el agua concesionada para la producción agrícola. El tercer componente, con el 12% de la varianza, incluye también variables relacionadas con la producción agrícola y su valor pero esta vez la de temporal (Figura 6). La varianza total explicada por los tres componentes obtenidos es de 59%.



**Figura 5. Tres componentes. Gráfica de componentes 1 y 2**

Nota: los porcentajes que aparecen junto a los ejes de las gráficas se refieren al porcentaje de varianza explicado por cada componente. Los círculos señalan las variables mencionadas junto a cada eje, las cuales tienen los mayores valores (positivos o negativos) en cada componente. IDH: Índice de Desarrollo Humano; NR: no rural; BNA: bebidas no alcohólicas. Los componentes se grafican respecto al primer componente, ya que es que explica la mayor parte de la varianza de los datos.

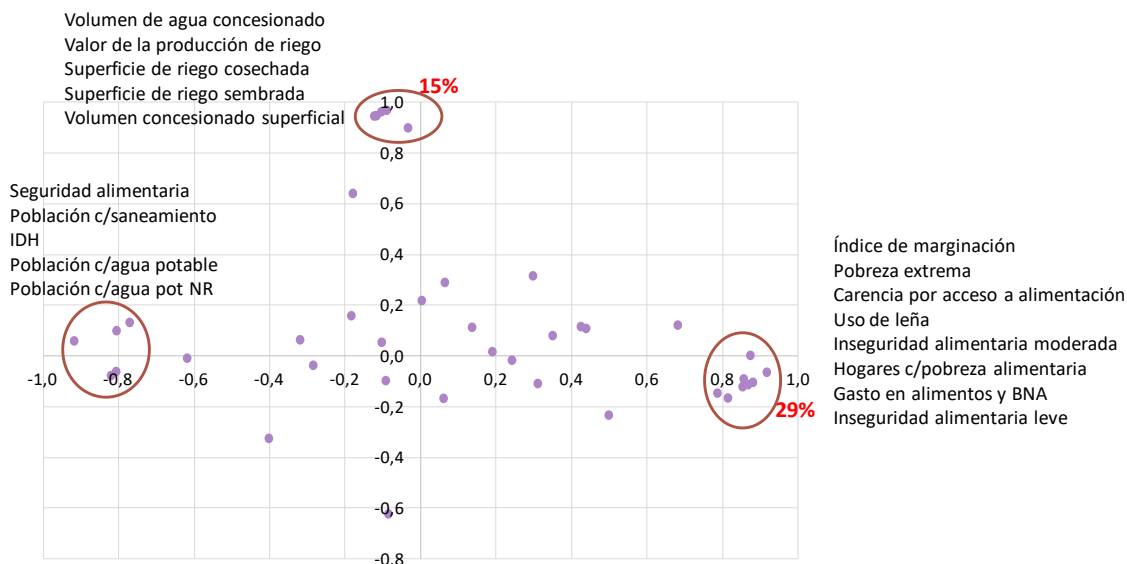


**Figura 6. Tres componentes. Gráfica de componentes 1 y 3**

Nota: los porcentajes que aparecen junto a los ejes de las gráficas se refieren al porcentaje de varianza explicado por cada componente. Los círculos señalan las variables mencionadas junto a cada eje, las cuales tienen los mayores valores (positivos o negativos) en cada componente. IDH: Índice de Desarrollo Humano; NR: no rural; BNA: bebidas no alcohólicas. Los componentes se grafican respecto al primer componente, ya que es que explica la mayor parte de la varianza de los datos.

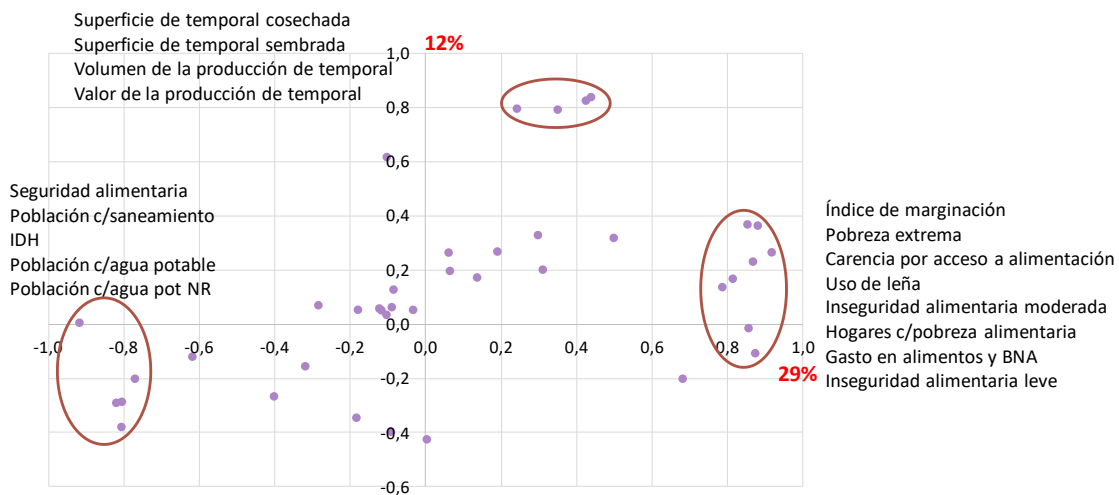
## Método 2. Cinco componentes

Al igual que con el método 1 las variables que determinan la diferencia entre estados son socioeconómicas, de infraestructura y servicios, variables agrícolas de riego y temporal. De los 5 componentes rotados, el primer componente, que explica el 29% de la varianza total de los datos, incluye variables relacionadas con aspectos socioeconómicos y de infraestructura y servicios (índice de marginación, pobreza extrema, carencia alimentaria, uso de leña y carbón para cocinar, inseguridad alimentaria moderada y leve, pobreza alimentaria, gasto en alimentos y bebidas, seguridad alimentaria, población con agua potable y saneamiento, e índice de desarrollo humano) (Figura 7). El componente 2, con el 15% de la varianza explicada, incluye variables relacionadas con la siembra y producción agrícola de riego y el agua concesionada para la producción agrícola. El tercer componente, con el 12% de la varianza, incluye también variables relacionadas con la producción agrícola y su valor pero esta vez la de temporal (Figura 8). La varianza explicada por el resto de los componentes disminuye considerablemente y con ello su capacidad explicativa, el componente 4 explica el 8% de la varianza y el componente 5 el 7%, por ello no se presentan sus gráficas. La varianza total explicada por los cinco componentes es de 71.7%.



**Figura 7. Cinco componentes. Gráfica de componentes 1 y 2**

Nota: los porcentajes que aparecen junto a los ejes de las gráficas se refieren al porcentaje de varianza explicada por cada componente. Los círculos señalan las variables mencionadas junto a cada eje, las cuales tienen los mayores valores (positivos o negativos) en cada componente. IDH: Índice de Desarrollo Humano; NR: no rural; BNA: bebidas no alcohólicas. Los componentes se grafican respecto al primer componente, ya que es que explica la mayor parte de la varianza de los datos.



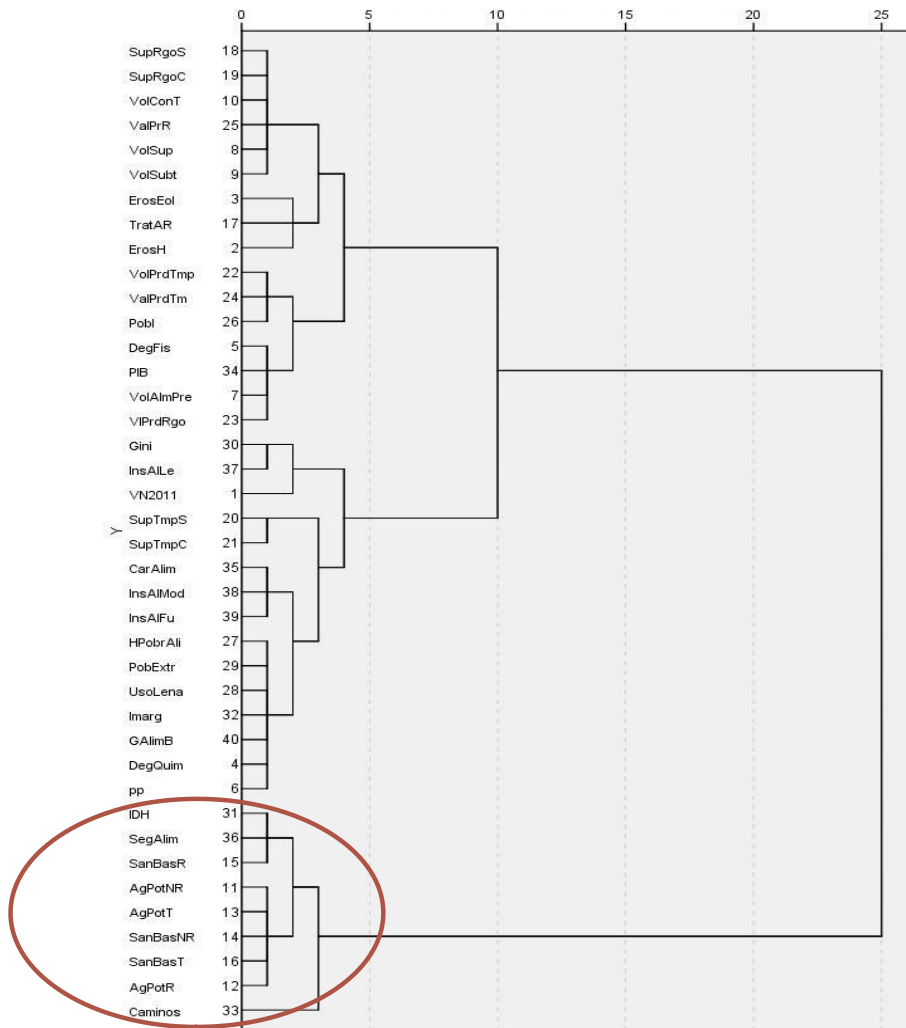
**Figura 8. Cinco componentes. Gráfica de componentes 1 y 3**

Nota: los porcentajes que aparecen junto a los ejes de las gráficas se refieren al porcentaje de varianza explicado por cada componente. Los círculos señalan las variables mencionadas junto a cada eje, las cuales tienen los mayores valores (positivos o negativos) en cada componente. IDH: Índice de Desarrollo Humano; NR: no rural; BNA: bebidas no alcohólicas. Los componentes se grafican respecto al primer componente, ya que es el que explica la mayor parte de la varianza de los datos.

## **Conglomerados jerárquicos**

### **Método 1**

Como se mencionó arriba los dendrogramas se basan en las uniones entre variables a través de líneas y cada grupo de variables se une a otros de igual manera. Esta es otra herramienta para identificar grupos de variables o estados. Entre más alejada del eje aparezca una unión, más alejadas se encuentran las variables y es más clara la agrupación. En el dendrograma para variables puede observarse que aquellas que se separan por una mayor distancia del resto de variables se relacionan con aspectos socioeconómicos y de servicios: seguridad alimentaria, población con saneamiento, Índice de Desarrollo Humano, población total con agua potable y población no rural con agua potable (Figura 9). Esto es consistente con los resultados de los ACP, donde ya se mencionó que el primer componente también es socioeconómico. Por otro lado, en el dendrograma de entidades federativas, las que muestran claramente una mayor distancia del resto son: Chiapas, Guerrero, Oaxaca y Veracruz (Figura 10). Esto significa, complementando con el ACP, que estos estados se diferencian del resto, principalmente por sus condiciones socioeconómicas (marginación, pobreza, uso de leña e inseguridad alimentaria), por el acceso que tienen a infraestructura y servicios (como agua potable y saneamiento) y por la producción agrícola de riego y temporal.

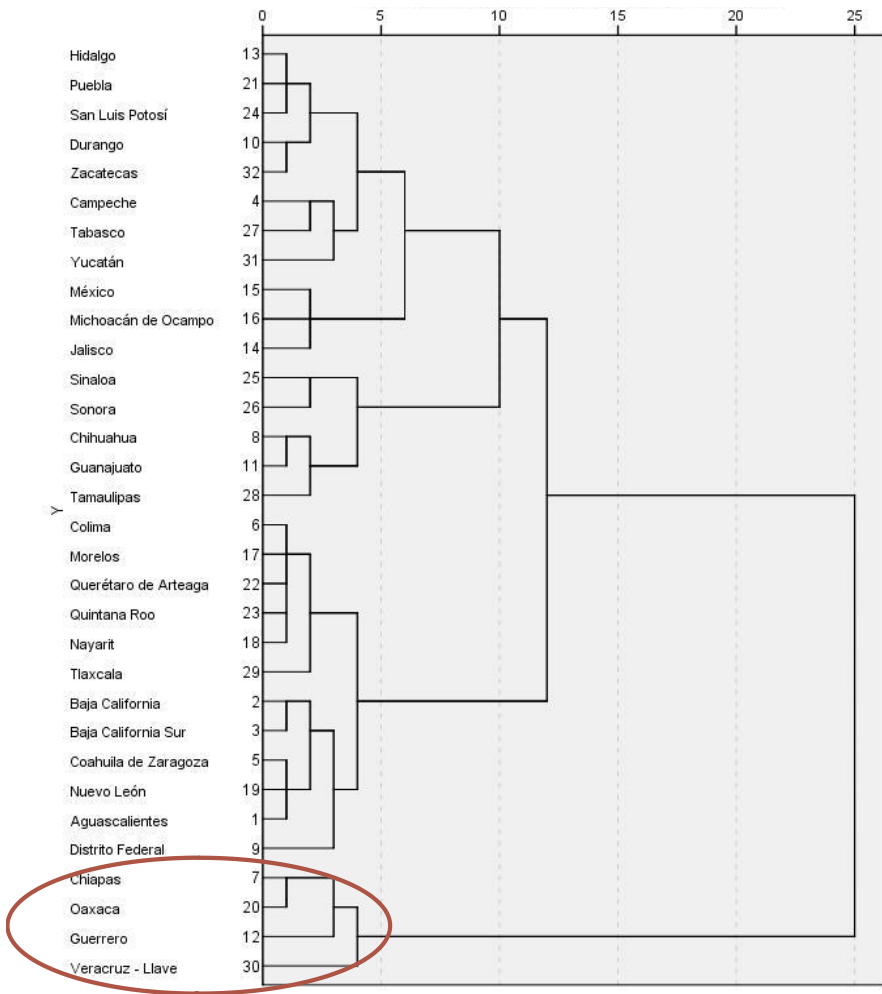


**Figura 9. Dendrograma para variables (método 1)**

Notas: ver códigos de las variables y nombre completo en la Tabla 2.

El círculo rojo señala el conjunto de variables que se separa claramente del resto, por lo que es el grupo de variables más evidente.



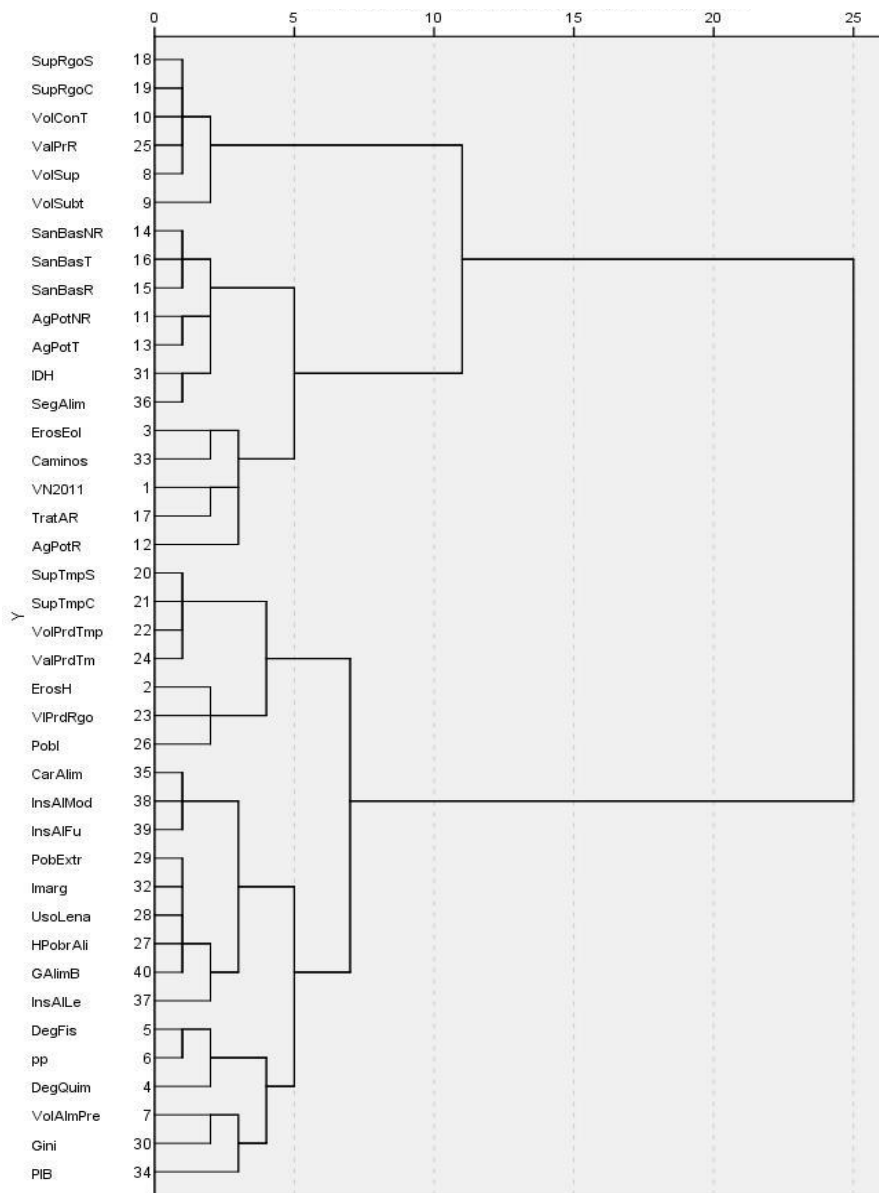


**Figura 10. Dendrograma para entidades federativas (método 1)**

Nota: el círculo rojo señala el conjunto de entidades que se separa claramente del resto, por lo que es el grupo de entidades federativas más evidente.

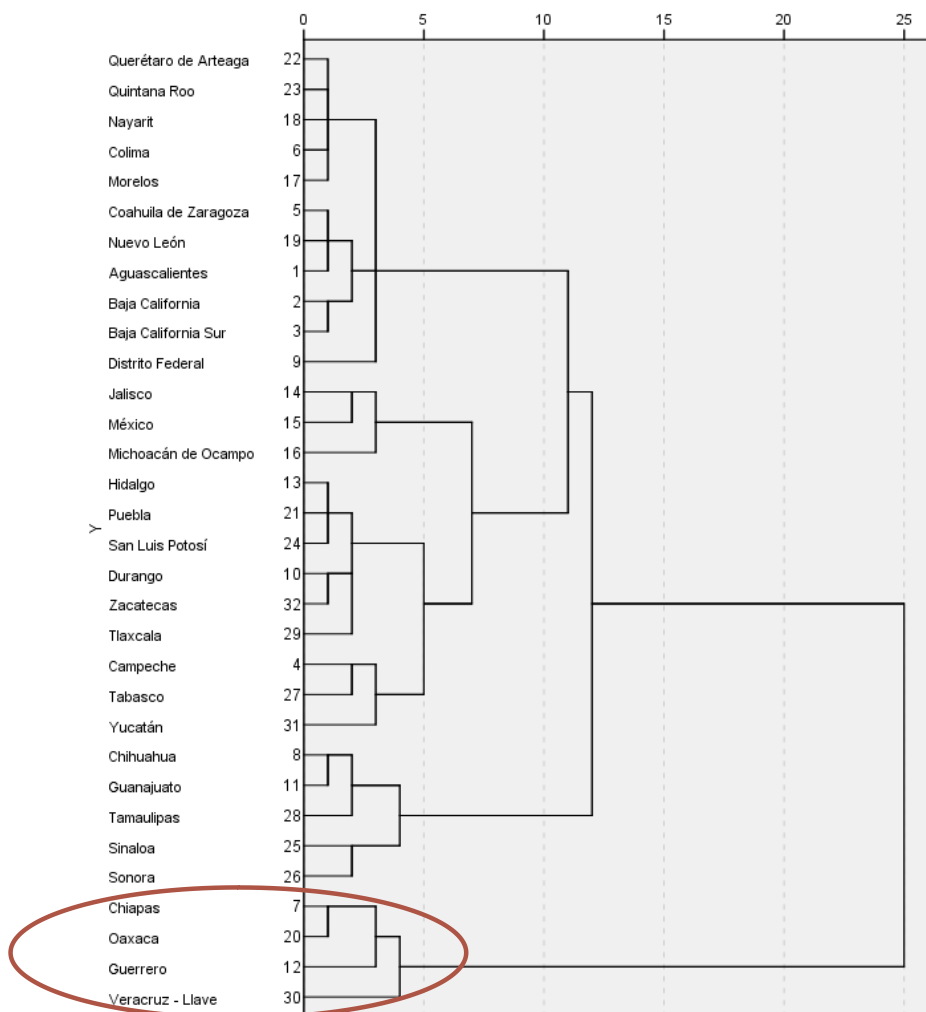
## Método 2

En el dendrograma para variables el conjunto de variables que se separa no es tan claro como lo fue en el método 1 o en el ACP. Las variables se dividen en dos grandes grupos que incluyen en ambos variables socioeconómicas, de producción agrícola y servicios en ambos, lo que no permite diferenciar entre ellos (Figura 11). Por otro lado, consistente con el método 1, en el dendrograma de entidades federativas, las que muestran una mayor distancia del resto son: Chiapas, Guerrero, Oaxaca y Veracruz (Figura 12).



**Figura 11. Dendrograma para variables (método 2)**

Nota: ver códigos de las variables y nombre completo en la Tabla 2.



**Figura 12. Dendrograma para entidades federativas (método 2)**

Nota: el círculo rojo señala el conjunto de entidades que se separa claramente del resto, por lo que es el grupo de entidades federativas más evidente.

### Variables y entidades federativas identificadas con ambos métodos de análisis

Los dos métodos de análisis empleados evidenciaron que las entidades federativas del país se diferencian por las variables incluidas en los tres componentes con la mayor varianza explicada, las cuales se relacionan con aspectos socioeconómicos, de infraestructura y servicios, así como con la producción agrícola y el agua concesionada para la agricultura. La Tabla 4 muestra las variables identificadas con mayor peso (determinado por el porcentaje de varianza explicada) por ambos métodos. Estos resultados reducen el universo de 40 variables iniciales a 17 y permiten identificar grupos de variables que se agrupan en los aspectos principales ya mencionados. Destaca, en estos resultados, que en el primer componente socioeconómico, se encuentran variables relacionadas con la seguridad alimentaria, desde los indicadores de la EMSA hasta aquellas relacionadas con pobreza y carencia alimentarias. Lo que nos indica que la

seguridad alimentaria es uno de los elementos que determinan las diferencias entre los estados a nivel nacional. Es importante también notar que entre las variables incluidas en los aspectos socioeconómicos se encuentra el uso de leña y carbón para cocinar, variable relacionada con servicios ecosistémicos indirectos. En contraste, la variable relacionada directamente con el efecto de la vegetación presente no apareció como significativa en esta escala de análisis.

En el caso del análisis por entidades federativas, las que se separan claramente del resto, como un grupo independiente, en ambos métodos son: Chiapas, Guerrero, Oaxaca y Veracruz. Con base en estos resultados, se decidió que el siguiente nivel de análisis a nivel regional se enfocara sobre los aspectos que aparecieron como relevantes, guiados por las variables al interior de ellos y sobre uno de los cuatro estados identificados. Esto se explica ampliamente en la siguiente sección.

**Tabla 4. Variables con mayor peso en los métodos de análisis 1 y 2**

<b>Variable</b>	<b>Tema</b>
Índice de marginación Uso de leña o carbón para cocinar Pobreza extrema Hogares con pobreza alimentaria Hogares en situación de seguridad alimentaria Carencia por acceso a alimentación Inseguridad alimentaria moderada Gasto en alimentos y bebidas no alcohólicas	Aspectos socioeconómicos
Población con agua potable Población con saneamiento Población no rural con agua potable Índice de Desarrollo Humano	Infraestructura y servicios
Volumen de agua concesionado para la agricultura Valor de la producción de riego Superficie de riego sembrada Superficie de riego cosechada Volumen concesionado superficial para la agricultura	Producción agrícola y agua concesionada a la agricultura

### 3.3 ANÁLISIS REGIONAL

#### Introducción

A partir de los resultados nacionales, se decidió realizar una aproximación regional similar para el estado de Chiapas. Esta entidad federativa se caracteriza por una gran diversidad biológica y cultural y es precisamente la interacción entre estos dos elementos lo que genera la existencia de una amplia diversidad de percepciones, usos y manejo de los recursos naturales. Es además uno de los estados con mayor biodiversidad en el país; se reconocen 17 tipos de vegetación<sup>6</sup> pero todos están amenazados por el proceso de cambio de uso del suelo al que ha estado sometido (CONABIO, 2013a) . Representa la entidad con mayor diversidad de mamíferos en el país y la segunda en reptiles pero es afectada por la pérdida de hábitat, sobreexplotación de recursos e introducción de especies exóticas, entre otros (CONABIO, 2013a). En contraste con la riqueza natural y cultural, el estado presenta muchos problemas sociales. En el año 2010 ocupó el primer lugar en pobreza (78.5% de la población del estado) y pobreza extrema (38.3%) del país (CONEVAL, 2012). El porcentaje de población con carencia por acceso a la alimentación, en el mismo año, fue de a 30.3%, lo que representa 1.46 millones de personas en esta situación. El coeficiente de Gini fue de 0.541, lo que lo ubicó como el estado con mayor desigualdad en el país (CONEVAL, 2012) y también es el de menor desarrollo humano (0.65 en el 2010) (PNUD, 2015). Se ubica entre los estados con menor cobertura de agua potable (77.3% de la población) y drenaje (77.21%) (INEGI, 2015). Las actividades primarias como la agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal, pesca y caza representan el 9.2% del PIB estatal (CONABIO, 2013b).

Chiapas enfrenta una profunda y prolongada crisis caracterizada por tres fenómenos: la pobreza, el hambre y la migración, principalmente a Estados Unidos (Villafuerte, 2015). De acuerdo con Villafuerte (2015), la pobreza se expresa sobre todo en el medio rural y entre la población indígena y *“la destrucción y deterioro de los medios de vida, fundamentalmente de la tierra, los bosques y el agua, han contribuido a la situación de pobreza de miles de familias campesinas e indígenas, que hoy sobreviven principalmente de los programas asistencialistas que otorgan los gobiernos federal y estatal”*. Sin embargo, aunque un incremento de los ingresos en los hogares en pobreza contribuye a disminuir la vulnerabilidad de sus miembros tanto en el corto plazo (mejora la alimentación y con ello la salud) como en el largo (vida más saludable) (González, 2012), el crecimiento económico por sí mismo no es garantía para superar la desigualdad y la

---

<sup>6</sup> Bosque tropical lluvioso, bosque estacional perennifolio, sabana, matorral perennifolio de neblina, bosque lluvioso de montaña baja, bosque de pino-encino-liquidámbar, canacoital, tular, bosque lluvioso de montaña, selva baja caducifolia, palmar, popal, bosque perennifolio de neblina, bosque de pino-encino, manglar, matorral de dunas costeras y selva baja espinosa caducifolia (Conabio, 2013).

pobreza en ningún país o estado (Villafuerte, 2015). La crisis ha generado el crecimiento de la pobreza sobre todo en el campo, los escasos recursos destinados a la producción campesina, la falta de oportunidades de desarrollo y un modelo económico mayormente extractivo han causado un deterioro de las superficies forestales (CONABIO, 2013c) (Villafuerte, 2015), lo cual pone en riesgo los servicios ecosistémicos que existen en Chiapas, entre ellos los hídricos de los que depende la agricultura y con ello la seguridad alimentaria. La crisis también se manifiesta en la apertura de tierras que no son aptas para el cultivo, así como las quemadas provocadas para la reconversión de superficies forestales y en los cambios en el patrón de cultivos, ya que se inducen proyectos de reconversión productiva basados en la sustitución de áreas dedicadas anteriormente a la producción de alimentos básicos ahora para cultivos comerciales como aquellos empleados en la elaboración de agrocombustibles (Villafuerte, 2014 y 2015). Otro ejemplo ocurre con un gran número de campesinos y pequeños productores que reducen sus áreas dedicadas al cultivo de granos básicos para incrementar la superficie de cultivos de café, que en momentos en que disminuyen los precios de café, se produce una contracción del ingreso con lo que les alcanza para comprar una menor cantidad de alimentos o de menor calidad (Villafuerte, 2015). Los bajos ingresos generan incertidumbre y un incremento de la vulnerabilidad de las familias (González, 2012).

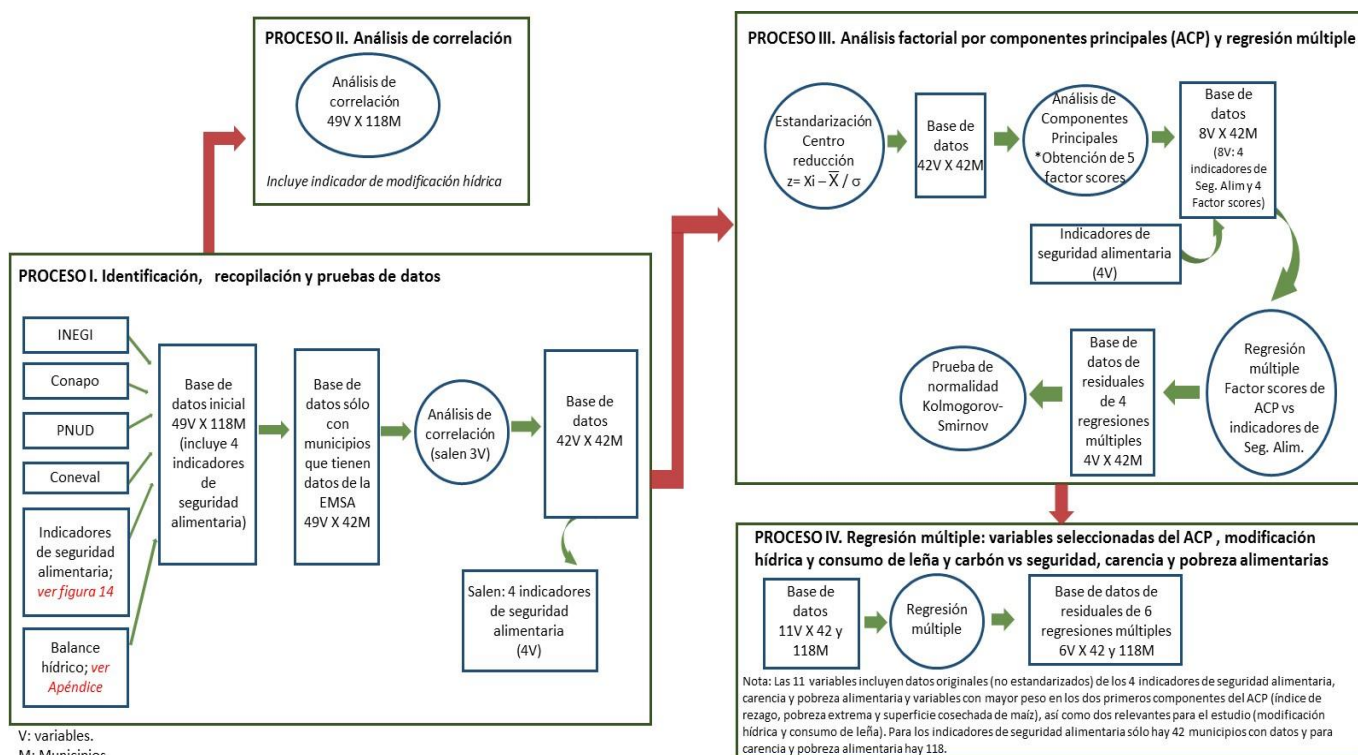
De acuerdo con la Conabio (2013), la actual agenda política de Chiapas reconoce como prioridad “...la atención integral de las diversas y complejas presiones que enfrenta el estado con relación a su biodiversidad, como la pérdida de hábitat, la sobreexplotación de los recursos biológicos, la introducción de especies exóticas invasoras, la contaminación y el cambio climático” (CONABIO, 2013c). En este contexto, por estas características que lo definen y dado que es un estado para el cual existe una amplia información estadística ambiental, económica y social publicada, así como numerosos estudios, se decidió enfocar la aproximación regional en Chiapas. Aunque se tomaron como referencia los temas relevantes resultantes en el análisis nacional, al cambiar de escala cambia la disponibilidad de información, ya que las fuentes de información no reportan exactamente las mismas variables. Por ello, el análisis regional aunque documenta los temas relevantes obtenidos en el nacional no documenta exactamente las mismas variables. A continuación se presentan la metodología seguida, así como los resultados de dicho análisis que involucra variables de producción agrícola de los principales cultivos y en particular de frijol y maíz; así como diversas variables socioeconómicas (población, pobreza, seguridad o inseguridad alimentaria y condiciones de desarrollo, entre otros) y como variables adicionales, que no se incluyeron en el análisis nacional, los volúmenes de captación de agua en Chiapas, considerando el efecto de la vegetación y uso del suelo (con base en un balance hídrico simple y uno ponderado; ver *Apéndice metodológico*) y un indicador de cambio en la

disponibilidad de agua debido al cambio de uso de suelo y cobertura vegetal presente (modificación hídrica).

## Metodología regional

### Evaluación en Chiapas

A continuación, se explica la metodología seguida para la evaluación regional en Chiapas con desagregación municipal de los datos y se describen las diferentes fases de la recopilación y análisis de la información recabada. A grandes rasgos, la metodología incluyó, posterior a la recopilación y pruebas de datos<sup>7</sup> (Proceso I), un análisis de correlación de todas las variables y todos los municipios de Chiapas (Proceso II), un análisis factorial con componentes principales (Proceso III) y un análisis de regresión múltiple considerando variables seleccionadas a partir del ACP e indicadores de seguridad alimentaria (Proceso IV). Para facilitar la comprensión de los procesos se incluye la Figura 13 que esquematiza las diferentes fases de la metodología y que es explicada con detalle en los párrafos siguientes.



**Figura 13. Diagrama explicativo de la metodología de análisis para Chiapas**

Nota: para mayor detalle de cada uno de los elementos de este diagrama referirse al texto de las páginas siguientes.

<sup>7</sup> Las pruebas de datos se refieren a un análisis de correlación realizado para eliminar variables con alta dependencia. Esto se explica a detalle en el apartado Análisis de correlación de esta sección.

### **Proceso I. Identificación, recopilación y pruebas de datos**

Al igual que con el análisis nacional y con base en el esquema conceptual propuesto derivado de dicho análisis (ver la Figura 4 en la sección *Resultados. Evaluación nacional*), se identificaron y recopilaron variables, para Chiapas para el año 2010, que permiten evaluar la relación entre el agua captada por los ecosistemas<sup>8</sup>, la producción agrícola y aspectos de bienestar social y seguridad alimentaria a nivel municipal (Figura 13, Proceso I). Para ello, se llevó a cabo una revisión exhaustiva en las bases de datos existentes en diversas fuentes (Tabla 5) y una vez construida la base de datos se aplicó una prueba de correlación a las variables con el fin de eliminar aquellas con alta dependencia. Todo el proceso de recopilación, construcción de variables y prueba de datos se explica en los siguientes párrafos.

**Tabla 5. Bases de datos y documentos empleados para la recopilación de datos municipales**

<b>Base de datos o documento consultado</b>	<b>Fuente</b>
Proyecciones de la Población 2010-2050	Conapo. <i>Proyecciones de la Población 2010-2050</i> . Consejo Nacional de Población. Disponible en: <a href="http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones">http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones</a> . Fecha de consulta enero de 2017.
Censo de Población y Vivienda 2010	INEGI. <i>Principales resultados del Censo de Población y Vivienda 2010</i> . INEGI. México. 2011.
- Módulo de Condiciones Socioeconómicas de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2010 - Censo de Población y Vivienda 2010 - Coeficiente de Gini, Índice y grado de rezago social, 2010	Coneval. Estimaciones del CONEVAL con base en el MCS-ENIGH 2010 y la muestra del Censo de Población y Vivienda 2010.
Módulo de Condiciones Socioeconómicas de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2010 (para cálculo de indicadores de seguridad o inseguridad alimentaria leve, moderada o severa)	Elaboración propia con base en: INEGI. Módulo de Condiciones Socioeconómicas de la ENIGH (MCS-ENIGH) 2010. Microdatos. Características de los hogares, de las viviendas que habitan y el factor de expansión. Disponible en: <a href="http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/enchogares/modulos/mcs/2010/">http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/enchogares/modulos/mcs/2010/</a>
Índice y grado de marginación, 2010	CONAPO. Estimaciones con base en el Censo de Población y Vivienda 2010.

<sup>8</sup> Ver más adelante las secciones: *Cálculo de un balance hídrico superficial para Chiapas y Apéndice metodológico*.



Índice de desarrollo humano municipal en México, 2010	PNUD México. Cálculos de la Oficina de Investigación en Desarrollo Humano (OIDH). 2014. Índice de desarrollo humano municipal en México: nueva metodología. PNUD México.
Sistema de Consulta Interactiva de Indicadores ODM por municipio	CONEVAL. En: Gobierno del Estado de Chiapas. Sistema de Consulta Interactiva de Indicadores ODM por municipio. Disponible en: <a href="http://www.monitor-odm.chiapas.gob.mx/odm/sistema-de-consulta-interactiva-de-indicadores-odm-por-municipio/">http://www.monitor-odm.chiapas.gob.mx/odm/sistema-de-consulta-interactiva-de-indicadores-odm-por-municipio/</a> Fecha de consulta: 02 de febrero de 2017.
Sistema Estatal y Municipal de Base de Datos. Principales características del sector en 2010 según producción agrícola	SIMBAD, INEGI. 2017. Principales características del sector en 2010 según producción agrícola. Sistema Estatal y Municipal de Base de Datos. México. Disponible en: <a href="http://sc.inegi.org.mx/cobdem/">http://sc.inegi.org.mx/cobdem/</a>

Dado que no fue posible obtener datos para algunas variables, fue necesario construirlas a partir de datos básicos, tal es el caso de la disponibilidad de agua que considera el efecto de la presencia de vegetación y uso del suelo (para ello se calculó un balance hídrico superficial para Chiapas; ver siguiente sección y *Anexo metodológico*) y los indicadores de seguridad alimentaria (inseguridad leve, moderada, severa y seguridad alimentaria). A continuación, se describe brevemente la metodología para construir dichas variables y posteriormente se describen el resto de los procesos de la metodología (II a IV; Figura 13).

### ***Cálculo de un balance hídrico superficial para Chiapas***

Dado que este estudio busca vincular los servicios ecosistémicos hídricos que proporciona la cubierta vegetal al capturar y proveer agua con la producción agrícola y con la seguridad alimentaria en Chiapas, resulta fundamental conocer los flujos de agua que se dan en el estado y determinar la cantidad de agua disponible en las cuencas hidrográficas. La ecuación para el cálculo de un balance hídrico superficial es muy sencilla, sin embargo, la complejidad de su cálculo radica en la cuantificación de sus términos por la falta de mediciones directas cada uno de ellos, por la variación espacial de la evapotranspiración, de las infiltraciones (en acuíferos) y de las variaciones del agua almacenada en la cuenca (Llorens, 2003). La ecuación del balance hídrico superficial es:

$$P p= ETR + ES + I$$

Lo que significa que del agua que se precipita en un determinado sitio (precipitación: Pp), una porción vuelve a la atmósfera por evaporación o por los procesos de transpiración de la cubierta vegetal (evapotranspiración: ETR) y otra parte escurre por la superficie de la cuenca (escorrentía superficial: ES). El agua que escurre fluye por la red de drenaje hasta alcanzar los cauces principales y finalmente el mar. El resto del líquido se infiltra en el terreno y se incorpora al sistema de aguas subterráneas o acuífero (infiltración: I) (Ordoñez, 2011b). A partir del balance hídrico es posible conocer la cantidad de agua disponible (Ordoñez, 2011b).

Para el cálculo del balance hídrico de Chiapas se empleó información cartográfica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y climática e hídrica de la Comisión Nacional de Agua (Conagua). Esta información se procesó con un sistema de información geográfica con el fin de modelar y representar la información espacial relacionada con los procesos hidrológicos involucrados en la estimación del balance hidrológico. El cálculo del balance hídrico se realizó para todo el estado, sin embargo fue necesario realizar algunas interpolaciones, ya que algunos datos no cubrían la totalidad del estado. Como resultado se obtuvo un balance hídrico superficial simple y un balance hídrico superficial ponderado por vegetación y uso del suelo (año 2011, que es el año más cercano a 2010 para el que existe información sobre cobertura vegetal; *ver Apéndice metodológico*). Ambas variables se incorporaron a la base de datos municipal referida en la Figura 13, Proceso I. Para conocer con todo detalle la metodología y resultados del cálculo del balance hídrico para Chiapas se recomienda ver el *Apéndice Metodológico*, ya que en esta sección se presenta a grandes rasgos con el fin de facilitar la lectura de la metodología general de la construcción de la base de datos a analizar.

### ***Propuesta para un índice preliminar de modificación del balance hídrico***

Debido a la falta de información detallada sobre la posible relación entre el cambio de uso del suelo y la disponibilidad de agua, se presenta una propuesta preliminar de un índice de modificación del balance hídrico (MBH). Es importante señalar que este índice no pretende ser concluyente dentro de este trabajo de investigación. Es un intento preliminar y exploratorio que permita evaluar el efecto del cambio de uso del suelo sobre el volumen de agua disponible y su posible relación con la seguridad alimentaria. La propuesta se llevó a cabo de la siguiente manera, con base en el balance hídrico simple, se calculó un balance hídrico ponderado por vegetación y uso del suelo para el año 2002 y otro para

2011 (ver *Apéndice metodológico*) con el fin de construir un indicador municipal sobre la modificación del balance hídrico derivada del cambio de uso de suelo que ocurrió entre esos años. Se consideró que podían usarse los únicos datos existentes y disponibles de cobertura vegetal y uso del suelo 2011, aunque el resto de datos para este proyecto sea de 2010, ya que los cambios en cobertura vegetal a la escala a la que se trabajaron no cambian radicalmente de un año a otro. La fórmula para el cálculo de este indicador fue:

$$MBH = (BH_{2011} - BH_{2002}) / \text{Superficie del municipio}$$

Donde:

MBH es la modificación del balance hídrico o cambio en la disponibilidad de agua, derivada de la vegetación presente y el cambio de uso del suelo entre los años 2002 y 2011, ponderado por el tamaño del municipio.

BH<sub>2011</sub> es la disponibilidad de agua disponible por municipio, resultante del balance hídrico ponderado por vegetación y uso del suelo para el año 2011.

BH<sub>2002</sub> es la disponibilidad de agua disponible por municipio, resultante del balance hídrico ponderado por vegetación y uso del suelo para el año 2002.

Este indicador de modificación del balance hídrico o modificación hídrica puede tomar valores positivos, negativos e incluso cero. Valores positivos indican que habría una modificación o perturbación del balance hídrico, a consecuencia del cambio de uso del suelo y que en el año 2011 (proxy del 2010) el volumen de agua sería mayor respecto al 2002, dicho incremento es un reflejo de la pérdida de cubierta vegetal. La interpretación de esto debe tomarse con cautela, ya que aunque en el corto plazo pareciera que hay un beneficio al incrementarse el volumen de agua disponible puede ser que el acceso a ella no sea fácil o que la calidad del agua no sea la adecuada. Los valores negativos indican el caso contrario, es decir que en el año 2011 hubo menos agua que en 2002 y cero que no hubo modificación del balance hídrico, ya que se registró el mismo volumen de agua disponible en ambos años. Chiapas se ha caracterizado por perder cobertura forestal y aunque en primera instancia puede suponerse que a menor cobertura vegetal, habrá menos agua disponible, existe evidencia de que a mayor cobertura vegetal menor disponibilidad de agua para usos humanos (Ilstedt et al., 2016), entre ellos el agrícola. Esto se debe a que la cubierta vegetal retiene grandes volúmenes de agua (Ordoñez, 2011b), por lo que esa agua no está disponible para las actividades humanas. Sin embargo, sólo se puede afirmar que esto ocurre en el corto plazo, ya que si la cubierta vegetal de una zona continúa disminuyendo, se alteran los volúmenes de evapotranspiración y con ello la formación de nubes en la zona y la caída de precipitación en esa u otras zonas a donde se

muevan las nubes (Ellison *et al.*, 2017). Se sabe que 40% de las lluvias sobre zonas terrestres provienen de la evapotranspiración (Ellison *et al.*, 2017).

Con el cálculo de este indicador son posibles diferentes escenarios ante valores altos de modificación hídrica, lo cual involucra pérdida de cobertura vegetal. El primero es que una mayor modificación hídrica, redunde en mayor seguridad alimentaria, ya que es posible que la explotación que hacen los municipios de sus recursos naturales y los servicios ecosistémicos, sea transformada en bienestar social (bajo el supuesto de acceso y distribución equitativa de los recursos). Sin embargo, hay un segundo escenario en el que la explotación intensiva no es sostenible a largo plazo, por lo que puede haber municipios que hayan perturbado tanto sus ecosistemas naturales y con ello sus servicios ecosistémicos que esto genere, a mediano o largo plazo, que haya menor disponibilidad de agua y con ello menor seguridad alimentaria.

### ***Construcción de indicadores de seguridad alimentaria***

En el caso de los indicadores de seguridad alimentaria, no fue posible acceder a la información por municipio. En su lugar, se utilizaron los datos del Módulo de Condiciones Socioeconómicas de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH), 2010 que reporta datos por hogar a nivel nacional, incluido Chiapas. La ENIGH incorporó, desde 2008, la Escala Mexicana de Seguridad Alimentaria (EMSA) que aborda el tema de acceso a la alimentación y se enfoca en la percepción que tienen los hogares sobre su vulnerabilidad económica, así como en su experiencia de hambre ante la escasez de recursos para acceder a la cantidad y calidad de alimentos que constituyen su dieta (CONEVAL, 2010). La EMSA se compone de 12 preguntas Tabla 6, que se aplican por hogar y que se derivan conceptual y metodológicamente de la Escala Latinoamericana y del Caribe para la Seguridad Alimentaria (ELCSA) (Carrasco, Peinador, & Aparicio, 2010) (Vega *et al.*, 2014). La EMSA permite conocer la inseguridad alimentaria experimentada en los hogares y al mismo tiempo permite revelar cambios tanto en la calidad como en la cantidad de los alimentos que fueron adquiridos en los hogares en los últimos tres meses. También consigue detectar hogares con niños en situaciones de hambre, ya que incluye preguntas específicas para este tipo de hogares (Vega *et al.*, 2014). La teoría detrás de la EMSA supone que un estresor como la pérdida de ingreso genera preocupación en los integrantes del hogar, disminución en la calidad de la dieta, reducción del contenido calórico de los alimentos para adultos y después para niños, hasta alcanzar un nivel de hambre (entendida como dejar de comer un día en el periodo de referencia de la encuesta) (CONEVAL, 2010).

**Tabla 6. Preguntas de la Escala Mexicana de Seguridad Alimentaria (EMSA)**

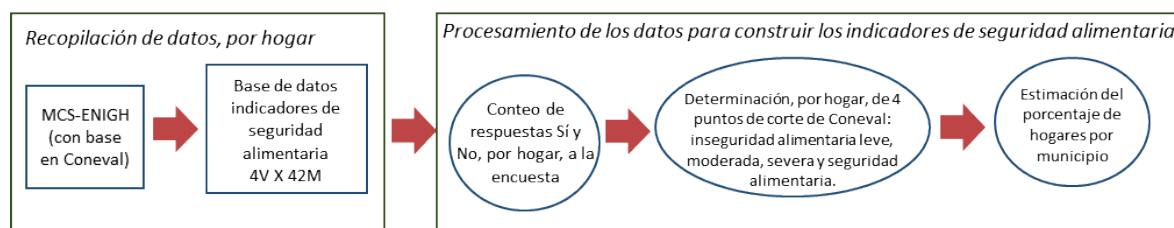
1. En los últimos tres meses, por falta de dinero o recursos ¿alguna vez usted o algún adulto en su hogar tuvo una alimentación basada en muy poca variedad de alimentos?
2. En los últimos tres meses, por falta de dinero o recursos ¿alguna vez usted o algún adulto en su hogar dejó de desayunar, comer o cenar?
3. En los últimos tres meses, por falta de dinero o recursos ¿alguna vez usted o algún adulto en su hogar comió menos de lo que usted piensa debía comer?
4. En los últimos tres meses, por falta de dinero o recursos ¿alguna vez se quedaron sin comida?
5. En los últimos tres meses, por falta de dinero o recursos ¿alguna vez usted o algún adulto de este hogar sintió hambre pero no comió?
6. En los últimos tres meses, por falta de dinero o recursos ¿alguna vez usted o algún adulto en su hogar sólo comió una vez al día o dejó de comer todo un día?

**Sólo para hogares en donde habitan personas menores de 18 años**

7. En los últimos tres meses, por falta de dinero o recursos ¿alguna vez algún menor de 18 años en su hogar tuvo una alimentación basada en muy poca variedad de alimentos?
8. En los últimos tres meses, por falta de dinero o recursos ¿alguna vez algún menor de 18 años en su hogar comió menos de lo que debía?
9. En los últimos tres meses, por falta de dinero o recursos ¿alguna vez tuvieron que disminuir la cantidad servida en las comidas a algún menor de 18 años del hogar?
10. En los últimos tres meses, por falta de dinero o recursos ¿alguna vez algún menor de 18 años sintió hambre pero no comió?
11. En los últimos tres meses, por falta de dinero o recursos ¿alguna vez algún menor de 18 años se acostó con hambre?
12. En los últimos tres meses, por falta de dinero o recursos ¿alguna vez algún menor de 18 años comió una vez al día o dejó de comer todo un día?

Dado que la ENIGH, en el caso de Chiapas, sólo reporta la información de la EMSA para 42 municipios, se generó una sub-base de datos, a partir de la base de datos original, en la cual sólo se incluyeron esos municipios. El cálculo de los indicadores se realizó con base en las respuestas, positivas o negativas, en los hogares encuestados (Figura 14). Se determinó, para cada hogar, en qué situación se encontraba con base en los puntos de corte utilizados por el Consejo Nacional de Evaluación de la Política Social (Coneval) (Carrasco et al., 2010) (Vega et al., 2014). En hogares exclusivos de adultos el indicador adquiere un valor de entre 0 y 6 (donde se aplican 6 preguntas), mientras que en hogares con menores de edad el valor va de 0 a 12 (se aplican 12 preguntas). La Tabla 7 muestra los cuatro puntos de corte: 1) hogares con seguridad alimentaria, es decir que no ocurre una disminución en la calidad de los alimentos; 2) hogares con inseguridad leve, implica reducción de la calidad de los alimentos; 3) hogares con inseguridad moderada, implica reducción en la calidad y cantidad de alimentos y 4) hogares con inseguridad severa,

reporta que el hogar ha vivido una experiencia de hambre (Carrasco et al., 2010) (CONEVAL, 2010) (Vega et al., 2014). Una vez determinada la situación de seguridad o el nivel de inseguridad alimentaria (leve, moderada, severa), por hogar, se calculó el porcentaje de hogares en cada municipio en cada una de esas situaciones. Estas cuatro variables fueron incorporadas a la base de datos municipal que se construyó (Figura 13, Proceso I).



**Figura 14. Diagrama explicativo de la construcción de los indicadores de seguridad alimentaria**

**Nota:** MCS-ENIGH: Módulo de Condiciones Socioeconómicas de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares.

**Tabla 7. Puntos de corte para determinar la seguridad o el grado de inseguridad alimentaria, según tipo de hogar**

Grado	Hogares con adultos y menores de edad	Hogares sólo con adultos
Nulo (seguridad alimentaria)	Responde negativamente a todas las preguntas de la escala	Responde negativamente a todas las preguntas de la escala
Leve	Responde afirmativamente de 1 a 3 preguntas de la escala	Responde afirmativamente de 1 a 2 preguntas de la escala
Moderado	Responde afirmativamente de 4 a 7 preguntas de la escala	Responde afirmativamente de 3 a 4 preguntas de la escala
Grave	Responde afirmativamente de 8 a 12 preguntas de la escala	Responde afirmativamente de 5 a 6 preguntas de la escala

**Fuente:** (CONEVAL, 2010).

### ***Variables recopiladas y construidas***

Como resultado del proceso de identificación, recopilación y construcción de variables se reunió información sobre 49 variables para el año 2010 (Tabla 8). Cabe resaltar que dichas variables incluyen los cuatro indicadores de seguridad alimentaria y los dos balances hídricos que como ya se explicó fueron calculados específicamente para este estudio, ya que no existía o no fue posible obtener la información por municipio. Existen también otras variables que no se incluyeron, ya que no cumplieron con los requisitos de suficiencia o calidad de la información antes descritos. Los datos recopilados cubren los 118 municipios existentes en Chiapas. Sin embargo, la información para los cuatro indicadores de seguridad alimentaria sólo se reporta, por hogar, para 42 municipios del estado. Por ello, aunque en un escenario ideal se planeaba incluir todos los municipios no fue posible, por lo que se generó una sub-base de datos con la que se hizo la mayor parte de los análisis que incluye las variables recopiladas para esos 42 municipios (con excepción del Proceso II. Análisis de correlación que incluyó todas las variables y todos los municipios).

**Tabla 8. Variables y fuentes de información para el análisis regional, por municipio, en Chiapas**

Clave de la variable	Nombre completo de la variable	Fuente
PobTot10	Población total, 2010	Disponible en: <a href="http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones">http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones</a> . Fecha de consulta enero de 2017.
PobUr10	Población urbana, 2010	INEGI. Principales resultados del Censo de Población y Vivienda 2010. INEGI. México. 2011.
PobRur10	Población rural, 2010	
PobrPorc10	Pobreza multidimensional. Población en situación de pobreza (porcentaje), 2010	Estimaciones del CONEVAL con base en el MCS-ENIGH 2010 y la muestra del Censo de Población y Vivienda 2010.
PobrExtPorc10	Pobreza multidimensional. Población en situación de pobreza extrema (porcentaje), 2010	
PobrModPorc10	Pobreza multidimensional. Población en situación de pobreza moderada (porcentaje), 2010	
VCarSocPor10	Vulnerables por carencia social (porcentaje), 2010	
VIngrPor10	Vulnerables por ingreso (porcentaje), 2010	
CSaludPorc10	Carencia por acceso a los servicios de salud (porcentaje), 2010	
CAlimPorc10	Carencia por acceso a la alimentación (porcentaje), 2010	
InsLev10	Porcentaje de hogares en Inseguridad Leve, 2010	Elaboración propia con base en: INEGI. Módulo de Condiciones Socioeconómicas de la ENIGH (MCS-ENIG) 2010. Características de los hogares, de las viviendas que habitan y el factor de expansión. Disponible en: <a href="http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/enchogares/modulos/mcs/2010/default.html">http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/enchogares/modulos/mcs/2010/default.html</a>
InsMod10	Porcentaje de hogares en Inseguridad Moderada, 2010	
InsSev10	Porcentaje de hogares en Inseguridad Severa, 2010	
SegAlim10	Porcentaje de hogares en Seguridad Alimentaria, 2010	Estimaciones del CONEVAL con base en el MCS-ENIGH 2010 y la muestra del Censo de Población y Vivienda 2010.
Gini10	Coefficiente de Gini, 2010	
InMarg10	Índice de marginación, 2010	CONAPO. Estimaciones con base en el Censo de Población y Vivienda 2010.
GrMarg10	Grado de marginación, 2010	
IndRez10	Índice de Rezago Social, 2010	Estimaciones del CONEVAL con base en el MCS-ENIGH 2010 y la muestra del Censo de Población y Vivienda 2010.
GrRez10	Grado de Rezago Social, 2010	
IDH10	Índice de Desarrollo Humano, 2010	2014. Índice de desarrollo humano municipal en México: nueva metodología. PNUD México.
PisoTi10	Porcentaje de viviendas particulares habitadas con piso de tierra, 2010	Estimaciones del CONEVAL con base en el MCS-ENIGH 2010 y la muestra del Censo de Población y Vivienda 2010.
AguPot10	Porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda, 2010	Estimaciones del CONEVAL con base en el MCS-ENIGH 2010 y la muestra del Censo de Población y Vivienda 2010.
Drenaj10	Porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de drenaje, 2010	
Lena10	Porcentaje de ocupantes en viviendas particulares que usa carbón o leña para cocinar, 2010	CONEVAL. En: Gobierno del Estado de Chiapas. Sistema de Consulta Interactiva de Indicadores ODM por municipio. Disponible en: <a href="http://www.monitor-odm.chiapas.gob.mx/odm/sistema-de-consulta-interactiva-de-indicadores-odm-por-municipio/">http://www.monitor-odm.chiapas.gob.mx/odm/sistema-de-consulta-interactiva-de-indicadores-odm-por-municipio/</a> Fecha de consulta: 02 de febrero de 2017.
PobrAli10	Pobreza Alimentaria (porcentaje), 2010	
TSS_10	Superficie sembrada total de principales cultivos (hectáreas), 2010	SIMBAD, INEGI. 2017. Principales características del sector en 2010 según producción agrícola. Sistema Estatal y Municipal de Base de Datos. México. Disponible en: <a href="http://sc.inegi.org.mx/cobdem/">http://sc.inegi.org.mx/cobdem/</a>
TSSFri10	Superficie sembrada total de frijol (hectáreas), 2010	
FrSSRP10	Porcentaje de superficie sembrada de frijol en cultivos de riego respecto a la superficie sembrada total, 2010	Elaboración propia con base en: CEIEG. 2013. Mapa Digital de Chiapas. Total por municipio en Superficie Sembrada, Cosechada (Ha), Producción (Ton) y Valor de la Producción (Miles de Pesos) de Cultivos Cíclicos, Perennes de Riego y Temporal. Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica de Chiapas. México. Disponible en: <a href="http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/home/mapa-digital-de-chiapas/">http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/home/mapa-digital-de-chiapas/</a>
FrSSTP10	Porcentaje de superficie sembrada de frijol en cultivos de temporal respecto a la superficie sembrada total, 2010	
TSSMaiz10	Superficie sembrada total de maíz grano (hectáreas), 2010	SIMBAD, INEGI. 2017. Principales características del sector en 2010 según producción agrícola. Sistema Estatal y Municipal de Base de Datos. México. Disponible en: <a href="http://sc.inegi.org.mx/cobdem/">http://sc.inegi.org.mx/cobdem/</a>
MzSSRP10	Porcentaje de superficie sembrada de maíz en cultivos de riego respecto a la superficie sembrada total, 2010	Elaboración propia con base en: CEIEG. 2013. Mapa Digital de Chiapas. Total por municipio en Superficie Sembrada, Cosechada (Ha), Producción (Ton) y Valor de la Producción (Miles de Pesos) de Cultivos Cíclicos, Perennes de Riego y Temporal. Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica de Chiapas. México. Disponible en: <a href="http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/home/mapa-digital-de-chiapas/">http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/home/mapa-digital-de-chiapas/</a>
MzSSTP10	Porcentaje de superficie sembrada de maíz en cultivos de temporal respecto a la superficie sembrada total, 2010	
TSC_10	Superficie total cosechada por principales cultivos (hectáreas), 2010	SIMBAD, INEGI. 2017. Principales características del sector en 2010 según producción agrícola. Sistema Estatal y Municipal de Base de Datos. México. Disponible en: <a href="http://sc.inegi.org.mx/cobdem/">http://sc.inegi.org.mx/cobdem/</a>
TSCFri10	Superficie total cosechada de frijol (hectáreas), 2010	
TSCMaiz10	Total, superficie cosechada de maíz grano (hectáreas), 2010	
ProdFrij10	Volumen total de la producción de frijol (toneladas), 2010	
FrPrdRPr2010	Porcentaje de producción de frijol en cultivos de riego respecto a la producción total, 2010	Elaboración propia con base en: CEIEG. 2013. Mapa Digital de Chiapas. Total por municipio en Superficie Sembrada, Cosechada (Ha), Producción (Ton) y Valor de la Producción (Miles de Pesos) de Cultivos Cíclicos, Perennes de Riego y Temporal. Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica de Chiapas. México. Disponible en: <a href="http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/home/mapa-digital-de-chiapas/">http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/home/mapa-digital-de-chiapas/</a>
FrPrdTPr2010	Porcentaje de producción de frijol en cultivos de temporal respecto a la producción total, 2010	
ProdMaiz10	Volumen total de la producción de maíz grano (toneladas), 2010	SIMBAD, INEGI. 2017. Principales características del sector en 2010 según producción agrícola. Sistema Estatal y Municipal de Base de Datos. México. Disponible en: <a href="http://sc.inegi.org.mx/cobdem/">http://sc.inegi.org.mx/cobdem/</a>
MzPrdRPr2010	Porcentaje de producción de maíz en cultivos de riego respecto a la producción total, 2010	Elaboración propia con base en: CEIEG. 2013. Mapa Digital de Chiapas. Total por municipio en Superficie Sembrada, Cosechada (Ha), Producción (Ton) y Valor de la Producción (Miles de Pesos) de Cultivos Cíclicos, Perennes de Riego y Temporal. Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica de Chiapas. México. Disponible en: <a href="http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/home/mapa-digital-de-chiapas/">http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/home/mapa-digital-de-chiapas/</a>
MzPrdTPr2010	Porcentaje de producción de maíz en cultivos de temporal respecto a la producción total, 2010	
ValPrd10	Valor total de la producción por principales cultivos (miles de pesos), 2010	SIMBAD, INEGI. 2017. Principales características del sector en 2010 según producción agrícola. Sistema Estatal y Municipal de Base de Datos. México. Disponible en: <a href="http://sc.inegi.org.mx/cobdem/">http://sc.inegi.org.mx/cobdem/</a>
ValPrdFrij10	Valor total de la producción de frijol (miles de pesos), 2010	
ValPrdMaiz10	Valor total de la producción de maíz grano (miles de pesos), 2010	
SSR_10	Superficie sembrada de riego (hectáreas), 2010	
SST_10	Superficie sembrada de temporal (hectáreas), 2010	
BHSV_ha	Balance hídrico ponderado, disponibilidad de agua ponderada por vegetación y uso del suelo, 2011 (hm <sup>3</sup> )	Elaboración propia con datos de INEGI y Conagua, 2016.
BHBr_ha	Balance hídrico simple, disponibilidad de agua (hm <sup>3</sup> )	
DifSV_SIII_SupMun	Modificación del balance hídrico: cambio en la disponibilidad de agua, entre 2011 y 2002, derivado de la vegetación presente y el cambio de uso del suelo entre esos años, ponderado por el tamaño del municipio (m <sup>3</sup> /ha)	



### ***Análisis de correlación para eliminar variables altamente dependientes***

Como continuación del Proceso I, a las 49 variables reunidas (incluyen los indicadores de seguridad alimentaria, balances hídricos e indicador de modificación hídrica) que sí cumplieron con los criterios de suficiencia y calidad de información ya descritos y, sólo para los 42 municipios que contaron con información para los indicadores de seguridad alimentaria, se les aplicó un análisis de correlación lineal (Figura 13). Este método estadístico de exploración de datos muestrales permite identificar las relaciones estadísticas o grado de asociación o correlación, positiva o negativa, entre dos variables de una población (Hurtado & Domínguez Sánchez, 2009). Con base en los resultados de la correlación se eliminaron, en la siguiente fase de los análisis, aquellas variables con tres o más correlaciones mayores a 0.95 para evitar incluir en el análisis aquellas variables con alta dependencia. En este punto del análisis se eliminaron también, pero de manera temporal, los cuatro indicadores de seguridad o inseguridad alimentaria para poder incluirlos posteriormente en otra fase del análisis (ver *Análisis de regresión múltiple en el Proceso III en los siguientes párrafos*). Esto dio como resultado una sub-base de datos de 42 variables.

### ***Proceso II. Análisis de correlación***

De manera paralela al Proceso I (con una sub-base de datos de 42 variables descrita arriba), se realizó un análisis de correlación pero con el total de las 49 variables recopiladas y para la totalidad de los municipios de Chiapas (118; Figura 13). Este análisis permitió identificar las relaciones estadísticamente significativas entre las variables recopiladas para analizar el tema de estudio.

### ***Proceso III. Análisis factorial por componentes principales y regresión múltiple***

Este proceso incluyó a su vez tres fases que se describen en los siguientes párrafos: estandarización de los datos para hacerlos comparables, un análisis factorial para reducir el número de variables e identificar variables principales y una regresión múltiple para identificar y medir posibles relaciones existentes.

#### ***Estandarización***

Este proceso retomó la sub-base de datos de 42 variables y 42 municipios del Proceso I (como ya se dijo, de las 49 variables originales se eliminaron tres como resultado de la

correlación del Proceso I y no se incluyeron en esta fase los cuatro indicadores de seguridad alimentaria que se incluyeron en la regresión múltiple posterior –*ver abajo Análisis de regresión múltiple*–). Al igual que en el caso nacional, la información de las variables recopiladas para Chiapas tiene unidades de medición diferentes (p. e. porcentaje, hectáreas, toneladas, número de personas, etc.). Por ello, se realizó la estandarización o normalización de los datos para hacerlos comparables (Figura 13). Los datos fueron transformados a una escala de las mismas proporciones mediante la técnica llamada centro reducción que usa el promedio y la desviación estándar de cada conjunto de datos. Esta transformación de los datos permite “...expresar una variable en función de cuántas veces (en unidades dadas por la desviación típica) un valor dado está por encima o por debajo de la media” (Cubero & Berzal, 2016, pp. 28).

### *Análisis factorial*

Posteriormente y con el propósito de reducir las variables y facilitar la interpretación de los datos, se realizó un análisis factorial de componentes principales (ACP; ver *Análisis factorial en Metodología. Evaluación nacional de la Sección 2.2 Análisis Nacional*; Figura 13). En el Análisis de Componentes Principales (ACP), “...dadas  $n$  observaciones de  $p$  variables, se analiza si es posible representar adecuadamente esta información con un número menor de variables construidas como combinaciones lineales de las originales” (Peña, 2002). A partir de este análisis se obtuvieron cinco *factor scores* (puntuaciones de factores en español) que representan cinco nuevas variables, surgidas de los cinco componentes, con datos para cada uno de los 42 municipios. Los *factor scores* son variables artificiales, valores estimados a partir del análisis factorial. Se obtienen multiplicando los coeficientes de puntuación de los factores y los datos analizados (Minitab, 2016). Los *factor scores* permiten “...conocer los valores que toman los factores en cada observación, pues en ocasiones, el análisis factorial es un paso previo a otros análisis: regresión múltiple o análisis cluster, en los que sustituye el conjunto de variables originales por los factores obtenidos” (De la Fuente, 2011).

### *Análisis de regresión múltiple*

Como siguiente paso, se realizaron regresiones múltiples para tomar como variables dependientes cada uno de los indicadores de seguridad alimentaria (inseguridad leve, moderada, severa y seguridad alimentaria), con los *factor scores* como variables explicativas, con el objetivo de identificar posibles relaciones entre cada uno de los indicadores de seguridad alimentaria y los *factor scores* (Figura 13). Sólo se incluyeron los

primeros cuatro *factor scores*, ya que estos cubren poco más del 70% de la varianza de los datos. Dado que uno de los supuestos estadísticos de la regresión múltiple es que los datos cumplan con una distribución normal, se obtuvieron los residuales de cada una de las cuatro regresiones múltiples y se les aplicó una prueba de normalidad con la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Esta prueba se emplea para “...determinar el grado de ajuste de unos datos a una distribución normal... se basa en las diferencias de porcentajes entre la distribución acumulada observada y estos mismos porcentajes para la función de distribución acumulada teórica...” (Visauta, 2007).

#### ***Proceso IV. Regresión múltiple con variables más importantes de ACP, seguridad, carencia y pobreza alimentarias***

Con el fin de determinar si existe una influencia y en qué medida de las variables con mayor peso en los componentes principales obtenidos, así como las variables relacionadas con servicios ambientales, es decir modificación hídrica debido al cambio de uso del suelo y cubierta vegetal y consumo de leña y carbón para cocinar sobre la seguridad, pobreza y carencia alimentarias se realizaron regresiones múltiples a partir de los datos originales (no estandarizados). Posteriormente, para evaluar el supuesto de normalidad de los datos en una regresión, se obtuvieron los residuales de cada una de las regresiones múltiples y se les aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

## **Resultados regionales Evaluación en Chiapas**

### ***Proceso I. Identificación, recopilación y pruebas de datos***

Como resultado del proceso de identificación, recopilación y construcción de variables se construyó la base de datos que incluye las variables enlistadas en la Tabla 8. Esta base de datos contiene información a nivel municipal para el estado de Chiapas y siguiendo la metodología, descrita en la sección anterior, se obtuvieron los resultados que se muestran a continuación. ***Análisis de correlación***

A partir del análisis de correlación para la base de datos de 49 variables y 42 municipios, realizado para detectar variables con alta dependencia, se eliminaron tres variables (pobreza alimentaria, producción de maíz en cultivos de temporal respecto a la producción total y valor de la producción de frijol) que tenían cada una correlaciones

mayores a 0.95 con al menos otras tres variables<sup>9</sup>. Es importante recordar que en esta fase del Proceso I, no se incluyeron los cuatro indicadores de seguridad alimentaria, ya que estos se incluyen en una fase posterior del análisis para determinar una posible dependencia de otras variables (ver en el Proceso III la sección Análisis de regresión múltiple). Por ello, la base de datos se redujo a 42 variables (Figura 13 en la sección de Metodología Regional).

### ***Proceso II. Análisis de correlación con todos los municipios y variables***

En el análisis paralelo de correlación de las 49 variables y los 118 municipios, se evidencia que existen relaciones significativas entre diversas variables (aunque esto no significa causalidad). Si bien son numerosas las correlaciones encontradas, para este estudio resultan relevantes aquellas que existen entre los indicadores de seguridad alimentaria, pobreza y carencia alimentarias, balances hídricos y modificación hídrica con el resto de las variables.

En la Tabla 9 se presentan las correlaciones significativas estadísticamente. De acuerdo con estos resultados, destaca que una condición de mayor pobreza alimentaria se asocia con una mayor ocurrencia de inseguridad moderada y severa y a menor pobreza alimentaria mayor seguridad alimentaria. Esto es importante, ya que los indicadores de seguridad alimentaria se calculan de manera independiente al de pobreza alimentaria y los primeros reflejan la percepción de los hogares, mientras que el indicador de pobreza alimentaria se basa en los ingresos económicos. En el caso de la carencia alimentaria, los análisis indican que se presenta junto con condiciones de pobreza, marginación y rezago; con un mayor consumo de leña y carbón para cocinar; más siembra y producción de frijol; menor índice de desarrollo, menor acceso a drenaje y menor modificación hídrica, es decir una menor degradación del ecosistema. Aunque algunas de estas relaciones parecen obvias, otras no lo son tanto, por ejemplo aquellas relacionadas con servicios ecosistémicos (uso de leña y carbón y modificación hídrica); además el hecho que se prueben estadísticamente estas relaciones es importante para los objetivos de este estudio. Más adelante, en el proceso metodológico, se ven reflejados estos resultados en la distribución espacial de los municipios (ver Proceso V, Mapa 1).

En el caso de la inseguridad moderada y severa también se encontraron relaciones con pobreza, marginación y rezago, piso de tierra en la vivienda y uso de leña y carbón

---

<sup>9</sup> Pobreza alimentaria con: pobreza, pobreza extrema y vulnerabilidad por carencia social. Producción de maíz: superficie sembrada de maíz en cultivos de riego, superficie sembrada de maíz en cultivos de temporal y producción de maíz en cultivos de riego. Valor de la producción de frijol: superficie sembrada, cosechada y producción de frijol.

para cocinar (Tabla 9). En contraste, en situación de seguridad alimentaria se enfrenta menos pobreza, marginación, rezago, carencia y pobreza alimentarias y es menor el consumo de leña, uso de piso de tierra y cultivo de frijol y se registra mayor IDH y acceso a drenaje.

En lo que se refiere al servicio ambiental, es decir a los indicadores: modificación hídrica (derivada del cambio entre el año 2002 y 2011 en la vegetación presente y el uso del suelo) y balances hídricos que indican el nivel de disponibilidad de agua sin considerar el efecto de la vegetación (balance simple) y considerando la vegetación y uso del suelo (balance ponderado), se encontraron diversas relaciones significativas (Tabla 9). Destaca que, en condiciones de mayor modificación hídrica, es decir donde se ha degradado más el ambiente por el cambio de uso del suelo para la explotación de los ecosistemas y sus servicios, hay menor pobreza (incluye la extrema), carencia y pobreza alimentarias, marginación, rezago, acceso a agua potable, uso de leña y siembra y producción de frijol de temporal. Esto asumiendo, como se planteó al inicio de este texto, que hay un acceso y una distribución equitativa de los recursos, es decir que todas las personas pueden beneficiarse de esa explotación de los ecosistemas. En contraste, bajo las mismas condiciones de una alta modificación hídrica, se reporta un mayor IDH, acceso a drenaje y valor de la producción de cultivos en general. Esto podría significar que los municipios que han hecho uso del ecosistema y sus servicios y que con ello los han degradado y modificado (medido como modificación hídrica) están obteniendo, actualmente, los beneficios de dicha explotación y los han transformado en bienestar. No obstante, es importante mencionar que es necesario evaluar esto en el tiempo, ya que es de esperarse que la explotación del capital natural genere beneficios a corto plazo (en el supuesto de una distribución equitativa de los recursos), pero no es sostenible a largo plazo sin que se generen costos ambientales, económicos y sociales. Sobre la disponibilidad de agua existente considerando la vegetación presente y sin ella, se encontraron las siguientes correlaciones: negativas de ambos balances, simple y ponderado, con producción y valor de la producción de maíz, el balance ponderado con agua potable y el simple con superficie sembrada y cosechada de maíz.

**Tabla 9. Correlaciones significativas de los indicadores de seguridad, carencia y pobreza alimentaria, balances hídricos y modificación hídrica con las variables recopiladas**

Clave de la variable	CAlimPorc10	InsLev10	InsMod10	InsSev10	SegAlim10	PobrAli10	BHSV_ha	BHBr_ha	DifSV_SIII_SupMun
PobTot10	-.221					-.369**			
PobUr10	-.242**					-.418**			
PobRur10									
PobrPorc10	.603**		.391*	.384*	-.522**	.960**			-.308**
PobrExtPorc10	.651**		.342*	.369*	-.454**	.959**			-.314**
PobrModPorc10	-.540**					-.722**			.244**
VCarSocPor10	-.603**		-.342*	-.370*	.475**	-.965**			.429**
VIngrPor10	-.531**		-.430**	-.412**	.540**	-.836**			
CSaludPorc10									
CAlimPorc10			.406**	.319*	-.490**	.628**			-.232*
InsLev10					-.660**				
InsMod10	.406**				-.743**	.367*			
InsSev10					-.558**	.382*			
SegAlim10	-.490**	-.660**	-.743**	-.558**		-.486**			
Gini10	-.360**					-.310**			
InMarg10	.654**		.344*		-.414**	.871**			
GrMarg10	.568**		.332*	.361*	-.460**	.857**			-.206*
IndRez10	.673**		.385*		-.433**	.846**			-.220*
GrRez10	.629**		.353*		-.436**	.831**			-.225**
IDH10	-.644**		-.321*		.449**	-.930**			.319**
PisoTi10	.368**		.372*		-.391**	.401**			
AguPot10							-.200*		-.290**
Drenaj10	-.642**		-.412**		.377*	-.680**			.211**
Lena10	.606**	.321*	.414**	.338*	-.545**	.900**			-.278**
PobrAli10	.628**		.367*	.382*	-.486**				-.340**
TSS_10									
TSSFri10						.224*			
FrSSRPr10									
FrSSTPr10	.358**			.336*	-.373*	.513**			-.291**
TSSMaiz10								-.191*	
MzSSRPr10									
MzSSTPr10									
TSC_10									
TSCFri10						.224*			
TSCMaiz10								-.193*	
ProdFrij10						.193*			
FrPrdRPr2010									
FrPrdTPr2010	.358**			.336*	-.373*	.513**			-.291**
ProdMaiz10							-.275**	-.292**	
MzPrdRPr2010									
MzPrdTPr2010									
ValPrd10						-.261**			.355**
ValPrdFr10						.218*			
ValPrdMaiz10							-.258**	-.274**	
SSR_10						-.182*			
SST_10									
BHSV_ha								.922**	.484**
BHBr_ha							.922**		.357**
DifSV_SIII_SupMun	-.232*					-.340**	.484**	.357**	

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

\* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Nota: para ver los nombres completos de las variables se recomienda consultar la Tabla 8.

### **Proceso III. Análisis factorial por componentes principales y regresión múltiple**

#### **Análisis factorial**

Dado que las variables relacionadas con la seguridad alimentaria son numerosas y variadas y la base de datos construida para este estudio también lo es, se realizó un

análisis de componentes principales (ACP) con el fin de facilitar la descripción e interpretación de los datos. De acuerdo con este análisis, se encontró que los primeros cinco componentes explicaron el 77% de la varianza total de los datos (Tabla 10). Los resultados obtenidos son esperables: las variables socioeconómicas junto con la agricultura y en particular la de maíz son determinantes para la seguridad alimentaria (el primer componente caracterizado por variables socioeconómicas explica el 30.4% de la varianza; el segundo componente agrícola y sobre población rural el 22% y el tercer componente de agricultura de maíz y riego el 10.5%; Tabla 10). Destaca que el cuarto componente se refiere a la disponibilidad de agua superficial con y sin el efecto de la vegetación y uso del suelo, es decir a los balances hídricos y explica el 7.3% de la varianza y finalmente el quinto componente sobre población explica el 6%. El que la disponibilidad de agua sea una de las variables que explican la varianza de los datos nos permite enfocarnos en la importancia del servicio ecosistémico. La Tabla 11 muestra la matriz de componentes con los coeficientes de correlación para cada variable y cada componente que se extrajo y para mayor claridad gráfica de la distribución espacial de esos valores se presenta la Figura 15.

**Tabla 10. Resultados del ACP con balance y modificación hídrica.**

**Varianza total explicada**

Componente	Varianza explicada por cada componente (%)	Varianza acumulada (%)
1	30.4	30.4
2	22.0	52.3
3	10.5	62.9
4	7.3	70.2
5	6.0	76.2

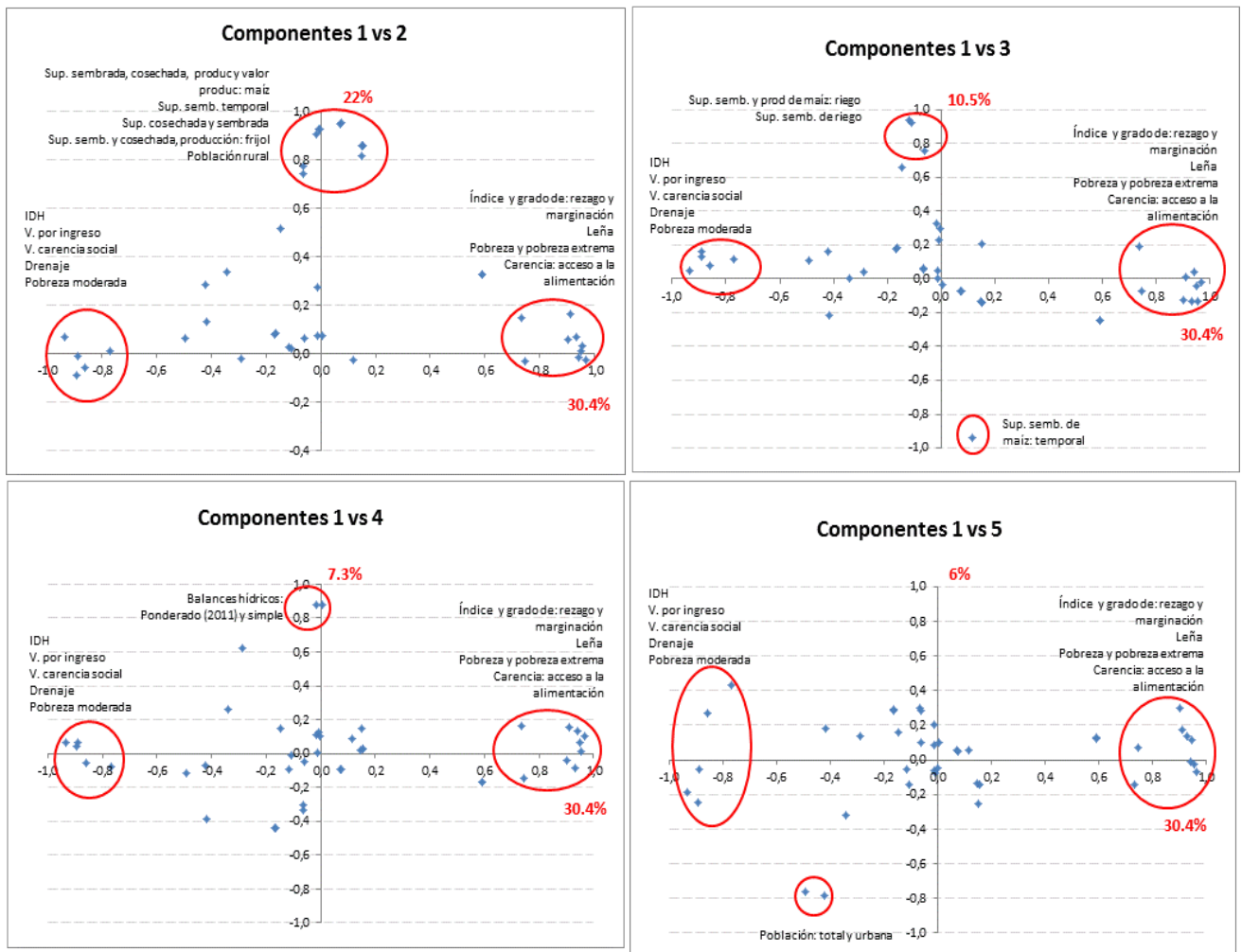
Nota: la varianza total explicada por cada componente refleja la variabilidad de los datos. Entre más alto sea el porcentaje de varianza, mayor es la capacidad explicativa del componente.

**Tabla 11. Matriz de componentes. Coeficientes de correlación por variable y componente**

Clave de la variable	Componente				
	1	2	3	4	5
PobTot10	-,421	,284	,159	-,071	<b>-,784</b>
PobUr10	-,493	,061	,109	-,118	<b>-,760</b>
PobRur10	,151	<b>,814</b>	,206	,145	-,256
PobrPorc10	<b>,902</b>	,056	-,125	-,040	,300
PobrExtPorc10	<b>,957</b>	,031	-,135	,012	-,026
PobrModPorc10	<b>-,769</b>	,010	,113	-,076	,429
VCarSocPor10	<b>-,888</b>	-,010	,160	,068	-,055
VIngrPor10	<b>-,893</b>	-,092	,134	,042	-,248
CSaludPorc10	-,013	,276	,047	,002	,204
CAlimPorc10	<b>,747</b>	-,034	-,070	-,147	,067
Gini10	-,341	,338	,004	,259	-,320
InMarg10	<b>,949</b>	,008	-,038	,067	,114
GrMarg10	<b>,910</b>	,161	,014	,153	,176
IndRez10	<b>,967</b>	-,025	-,019	,101	-,067
GrRez10	<b>,941</b>	-,018	,043	,133	-,011
IDH10	<b>-,934</b>	,071	,050	,066	-,188
PisoTi10	<b>,735</b>	,149	,190	,166	-,147
AguPot10	-,418	,132	-,216	-,386	,183
Drenaj10	<b>-,859</b>	-,059	,078	-,055	,267
Lena10	<b>,931</b>	,068	-,132	-,088	,136
TSS_10	-,015	<b>,906</b>	,328	,113	-,064
TSSFri10	,153	<b>,857</b>	-,141	,025	-,146
FrSSRPr10	-,167	,081	,180	-,440	,286
FrSSTPr10	,590	,327	-,244	-,166	,126
TSSMaiz10	,073	<b>,950</b>	-,073	-,093	,053
MzSSRPr10	-,118	,028	<b>,940</b>	-,090	-,058
MzSSTPr10	,118	-,028	<b>-,940</b>	,090	,058
TSC_10	-,001	<b>,925</b>	,294	,101	-,050
TSCFri10	,154	<b>,856</b>	-,141	,026	-,146
TSCMaiz10	,077	<b>,951</b>	-,075	-,093	,047
ProdFrij10	,148	<b>,856</b>	-,131	,021	-,134
FrPrdRPr2010	-,165	,084	,185	-,441	,292
FrPrdTPPr2010	,590	,326	-,245	-,165	,125
ProdMaiz10	-,066	<b>,740</b>	,062	-,332	,300
MzPrdRPr2010	-,108	,022	<b>,922</b>	-,008	-,142
ValPrd10	-,148	,517	,659	,145	,161
ValPrdMaiz10	-,064	<b>,775</b>	,058	-,305	,282
SSR_10	-,061	,064	<b>,754</b>	-,051	,100
SST_10	-,007	<b>,925</b>	,230	,124	-,080
BHSV_ha	,006	,073	-,033	<b>,880</b>	,102
BHBr_ha	-,014	,074	,005	<b>,875</b>	,087
DifSV_SIII_SupM	-,289	-,023	,040	,626	,137

Nota: para ver los nombres completos de las variables se recomienda consultar la Tabla 8. Se resaltan en negritas aquellos valores absolutos mayores a 0.7.





**Figura 15. Cinco componentes rotados y su varianza explicada**

Nota: los porcentajes que aparecen junto a los ejes de las gráficas se refieren al porcentaje de varianza explicado por cada componente. Los círculos señalan las variables mencionadas junto a cada eje, las cuales tienen los mayores valores (positivos o negativos) en cada componente. Los componentes se grafican respecto al primer componente, ya que es el que explica la mayor parte de la varianza de los datos.

*Análisis de regresión múltiple: componentes que influyen sobre la seguridad alimentaria*

Para conocer si los componentes obtenidos, en el ACP, influyen de manera significativa estadísticamente sobre la seguridad alimentaria y en qué medida, se realizaron cuatro regresiones múltiples que tomaron como variables dependientes cada uno de los indicadores de seguridad alimentaria (inseguridad leve, moderada, severa y seguridad alimentaria), con los *factor scores* como variables explicativas. Los resultados indican que de los cuatro indicadores de seguridad e inseguridad alimentaria sólo la seguridad alimentaria es influida por las variables socioeconómicas de manera significativa (Regresión múltiple:  $r=0.54$ ;  $F_{(4,41)}=3.73$ ;  $p=0.012$ ; Tabla 12; Coeficientes de regresión:

coeficiente tipificado  $\beta = -0.0502$ ;  $p = 0.001$ ; Tabla 13). En todas las regresiones los residuales cumplieron con la prueba de normalidad, en el caso de la seguridad alimentaria el valor Z de Kolmogorov Smirnov fue de 0.582 ( $p = 0.888$ ). El que los componentes socioeconómico, agrícola y de agua no tengan influencia significativa en los indicadores de inseguridad alimentaria leve, moderada y severa no quiere decir que no exista relación o influencia sobre ellos, sólo puede afirmarse que con las variables aquí incluidas no es posible determinar una influencia.

**Tabla 12. Resumen de los resultados de cuatro regresiones múltiples con los indicadores de seguridad alimentaria vs factor scores del ACP**

Variable dependiente	Valor de r	Anova. Grados de libertad (regresión, total)	Anova. Valor de F	Anova. Valor de p
Inseguridad leve	0.31	4,41	0.992	0.424
Inseguridad moderada	0.44	4,41	2.245	0.083
Inseguridad severa	0.42	4,41	1.974	0.119
Seguridad alimentaria	0.54	4,41	3.733	0.012

Nota: como variables explicativas se incluyeron los primeros cuatro factor scores del ACP que explican el 70.2% del total de la varianza.

**Tabla 13. Coeficientes de la regresión múltiple de seguridad alimentaria**

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	46,507	2,380		19,539	,000
	FAC1_1	-8,670	2,409	-,499	-3,599	,001
	FAC2_1	-3,272	2,409	-,188	-1,358	,183
	FAC3_1	-,737	2,409	-,042	-,306	,761
	FAC4_1	,505	2,409	,029	,209	,835

a. Variable dependiente: SegAlim10

Nota: FAC1\_1: *factor score* socioeconómico; FAC2\_1: *factor score* agrícola y población rural; FAC3\_1: *factor score* agrícola de maíz y FAC4\_1: *factor score* disponibilidad de agua.

### **Proceso V. Regresión múltiple con variables más importantes de ACP, modificación hídrica, consumo de leña y seguridad, carencia y pobreza alimentarias**

Para evaluar si hay un efecto y su magnitud de las variables con mayor peso en el ACP sobre la seguridad, carencia y pobreza alimentarias, se realizaron regresiones lineales múltiples. Dado que en el ACP los dos primeros componentes reúnen poco más del 50% de la varianza, se usaron en las regresiones las variables con mayor peso en esos componentes. Primer componente: rezago y pobreza extrema. Segundo componente:

superficie cosechada de maíz de riego y temporal (cabe mencionar que en el tercer componente las variables con mayor peso son superficie sembrada de riego y de temporal pero dado que ya se incluye la superficie cosechada total y son dependientes ya no se consideraron). Otro aspecto importante es que se incluyeron las variables relacionadas con servicios ambientales, es decir la modificación hídrica derivada del cambio de uso del suelo y cubierta vegetal, así como el consumo de leña y carbón para cocinar. En todos los casos se usaron los datos originales (no estandarizados) de las variables.

Con las variables mencionadas se obtuvo, a partir de las regresiones múltiples, que tanto los municipios con inseguridad alimentaria severa como aquellos con seguridad alimentaria dependen de manera significativa de la modificación hídrica ( $p= 0.056$ ) y del consumo de leña y carbón ( $p=0.020$ ), respectivamente. Estos resultados se ven reflejados, por municipio, más adelante en esta sección donde se integran de manera gráfica (Figura 17) y geográfica (Mapa 1). Además, la carencia y la pobreza alimentarias dependen del índice de rezago ( $p= 0.005$  y  $0.000$ ) y la pobreza alimentaria depende también del consumo de leña ( $p= 0.000$ ) y de la modificación hídrica ( $0.005$ ). Estos resultados indican que dos indicadores de seguridad alimentaria, junto con la pobreza alimentaria son influidos por la explotación que se hace de los ecosistemas, es decir dependen de los servicios ecosistémicos, en este caso uno hídrico y otro de extracción de materiales. La Tabla 14 muestra los resultados de todas las regresiones múltiples. En todas las regresiones los residuales cumplieron con la prueba de normalidad (Kolmogorov-Smirnov), en todos los casos el valor de significancia fue mayor a 0.05.

La Tabla 14 incluye los coeficientes de las variables que resultaron significativas en cada regresión múltiple. Si se observan las relaciones muy significativas y de interés para este estudio, es posible afirmar, con base en los coeficientes  $\beta$ , que en el caso de la pobreza alimentaria por cada incremento de una unidad del índice de rezago, en los municipios de Chiapas, aumenta 7.6% la pobreza alimentaria, por cada incremento de 1% en consumo de leña, aumenta 0.416% la pobreza alimentaria y que por cada incremento de  $1 \text{ m}^3/\text{ha}$  de disponibilidad hídrica disminuye 0.004% la pobreza alimentaria. En el caso de la seguridad alimentaria ésta disminuye 0.64% con cada incremento de 1% de consumo de leña. Estos resultados demuestran de manera cuantitativa la relación entre el servicio ecosistémico hídrico y un elemento de la seguridad alimentaria, medido a través de la pobreza alimentaria. También queda en evidencia la relación cuantitativa entre la seguridad alimentaria y el consumo de leña.

**Tabla 14. Resumen de los resultados de seis regresiones lineales múltiples con los indicadores de seguridad alimentaria, carencia y pobreza alimentaria vs variables seleccionadas del ACP, modificación hídrica y consumo de leña y carbón**

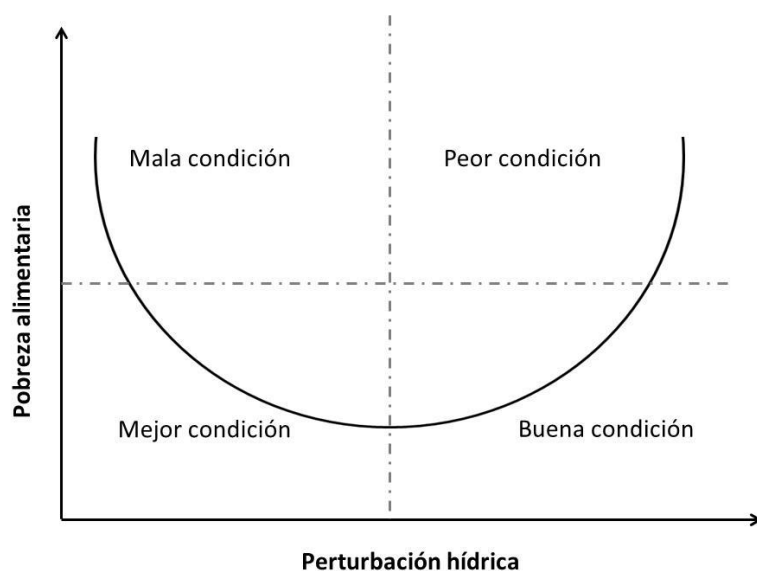
Variable dependiente	n	R <sup>2</sup>	F	P	Variable significativa	Coefficiente $\beta$	Error	P (variable significativa)
Inseguridad severa	42	0.279	2.787	0.032	Modificación hídrica	0.007	0.003	0.056
Seguridad alimentaria	42	0.349	3.855	0.007	Leña	-0.640	0.263	0.020
Inseguridad leve	42	0.198	1.781	0.142	-	-	-	-
Inseguridad moderada	42	0.228	2.126	0.085	-	-	-	-
Carencia alimentaria	118	0.477	20.434	0.000	Índice de rezago	4.946	1.745	0.005
Pobreza alimentaria	118	0.873	194.354	0.000	Índice de rezago	7.651	1.095	0.000
					Leña	0.416	0.039	0.000
					Modificación hídrica	-0.004	0.002	0.005

Nota: también se incluyó en las regresiones múltiples la variable superficie cosechada de maíz, ya que fue una de las de mayor peso en el ACP pero no resultó estadísticamente significativa en estas regresiones.

De los resultados anteriores destaca la fuerte relación ( $r^2=0.873$ ) entre la pobreza alimentaria y el cambio o modificación de los servicios ambientales hídricos (medidos aquí como modificación hídrica), consumo de leña y carbón y rezago. A pesar de que dos de los indicadores de seguridad alimentaria tienen una relación significativa con la modificación hídrica, la relación es más fuerte con la pobreza. Con ello, y dado que la pobreza alimentaria se correlaciona de manera estadísticamente significativa con los indicadores de seguridad alimentaria (ver Tabla 9), podría considerarse a la pobreza alimentaria como un indicador proxy de los indicadores de seguridad alimentaria propuestos en la Escala Mexicana de Seguridad Alimentaria para evaluar su relación con servicios ecosistémicos hídricos.

Las Figuras 16 y 17 muestran de manera gráfica la relación entre pobreza alimentaria y modificación hídrica. La Figura 16 presenta una propuesta de este estudio sobre la curva que en teoría se esperaría de dicha relación. En el espacio de la relación entre estas dos variables podrían distinguirse cuatro zonas o cuadrantes que permitirían caracterizar a los municipios de Chiapas. Los municipios con mayor modificación del balance hídrico tienen dos posibilidades: presentar menor o mayor pobreza alimentaria, dependiendo del punto de la curva en que se encuentren. En el caso de menor pobreza alimentaria la hipótesis es que esos municipios han explotado sus ecosistemas y sus servicios ecosistémicos, lo que se ha traducido en bienestar para sus habitantes, ubicándose por ello en una situación que aquí llamaremos *buena condición*. En contraste, aquellos municipios con mayor pobreza alimentaria (y alta modificación hídrica) puede ser que se hayan excedido en la explotación y degradación de sus ecosistemas y servicios

ecosistémicos, por lo que los beneficios disminuyen y con ello aumenta la pobreza ubicándolos en una *peor condición* respecto al resto de los municipios. En el caso de los otros dos cuadrantes de la gráfica, con baja modificación hídrica, también hay dos zonas: una con mayor pobreza alimentaria (llamada aquí *mala condición*) y otra con menor pobreza que ubica a los municipios en una *mejor condición*; en ambos casos aún no han perturbado en gran medida sus ecosistemas y sus servicios. De estos dos grupos, aquellos que se ubican en el cuadrante de *mala condición*, reportan elevados niveles de pobreza alimentaria pero podrían tener aún la capacidad de explotar sus ecosistemas, ya que la modificación hídrica debida al cambio de uso del suelo ha sido baja. No obstante, es importante destacar que en este último caso no se pretende, en este estudio, sugerir que los ecosistemas y sus servicios se usen sin ninguna planeación que permita un uso sustentable de ellos, sólo se describen las diferentes situaciones que pueden estar ocurriendo. Por último, en el caso de los municipios con una *mejor condición*, la hipótesis es que a pesar de su menor nivel de modificación hídrica, asociada con el cambio de uso del suelo, tienen condiciones adecuadas que les permiten tener una menor pobreza alimentaria, ya sea porque hay otros factores operando que no incluimos en este estudio y que aseguran una distribución y acceso equitativo de los recursos o bien, y no son opciones excluyentes, porque el uso que han hecho de sus ecosistemas ha sido de manera sostenible, por lo que la perturbación es menor pero sí se traduce en beneficios para los habitantes. Una curva que incluya la seguridad alimentaria en lugar de pobreza alimentaria se vería con la misma forma pero invertida.

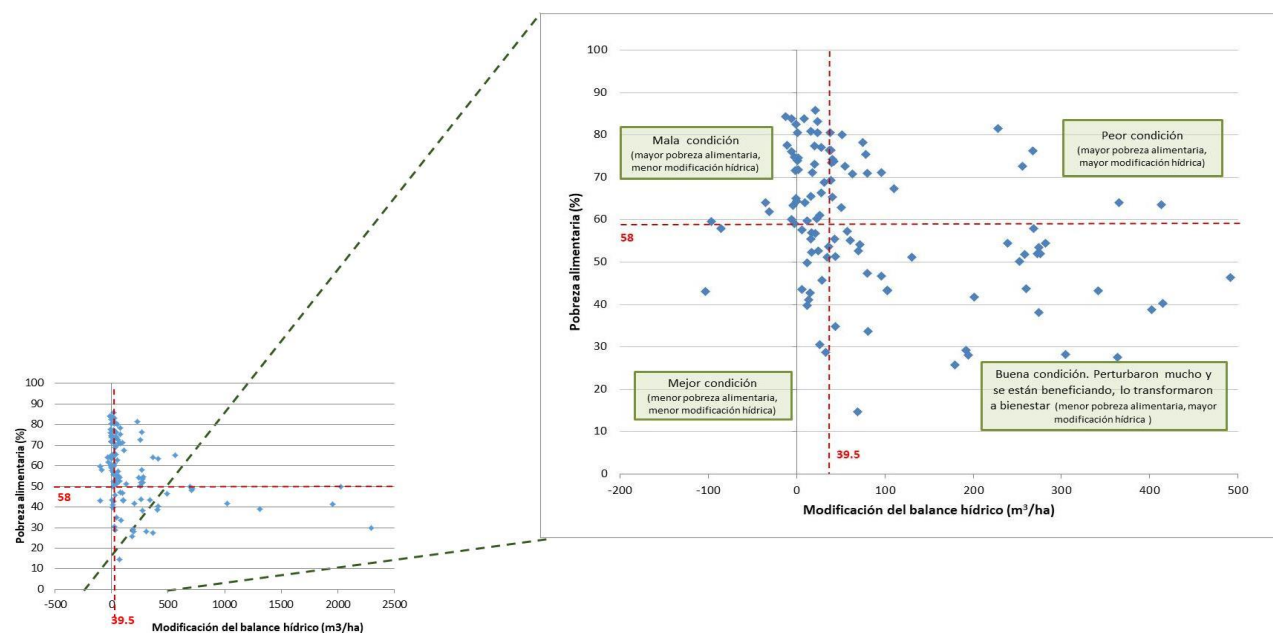


**Figura 16. Relación teórica entre la modificación hídrica y la pobreza alimentaria**

Nota: las líneas discontinuas dividen cuadrantes en la relación entre las variables.

Fuente: elaboración propia.

La Figura 17 muestra la distribución de los municipios de Chiapas con base en la relación pobreza alimentaria-modificación hídrica e incluye un acercamiento a la nube de puntos para facilitar su visualización. En ella, se muestran los cuatro cuadrantes delimitados con base en la mediana de los valores de modificación hídrica ( $39.5\text{m}^3/\text{ha}$ ) y pobreza alimentaria (58%). Estos cuadrantes permiten analizar en qué situación se encuentran los municipios. Del total de municipios (118), el 14% (16 municipios) se encuentran en la *peor condición* respecto al resto de los municipios, ya que reportan elevados niveles de pobreza alimentaria con condiciones de modificación hídrica en un nivel mayor a la mediana del estado. En *mala condición*, se encuentran 35.6% (42 municipios) en los cuales hay elevados niveles de pobreza alimentaria pero baja modificación hídrica, es decir podría existir potencial para explotar sus recursos. En contraste, están los municipios con *buena condición* (35.6%; 42 municipios), ya que reportan menores niveles de pobreza alimentaria aunque mayor modificación del balance hídrico, por lo que es posible que se estén beneficiando de la explotación de los ecosistemas y sus servicios y hayan transformado este uso en bienestar. Sin embargo, es fundamental un análisis en el tiempo, ya que este beneficio a costa del uso de los recursos no se puede mantener de forma indefinida sin estrategias de uso sostenible, ya que los ecosistemas y sus servicios se degradan. Finalmente, están aquellos municipios (15%; 18 municipios) que bajo esta clasificación tendrían la *mejor condición* de todo el estado, ya que reportan menores niveles de pobreza alimentaria y baja modificación hídrica, por lo que cuentan con potencial para explotar sus recursos y servicios ecosistémicos pero partiendo de una mejor condición alimentaria, lo cual puede ser decisivo en la forma de explotación de los recursos.

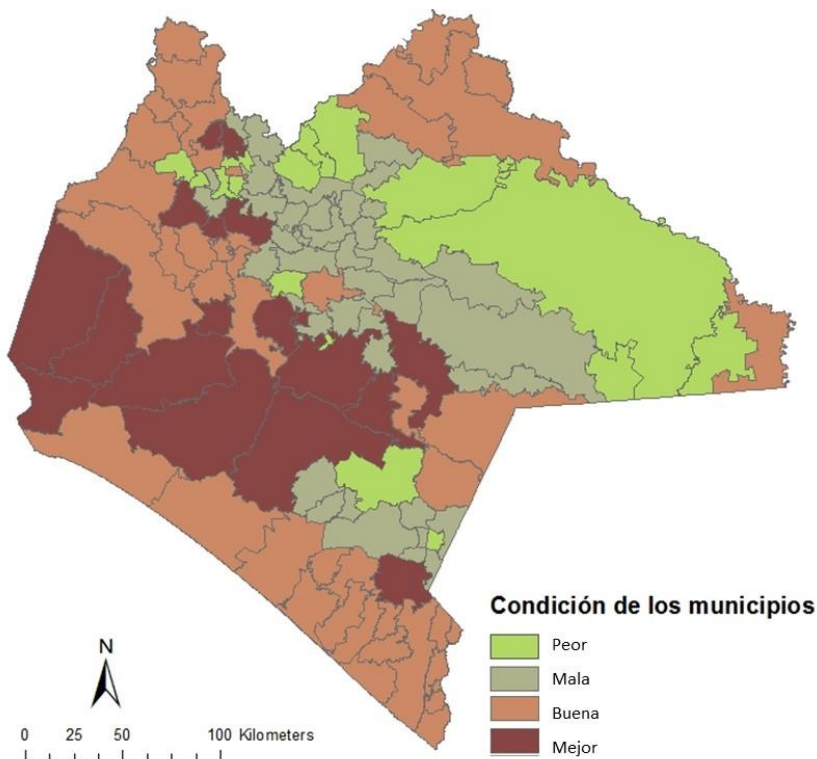


**Figura 17. Relación entre la modificación del balance hídrico y la pobreza alimentaria**

Nota: las líneas discontinuas sobre las gráficas y los números junto a ellas se refieren a las medianas de la modificación hídrica y la pobreza alimentaria. Estos valores se usaron para definir cuadrantes en la relación entre las variables.

Si la distribución de los municipios, que es importante reiterar responde sólo a la relación modificación hídrica y pobreza alimentaria sin considerar ninguna otra variable, se representa en un mapa, se obtiene que los municipios en la categoría *peor condición* (elevadas pobreza y modificación hídrica) se ubican en la región norte y noreste de Chiapas cuyos municipios ocupan una gran parte de las llamadas Montañas de Oriente y presentan amplias zonas de selva (Mapa 1). La categoría *mala condición* coincide en gran parte con la región de los Altos de Chiapas donde predominan los bosques de encino y coníferas, así como zonas agrícolas. Como se mencionó arriba estos municipios presentan elevados niveles de pobreza pero baja modificación hídrica por lo que cuentan con potencial o crédito para usar sus recursos naturales. Por otro lado, los municipios que reportan la mayor modificación hídrica pero bajos niveles de pobreza, por lo que se encuentran en una *buena condición* se ubican en diversas zonas: destaca la Llanura Costera del Pacífico con porciones de selva y bosque mesófilo de montaña, parte de las Montañas del Norte y Llanura Costera del Golfo y una pequeña porción, al sureste, de los Altos de Chiapas y de las Montañas de Oriente. En contraste, los municipios en *mejor condición*, caracterizados por bajos niveles de pobreza y baja modificación, es decir mayor bienestar y con crédito para usar sus ecosistemas y servicios se ubican en una gran parte de la Depresión Central y la Sierra Madre de Chiapas donde predominan los bosques de coníferas y mesófilos de montaña con algunas porciones de selva.

Estos resultados pueden resultar contra intuitivos, ya que las zonas con mayor cobertura vegetal tienen menor modificación hídrica y viceversa, es decir las zonas con menor cobertura vegetal estarían presentando un mayor volumen de agua o flujo superficial potencialmente disponible (no se sabe si está efectivamente disponible porque no se evaluó el acceso a ella o su calidad) Sin embargo, existen estudios que han encontrado que las zonas con mayor cobertura vegetal tienen menores volúmenes de agua disponible para las actividades humanas debido a que la vegetación retiene agua como parte importante del ciclo hidrológico (Ilstedt et al., 2016). Lo anterior de ninguna manera significa que sea mejor tener áreas desprovistas de vegetación para tener mayores volúmenes de agua disponible, ya que un uso no sostenible de los ecosistemas no es sostenible tampoco en el tiempo. Esto se aborda con mayor detalle en la discusión.



**Mapa 1. Distribución de los municipios con base en los cuadrantes de la relación entre la modificación del balance hídrico y la pobreza alimentaria (ver Figura 17)**

## 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 DISCUSIÓN

#### I- Discusión sobre el análisis a nivel nacional

##### *Factores que influyen en la seguridad alimentaria a nivel nacional*

El que las personas se encuentren en condiciones de seguridad alimentaria o no depende de numerosos factores y puede evaluarse de diversas formas y a través de un gran número de indicadores como los propuestos por la FAO, o por aquellos incluidos en los Objetivos de Desarrollo del Milenio y Objetivos de Desarrollo Sostenible, sólo por mencionar algunas de las iniciativas internacionales que existen y monitorean indicadores relacionados con el tema (FAO, 2016) (FAO, 2012) (UN, 2017a) (UN, 2017b). Sin embargo, hay elementos como los servicios ecosistémicos hídricos para los que, aunque se reconoce su importancia, prácticamente no existen estudios que evalúen de manera cuantitativa su influencia sobre el bienestar de la población, que incluye su seguridad alimentaria.



Generalmente, los estudios sobre servicios ecosistémicos y seguridad alimentaria tienden a enfocarse en la extracción de alimentos y materias primas de los ecosistemas o bien en servicios como la polinización (Power, 2010) (Sandhu, Wratten, & Cullen, 2010) (Richardson, 2010). En este contexto y dado que para poder resolver problemas es necesario primero conocerlos, este estudio exploró de una manera más detallada la importancia de los servicios hídricos sobre la seguridad alimentaria de las personas. Uno de los primeros resultados importantes fue la propuesta de un esquema conceptual en el que se identificaron flujos y reservas que se conectan en un sistema complejo que involucra a los ecosistemas, el flujo del agua a través de ellos y hacia la producción agrícola y el bienestar de las personas (medido como seguridad alimentaria; Figura 4). A partir de esta conceptualización del sistema fue posible identificar variables para su evaluación.

El análisis a nivel nacional, aunque a una escala gruesa, permitió identificar aquellos conjuntos de variables que describen mejor la diversidad en los estados y que guardan relación entre ellas (no forzosamente de causalidad). Los resultados de esta aproximación nacional indican que los aspectos socioeconómicos, de infraestructura y servicios, así como la producción agrícola y el agua concesionada para la agricultura fueron los más importantes para describir la variación entre estados. Destaca que entre las variables que determinan las diferencias entre los estados están algunas relacionadas con la seguridad alimentaria. Estos resultados son relevantes para los objetivos de este trabajo, ya que diversos estudios plantean que el acceso a los alimentos depende en buena medida de los recursos económicos e infraestructura con que cuentan las familias (FAO, Sagarpa, Sedesol, & INSP, 2013), además una mayor producción agrícola ya sea para autoconsumo o para comercialización también conduce a una mayor seguridad alimentaria (FAO et al., 2013) (Torres, 2003), por ello el que estas variables marcaran las diferencias entre estados facilitó la elección de aquel que más se diferenció del resto para hacer la evaluación posterior a nivel regional. Hasta esta fase del análisis no figuraron de manera destacada las variables relacionadas con los servicios ecosistémicos. Se incluyeron variables como cobertura vegetal, diferentes tipos de degradación de los suelos, precipitación, agua almacenada en presas y volúmenes de agua superficial y subterránea. Es posible que estas variables, aunque importantes, no hayan resultado significativas debido a que comparativamente varían menos entre los estados y por lo tanto no son muy útiles para clasificarlos. Además las variables se incluyeron de manera individual y no en interacción entre ellas como ocurre realmente en la naturaleza. Es decir, se incluyeron por separado la precipitación, la cobertura vegetal y el agua disponible ya sea subterránea o superficial pero en la realidad no están aisladas, se conectan a través del ciclo hidrológico (Ordoñez, 2011a).

Por lo tanto, hasta esta fase, los resultados junto con el esquema conceptual propuesto, permitieron cumplir el primer objetivo de este trabajo y responder, a escala nacional, la pregunta que de él se deriva: ¿cuáles son los flujos y reservas que existen en

este sistema complejo a través del cual se dan las relaciones entre servicios ecosistémicos, agricultura y bienestar social, medido como seguridad alimentaria? También fue posible identificar, a partir de los elementos propuestos en el esquema conceptual del sistema y el posterior análisis exploratorio, aquellos factores o variables principales que determinan la varianza entre las entidades federativas del país. Un aspecto relevante de estos resultados es que fue posible identificar un conjunto de variables asociadas a la provisión de servicios ambientales (aquellas relacionadas con la agricultura), así como variables relacionadas con la seguridad alimentaria dentro del conjunto de elementos que diferencian a los estados del país. Lo anterior permitió tener elementos para realizar el análisis más profundo a escala regional (Chiapas) sobre la condición de los servicios hidrológicos y sus implicaciones en el bienestar de la sociedad en particular sobre la seguridad alimentaria.

De los objetivos se desprenden otras dos preguntas. ¿La seguridad alimentaria de las personas y con ello su bienestar dependen de manera significativa de los servicios ecosistémicos hídricos? ¿Estos servicios ecosistémicos hídricos son determinantes en la agricultura? Esto no pudo ser contestado con el análisis a escala nacional. El que no se encontraran evidencias de la relación e influencia de las variables ambientales con la agricultura y la seguridad alimentaria, en la escala nacional, no significa que no exista una interacción, sino que puede ser que no se haya detectado debido a límites metodológicos. La escala de los datos y el que algunas variables (p. e. precipitación y cobertura vegetal), relacionadas con el ciclo hidrológico y los flujos de agua, se hayan incluido de manera independiente y no en un indicador que reflejara su interacción pueden ser algunos de los elementos que influyeron en el resultado. Se identificaron otros factores (socioeconómicos, infraestructura y agrícolas) pero no los de servicios hídricos, con excepción del agua concesionada para uso agrícola, la cual proviene de una parte del ciclo hidrológico. Esto último, fue un primer indicio de la importancia de los recursos hídricos en la seguridad alimentaria de las personas, lo cual se confirmó en el análisis regional.

En lo que se refiere a las entidades federativas que se separaron del resto en función de las variables incluidas en el análisis, fueron cuatro: Chiapas, Guerrero, Oaxaca y Veracruz. Estas entidades se caracterizan por condiciones socioeconómicas contrastantes y con elevados índices de pobreza y desigualdad. Sin duda, un análisis más profundo sobre estas cuatro entidades podría resultar interesante, ya que aunque comparten algunas características como las mencionadas, también presentan diferencias en actividades productivas y cambios de uso del suelo y deforestación, sólo por mencionar algunas, que permitirían hacer una comparación entre ellas para evaluar cómo el cambio en algunos elementos del sistema produce determinadas situaciones alimentarias. La entidad elegida para el análisis regional fue Chiapas por sus características socioeconómicas, ambientales y por la existencia de una gran diversidad de información sobre ella. Esta entidad se

caracteriza por ser una de las de mayor biodiversidad en el país; se reconocen 17 tipos de vegetación, posee la mayor diversidad de mamíferos y la segunda en reptiles pero ha sido afectada históricamente por la pérdida de hábitat, sobreexplotación de recursos e introducción de especies exóticas, entre otros (CONABIO, 2013a). En contraste con su gran capital natural y cultural, el estado ocupó, en 2010, el primer lugar en pobreza (78.5% de su población) y pobreza extrema (38.3%) del país (CONEVAL, 2012), así como el de mayor desigualdad (coeficiente de Gini de 0.541) (CONEVAL, 2012) y menor desarrollo humano (0.65) (PNUD, 2015). La crisis nacional se ha reflejado fuertemente en Chiapas y se trata de una crisis no sólo de los campesinos y la sociedad rural, reflejada en la pobreza, el hambre y la migración, sino de una crisis ecológica Villafuerte (2015). El Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) generó para México una dependencia y obligó un cambio en el patrón de consumo alimentario que generó una mayor subordinación de productores y consumidores al mercado Villafuerte (2015). A esto se suma el constante incremento de los precios en los alimentos Villafuerte (2015) y esto junto con los bajos ingresos que perciben las familias genera incertidumbre y un incremento de su vulnerabilidad (González, 2012). El sur de México, donde se ubica Chiapas, concentra la mayor cantidad de pobres y excluidos del país, sin embargo, paradójicamente, es donde existe una enorme riqueza de recursos naturales Villafuerte (2015).

## **II- Discusión sobre el análisis a nivel regional: Chiapas**

### ***Factores que influyen en la seguridad alimentaria a nivel regional***

El interés fundamental de este estudio fue conocer cómo y qué determina el bienestar de las personas, medido a través de la seguridad alimentaria, y cuál es la importancia de los servicios ecosistémicos hídricos en este sistema. En el análisis regional, en Chiapas, los resultados indican que son tres aspectos los determinantes de la seguridad alimentaria: los aspectos socioeconómicos (incluida la seguridad alimentaria), la agricultura y los servicios ecosistémicos hídricos. Los resultados son consistentes con las variables socioeconómicas y de agricultura encontradas a nivel nacional como aquellas que determinan las diferencias entre estados y en el nivel regional entre municipios. Además, en Chiapas, fue posible evidenciar la importancia que tiene la cobertura vegetal en los volúmenes de agua disponible, es decir la importancia de los servicios ecosistémicos hídricos. También se encontró una fuerte relación de la modificación del balance hídrico, es decir de la modificación del servicio ecosistémico, con la pobreza alimentaria de las personas. En los siguientes párrafos se discute la importancia de cada uno de estos tres factores determinantes para la seguridad alimentaria en Chiapas.

El análisis indica que, en primer lugar, en Chiapas, los aspectos socioeconómicos son determinantes para la seguridad alimentaria. Una condición de pobreza, marginación y rezago, así como el uso de una mayor proporción leña y carbón para cocinar, menor IDH y menor acceso a drenaje se asocian con carencia y pobreza alimentarias, así como con inseguridad alimentaria moderada y severa. Una de las ventajas de los métodos cuantitativos es que nos señalan un número más reducido de variables que tienen influencia en el fenómeno que se analiza. No obstante, es importante señalar que estas relaciones no indican causalidad entre ellas y su interpretación requiere un análisis más complejo. Menor consumo de leña no significa una inmediata seguridad alimentaria. El consumo de leña está relacionado con la falta de infraestructura en el hogar que es una consecuencia de la pobreza y el hecho de sustituir la leña por una estufa no significaría un alivio instantáneo de la pobreza. Lo mismo se podría decir con respecto al acceso a drenaje, salud y educación (estos dos últimos incluidos en el IDH). Además, de los cuatro indicadores de seguridad alimentaria de la EMSA, el de seguridad alimentaria depende significativamente de los aspectos socioeconómicos (si nos basamos sólo en los *factor scores* obtenidos; Tablas 12 y 13). En este punto es importante considerar que dado que el *factor score* socioeconómico es una variable artificial, que incluye el efecto de muchas variables, no permite ver el efecto de aquellas variables individuales que tuvieron el mayor peso en ese componente. Aspecto que sí pudo visualizarse en los análisis posteriores y que se abordan en los siguientes párrafos.

En segundo lugar destaca, en este sistema complejo, la importancia de los aspectos agrícolas. Las variables con mayor peso en este componente están relacionadas con la agricultura de maíz (superficies sembradas y cosechadas). Aunque en menor medida, la agricultura de frijol resultó ser un factor importante en el conjunto de variables. Esto también coincide con lo esperado, ya que el maíz junto con el frijol, son de los principales cultivos en la zona y se asocian frecuentemente con agricultura de autoconsumo (Conabio, 2013). Sin embargo, aunque importante, este elemento no pudo ser abordado con más detalle debido a las limitantes en disponibilidad de información. Aunque se contó con datos por municipio para los principales cultivos, no fue posible determinar cuántos de ellos y en qué magnitud dependen del agua captada directamente por los ecosistemas. Para ello, es necesario hacer un análisis más profundo de las dinámicas de los escurrimientos para determinar cuánta del agua disponible, calculada en los balances hídricos, se mueve y hacia dónde y de ese volumen cuánto se usa en los diferentes cultivos<sup>10</sup>. Con el cálculo del balance hídrico aunque se considera el volumen de agua que escurre no se analiza cómo se mueve esa agua.

Hasta esta fase del estudio no había sido posible contestar a una de las preguntas fundamentales ¿El bienestar de las personas, medido a través de la seguridad alimentaria

---

<sup>10</sup> Las ventajas y desventajas metodológicas se abordan en esta discusión, en la sección *III Aspectos metodológicos, a) Ventajas y limitaciones*.

depende de manera significativa de los servicios ecosistémicos hídricos? La literatura indica ampliamente que los servicios hídricos son esenciales (Sukhdev, 2015) (Millennium Ecosystem Assessment, 2005) (McCornick, 2012) pero falta mucho trabajo para determinar cuánto. Se sabe que la escasez de agua contribuye con la pobreza de alrededor de un tercio de la población mundial, ya que limita la producción de alimentos, la nutrición, la salud e impacta las oportunidades de educación, trabajo y mejora de medios de vida (Ilstedt et al., 2016).

Actualmente, los ciclos de agua y energía, determinados por los bosques, son escasamente considerados o están ausentes en la toma de decisiones a nivel regional, nacional, continental y mundial (Ellison et al., 2017). Ellison y colaboradores plantean que los bosques deben ser reconocidos como los reguladores principales del ciclo del agua, energía y carbono, ya que de ignorarse estas funciones, los tomadores de decisiones no podrán evaluar y diseñar estrategias y políticas ante el cambio de uso del suelo y el cambio climático (Ellison et al., 2017).

Para contestar las preguntas planteadas, se calculó tanto un balance hídrico simple, como uno ponderado por el efecto de la vegetación presente y a partir de ellos un indicador exploratorio de modificación del balance hídrico. Estos balances y el indicador incorporan la visión de interacción que se señaló párrafos arriba. Al ser calculados con base en los elementos del ciclo hidrológico e incluir de manera integrada las variables físicas (como precipitación, evapotranspiración y tipo de suelo) y a las variables relacionadas con los ecosistemas (como tipo de vegetación presente, superficie cubierta y usos de suelo) se consideran los flujos de agua. De esta manera, se cubrió el aspecto de interacción que ocurre naturalmente entre las variables incluidas y que no se cubrió a escala nacional.

Además el cálculo del indicador exploratorio de modificación hídrica permitió ir un paso adelante, ya que con él fue posible calcular el cambio en la disponibilidad de agua que podría haber ocurrido como resultado del cambio de uso del suelo. Dado que este indicador se calculó como la diferencia de disponibilidad de agua entre 2011 y 2002, ponderado por la superficie del municipio, un mayor valor del indicador es indicativo de una mayor cantidad de agua potencialmente disponible en el 2011 (por unidad de área). Esto puede parecer contradictorio a primera vista sabiendo que Chiapas ha enfrentado una enorme deforestación y prácticas de roza, tumba y quema en amplias zonas montañosas (Conabio, 2013). Entre los años 2002 y 2011 fue el estado que perdió su cobertura vegetal natural más rápido (0.69% anual) y de la vegetación natural primaria que queda fue uno de los que enfrentó una mayor velocidad de degradación (1.45% anual) en el país (Semarnat, 2016). Existe evidencia de que a mayor cobertura vegetal menor disponibilidad de agua para usos humanos (Ilstedt et al., 2016), entre ellos el agrícola. Esto se debe a que la vegetación, como parte importante del ciclo hidrológico, retiene y transpira cantidades importantes de agua (Ordoñez, 2011a) por lo que ese

volumen de agua no está disponible para las actividades humanas. Un estudio encontró que amplias coberturas vegetales en África retienen tanta agua que el volumen de recarga de los acuíferos es menor que en aquellas zonas con escasa cubierta vegetal pero que, en zonas con una cobertura intermedia, se maximiza la recarga de agua y con ello el volumen disponible es mayor (Ilstedt et al., 2016). Esto se debe a que, en áreas con baja densidad de árboles, el agua que escurre superficialmente y la evaporación del suelo son altas, lo que produce una baja recarga de agua subterránea. En bosques con gran densidad arbórea, a pesar de la baja escorrentía superficial y evaporación del suelo, la transpiración y la intercepción de agua por la vegetación son altas, lo que produce una recarga muy baja de agua subterránea y con ello una menor disponibilidad de agua. En contraste, en bosques con una cobertura intermedia, el bajo escurrimiento superficial, una menor evaporación, así como una transpiración intermedia, maximizan la recarga del agua subterránea (Ilstedt et al., 2016). Esto es consistente con lo encontrado en los balances hídricos para 2002 y 2011 y se refleja en el indicador de modificación hídrica calculado. Entonces una mayor cantidad de agua disponible en el año 2011 respecto al 2002 significa que se perturbó más el ecosistema. El indicador entonces nos está reflejando el cambio en la disponibilidad de agua debido al cambio de uso del suelo, es decir a mayor perturbación del ecosistema y con ello mayor modificación del balance hídrico, mayor volumen de agua potencialmente disponible en esos municipios. Esto no significa que sea mejor contar una menor cobertura vegetal, ya que de seguir la tendencia de mayor modificación puede no ser sostenible en el tiempo, ya que se rebasan los umbrales naturales. Es importante considerar que aunque una menor cobertura vegetal se asocie con un mayor volumen de agua potencialmente disponible, también hay evidencia de que los flujos de agua, en sitios con menor cobertura, pueden ocasionar fuertes avenidas y erosión del suelo, con lo que se acarrean sedimentos y todo tipo de compuestos e incluso contaminantes disminuyendo la calidad del agua (Farley, Jobbágy y Jackson, 2005; Ellison *et al.*, 2017; Neary, Ice y Jackson, 2009). Farley *et al.*, (2005) encontraron que en zonas reforestadas se reduce la escorrentía entre un 31 y 75% dependiendo de la especie que se use para reforestar (pinos, eucaliptos, pastizales o matorrales). Por lo tanto, una menor cobertura vegetal puede generar que esa agua “disponible” no lo sea en la realidad debido a que es de mala calidad o a que no es posible almacenarla para su uso debido a que llega en eventos muy rápidos y en grandes volúmenes al no tener una cubierta forestal que frene su flujo. Por supuesto, también es fundamental considerar en el tema de la disponibilidad tanto el acceso como la distribución de los recursos, incluida el agua, para las poblaciones en las zonas de estudio.

Con el indicador de modificación hídrica pudieron evaluarse las posibles relaciones de la seguridad alimentaria con el servicio ambiental hídrico, es decir el tercer factor determinante. El análisis de correlación inicial mostró diversas relaciones muy significativas ( $P=0.01$ ) y de interés para este estudio de la pobreza alimentaria con: la modificación hídrica (-0.34), el consumo de leña y carbón (0.9) y la seguridad alimentaria

(-0.486; Tabla 9). Esto refuerza la conclusión anterior de que a mayor modificación del balance hídrico, que implica una mayor perturbación de los ecosistemas, menor pobreza alimentaria, menor consumo de leña y mayor seguridad alimentaria. Otras relaciones significativas ( $P=0.05$ ) que destacan de la pobreza alimentaria ocurren con los indicadores de inseguridad alimentaria moderada (0.367) y severa (0.382; Tabla 9). Lo que significa que una mayor pobreza alimentaria significa también condiciones de inseguridad moderada o severa. Al mismo tiempo, las variables con mayor peso en el análisis de componentes principales fueron rezago, pobreza extrema y superficie cosechada de maíz y se pudo documentar su efecto, individual y significativo, junto con el de los indicadores relacionados con servicios ecosistémicos (disponibilidad hídrica y consumo de leña y carbón) sobre la inseguridad severa, seguridad alimentaria y pobreza alimentaria (Tabla 14). Con base en los resultados, es evidente que estas tres variables dependen de la explotación que se hace de los ecosistemas, es decir dependen de los servicios ecosistémicos, en este caso uno hídrico y otro de extracción de materiales (leña). Por supuesto, esas tres variables dependen y son afectadas también por otros factores tanto económicos, de mercado y de políticas públicas entre otros.

Estos resultados son relevantes, ya que podemos confirmar que los servicios ecosistémicos hídricos son relevantes para la seguridad alimentaria de las familias, ya que la relación estadística entre pobreza alimentaria y modificación del balance hídrico y consumo de leña es muy alta ( $r^2= 0.873$ , la significancia de la relación con modificación hídrica es 0.005 y con leña es de 0.000; Tabla 14). Esto además se evidenció de manera cuantitativa para uno de los aspectos de la seguridad alimentaria, medido como pobreza alimentaria. Por cada incremento de una unidad del índice de rezago, en los municipios de Chiapas, crece 7.6% la pobreza alimentaria, por cada 1% de aumento en consumo de leña, se incrementa 0.416% la pobreza alimentaria y que por cada metro cúbico adicional de agua, por hectárea, derivado de la modificación hídrica disminuye 0.004% la pobreza alimentaria. En el caso de la seguridad alimentaria se encontró que disminuye 0.64% con cada incremento de 1% de consumo de leña. Estos resultados permitieron cumplir uno de los objetivos más importantes de este proyecto que era determinar de forma cuantitativa la importancia de los servicios ecosistémicos hídricos sobre la seguridad alimentaria.

Una interpretación de estos resultados es que en los municipios con mayor modificación hídrica y menor pobreza alimentaria, la explotación que han hecho del ecosistema y sus servicios, en este caso hídricos, se esté traduciendo en beneficios que significan mayor bienestar social. Sin embargo, esta interpretación sólo puede hacerse para un punto específico en el tiempo (año 2010) y para los municipios de Chiapas, por lo que sería fundamental evaluarlo en un periodo largo. Es esperable que si se hace uso del capital natural se generen beneficios y con ello bienestar social en el corto plazo (bajo condiciones de equidad de acceso y distribución de recursos) pero esto no es sostenible a largo plazo sin estrategias de uso sostenible, ya que siempre se generarán costos ambientales, sociales y económicos. Por supuesto, la relación entre los servicios

ecosistémicos y la seguridad alimentaria y en general el bienestar social es más complicada y no tan directa, ya que como se mencionó antes existen factores sociales que determinan el acceso y distribución a los recursos. Aunque en ese estudio se partió, para el análisis, del supuesto de acceso y distribución equitativa es esencial retomar en esta discusión que la historia agraria, los patrones de migración, las políticas públicas, la gobernanza y la dinámica de mercado, entre otros factores son elementos clave en la asignación de recursos, incluidos los hídricos. En este sentido, el entendimiento de cómo los bosques y en general la cobertura vegetal influyen en el ciclo del agua, determinando la disponibilidad de agua para usos humanos como interesa en este estudio, tiene implicaciones en la planificación, gestión y gobernanza de formas de uso más sostenibles de las coberturas vegetales (Ellison et al., 2017).

Otro punto relevante de las relaciones encontradas en este estudio, es que una relación tan contundente entre el servicio ambiental hídrico (modificación hídrica) y la pobreza alimentaria permite incluso poder proponer al indicador de pobreza alimentaria como un indicador proxy de los indicadores de seguridad alimentaria para poder usarlo en otras evaluaciones de servicios ecosistémicos. Los indicadores de la EMSA no reportan datos para todos los municipios, la aplicación de encuestas como la EMSA es un ejercicio necesario pero costoso. Aunque la EMSA se aplica como parte de la ENIGH, desde el año 2008, cada pregunta adicional incluida puede incrementar el costo de la encuesta. En el caso del indicador de pobreza alimentaria, que se calcula a partir de la ENIGH original, ya cubre todos los municipios del país, así que se puede emplear en los casos en los que la información de los indicadores de seguridad alimentaria no sea suficiente, lo que no generará costos extras. Por supuesto, es importante considerar que el indicador de pobreza alimentaria sólo considera la perspectiva de ingresos y no la perspectiva de las personas como la EMSA (FAO et al., 2013) y esto es un elemento que resulta fundamental para una toma de decisiones más sólida e incluyente.

Por otro lado, a partir de la zonificación de los municipios de Chiapas basada en la relación pobreza alimentaria-modificación hídrica, se obtuvieron cuatro regiones (Figura 17 y Mapa 1). Aunque estas regiones sólo responden a esta categorización, el mapa generado es un primer diagnóstico que permite identificar grupos de municipios que podrían considerarse en riesgo. Por ejemplo, un foco rojo está en el grupo de municipios, entre los que se encuentran Ocosingo, Marqués de Comillas y Chilón, que se ubican en la categoría *peor condición* (elevadas pobreza y modificación hídrica) en la región norte y noreste de Chiapas, abarcando una gran parte de las llamadas Montañas de Oriente. Estos municipios no sólo reportan elevados niveles de pobreza alimentaria, sino que ya presentan condiciones de elevada modificación hídrica y aun así parecen no estar logrando transformar la explotación de sus ecosistemas en bienestar social. Sin embargo, el alcance metodológico del estudio no permite identificar otros factores específicos que están incidiendo para que se mantengan en una situación de hambre. Efectivamente, el cambio de uso del suelo no implica un mejoramiento directo de la calidad de vida de las



poblaciones (como un IDH más elevado). Así, los factores que inciden en la seguridad alimentaria y en la calidad ambiental de los ecosistemas pueden variar de manera local y regional. De acuerdo con un estudio sobre los determinantes de deforestación en Chiapas, ésta ocurre principalmente por ganadería, mientras que la degradación forestal en Ocosingo se ha incrementado por la extracción de maderas preciosas, por la apertura de áreas para el establecimiento de cafetales y debido a la plaga de descortezadores del pino (Covaleda, Aguilar, Ranero, Marín, & Paz, 2014). El saber si estos factores son causa de la inseguridad alimentaria o de la pobreza local queda fuera de los alcances de este estudio, se requerirá trabajo a nivel local para poder determinarlos de manera más precisa.

Caso contrario son los municipios que se encuentran en la *mejor condición* con menores niveles de pobreza pero aún con posibilidades de usar los ecosistemas y sus servicios, ya que su modificación hídrica también es menor con respecto al resto del estado debido a que sufrido un menor cambio de uso del suelo. Por ejemplo, en el municipio La Concordia, aún se conserva el 55.2% de cobertura forestal. Sin embargo, la deforestación está ocurriendo y se debe principalmente a la ganadería y una parte a la agricultura. Se ha registrado también un incremento en la superficie agrícola de café y maíz de riego y existe una elevada producción ganadera (Covaleda et al., 2014). En el caso de Arriaga, otro de los municipios de este grupo, el estudio de determinantes de la deforestación reporta un proceso de regeneración del bosque (Covaleda et al., 2014), lo cual puede explicar, en parte, su mejor condición respecto a otros municipios. Por otra parte, de acuerdo con la clasificación del presente trabajo, en el caso de la zona de los Altos de Chiapas predomina una *mala condición* de elevada pobreza y baja modificación hídrica. En esta región algunos municipios conservan superficies forestales mayores a 50%, aunque frecuentemente se trata de bosques secundarios o degradados, y el cultivo que predomina es el maíz y la actividad ganadera es baja.

Son diversos los factores que deben estar determinando la situación contrastante de los municipios en Chiapas, sin duda la conservación y calidad de sus ecosistemas y sus servicios juegan un rol fundamental, junto con aspectos socioeconómicos como la pobreza alimentaria como nos muestra el mapa resultante (Mapa 1). Sin embargo, aún se requiere un análisis más detallado de los municipios para poder llegar a conclusiones más precisas sobre los determinantes que generan esta regionalización. No obstante, este mapa deja clara la importancia de diseñar estrategias diferenciadas que reconozcan los contrastes y situaciones diversas que caracterizan a los municipios.

En resumen, el análisis a nivel regional, permitió cumplir los objetivos y responder a las preguntas que de ellos se derivan. Los resultados permiten evaluar principalmente aspectos de dos de las dimensiones de la seguridad alimentaria: acceso y disponibilidad (en particular los relacionados con asequibilidad y cantidad de alimentos respectivamente). La dimensión de utilización (qué se consume, su origen y valor nutricional y social) prácticamente no se pudo abordar en el estudio debido a la limitación

en la disponibilidad de datos en las escalas requeridas (estatal y municipal). Además pudieron identificarse al menos dos indicadores que destacaron y podrían ser una guía para continuar explorando la importancia de los servicios ecosistémicos hídricos en el bienestar de las personas, en particular en la seguridad alimentaria: pobreza alimentaria (como indicador proxy) y la propuesta del indicador de modificación del balance hídrico. Hasta donde pudo llegar este estudio no se pueden proponer estos indicadores como clave para la toma de decisiones, pero sí proporcionan información sobre los aspectos en los que se debe profundizar el análisis y pueden emplearse en la generación de indicadores más robustos.

Aunque a nivel nacional se logró identificar los factores que determinan las diferencias entre los estados e identificar entre las variables que hacen esa diferencia a aquellas relacionadas con la seguridad alimentaria, quedaba sin determinarse la importancia de los servicios ecosistémicos hídricos en la seguridad alimentaria, aspecto que sí fue posible determinar para Chiapas. En ambos análisis hubo coincidencia tanto en los factores socioeconómicos como en los agrícolas. A pesar de que en Chiapas sí se logró encontrar de manera clara una fuerte relación con uno de los aspectos de la seguridad alimentaria (pobreza alimentaria), no fue posible determinar una dependencia tan clara directamente con los indicadores de seguridad e inseguridad alimentaria propuestos por la EMSA. Esto pudo deberse a la limitación de los datos, sólo para 42 municipios y no para el total como si los hay para pobreza alimentaria, o bien a aspectos metodológicos que tienen que ver con escalas y características de los datos. Por ello, en la siguiente sección se abordan las ventajas y desventajas de la metodología empleada.

### **III. Aspectos metodológicos**

#### **a. Ventajas y limitaciones**

Una de las características más importantes de la metodología seguida en este estudio es que se realizó a partir de bases de datos y no incluyó trabajo en campo. Esto trae ventajas como desventajas, lo cual fue tomado en cuenta para la interpretación de los resultados y las conclusiones que de ellos se derivan. En general son cinco los aspectos, desde el punto de vista metodológico, que caracterizan a este trabajo y tienen que ver con: origen de la información, costo de obtención, accesibilidad de los datos, suficiencia y diversidad de la información y escala.

Sobre el origen de los datos, al provenir de fuentes diversas, se emplean diferentes metodologías y durante el proceso de construcción de la base de datos debieron tomarse decisiones para la elección de aquellas variables que cumplieran con criterios de confiabilidad de la información. Esto dejó fuera algunas variables que, por ejemplo, desde su origen no dejaban clara la metodología de cálculo. Sin embargo, la existencia de

numerosas bases de datos publicadas por fuentes gubernamentales, organismos autónomos o internacionales permitió el acceso a una gran cantidad de información que no hubiera sido posible obtener con trabajo de campo del proyecto. También debe mencionarse sobre los datos provenientes de la EMSA que, aunque se basan en la percepción de hambre de las personas, es posible que contengan ciertos sesgos o imprecisiones en las respuestas a las preguntas formuladas. En ocasiones, cuando las personas responden a encuestas, tienden a decir que viven en una situación mejor a la real por vergüenza o si creen que de eso depende que se asignen recursos de programas de ayuda responden que están en una situación peor de la que realmente enfrentan. No obstante, sí se usaron los datos de la EMSA ya que son los mejores existentes con esas características de cobertura de municipios por hogar y que incluyen la percepción de la gente. En el caso del cálculo del balance hídrico hubo variables con datos para diferentes periodos pero, al ser los únicos existentes, se decidió usarlos ya que reportaban en todos los casos varios años (ver *Apéndice metodológico*).

Lo anterior nos lleva al tema de los costos y la accesibilidad de los datos. Precisamente, entre las ventajas del trabajo con bases de datos existentes está el hecho de que los costos disminuyen dramáticamente, ya que no se requiere inversión económica, sólo de tiempo y, dado que la información es pública, el acceso a ella es muy sencillo. Otro aspecto importante, radica en que se hace uso de bases de datos que son poco explotadas al exterior de sus fuentes generadoras. Se invierten grandes cantidades de dinero para su creación y aunque se producen diversos informes, comúnmente provienen de los propios generadores, esto provoca que muchas veces no se generen análisis con puntos de vista externos y diferentes a los oficiales. En este sentido, este trabajo también aporta un nuevo uso y punto de vista a partir de datos oficiales.

El trabajo en campo, sin duda hubiera permitido profundizar en muchas preguntas y respondido otras que con trabajo de gabinete no es posible. Es importante mencionar que ambas estrategias pueden ser complementarias y no son excluyentes. Sin embargo, se decidió trabajar con bases de datos existentes, ya que la suficiencia y diversidad de información se amplía con este tipo de aproximación. Por ejemplo, para el análisis regional de este proyecto se consideraron los resultados a nivel nacional y se tomaron decisiones con base en ellos, así como a lo largo del proyecto sobre la inclusión de nuevas variables. Esto fue posible gracias a que los datos ya existen y fue posible elegir y descartar variables a partir de conjuntos muy grandes de datos. Esto no es tarea fácil con trabajo en campo, ya que es costoso regresar a él para generar nuevas variables no consideradas antes. Como ya se señaló, la decisión de realizar la investigación a partir de bases de datos existentes, obedeció a la diversidad y cantidad de información disponible, a lo cual se suman las ventajas de reducción de tiempo y de capital para realizar el análisis.

Otro aspecto relacionado con la suficiencia de la información es que aunque se contó con numerosas variables, se decidió concentrar el análisis en un año de datos (2010), ya que la cantidad de información era muy grande y con ello su manejo e interpretación se complicaba. Esto genera que las conclusiones del trabajo sean muy puntuales en el tiempo pero al reducirse las variables de interés con los resultados se pueden plantear estudios temporales a futuro.

Por último, la escala representó retos y oportunidades. Manejar e interpretar datos a escala nacional y estatal es un proceso complejo, sobre todo para la interpretación. Aunque se abarcan áreas muy amplias se pierde detalle y precisión. Las interpretaciones deben ser cautelosas, ya que las diferencias a nivel localidad pueden ser muy importantes. No obstante, resulta relevante realizar análisis a estas escalas, ya que hay procesos que a pequeña escala no se revelan o son muy difíciles de calcular. Por ejemplo, resulta más sencillo evidenciar la relación entre la modificación del balance hídrico debido al cambio de uso de suelo y la pobreza alimentaria a nivel municipio que a nivel de una localidad, ya que aunque la información socioeconómica existe a ese nivel no ocurre esto con la ambiental. Sin embargo, muchas políticas se diseñan y se aplican desde una perspectiva nacional o estatal, lo que hace importante análisis a estas escalas para poder mejorarlas. Esto sin dejar de lado, en ningún momento, que sigue siendo esencial el diseño de políticas que consideren la diversidad social, cultural y ambiental del país.

Por supuesto, también es importante mencionar que, en este tipo de análisis, la interpretación debe estar consciente de los alcances y limitaciones al mismo tiempo que rescata aquellas conclusiones que pueden ser valiosas a la hora de dar continuidad a los estudios y en caso de ser posible aportar elementos en la toma de decisiones. En este caso, aunque se reconoce la importancia de la cobertura vegetal, en particular de los bosques, en la lucha contra el cambio climático o como proveedores de materias primas para la alimentación, casi no se les toma en cuenta como elementos clave en la disponibilidad de agua para la seguridad alimentaria. Este estudio permite entonces insistir en el hecho de que los ecosistemas deben ser considerados cuando se diseñan políticas de seguridad alimentaria.

## **b. Aportación metodológica**

Este trabajo podría servir también como una posible guía para otros análisis sobre servicios ecosistémicos y su relación con el bienestar social. Sin duda, análisis de este tipo se pueden abordar desde muchas perspectivas y metodologías pero el camino recorrido permite a otros prever posibles dificultades a enfrentar, así como ventajas y limitaciones de este tipo de aproximaciones. Evaluar sistemas que involucran tantos y tan complejos

elementos como los servicios ecosistémicos, factores sociales, económicos, agrícolas y de bienestar, todos conectados, es una tarea ardua y compleja que requiere un trabajo de síntesis de información y comprensión del sistema tal que permita en ocasiones priorizar algunas variables o procesos y enfocarse en aquellos de interés. En este contexto una aportación metodológica de este estudio es la propuesta que se hace en el esquema conceptual (Figura 4), ya que existen por separado los marcos conceptuales de seguridad alimentaria y servicios ecosistémicos y aquí se plantea una propuesta de integración de ambos, pasando por el tema de la producción agrícola e incluyendo elementos sociales y económicos.

Rolando García plantea que los sistemas complejos son:

*“sistemas cuyos elementos son heterogéneos en el sentido de que pertenecen al dominio de diversas disciplinas pero son elementos que interactúan entre sí, de tal manera que son interdefinibles... no son cosas que podamos desintegrar, estudiar por separado y después poner juntas, son cosas que una modificación de una de ellas actúa en cadena y va repercutiendo en todas las otras, es un sistema no descomponible. No todo conjunto de elementos es un sistema. No todo sistema de elementos heterogéneos es un sistema complejo... (La interdisciplina) es una forma de trabajar que significa que una misma problemática es analizada desde distintos ángulos pero no separadamente...”* (García, 2012).

En este contexto, este estudio no se centra sólo en un campo del conocimiento. Además de analizar la producción agrícola y aspectos sociales, involucró un tercer elemento crucial: el medio natural y sus servicios hídricos de los que depende también el sistema. El marco conceptual adoptado de servicios ecosistémicos y seguridad alimentaria, así como la metodología de análisis empleada para comprender este sistema complejo, involucran campos diferentes de conocimiento y un análisis integrador de numerosas variables involucradas que permitieron abordar el estudio identificando los factores que determinan el cambio en la relación medio natural (servicios ecosistémicos hídricos)-producción agrícola-bienestar social (seguridad alimentaria). Es decir, el concepto de *interdefinibilidad* del que habla Rolando García es considerado en la forma de abordar este estudio, ya que se analizan las partes de manera integrada.

Por otro lado, este estudio también permite evidenciar que con bases de datos ya existentes es posible obtener información valiosa y muestra una forma de aproximarse a un análisis diagnóstico de los sistemas. Durante la investigación fue necesario regresar, varias veces, en el proceso de selección de variables, así como a la forma de analizar los datos hasta lograr conseguir las variables existentes que mejor documentaran el sistema y los análisis que permitieran identificar los factores que son determinantes. Durante el

proceso de este trabajo se evidenció, por ejemplo, que aunque se consideraron variables ambientales, al no incluirse a nivel nacional una medida que integrara la complejidad del ciclo hidrológico, no era posible evidenciar los beneficios de los servicios ambientales. Fue hasta el análisis regional, es decir con base en los resultados nacionales, bajando la escala e incluyendo los resultados de los balances hídricos y del indicador construido de modificación hídrica, que se logró visualizar la importancia de los servicios ecosistémicos hídricos para la seguridad alimentaria.

También destaca el hecho de que en este estudio se propone al indicador de pobreza alimentaria como un indicador proxy para estudios similares que busquen evaluar la importancia de servicios ecosistémicos sobre la seguridad alimentaria. Como se señaló antes, la elaboración de encuestas es un proceso costoso y en caso de que una investigación requiera datos de municipios que no reporta la EMSA puede recurrirse a los datos de pobreza alimentaria que siempre son calculados para todos los municipios como parte de la ENIGH. Esto permite ampliar la cantidad de datos sin costos extras para investigaciones similares, por lo que el potencial de explotación de este tipo de datos abre alternativas a estudios diagnósticos o de mayor profundidad sobre la relación seguridad alimentaria o bienestar social – servicios ecosistémicos.

#### **IV. Propuestas a futuro**

Con este trabajo se contestaron algunas preguntas, pero también surgieron otras a raíz de los resultados obtenidos y de lo que no se pudo documentar ampliamente. Aunque se encontró una fuerte relación de la modificación del balance hídrico con la pobreza alimentaria, esto sólo puede afirmarse que ocurre en Chiapas y para el año de estudio (2010). El indicador de modificación del balance hídrico se calculó entre 2002 y 2011, pero el resto de las variables corresponden a 2010. En este contexto, el análisis de un periodo más largo permitiría evaluar en qué momento y situación de la explotación de los servicios ecosistémicos se encuentra el sistema. Por ejemplo, como se mencionó hay grupos de municipios con alta modificación hídrica y baja pobreza alimentaria y otros con baja modificación hídrica y elevada pobreza. Suponemos que esta diferencia puede deberse a que aquellos que están haciendo uso del ecosistema (perturbando) están obteniendo los beneficios de esa explotación y quienes no, no cuentan con esa transformación de explotación a bienestar. Con ello, surgen las preguntas: ¿qué pasaría si dicha explotación se mantiene en el tiempo de manera ininterrumpida y sin estrategias de uso sostenible? ¿Es posible que la curva de bienestar (en este caso seguridad alimentaria) comience a decaer debido a la degradación de los ecosistemas y con ello de sus servicios? Estas preguntas sólo se pueden contestar con un estudio con datos históricos y con una

investigación en terreno, por ejemplo, a través de casos de estudio o de la evaluación de los datos obtenidos con grupos de expertos en la región de estudio.

Otras preguntas que surgen y que se proponen para estudios posteriores tienen que ver con las posibles diferencias que existen entre municipios con condiciones diferentes de uso del suelo, explotación de los recursos, consumos de agua, actividades productivas y condiciones socioeconómicas en general. Es decir, una comparación entre municipios con condiciones contrastantes permitiría identificar con mayor precisión factores determinantes para la relación servicios hídricos-producción agrícola-bienestar. A partir del mapa generado surgen diversas preguntas. ¿Cuáles son los factores que determinan que existan municipios que a pesar de hacer uso de los recursos y servicios ecosistémicos se mantengan en condiciones de hambre? ¿Es posible que dichos municipios hayan hecho una explotación histórica intensiva y con pocas o nulas estrategias de uso sostenible, lo que los ha llevado a un punto de la curva en la relación servicios hídricos-seguridad alimentaria que signifique un declive en su bienestar? ¿Qué factores han generado, en cambio, que otros municipios, aún con bajos niveles de modificación hídrica (perturbación del ecosistema), se encuentren en mejor condición de seguridad alimentaria? Estas preguntas sólo se pueden contestar profundizando en el análisis de las condiciones sociales, económicas y ambientales que han enfrentado los municipios y con una perspectiva histórica.

Por otro lado, el tema de la calidad de la alimentación e incluso de la autonomía para decidir qué comer y de qué características es un aspecto que está muy relacionado con la calidad del servicio ecosistémico hídrico. Si las personas tienen una adecuada disponibilidad de agua, en términos no sólo de cantidad sino de calidad, podrán incrementar su capacidad para mantener sus cultivos y comercializarlos pero también para el autoconsumo. El tema de la soberanía alimentaria en regiones con condiciones de pobreza resulta crucial para afrontar situaciones de marginación y rezago. Por ello, estudios a futuro sobre la relación de los servicios ecosistémicos hídricos y la soberanía alimentaria de las personas pueden revelar fuertes interacciones importantes a considerar en las estrategias de combate al hambre.

En lo que se refiere al volumen de agua disponible aunque nos da un indicativo del agua que puede usarse no da cuenta del agua que realmente se está usando, cómo y en qué. Para responder esto se requiere un análisis que incluya los volúmenes de escurrimiento de agua en las microcuencas, su dirección y destino. Se requiere también examinar cuánta de esa agua que se mueve, por escurrimientos, de una zona a otra es empleada en actividades agrícolas, ya que hay zonas que captan el agua de la que se abastecen otras. La identificación y estudio de estas zonas y sus interacciones es clave

para la toma de decisiones en cuestiones hídricas y forestales pero también de seguridad alimentaria, ya que lo que ocurra en una zona afectará a otra.

De acuerdo con Margarita Flores y Cassio Luiselli, la forma de responder, en México, a la inseguridad alimentaria ha sido la puesta en marcha de políticas públicas asistenciales, en lugar de impulsar políticas económicas y de fomento a la producción (Flores & Luiselli, 2017). En este sentido, este estudio permite destacar la importancia de realizar estudios que permitan visualizar y medir la importancia de los servicios ecosistémicos hídricos para la seguridad alimentaria, ya que en la medida en que se conozca su importancia podrán promoverse políticas públicas más integrales que no impulsen medidas paliativas para la inseguridad alimentaria y que no van a la raíz del problema. Es decir, es importante que no sólo se incluyan políticas económicas, sociales y de producción sino también políticas para un uso sostenible de la base de este sistema: los servicios ecosistémicos hídricos. Es fundamental que dichas políticas tengan un carácter transversal e incluyente pero no sólo en el discurso sino que se lleve a la práctica. En las decisiones sobre conservación y aprovechamiento de los ecosistemas debe incluirse la participación y visión de todos los sectores involucrados tanto el gubernamental como el académico y todos aquellos actores sociales afectados o interesados. La conservación y aprovechamiento de los ecosistemas debe incluir no sólo la visión de la Semarnat, Conabio, Conanp y otras dependencias relacionadas con el ambiente, deben concurrir ahí dependencias como la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural (Sagarpa) y la Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol), en un reconocimiento de que en los ecosistemas se dan procesos sociales. Las comunidades son fundamentales en las decisiones que se tomen sobre cómo usar y conservar los ecosistemas, ya que ellas serán siempre las primeras involucradas en las acciones que se lleven a cabo, además poseen un conocimiento detallado de las zonas que habitan así como sus necesidades. Sin duda planear una política ambiental que incluya la visión de la seguridad alimentaria y que involucre a todos los actores y sectores afectados será un reto difícil de afrontar pero es necesario ir avanzando en ese camino. La discusión sobre cómo implementar políticas integrales, con enfoques locales o regionales, puede ser muy amplia y dado que no es objetivo principal de este trabajo no se ahonda en ello pero es importante destacarlo.

Este tipo de estudio también aporta elementos a la actual discusión sobre el uso sostenible de los ecosistemas y, en particular de los recursos hídricos, cuyo ciclo es regulado por las coberturas vegetales. La actual agenda de desarrollo sostenible, en la que México participa activamente, incluye entre sus metas una gestión sostenible del agua y reconoce que para alcanzar los objetivos de reducción de pobreza y seguridad alimentaria debe asegurarse un suministro confiable del agua (UN Water, 2014). Esto de ninguna manera podrá ser alcanzado si no se reconoce y se incluye en la toma de decisiones la



importancia de los ecosistemas como proveedores y almacenadores de agua aspectos fundamentales para la seguridad alimentaria.

## 4.2 CONCLUSIONES

- Los factores socioeconómicos, de infraestructura y agrícolas son los que determinan las diferencias entre las entidades federativas. Destaca, en el análisis nacional, que la seguridad alimentaria también determina estas diferencias.
- En Chiapas, los factores socioeconómicos como pobreza, marginación, rezago y consumo de leña y carbón para cocinar junto con un menor Índice de Desarrollo Humano y menor acceso a drenaje se asocian con variables que son indicativas de inseguridad alimentaria: carencia y pobreza alimentarias, así como con inseguridad moderada y severa.
- Uno de los resultados más relevantes de este estudio es que se evidenció de manera cuantitativa la importancia de los servicios ecosistémicos hídricos sobre un aspecto de la seguridad alimentaria (medido como pobreza alimentaria). Los resultados permiten inferir, en particular y de manera destacada en algunos municipios de Chiapas, una fuerte relación entre una situación de pobreza alimentaria y condiciones de baja modificación hídrica, debida a una menor perturbación de los ecosistemas. La pobreza alimentaria también se relacionaría con un mayor consumo de leña y carbón para cocinar. Ambas variables relacionadas con servicios ecosistémicos (hídricos y de extracción de materiales, respectivamente;  $r^2= 0.873$ , para disponibilidad hídrica el valor de  $P=0.005$  y para leña  $P=0.000$ ).
- En los municipios de Chiapas, con cada metro cúbico adicional de agua, por hectárea, derivado de la modificación hídrica, podría disminuir 0.004% la pobreza alimentaria; por cada 1% de aumento en consumo de leña (servicio ecosistémico indirecto), se podría incrementar 0.416% la pobreza alimentaria y por cada incremento de una unidad del índice de rezago, podría crecer 7.6% la pobreza alimentaria.
- En el caso de la seguridad alimentaria se encontró que una disminución de 0.64% podría estar relacionada con cada incremento de 1% en el consumo de leña y carbón para cocinar, aspecto relacionado con la extracción de materiales de los ecosistemas como un servicio.

- Aunque los resultados del presente estudio indican una relación estadísticamente significativa no implican causalidad y son preliminares, por lo que deben tomarse con cautela, ya que hay muchos otros factores involucrados y se requieren estudios más profundos. Lo anterior se suma a que en este estudio no se consideraron todos aquellos factores sociales como la migración, la historia agraria, las dinámicas de mercado, las políticas públicas y la gobernanza, entre otros, que determinan el acceso y distribución de los recursos, incluida el agua.
- Este trabajo puede constituir una guía de inicio para otros estudios que busquen evaluar de manera cuantitativa las relaciones entre los servicios ecosistémicos y el bienestar social. En etapas posteriores y más detalladas se puede incluir el efecto de la influencia humana sobre la inequidad en el acceso y la distribución de los recursos, incluidos los servicios ecosistémicos.
- Se propone al indicador de pobreza alimentaria como un indicador proxy a los indicadores de seguridad alimentaria propuestos por la EMSA, que aunque útiles, no cubren la totalidad de los municipios del país.
- Aunque se reconoce la importancia de la dependencia de la seguridad alimentaria de las personas sobre los servicios ecosistémicos hídricos, hacen falta más investigaciones cuantitativas que la evalúen. Es fundamental, también realizar análisis en periodos largos que permitan determinar el comportamiento de la relación modificación hídrica-bienestar social, ya que una perturbación sostenida y sin estrategias de uso sostenible, puede generar diversos escenarios que van desde una caída lenta del bienestar social hasta una caída precipitada, lo cual es mucho más complejo enfrentar y sus consecuencias son muy adversas.

## APÉNDICE METODOLÓGICO. CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO PARA EL ESTADO DE CHIAPAS

### Objetivo:

Calcular un balance hídrico superficial para el estado de Chiapas y determinar la magnitud de almacenamiento o el déficit de agua en las microcuencas del estado con base en la precipitación, evapotranspiración, escurrimiento, infiltración y tipo de vegetación presente en la zona.

### Introducción

El estudio pretende analizar el vínculo entre los servicios ecosistémicos hídricos que proporciona la cubierta vegetal al capturar y proveer agua para la producción agrícola con la seguridad alimentaria en Chiapas. Por ello, se calculó el balance hídrico para esta entidad federativa, ya que esto permite cuantificar los flujos de agua que ocurren y determinar así la cantidad de agua disponible en las cuencas. Dado que el agua circula continuamente a través de los diferentes depósitos existentes, se produce un ciclo. Este ciclo ocurre por los procesos de evaporación, transpiración condensación, precipitación, escorrentía e infiltración. El agua se mueve en una sucesión de etapas, ya que pasa de la tierra a la atmósfera y vuelve a la tierra; es decir se evapora y transpira desde el suelo, el mar o las aguas continentales, se condensa en nubes, se precipita, se acumula en el suelo o cuerpos de agua y se vuelve a evaporar y transpirar (Figura A).

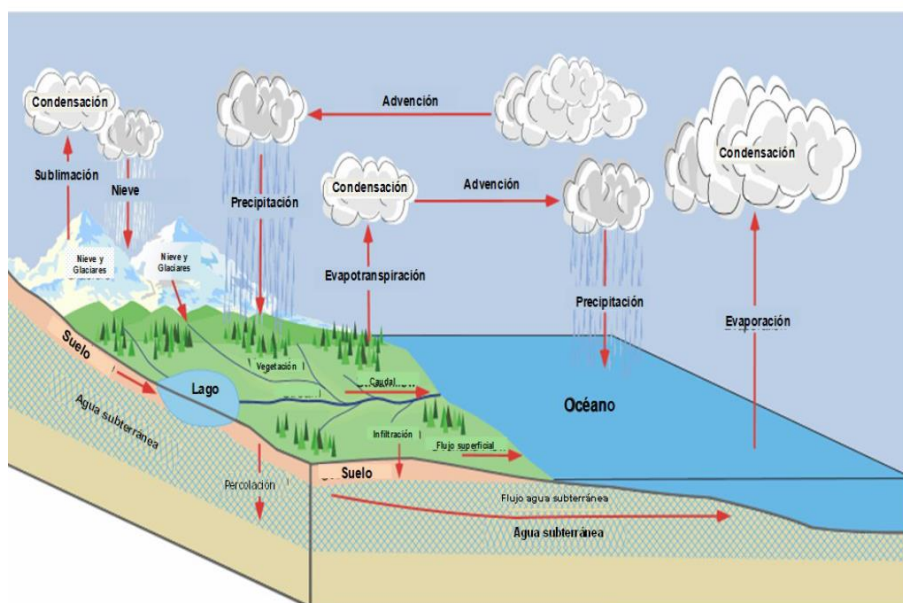


Figura A. Representación del ciclo hidrológico.

Fuente: Tomado de Ordoñez. 2011.

Durante el ciclo del agua, el líquido se almacena en depósitos, se mueve o bien se regresa a la atmósfera. Por ello, la generación de un modelo de balance hídrico para el estado de Chiapas puede proporcionar información sobre los flujos de agua y su acumulación y disponibilidad en las diferentes cuencas que integran al estado. La cantidad de agua disponible es afectada por los usos del suelo y la cobertura vegetal presente. Las áreas arboladas impiden que el agua de lluvia escurra rápidamente, con lo que evitan la erosión del suelo y promueven la infiltración de agua para alimentar a los mantos acuíferos y con ello se da continuidad al ciclo del agua. A este servicio ambiental de las áreas arboladas se le conoce como captura de agua o desempeño hidráulico. El potencial de infiltración de agua de un área arbolada depende de diversos factores como: la cantidad y distribución de la precipitación, el tipo de suelo, las características del mantillo, el tipo de vegetación y geomorfología del área, entre otros (Torres y Guevara, 2002).

Es por ello, que en la siguiente sección se describe lo qué es y cómo se genera un modelo de balance hídrico, en general, y posteriormente se refiere cómo se generó el modelo de balance hídrico para Chiapas.

#### *Balance hídrico de una cuenca hidrográfica*

El balance hídrico es el equilibrio que existe entre la cantidad de agua inicial y final dentro de una cuenca. El estado inicial se refiere al agua disponible actual en el sistema, esta agua se encuentra almacenada en los cuerpos de agua, las escorrentías superficiales y subterráneas, en los tejidos de los seres vivos y en el suelo, entre otros. La cantidad de agua disponible actual dependerá tanto del volumen de agua que entra como del que sale. El balance hídrico puede interpretarse entonces como un sistema de entradas (almacenamientos) y salidas de agua (flujos). Las entradas son los aportes de agua provenientes en su mayoría de la precipitación y el transvase de agua superficial y subterránea y las salidas son principalmente la evaporación por radiación solar, la evapotranspiración de origen biológico, la infiltración y las derivaciones de agua hacia otras cuencas o mares (Rosales, 2012). A partir de la estimación del balance hídrico de una región, se puede hacer una evaluación cuantitativa de los recursos hídricos y la modificación de su volumen como resultado de las actividades humanas (Rosales, 2012).

Para calcular el balance hídrico superficial de una cuenca hidrográfica, es necesario no sólo conocer los caminos que sigue el agua en el suelo, sino también las características fisiográficas, edafológicas y del uso de suelo y tipo de cobertura vegetal del lugar. En consecuencia, la precisión de un balance hídrico está muy relacionada con la cantidad y calidad de la información disponible de la región, así como con el periodo de años de los registros incluidos (Ordoñez, 2011).

Como se mencionó en la metodología, la ecuación para el cálculo del balance hídrico superficial es muy sencilla en su concepción, no obstante su cálculo se vuelve complejo por la recopilación de información para cuantificar sus términos, ya sea por la falta de medidas directas o por la variación espacial de la evapotranspiración, de las pérdidas profundas (en acuíferos) y de las variaciones del agua almacenada en la cuenca (Llorens, 2003). La ecuación que se empleó es la siguiente:

$$P = ETR + ES + I$$

Esta ecuación muestra que del volumen de agua que se precipita ( $P_p$ ) en un sitio o en una cuenca, una parte regresa a la atmósfera por evaporación o por los procesos de transpiración de la cubierta vegetal (evapotranspiración: ETR) y otra parte escurre por la superficie de la cuenca (escorrentía superficial: ES). Una parte del agua que escurre o fluye se evapora y otra alcanza los cauces principales (arroyos y ríos) y finalmente el mar. El resto del líquido se infiltra en el terreno y se incorpora al sistema de aguas subterráneas o acuífero (infiltración: I; Ordoñez, 2011).

A partir del balance hídrico es posible conocer la cantidad de agua disponible (Ordoñez, 2011). Una vez calculado el balance hídrico se puede conocer el volumen de agua disponible y es posible dividir la cuenca en subcuencas con base en su fisiografía y orografía. En cada una de las subcuencas que componen la zona donde se calcula el balance, se puede estimar la magnitud con que cada variable interviene en la fórmula de balance (Ordoñez, 2011).

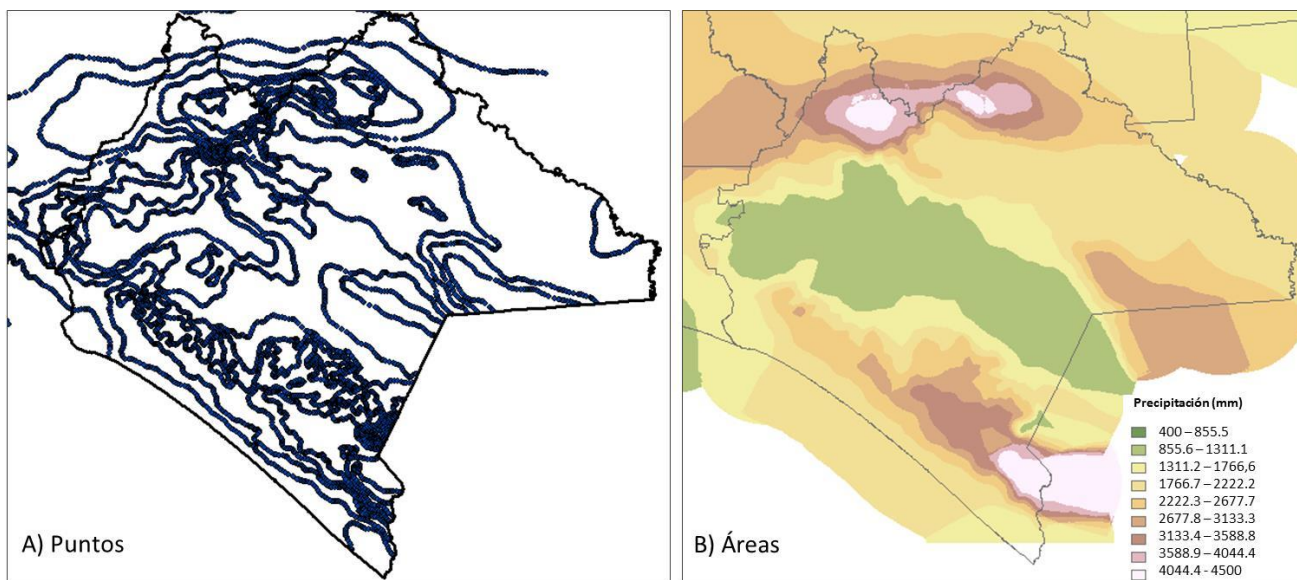
### **Metodología y resultados del balance hídrico**

Para el cálculo del balance hídrico de Chiapas se empleó información cartográfica climática, hídrica y de usos del suelo del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y climática e hídrica de la Comisión Nacional de Agua (Conagua). Asimismo se realizó una búsqueda y solicitud de información. Las solicitudes de información se dirigieron a la Dirección General de Estadística e Información Ambiental (DGEIA) de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), también se solicitó información a la Comisión Nacional del Agua y al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) a través de la DGEIA. Se empleó como capa base para la generación de del sistema de información geográfica, la modificación del Continuo de Elevación Mexicano (CEM) del INEGI para el estado de Chiapas, con sistema de proyección geográfica Cónica Conforme de Lambert y Datum WGS84 (INEGI, 2016a). La información cartográfica se procesó con un sistema de información geográfica con el programa ArcGIS 10.2., para así modelar y representar la información espacial relacionada con los procesos hidrológicos involucrados en la estimación del balance hidrológico. A continuación se

describen las variables que se emplearon para el cálculo del balance, así como el procesamiento que se realizó a los datos.

### **Precipitación**

La precipitación constituye la principal entrada de agua dentro del ciclo hidrológico y varía tanto espacial como temporalmente en una cuenca y subcuenca (Ordoñez, 2011). En este caso la precipitación se obtuvo de la Carta de Precipitación Media Anual, escala 1: 1 000 000 de INEGI que expresa en milímetros el valor obtenido a partir de la suma anual de la precipitación media mensual del periodo 1971-2000, de la clasificación de Köppen con modificaciones de E. García (1964) e INEGI (1980; INEGI, 2016b). Este conjunto de datos vectoriales contiene datos de precipitación en formato de puntos (promedio de datos de las estaciones meteorológicas para el periodo 1971-2000). Los datos de puntos se convirtieron a isóneas para agrupar en líneas aquellos puntos de precipitación con valores iguales (isoyetas). Una vez obtenidas las isoyetas, se convirtieron a formato ráster, con resolución igual al del CEM de Chiapas, después se realizó una interpolación de los datos con el fin de cubrir la mayor área posible del estado. Se realizaron diversas pruebas con diferentes cortes hasta obtener el mapa que cubriera la mayor parte del estado (Mapa 1).

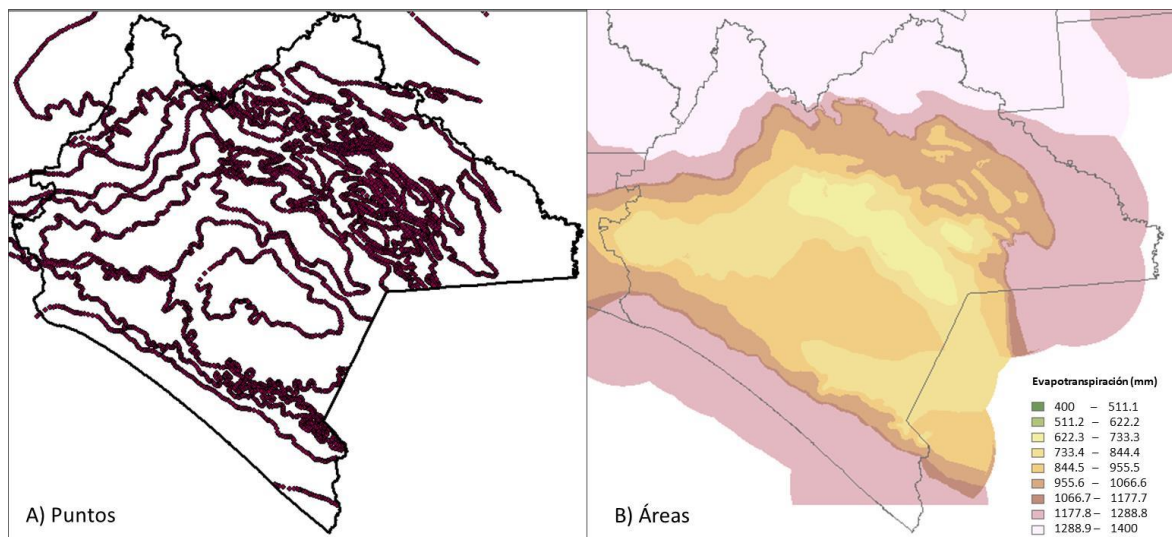


**Mapa 1.** Precipitación total promedio 1971-2000 A) mapa de isóneas y B) mapa de área resultante del procesamiento espacial de la información (ráster).

Fuente: elaboración propia con base en: INEGI. 2016b. *Carta de Precipitación Media Anual, escala 1: 1 000 000*. INEGI. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/clima/infoescala.aspx>. Fecha de consulta: junio de 2016.

### **Evapotranspiración**

Es el total de agua convertido en vapor que retorna a la atmósfera; el proceso incluye a su vez dos procesos separados: la evaporación desde el suelo y del agua interceptada y la transpiración por los estomas de las hojas de la cubierta vegetal (Hernández, 2008; Ordoñez, 2011). La temperatura y el tipo de cobertura vegetal, determinan el nivel de evapotranspiración potencial en una región, provocando que no toda el agua que se precipita se retenga en el suelo o percole para ser parte de la recarga de agua subterránea (Blanco, 2010). Al igual que con la precipitación, los datos de evapotranspiración se obtuvieron de INEGI, de la Carta de Evapotranspiración, escala 1: 1 000 000, del archivo climatológico. Esta Carta utiliza la metodología del sistema de Thornthwaite (1948), de la clasificación de Köppen con modificaciones de E. García (1964) e INEGI (1980; INEGI, 2016c). El conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000 presenta los datos de evapotranspiración en formato de puntos (para el periodo 1971-2000). Los datos de puntos se convirtieron a isolíneas para agrupar en líneas aquellos puntos de evapotranspiración con valores iguales. Una vez obtenidas las isolíneas de evapotranspiración se convirtieron a formato ráster, con resolución igual el CEM de Chiapas, y posteriormente se realizó una interpolación de los datos con el fin de cubrir la mayor área posible del estado. Se realizaron diversas pruebas con diferentes cortes hasta que obtener el mapa que cubriera la mayor parte del estado (Mapa 2).

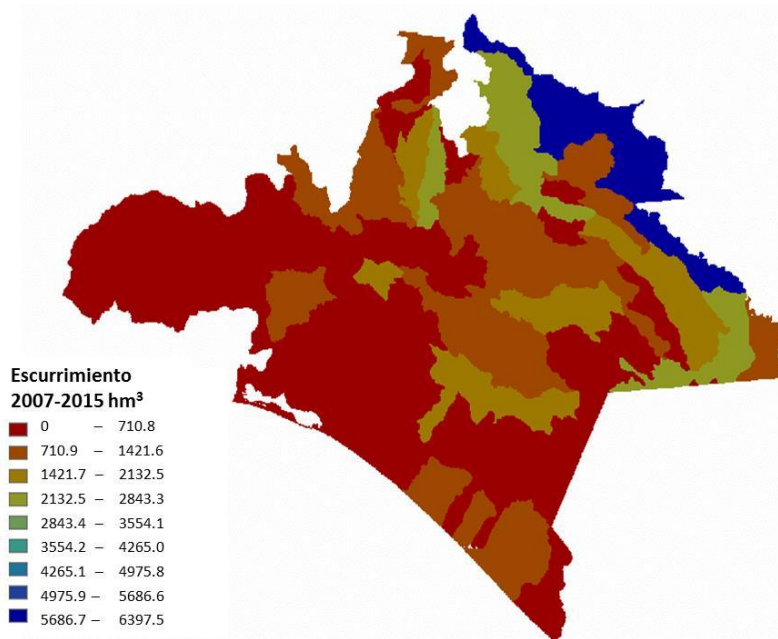


**Mapa 2.** Evapotranspiración promedio 1971-2000. A) mapa de isolíneas y B) mapa de área resultante del procesamiento espacial de la información (ráster).

Fuente: Elaboración propia con base en: INEGI. 2016c. *Carta de Evapotranspiración, escala 1: 1 000 000.* INEGI. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/clima/infoescala.aspx>. Fecha de consulta: junio de 2016.

### **Escurrecimiento**

Se refiere al volumen de agua que escurre por la superficie de la cuenca, el agua fluye a través de la red de drenaje hasta alcanzar los cauces principales y finalmente llega al mar (Ordoñez, 2011). Los datos de escurrecimiento medio por año y cuenca, como la capa de cuencas se obtuvieron del Sistema Nacional de Información del Agua (SINA) de la Conagua para el periodo 2007-2015 (Conagua, Semarnat, 2016b). Se calculó la disponibilidad promedio para el periodo 2007-2015 y la información cartográfica obtenida de esta variable se convirtió a formato ráster con resolución igual al CEM de Chiapas (Mapa 3).



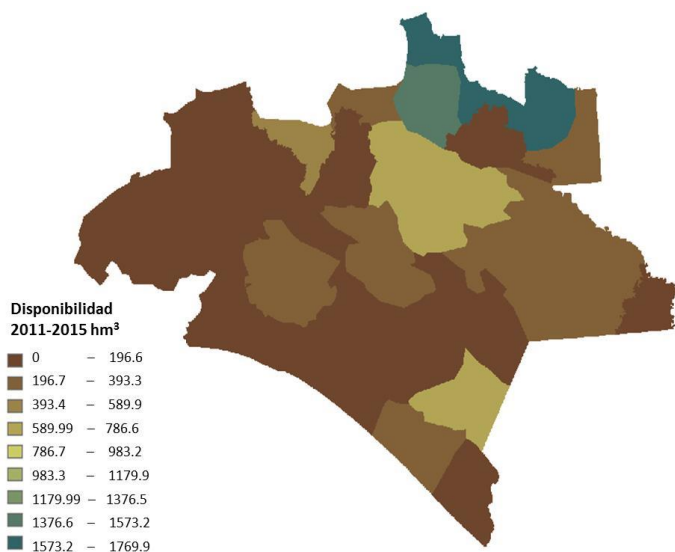
**Mapa 3.** Escurrecimiento promedio de agua en cuencas de Chiapas, 2007-2015 (hm<sup>3</sup>).

Fuente: Conagua, Semarnat. 2016b. Cuencas, Carta Cuencas\_disponibilidad\_2015. Sistema Nacional de Información del Agua (SINA). Disponible en: [http://201.116.60.25/sina/index\\_jquery-mobile2.html?tema=cuencas](http://201.116.60.25/sina/index_jquery-mobile2.html?tema=cuencas). Fecha de consulta: octubre de 2016.



## ***Infiltración***

Después de precipitarse, una parte del agua escurre por la superficie y el resto se infiltra en el suelo incorporándose al sistema de aguas subterráneas o acuífero<sup>11</sup>. Por lo tanto, la infiltración es el volumen de agua procedente de las precipitaciones que atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo y del subsuelo (Ordoñez, 2011). Tanto los datos de disponibilidad media por año y acuífero, como la capa de acuíferos se obtuvieron del Sistema Nacional de Información del Agua (SINA) de la Conagua para el periodo 2011-2015 (Conagua, Semarnat, 2016a). Se calculó la disponibilidad promedio para el periodo 2011-2015 y la información cartográfica obtenida de esta variable se convirtió a formato ráster con resolución igual al CEM de Chiapas (Mapa 4).



**Mapa 4.** Disponibilidad promedio de agua en acuíferos de Chiapas, 2011-2015 (hm<sup>3</sup>).

Fuente: Elaboración propia con base en: Conagua, Semarnat. 2016a. Acuíferos, Carta Acuíferos\_disponibilidad\_2015. Sistema Nacional de Información del Agua (SINA). Disponible en: [http://201.116.60.25/sina/index\\_query-mobile2.html?tema=acuíferos](http://201.116.60.25/sina/index_query-mobile2.html?tema=acuíferos). Fecha de consulta: octubre de 2016.

## ***Vegetación***

Los volúmenes de intercepción de la precipitación por los usos del suelo y en particular por la cobertura vegetal, varían en función de la composición de las masas forestales y sus características (Ordoñez, 2011). La vegetación presente en una zona afecta tanto el nivel

<sup>11</sup> Acuífero: cualquier formación geológica o conjunto de formaciones geológicas hidráulicamente conectados entre sí, por las que circulan o se almacenan aguas del subsuelo que pueden ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento y cuyos límites laterales y verticales se definen convencionalmente para fines de evaluación, manejo y administración de las aguas nacionales del subsuelo (DOF, 2016).

de evapotranspiración, como la escorrentía y la infiltración, por lo que es fundamental considerar el efecto de la vegetación en el desarrollo de un balance hídrico (Ordoñez, 2011). Los datos sobre cubierta vegetal y uso de suelo se obtuvieron de la Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie V del INEGI (INEGI, 2013), los datos del sustrato edáfico se consiguieron de la Carta del Continuo Nacional de Unidades Edafológicas Serie II del INEGI (INEGI, 2002-2006).

### ***Coefficiente de escurrimiento***

Para estimar los volúmenes de infiltración de agua en áreas con cubierta vegetal, se empleó el modelo de escurrimiento general que involucra la estimación de coeficientes de escurrimiento y que es propuesto por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y que a su vez ha sido empleado en otros estudios como el de Torres y Guevara (2002). El modelo asume que el coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ) se calcula en función del tipo y uso del suelo y vegetación y del volumen de precipitación anual de la cuenca en estudio (DOF, 2015). La ecuación para estimarlo es:

$$C_e = K (P_p - 250) / 2000 + (K - 0.15) / 1.5$$

Donde:

$C_e$ : coeficiente de escurrimiento,

$P_p$ : precipitación

El factor  $K$  depende del tipo de suelo y de la cobertura arbolada. Es decir, con base en el tipo de suelo y considerando el uso actual del suelo y vegetación, se obtiene el valor del parámetro  $K$  (Tablas A y B) a emplear en la ecuación de cálculo del  $C_e$  (DOF, 2015).

**Tabla A. Tipos de suelo y características**

<b>Tipo de suelo</b>	<b>Características</b>
A	Suelos permeables, tales como arenas profundas y loess poco compactos.
B	Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad, loess algo más compactos que los correspondientes a los suelos A; terrenos con textura de migajón.
C	Suelos casi impermeables, tales como arenas o loess muy delgados sobre una capa impermeable, o bien arcillas.

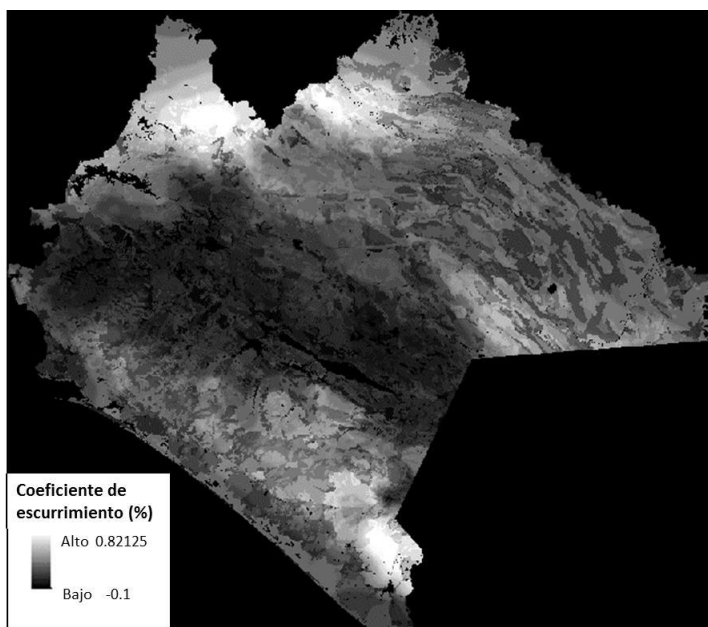
**Fuente:** DOF. 2015. *NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales.* México. (23 de marzo de 2015).

**Tabla B. Valores de k en función del tipo y uso del suelo y vegetación**

Uso del suelo	Tipo de suelo		
	A	B	C
Barbecho, áreas incultas y desnudas	0.26	0.28	0.3
Cultivos:	0.24	0.27	0.3
En Hilera	0.24	0.27	0.30
Legumbres o rotación de pradera	0.24	0.27	0.30
Granos pequeños	0.14	0.20	0.28
Pastizal: % del suelo cubierto o pastoreo	0.20	0.24	0.30
Más del 75% Poco	0.24	0.28	0.30
Del 50 al 75% Regular	0.07	0.16	0.24
Menos del 50% Excesivo	0.12	0.22	0.26
Bosque:	0.17	0.26	0.28
Cubierto más del 75%	0.22	0.28	0.30
Cubierto del 50 al 75%	0.26	0.29	0.32
Cubierto del 25 al 50%	0.27	0.30	0.33
Cubierto menos del 25%	0.18	0.24	0.30
Zonas urbanas			
Caminos			
Pradera permanente			

**Fuente:** DOF. 2015. *NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales.* México. (23 de marzo de 2015).

Con base en las Tablas A y B, el mapa de uso del suelo, el mapa de unidades edáficas y con la capa de precipitación anual mencionada párrafos arriba se calculó el coeficiente de escurrimiento para Chiapas (Mapa 5).



**Mapa 5. Coeficiente de escurrimiento en Chiapas (%)**

Fuente: Elaboración propia con base en:

DOF. 2015. *NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales*. México. (23 de marzo de 2015).

INEGI. 2013. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie V (2011), escala 1: 250 000*. INEGI. México. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reconat/usosuelo/Default.aspx>.

INEGI. 2016b. *Carta de Precipitación Media Anual, escala 1: 1 000 000*. INEGI. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reconat/clima/infoescala.aspx>. Fecha de consulta: junio de 2016.

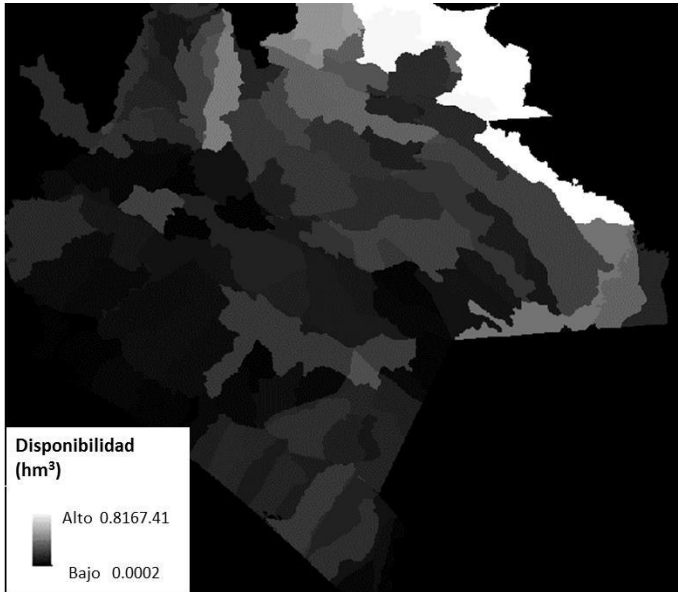
INEGI. 2002-2006. *Conjunto de datos vectorial Edafológico, escala 1: 250 000 Serie II*. INEGI. México. Disponible en: [http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reconat/edafologia/vectorial\\_seriei.aspx](http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reconat/edafologia/vectorial_seriei.aspx).

### **Cálculo de los balances hídricos: balance hídrico simple y balance hídrico total ponderado por la vegetación**

Una vez obtenidas las variables espaciales (mapas) antes descritas, se calcularon los balances hídricos, tanto el balance simple (que estima el agua capturada pero sin incluir el efecto de la cobertura vegetal presente) como el balance total ponderado por cobertura vegetal. A continuación se describe el cálculo de ambos balances.

#### ***Balance hídrico simple***

Como se mencionó en secciones anteriores la fórmula para calcular el balance hídrico superficial incluye la precipitación, la evapotranspiración, el escurrimiento superficial y la infiltración ( $P = ETR + ES + I$  o  $PP-ETR=ES + I$ ). Por ello, estas capas de información geoespacial calculadas, en este estudio, para Chiapas se emplearon en la ecuación, dando como resultado el Mapa 6. De acuerdo con este balance existen cuencas donde el balance hídrico alcanza poco más de 8 mil hectómetros cúbicos y cuencas o porciones de cuencas donde apenas se alcanzan valores de menos de una milésima de hectómetro cúbico.

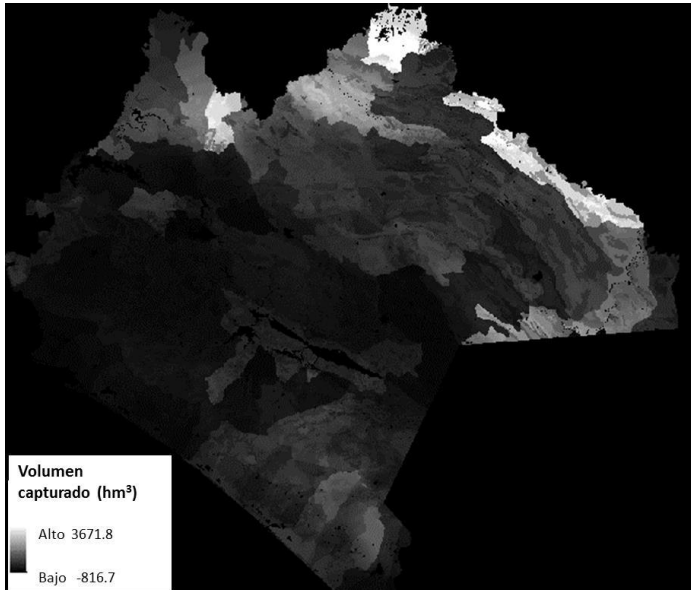


**Mapa 6. Balance hídrico simple para Chiapas (hm<sup>3</sup>)**

***Balance hídrico total ponderado por la vegetación presente***

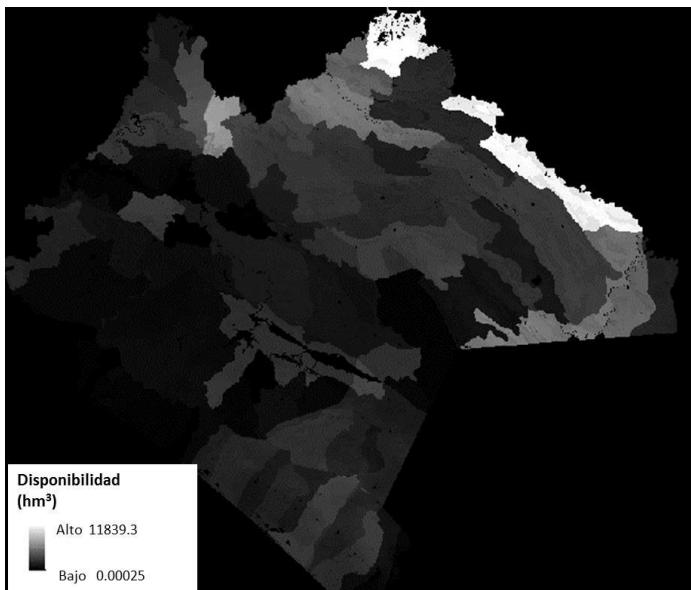
Para el cálculo del balance hídrico total ponderado por vegetación y uso del suelo, se calculó como primer paso el volumen de agua capturada sólo por la vegetación. En esta estimación se incluyeron todos los tipos de usos de suelo y vegetación por lo que de acuerdo con la clasificación del INEGI, además de las coberturas de vegetación primaria y secundaria<sup>12</sup>, se incluyen los cultivos y las zonas urbanas. Para este cálculo se empleó el balance hídrico simple (Mapa 6) y se multiplicó por el coeficiente de escurrimiento previamente calculado (Mapa 5), obteniéndose de esta manera el Mapa 7 que reporta el volumen de agua capturado por la vegetación y en los distintos tipos de usos del suelo. En este caso se pueden observar valores positivos y negativos. Los valores positivos indican crédito, mientras que los negativos déficit de agua en las cuencas de Chiapas según los usos del suelo y la cobertura vegetal presentes. Las cuencas con crédito de agua son aquellas en las que la extracción de agua no excede la recarga, mientras que donde hay déficit la extracción sobrepasa la recarga de agua (Torres y Guevara, 2002).

<sup>12</sup> Vegetación primaria: es aquella en la que la vegetación no presenta alteración significativa o la degradación no es tan manifiesta. Vegetación secundaria: comunidad vegetal significativamente diferente a la original y con estructura y composición florística heterogénea debido a la eliminación o alteración de la vegetación por diversos factores humanos o naturales (INEGI, 2015).



**Mapa 7. Volumen de agua capturado en los distintos usos del suelo (hm<sup>3</sup>)**

Finalmente, la suma del balance hídrico superficial simple (Mapa 6) y el volumen de agua capturado en los distintos usos del suelo (Mapa 7) dio como resultado el balance hídrico superficial total ponderado por vegetación (Mapa 8). Como puede observarse los volúmenes de agua capturados en este último balance, que ya incluye el efecto de la presencia de la vegetación, son mayores comparados con los volúmenes de agua del balance hídrico superficial simple.



**Mapa 8. Balance hídrico superficial total ponderado por vegetación (hm<sup>3</sup>)**

## **Conclusiones**

Con los balances hídricos obtenidos, se puede evaluar el aporte de los ecosistemas, en este caso de la cobertura vegetal presente y dependiendo de su grado de alteración y degradación (vegetación primaria o secundaria), en la captura y provisión de agua. Dado que los balances fueron calculados para todo el estado, es posible hacer cortes sobre esta información dependiendo de las áreas de interés. Por ello, con ambos balances hídricos obtenidos (simple y el ponderado por vegetación y uso del suelo), se calcularon los valores de disponibilidad de agua para cada municipio de Chiapas y estas variables se incorporaron a la base de datos descrita en la *Metodología* de la sección de *Análisis regional*.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abdi, H., Williams, L. (2010). Principal component analysis. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 2: 432-459.
- Abdias, E., & Castillo, R. (2007). Algoritmo computacional para describir la dinámica del ciclo hidrológico superficial en una cuenca a partir de cartas temáticas: topografía, edafología, uso de suelo y vegetación. Allouche, J. (2011). The sustainability and resilience of global water and food systems: Political analysis of the interplay between security, resource scarcity, political systems and global trade. *Food Policy*, 36: S3–S8.
- Agarwal, B. 2014. Food sovereignty, food security and democratic choice: critical contradictions, difficult conciliations. *The Journal of Peasant Studies*. DOI: 10.1080/03066150.2013.876996.
- Aparicio Mijares, J., Lafragua Contreras, J., Gutiérrez López, A., Mejía Zermeño, R., & Aguilar Garduño, E. (2006). Evaluación de los recursos hídricos. Elaboración del balance hídrico integrado por cuencas hidrográficas. ONU, IMTA.
- Bailes E. J., Ollerton, J., Pattrick, J. G., Glover, B. J., (2015). How can an understanding of plant–pollinator interactions contribute to global food security? *Current Opinion in Plant Biology* 26; 72–79.
- Balvanera P. (2015). *El estado del arte de la valoración de los servicios ecosistémicos en América Latina*. En: Conanp, Semarnat. Valoración de servicios ecosistémicos: un enfoque para fortalecer el manejo de las áreas naturales protegidas federales de México. México.
- Bharucha, Z., Pretty, J. (2010). The roles and values of wild foods in agricultural systems. *Phil. Trans. R. Soc. B* 365: 2913–2926.
- Blanco, R. H. 2010. Áreas de recarga hídrica de la parte media-alta de las microcuencas Palo, Marín y San Rafaelito, San Carlos, Costa Rica. *Cuadernos de Investigación UNED*. Edición en Línea, Vol. 2(2): 181-204.
- Carou, H. C., & Bringel, B. (2010). Articulaciones del Sur Global: afinidad cultural, internacionalismo solidario e Iberoamérica en la globalización contrahegemónica. *Geopolítica(s). Revista de Estudios Sobre Espacio y Poder*, 1(1), 41–63. <https://doi.org/>
- Carrasco, B., Peinador, R., & Aparicio, R. (2010). La Escala Mexicana de Seguridad Alimentaria en la ENIGH: evidencias de la relación entre la inseguridad alimentaria y la calidad de la dieta en hogares mexicanos 1 Brenda Carrasco, Rocío Peinador y Ricardo Aparicio 2,3. In *X Reunión Nacional de Investigación Demográfica en México de la Sociedad Mexicana de Demografía* (pp. 1–17).
- CCA. (2003). Análisis y pronóstico del cambio ambiental en América del Norte. Montreal. Recuperado el 02 de noviembre de 2015, de <http://www3.cec.org/islandora/es/item/1904-understanding-and-anticipating-environmental-change-in-north-america-es.pdf>
- Coates, D., Pert, P. L., Barron, J., Muthuri, C., Nguyen-Khoa, S., Boelee, E., Jarvis, D. I. (2013). *Water-related Ecosystem Services and Food Security*. En: CAB International 2013. Managing Water and Agroecosystems for Food Security.
- Conabio. (2013). *La biodiversidad en Chiapas: Estudio de Estado. Vol I. La biodiversidad en Chiapas: Estudio de Estado*. México.
- CONABIO. (2013). *Estrategia para la conservación y uso sustentable de la diversidad biológica del estado de Chiapas*. México. Retrieved from [http://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/pdf/EEB\\_MICHOACAN\\_2007.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/pdf/EEB_MICHOACAN_2007.pdf)
- [http://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/pdf/EEB\\_MICHOACAN\\_2007.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/pdf/EEB_MICHOACAN_2007.pdf)
- Conagua, Semarnat. 2016a. Acuíferos, Carta Acuíferos\_disponibilidad\_2015. Sistema Nacional de Información del Agua (SINA). Disponible en: [http://201.116.60.25/sina/index\\_query-mobile2.html?tema=acuíferos](http://201.116.60.25/sina/index_query-mobile2.html?tema=acuíferos). Fecha de consulta: octubre de 2016.
- Conagua, Semarnat. 2016b. Cuencas, Carta Cuencas\_disponibilidad\_2015. Sistema Nacional de Información del Agua (SINA). Disponible en: [http://201.116.60.25/sina/index\\_query-mobile2.html?tema=cuencas](http://201.116.60.25/sina/index_query-mobile2.html?tema=cuencas). Fecha de consulta: octubre de 2016.
- Conapo. (2013). *Proyecciones de la población 2010-2050 y estimaciones 1990-2009*. México.
- Coneval. (2010). Dimensiones de la seguridad alimentaria: evaluación estratégica de nutrición y abasto. México.



- CONEVAL. (2010). *Dimensiones de la seguridad alimentaria. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social* (Vol. 2).
- Coneval. (2012). *Informe de pobreza y evaluación en el estado de Chiapas 2012*. México.
- CONEVAL. (2012). *Informe de pobreza y evaluación en el estado de Chiapas 2012*. México.
- Coneval. (2015). *Anexo estadístico de pobreza en México*. México. Disponible en: [www.coneval.gob.mx](http://www.coneval.gob.mx)
- Coneval. (2017). Medición de la pobreza. Disponible en: <http://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Glosario.aspx>
- Costanza R. (2012). The value of natural and social capital in our current full world and in a sustainable and desirable future. En: Weinstein, M. P and Turner R. E. (editors). *Sustainability Science. The emerging Paradigm and the Urban Environment*. Springer. London.
- Covaleda, S., Aguilar, S., Ranero, A., Marín, I., & Paz, F. (2014). *Diagnóstico sobre determinantes de deforestación en Chiapas*, 3–169.
- Cubero, J. C., & Berzal, F. (2016). *Sistemas Inteligentes de Gestión Guión de Prácticas de Minería de Datos Práctica 0 Estadística Descriptiva y Preprocesamiento Introducción a SPSS Introducción*. Universidad de Granada.
- De la Fuente, F. (2011). *Componentes Principales*. Universidad Autónoma de Madrid.
- De las Salas, G., & Olmos, C. G. (2000). Balance hídrico bajo tres coberturas vegetales contrastantes en la cuenca del río San Cristobal, Bogotá. *Revista Académica Colombiana de Ciencias*.
- Dietz S., Neumayer E. 2007. Weak and strong sustainability in the SEEA: concepts and measurement. *Ecological Economics* 61: 617-626.
- DOF. 2015. *Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales*. México. (23 de marzo de 2015).
- DOF. 2016. *Ley de aguas nacionales. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1º de diciembre de 1992. Texto vigente*. Diario Oficial de la Federación 24-03-2016.
- Dunn, R. (2010). Global Mapping of Ecosystem Disservices: The Unspoken Reality that Nature Sometimes Kills us. *Biotropica* 42(5): 555–557.
- Ekins P., Simon S., Deutsch L., Folke C., De Groot R. 2003. A framework for the practical application of concepts of critical natural capital and strong sustainability. *Ecological Economics* 44: 165-185
- Ellison, D., Morris, C. E., Locatelli, B., Sheil, D., Cohen, J., Murdiyarsa, D., Gutierrez, V., Noordwijk, M., Creed, I., Pokorny, J., Gaveau, D., Spracklen, D., Tobella, A., Ilstedt, U., Teuling, A., Gebrehiwot, S., Sands, D., Muys, B., Verbist, B., Springgay, E., Sugandi, Y., Sullivan, C. A. (2017). Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. *Global Environmental Change*, 43, 51–61.
- <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.01.002>
- Ericksen, P.J. (2008). Conceptualizing Food Systems for Global Environmental Change Research. *Global Environmental Change* 18: 234–245.
- FAO, Sagarpa, Sedesol, & INSP. (2013). *Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en México 2012*.
- FAO. (2012). *Escala Latinoamericana y Caribeña de Seguridad Alimentaria (ELCSA). Manual de uso y aplicación*. Italia.
- FAO. (2013). *Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en México 2012*. Recuperado el 22 de noviembre de 2015, de <ftp://ftp.sagarpa.gob.mx/CGCS/Documentos/2013/Panorama%20Seguridad%20Alimentaria%20Mexico%202012.pdf>
- FAO. (2015a). *Contribución del agua a la seguridad alimentaria y la nutrición. Un Informe del Grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición*. Roma.
- FAO. (2015b). Informe del grupo de alto nivel de expertos: Contribución del agua a la seguridad alimentaria y la nutrición Fragmento del informe: Resumen y recomendaciones (6 de mayo de 2015). Italy. Recuperado el 25 de octubre de 2015, de [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/hlpe/hlpe\\_documents/HLPE\\_S\\_and\\_R/HLPE\\_2015\\_Water\\_for\\_FSN\\_Summary-and-Recommendations\\_ES.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/hlpe/hlpe_documents/HLPE_S_and_R/HLPE_2015_Water_for_FSN_Summary-and-Recommendations_ES.pdf)
- FAO. (2015c). *Seguridad alimentaria*. Disponible en: <http://www.fao.org/economic/ess/ess-fs/es/>
- FAO. (2016). *Indicadores FAO Food security indicators*. Retrieved from <http://www.fao.org/economic/ess/ess-fs/ess-fadata/en/#.WaRB6Cjyjs>

- Farley, K. A., Jobbágy, E. G., & Jackson, R. B. (2005). Effects of afforestation on water yield: A global synthesis with implications for policy. *Global Change Biology*, 11(10), 1565–1576.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01011.x>
- Fisher, B. Turner R. K. Morling P. (2009). Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics* 68: 643-653.
- Fisher, B., K, Turner K. (2008). Ecosystem services: Clasificación for valuation. *Biological Conservation* 141:1167-1169.
- Flores, M., & Luiselli, C. (2017). *Inseguridad alimentaria*, p. 31. México. Retrieved from  
<http://www.gaceta.unam.mx/20170821/wp-content/uploads/2017/08/210817.pdf>
- García, R. (2012). Conferencia: Interdisciplinarietà y sistemas complejos. México. Retrieved from  
<https://www.youtube.com/watch?v=bPWdI3STms0>
- García-Nieto, A., García-Llorente, M., Iniesta-Arandia, I., Martín-López, B. (2013). Mapping forest ecosystem services: From providing units to beneficiaries. *Ecosystem Services*. 4: 126–138.
- Germanwatch, Bread for the World. (2009). *El Cambio Climático, la Seguridad Alimentaria y el Derecho a la Alimentación Adecuada*. World Social Forum 2009.
- González R. M. (2012). *Pobreza, cambio familiar y política familiar*. En: González R. M. y Escobar L. A. (coordinadores). *Pobreza, transferencias condicionadas y sociedad*. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología social. Publicaciones de la Casa Chata.
- González, T. (2011). Simulación de la Infiltración de agua en el Bosque de la Primavera.
- Gudynas, E. (2000). Los límites de la sustentabilidad débil, y el tránsito desde el capital natural al patrimonio ecológico. *Educación, Participación Y Ambiente*, 4(11), 7–11.
- Hangra, M. A., Qureshi, M. (2010). Global water crisis and future food security in an era of climate change. *Food Policy* 35: 365–377.
- Hernández, A. J. 2008. *Evapotranspiración Penman-Monteith. Agrocabildo*. Tenerife, España. Disponible en: <http://www.agrocabildo.org/publica/analisisclimatico/evapotrans2008.pdf>. Fecha de consulta: octubre de 2016.
- Holt-Giménez, E. y Altieri, M. 2013. Agroecología, soberanía alimentaria y la nueva revolución verde. *Agroecología* 8 (2): 65-72.
- Hurtado, A. N., & Domínguez Sánchez, F. C. (2009). Análisis de correlación y regresión. *Probabilidad Y Estadística Para Ingeniería. Un Enfoque Moderno*, 1–88. Retrieved from <http://www.mcgraw-hill-educacion.com/pye01e/>
- Ilstedt, U., Bargués Tobella, A., Bazié, H. R., Bayala, J., Verbeeten, E., Nyberg, G., Malmer, A. (2016). Intermediate tree cover can maximize groundwater recharge in the seasonally dry tropics. *Scientific Reports*, 6(February 2015), 21930. <https://doi.org/10.1038/srep21930>
- INEGI. (2015). *Censo General de Población y Vivienda (varios años), Conteo de Población y Vivienda (varios años) y Encuesta Intercensal 2015*. México. Retrieved from  
<http://www.objetivosdesdesarrollodelmilenio.org.mx/cgi-win/odmsql.exe/ANODM007000300010,54,DxA100244614803,000,2010,False,False,False,False,False,False,0,0,E>
- INEGI. 2013. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie V (2011), escala 1: 250 000*. INEGI. México. Disponible en: [www.conabio.gob.mx/informacion/gis/](http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/),  
<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/usuarios/Default.aspx>.
- INEGI. 2015. *Guía para la interpretación de cartografía: uso del suelo y vegetación: escala 1:250, 000: serie V*. México.
- INEGI. 2016a. Modelo digital de elevación (MDE), del Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0), resolución 30 m. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/descarga.aspx>. Fecha de consulta: junio de 2016.
- INEGI. 2016b. *Carta de Precipitación Media Anual, escala 1: 1 000 000*. INEGI. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/clima/infoescala.aspx>. Fecha de consulta: junio de 2016.

- INEGI. 2016c. *Carta de Evapotranspiración, escala 1: 1 000 000*. INEGI. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/clima/infoescala.aspx>. Fecha de consulta: junio de 2016.
- IUFRO. (2015). *Forests, Trees and Landscapes for Food Security and Nutrition. A Global Assessment Report*. Bhaskar Vira, Christoph Wildburger & Stephanie Mansourian (eds.). IUFRO World Series Volume 33. Vienna.
- Johnston, R. y Russell, M. (2011). An operational structure for clarity in ecosystem service values. *Ecological Economics* 70: 2243–2249.
- Lele, S., Springate-Baginskib, O., Lakerveldc, R., Debd, D., Dashe, P. (2013). Ecosystem Services: Origins, Contributions, Pitfalls, and Alternatives. *Conservation and Society* 11(4): 343-358.
- Llorens, P. (2003). Opinión. *Ecosistemas*, 1. Retrieved from <http://www.aeet.org/ecosistemas/031/opinion1.htm>
- Ludeke, M., G. Petschel-Held y H. Schellhuber. (2004). Syndromes of global change: the first panoramic view. *GAIA* 13 (1); 42-49.
- MacCormick P. (2012). A Sustainability Challenge: Food Security for All Report of Two Workshops Committee. National Academy of Sciences.
- Martínez, M. L., Pérez-Maqueo, O. Vázquez, G., Castillo-Campos, G., García-Franco, J., Mehlreter, K., Equihua, M., Landgrave, R. (2009). Effects of land use change on biodiversity and ecosystem services in tropical montane cloud forests of Mexico. *Forest Ecology and Management*. 258: 1856–1863.
- McCormick, P. (2012). Water, agricultural productivity, and environmental services. In *A Sustainability Challenge: Food Security for All: Report of Two Workshops* (pp. 39–40).
- Millenium Ecosystem Assessment (MEA). (2005). *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Island Press. Washington DC.
- Minitab. (2016). What is a factor score? Retrieved from <http://support.minitab.com/en-us/minitab/17/topic-library/modeling-statistics/multivariate/principal-components-and-factor-analysis/what-is-a-factor-score/>
- Murillo L. D. (2015). *Colonialidad sobre la naturaleza y espacio habitado: dos miradas contrapuestas en la minicuenca del Valle Jovel, Chiapas*. En: García A. Y Soares D. Tópicos socio-ambientales y productivos en la Cuenca Jovel y su periferia – Chiapas. México. Universidad Autónoma de Chapingo, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Naciones Unidas. (2015). *Objetivos de Desarrollo del Milenio Informe de 2015*. Naciones Unidas, 72. <https://doi.org/10.1108/17427370810932141>
- Neary, D. G., Ice, G. G., & Jackson, C. R. (2009). Linkages between forest soils and water quality and quantity. *Forest Ecology and Management*, 258(10), 2269–2281. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.05.027>
- ONUDI. (2017). *Manual de Producción más Limpia. Análisis del flujo de materiales*. Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial. Patel, R. 2009. Grassroots voices: What does food sovereignty look like? *Journal of Peasant Studies*, 36(3), 663–706.
- Ordoñez, J. (2011a). *Cartilla técnica: balance hídrico superficial*. Perú.
- Ordoñez, J. (2011b). Ciclo Hidrológico. *Sociedad Geográfica de Lima*. Retrieved from [http://www.gwp.org/Global/GWP-SAM\\_Files/Publicaciones/Varios/Ciclo\\_Hidrologico.pdf](http://www.gwp.org/Global/GWP-SAM_Files/Publicaciones/Varios/Ciclo_Hidrologico.pdf)
- Peña, D. (2002). *Análisis de datos multivariantes*. España: McGraw-Hill / Interamericana De España.
- PNUD. (2015). *Índice de Desarrollo Humano para las entidades federativas, México 2015*. PNUD, México. México. Retrieved from [http://www.mx.undp.org/content/dam/mexico/docs/Publicaciones/PublicacionesReduccionPobrez a/InformesDesarrolloHumano/PNUD\\_boletinIDH.pdf](http://www.mx.undp.org/content/dam/mexico/docs/Publicaciones/PublicacionesReduccionPobrez a/InformesDesarrolloHumano/PNUD_boletinIDH.pdf)
- Poppy G. M., Chiotha, S., Eigenbrod, F., Harvey, C. A., Honza, M., Hudson, M. D., Jarvis A., Madise, N. J., Schreckenber, K., Shackleton, C. M., Villa, F., Dawson, T. P. (2015). Food security in a perfect storm: using the ecosystem services framework to increase understanding. *Phil. Trans. R. Soc. B* 369: 20120288.

- Power, A. G. (2010). Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 365(1554), 2959–2971. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0143>
- Raudsepp-Hearne, C., Peterson, G. D., Bennett, E. M. (2010). Ecosystem service bundles for analyzing tradeoffs in diverse landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 107: 5242–5247.
- Richardson, R. B. (2010). Ecosystem services and food security: Economic perspectives on environmental sustainability. *Sustainability*, 2, 3520–3548. <https://doi.org/10.3390/su2113520>
- Rosales, A. E. 2012. *Metodología y estimación del balance hídrico de la cuenca del Usumacinta*. México. FORDECYT-CONACYT-CENTROGEO.
- Sandhu, H. S., Wratten, S. D., & Cullen, R. (2010). Organic agriculture and ecosystem services. *Environmental Science and Policy*, 13(1), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2009.11.002>
- Sarukhán, J. (2015). *Conservación y manejo sustentable del capital natural de México, retos y oportunidades*. En: El pensamiento ecológico frente a los retos del siglo XXI (Mireya Ímaz Gispert coordinadora). UNAM. Programa Universitario de Estrategias para la Sustentabilidad.
- Semarnat. (2013). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental*. Edición. 2012. México.
- Semarnat. (2015). *El medio ambiente en México 2013-2014*. México.
- Semarnat. (2016). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y Crecimiento Verde. Edición 2015*. México.
- Sukhdev P. (2015). *Los servicios ecosistémicos y el bienestar humano. Conferencia magistral*. En: Conanp, Semarnat. Valoración de servicios ecosistémicos: un enfoque para fortalecer el manejo de las áreas naturales protegidas federales de México. México.
- Sunderland, T., Powell, B., Ickowitz, A., Foli, S., Pinedo-Vasquez, M., Nasi, R., Christine Padoch. (2013). *Food security and nutrition. The role of forests. Discussion paper*. Center for International Forestry Research. Indonesia.
- TEEB. (2010). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: The Ecological and Economic Foundations*. Chapter 3 Measuring biophysical quantities and the use of indicators.
- Toro-Guerrero, F. J., Kretschmar, T., & Hinojosa-Corona, A. (2014). Estimación del balance hídrico en una cuenca semiárida, El Mogor, Baja California, México. *Tecnología Y Ciencias Del Agua*, 5(6), 69–81. Retrieved from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222014000600005&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222014000600005&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Torres R. J. y Guevara S. A. 2002. El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico. *Gaceta Ecológica* Vol. 63, 40-59.
- Torres, F. (2003). *Seguridad alimentaria: seguridad nacional. Seguridad alimentaria: seguridad nacional*. Retrieved from <http://ru.iiec.unam.mx/1762/1/SegAlimentaria.pdf>
- Tudela, F. (2002). *Los síndromes de sostenibilidad del desarrollo. El caso de México*. Taller síndromes de sostenibilidad del desarrollo en América Latina.
- UN Water. (2014). Un Objetivo Global para el Agua Post-2015. Retrieved from [http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/findings\\_and\\_recommendations\\_post2015\\_global\\_water\\_spa.pdf](http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/findings_and_recommendations_post2015_global_water_spa.pdf)
- UN. (2011). *Water for food – innovative water management technologies for food security and poverty alleviation*. Switzerland.
- UN. (2014). *World Population Prospect: The 2012 revision. On-Line Data Base*. Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat. Disponible en: <http://esa.un.org/undp/wpp/index.htm>
- UN. (2017a). *Millennium Development Goals and Beyond 2015*. Retrieved from <http://www.un.org/millenniumgoals/>
- UN. (2017b). Sustainable Development Goals. Retrieved from <http://www.un.org/sustainabledevelopment/>
- UNEP. (2011). *Ecosystems for water and food security*. Kenya.
- Vega, M., Shamah, T., Melgar, H., & Peinador, R. (2014). Inseguridad alimentaria: un análisis de la variedad de alimentación en hogares mexicanos con niños menores de cinco años. *Enfermedades del Rezago y Emergentes desde las Ciencias Sociales y la Salud Pública.*, 56, 147–166.

- Villafuerte Solís, D. (2014). Chiapas: las fronteras del desarrollo. *Liminar: Estudios Sociales Y Humanísticos*, 1(1), 69–98. <https://doi.org/10.5944/educxx1.17.1.10708>
- Villafuerte Solís, D. (2015). Rural crisis, poverty and hunger in Chiapas. *Liminar: Estudios Sociales Y Humanísticos*, 13(1), 13–28. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5163986&info=resumen&idioma=>
- Visauta, B. (2007). *Análisis estadístico con SPSS 14. Estadística básica*. (S. Carmelo, Ed.) (3a ed.). Madrid: McGraw-Hill.
- WRI. (2005). *Material flows accounts. A tool for making environmental policy*. Washington. Recurso recuperado el 14 de noviembre de 2015, de [http://pdf.wri.org/WRI\\_MFA\\_Policy.pdf](http://pdf.wri.org/WRI_MFA_Policy.pdf)