

Modelo de desarrollo sustentable a nivel de los hogares y su comprobación empírica

Resumen

Se construyó un modelo teórico de desarrollo sustentable desde la economía de los hogares. La información se obtuvo mediante una encuesta probabilística, análisis químico de metales pesados, evaluación cualitativa de fertilizantes y de enfermedades crónico-degenerativas, el ingreso neto del aprovechamiento del medio ambiente natural. El modelo teórico se formuló en el ámbito de la teoría económica utilizando herramientas teórico-metodológicas de la química ambiental, sociología y antropología económica. Las relaciones entre las sustentabilidades económica, social y ambiental se realizó mediante tres ecuaciones de regresión. Así, el enfoque convencional macro y normativo del desarrollo sustentable se transformó en un análisis realizado desde la economía familiar en la cual se miden los impactos de la contaminación y el manejo ambiental. La intensidad de los tres tipos de sustentabilidad se midió a través de variables latentes y para evaluar la sustentabilidad económica fue necesario estratificar el ingreso familiar total mediante el método de Dalenius y Hodges. Los impactos ambientales dejan de medirse a través de multas y premios ya que en este trabajo se prueba que los primeros pueden evaluarse a través del presupuesto familiar y la salud de los miembros del hogar mediante dos ecuaciones de regresión adicionales.

Abstract

A theoretical model of sustainable development was developed from a typical household economy. The information was obtained through a probabilistic survey, chemical analysis of heavy metals, qualitative assessment of fertilizers and chronic degenerative diseases, and net income from use of the natural environment. The theoretical model was developed in the field of economic theory using theoretical and methodological tools of environmental chemistry, sociology and economic anthropology. The relationships between economic, social and environmental sustainabilities were performed using three regression equations. Thus, the conventional macroeconomic approach of sustainable development turned into an analysis from the household economy standpoint in which the impacts of pollution and environmental management were measured. The intensity of the three types of sustainability was measured through latent variables and the Dalenius and Hodges method for stratifying total household income was used to assess economic sustainability. The environmental impacts are no longer measured through fines and awards as this work proves that they can be evaluated through the family budget and the health of household members through two additional regression equations.

Résumé

On a construit un modèle théorique de développement durable depuis l'économie des foyers. L'information a été obtenue grâce à une enquête probabiliste, une analyse chimique des métaux lourds, une évaluation qualitative des fertilisants et des maladies dégénératives chroniques et au bénéfice net de l'utilisation de l'environnement naturel. Le modèle théorique a été formulé au niveau de la théorie économique en utilisant des outils théoriques-méthodologiques de la chimie environnementale, de la sociologie et de l'anthropologie économique. La mise en relation entre les durabilités économique, sociale et environnementale a été réalisée par trois équations de régression. Ainsi, l'approche conventionnelle macro et normative du développement durable s'est transformée en analyse réalisée à partir de l'économie familiale dans laquelle on mesure/évalue les impacts de la pollution et la gestion environnementale. On a mesuré l'intensité des trois types de durabilité avec des variables latentes. Pour évaluer la durabilité économique, il a été nécessaire de stratifier le revenu familial total selon la méthode de Dalenius et Hodges. Les impacts environnementaux ne se mesurent plus par les sanctions et les récompenses car dans ce travail on démontre qu'ils peuvent être évalués à travers le budget familial et la santé des membres du foyer grâce à deux équations de régression additionnelles.

Alicia Sylvia Gijón Cruz¹,
Rafael G. Reyes Morales²,
Isabel Selene Benítez Ávila³,
Juan Luis Bautista Martínez¹.

¹ Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca, Oaxaca, México.

² División de Estudios Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Oaxaca, Oaxaca, México.

³ Maestría en ciencias en desarrollo regional y tecnológico, Instituto Tecnológico de Oaxaca, Oaxaca, México.

Palabras clave: economía familiar, metales pesados, gasto en salud, impacto ambiental.

Introducción

Se expone un modelo de desarrollo sustentable a nivel hogares el cual permite medir la sustentabilidad económica, sustentabilidad social y sustentabilidad ambiental, así como las interrelaciones entre éstas. Se considera la contaminación de cuerpos de agua y de suelos agrícolas por aguas residuales y fertilizantes; la presión sobre el bosque natural

a través de la extracción de leña y el pastoreo. El área de estudio es una comunidad semi-urbana con vocación agrícola en donde el cultivo de maíz es regado con agua de río contaminada. Se aplicó una encuesta probabilística a una muestra de hogares sobre las economías familiares y el medio ambiente; además se analizó el contenido de metales pesados en granos de maíz. Por lo tanto, el modelo se construyó con la información obtenida en campo y en el laboratorio; asimismo, se tomaron en cuenta otros efectos adversos como son las dietas desequilibradas y enfermedades crónico-degenerativas. La hipótesis que guía este trabajo es: *la sustentabilidad económica de los hogares de la comunidad de estudio, ubicada sobre las márgenes de un río contaminado por aguas residuales, está directamente relacionada con sus niveles de sustentabilidad social y sustentabilidad ambiental; a su vez, los tres tipos de sustentabilidad están relacionadas entre sí.*

La información sobre la sustentabilidad económica y sustentabilidad social se obtuvo a través de la encuesta probabilística, mientras que los datos sobre la sustentabilidad ambiental consideran tanto los resultados de los análisis del contenido de metales pesados en granos de maíz como datos de la encuesta. La comunidad de estudio San Pablo Huixtepec, Oaxaca no cuenta con una red pública de drenaje y los hogares han cubierto esta deficiencia mediante la construcción de retretes conectados a una fosa séptica o letrinas. Alrededor de la mitad de las viviendas no dispone de agua entubada y esta carencia se ha cubierto mediante la construcción de pozos a cielo abierto y algunas veces compran agua de pipas (camión cisterna). Asimismo, el agua de riego procede de un río contaminado, por lo tanto, los cultivos absorben contaminantes entre los cuales se encuentran los metales pesados.

Marco teórico

Desarrollo sustentable y medio ambiente

Hace siglo y medio que se empezó a reconocer en las sociedades con mayor nivel económico el peligro para la vida del planeta, en relación a seguir contaminando el medio ambiente y destruyendo los ecosistemas (Pierri, 2005). Sin embargo, los problemas ambientales son complejos y su solución involucra los intereses de los hogares, las empresas y el gobierno. Los hogares¹

contaminan -en proporción a su nivel de ingresos y estilo de vida- los cuerpos de agua y el suelo con aguas residuales y desechos sólidos; el aire con emisiones de gases tóxicos de automóviles, de la cocina, del calentador de agua y del sistema de acondicionamiento de la temperatura interna de la vivienda. Las empresas privadas, públicas y sociales producen bienes y servicios; aportan los mismos contaminantes que los hogares y además agregan considerables cantidades de residuos peligrosos. Por lo tanto, la generación de residuos emanados por las empresas tiene mayor afectación sobre el medio ambiente que los residuos generados por los hogares.

En este contexto el gobierno es el juez que regula las actividades económicas y de la sociedad, además defiende los intereses de las empresas. El interés del Estado por el cuidado del medio ambiente surgió de leyes y de asociaciones creadas para la protección del medio ambiente. El debate se trasladó a los foros internacionales y los congresos en los países democráticos en Europa y Estados Unidos en la segunda mitad del siglo XIX.

En el siglo XX los académicos continuaron estos esfuerzos hasta llegar a la creación de grupos ecologistas y la inclusión de los problemas ambientales en la agenda de las Naciones Unidas en la década de los sesenta (Pierri, 2005). La síntesis de estos esfuerzos para proteger el medio ambiente y asegurar la existencia de la vida en el planeta se ha intentado plasmar en el concepto de desarrollo sustentable, del cual a continuación se describe su origen. En un extremo, se encuentran los trabajos críticos de académicos surgidos de las sociedades de países industrializados ricos; los *Limites del Crecimiento* conocido como el primer informe al Club de Roma (Meadows et al. 1972), constituye una propuesta de académicos norteamericanos; y *El manifiesto para la supervivencia* elaborado por académicos británicos (Goldsmith et al., 1972). En el otro extremo, se encontraba la corriente del ecodesarrollo dirigida a los países pobres y ésta planteaba la necesidad de nuevo orden internacional (Suchs, 1974 y 1980). Las Naciones Unidas atrajeron el debate del desarrollo sustentable y se obtuvo un concepto “moderado” que se definió entre la Conferencia sobre

¹ En este artículo, familia y hogar se usan indistintamente; y se refiere a un grupo de personas que comparten una misma vivienda y un presupuesto común.

el Medio Ambiente celebrada en Estocolmo, Suecia en 1972 y la Cumbre de Río en Brasil en 1992. Estas ideas se plasmaron en el documento titulado *Nuestro futuro común* (CMMAD, 1992) que advertía a la humanidad la necesidad de cambiar su modo de vida y de interacción comercial, ya que de otra manera se transitaría hacia una era con inaceptables niveles de sufrimiento humano y degradación ecológica. De este modo, surgió el concepto y propuestas de desarrollo sustentable, sobretodo en circunstancias de la conservación del stock de recursos y de una visión de largo plazo (García & Vergara, 2000).

Así, el desarrollo sustentable se definió como *aquel que satisface las necesidades actuales sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades*. Se estableció también que la pobreza, la igualdad y la degradación ambiental no pueden analizarse por separado (Foladori & Tommasino, 2000). Al centrarse en el concepto de sostenibilidad que forma parte del concepto de desarrollo sustentable, se encuentran inmersas dos versiones del concepto: sostenibilidad débil y sostenibilidad fuerte (Norton, 1995). En primera instancia, sustentabilidad se refiere a la continuación a través del tiempo y al unirse al desarrollo, sustentable pretende que el desarrollo continúe a través del tiempo (Lelé, 1991). La primera versión del concepto, sostenibilidad débil, se encuentra dentro del modelo de la economía estándar y puede definirse como: la viabilidad de un sistema socioeconómico en el tiempo. Dicha viabilidad puede conseguirse al mantener el capital global generación tras generación. Siendo el capital natural y el capital formación humana los que conforman el capital global. El capital natural es responsable del flujo de recursos naturales que entra en una sociedad (Daly, 1996), como por ejemplo los terrenos de cultivo que producen el flujo de alimentos. El capital de formación humana se refiere a la disponibilidad de capital monetario, tecnología, personal formado, entre otras. Para evitar la posible incompatibilidad entre crecimiento económico y conservación del capital social se admite que los recursos que se agotan pueden sustituirse ilimitadamente siempre y cuando la tecnología evolucione (Mas-Colell, 1994). Dicha sustitución es aceptada hasta el punto de sustituir un recurso por otro que lleve a cabo la misma función o en el caso de sustituir un trabajo por capital. Así, es

posible clasificar la sustentabilidad en tres categorías diferentes, que son: social, económica y ambiental, cuyos fundamentos económicos del proceso productivo involucran el capital, el trabajo y los recursos naturales. La acumulación del capital permitió sostener el fortalecimiento de una clase capitalista, mientras que la incorporación de la naturaleza a través de las relaciones de producción pudo, a su vez, favorecer la consolidación de una clase trabajadora. Por esta razón, el ámbito social debería presentar como razón de ser los recursos naturales, puesto que forman parte del fundamento de la sustentabilidad ecológica y ambiental del desarrollo. La propiedad de dichos recursos naturales y de los procesos ecológicos permite la disgregación, puesto que tiende a intentar privatizar la naturaleza atribuyéndole un precio para garantizar la sustentabilidad del desarrollo. En este sentido, Foladori (1999) considera que el trabajo es la actividad que transforma la naturaleza con el propósito de crear objetos útiles, y que la consecuente acumulación de información a través del tiempo es la esencia de la naturaleza humana. Por lo tanto, la transformación de la naturaleza se encuentra relacionada con los estratos sociales porque, entre mayores ingresos se tienen, existe una mayor explotación de recursos y una mayor producción, sin preocuparse por el agotamiento de los recursos y por ende por su deterioro.

Lelé (1991) considera que la sustentabilidad ecológica además de presentar causas técnicas también presenta causas sociales. Menciona que la erosión del suelo debilita las bases agrícolas y es un caso de insustentabilidad ecológica, porque es provocada por inadecuadas medidas de conservación. Sin embargo, la insustentabilidad social surge por la marginalización de los campesinos, debido a la falta de recursos para llevar a cabo estrategias productivas de manera sustentable o al crecimiento de la población pobre, a una mayor demanda de recursos y la presión ejercida sobre los ecosistemas. Por lo tanto, la sustentabilidad social no puede ser considerada de manera aislada, ya que la pobreza no es un problema ambiental, sino las consecuencias que ésta genera sobre el medio ambiente. Este caso se considera como sustentabilidad social limitada, ya que funciona como un puente para analizar la sustentabilidad ecológica, es decir, los problemas sociales son usados como

punto para identificar problemas técnicos (Foladori & Tommasino, 2006). Aunque se debe desatacar que la sustentabilidad social se refiere a las relaciones técnicas entre los pobres y el uso de los recursos naturales. Así también habrá que mencionar que una parte importante de la sustentabilidad es la que se considera como factor limitante del desarrollo de las economías. El dogma central de la economía estándar es considerado de esta manera y se refiere al capital natural (Daly, 1996). Sin embargo, Solow (1991) afirma que el capital global es el que interesa, puesto que al deteriorarse el capital natural, una inversión puede llegar a recuperarlo. Sin embargo, la mejor manera de recuperar el deterioro de la naturaleza es la salud medioambiental a través del crecimiento económico (Mas-Colell, 1994). Esto se refleja en países desarrollados en las mejoras de su entorno como son: la calidad del agua, tratamiento de sus residuos sólidos, entre otras inversiones que se realizan para vivir en un entorno más agradable. El deterioro del medio ambiente es propio de los países subdesarrollados los cuales normalmente no disponen de capital para minimizar el deterioro del medio natural. Esta visión del desarrollo sustentable otorga la obligación a los Estados Nacionales del cuidado del medio ambiente y los recursos naturales en beneficio de su sociedad sin inhibir el papel en el desarrollo de las empresas. Los hogares no aparecen como actores activos sino las empresas, organizaciones y etnias. Los gobiernos principalmente interiorizan los costos de la contaminación de las empresas a través de multas y también otorgan incentivos para cuidar el medio ambiente.

Sin embargo, los hogares son las células en donde se origina buena parte de la contaminación o bien se realizan las prácticas de conservación. En realidad, los hogares no sólo contaminan sino también deprecian; asimismo, reciben los impactos negativos de sus propias prácticas y dietas desequilibradas en su nivel de bienestar. Por consiguiente, el objetivo de nuestra investigación es evaluar el desarrollo sustentable considerando como estudio de caso a San Pablo Huitzo desde una perspectiva económico-ambiental, esto es, la interacción de la contaminación en el cultivo de maíz procedente del agua de riego del río Águila, o de agua de pozos cercanos a este río, y la economía de los hogares que incluye el uso de recursos naturales.

Contaminación por metales pesados

La contaminación por los metales pesados puede llegar a provocar enfermedades tanto gastrointestinales como cardiovasculares y además éstas pueden afectar el sistema endocrino, inmunológico, neurológico y respiratorio (Perezgasga, 1999), sin embargo, no sólo la salud es el aspecto que puede verse afectado sino también pueden observarse impactos sobre la biodiversidad, producción, entre otros. De los metales pesados que se consideran micronutrientes para las plantas se encuentran: zinc (Zn), cobre (Cu), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), níquel (Ni), entre otros; sin embargo, al aumentar su concentración pueden provocar un efecto inverso (Glynn et al., 1999). El Cu junto con otros metales pesados – Fe, Mn, Zn, Co y Mo-, se consideran esenciales para la planta en bajas concentraciones; Ni y Cr se consideran benéficos, pero éstos pueden llegar a ser tóxicos en concentraciones mayores. Específicamente para el humano los metales más tóxicos son: Cd, Zn, Hg y Pb y As (Casanellas, 2008). Considerando esta información y la importancia de los micronutrientes para las plantas y el consumidor, en este caso el maíz como alimento básico, a continuación, se revisan los efectos del Ni, Cu y Cr en los residuos que se utilizan para mejorar la fertilidad de suelo y elevar el rendimiento del maíz.

El níquel se encuentra en el organismo humano en concentraciones de 0.1 mg/kg distribuido en diferentes tejidos como pulmón, tiroides, glándulas suprarrenales, riñón, corazón, hígado, encéfalo, bazo y páncreas. Sus requerimientos aproximados son de menos de 150 µg/ día, por esta razón, las dietas basadas en alimentos de origen animal deben tener un bajo contenido de este metal. Los efectos nocivos en la salud más comunes del níquel en seres humanos son las reacciones alérgicas. De los efectos nocivos más graves para la salud por la exposición al níquel, se encuentra la bronquitis crónica, una función pulmonar reducida, el cáncer de pulmón y de seno nasal (Melo & Cuamatzi, 2007).

El cobre en el organismo humano está presente en una concentración de 1.7 mg/kg y se encuentra en alimentos como son: mariscos, nueces, semillas, legumbres, salvado, hígado y vísceras; en menor cantidad lo contiene el chocolate, frutas secas, hongos, plátano, uvas y papas. Los requerimientos recomen-

datos para adultos son de 1.5 a 3 mg/día, cifras que varían muy marcadamente en diversos grupos de población (Melo & Cuamatzi, 2007). Su absorción es necesaria, porque es un elemento traza esencial para la salud de los humanos. Las exposiciones por largo periodo al cobre pueden irritar la nariz, la boca y los ojos y causar dolor de cabeza, de estómago, mareos, vómitos y diarreas; y una toma grande de cobre puede causar daño al hígado y los riñones e incluso la muerte (Parada, 2004).

El cromo es también un elemento traza en humanos y animales. La gente está expuesta al cromo a través de la respiración, al consumirlo o beberlo y a través del contacto con la piel. El nivel de cromo en el aire y el agua es generalmente bajo; en agua para beber el nivel de cromo es usualmente bajo como en el agua de pozo, pero si esta última está contaminada puede contener el peligroso cromo hexavalente VI. La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda desde 1958 una concentración máxima de 0.05 mg/litro de cromo VI en el agua de consumo, puesto que la exposición crónica a este compuesto puede provocar daños permanentes en los ojos (Devlin, 2004). Cabe mencionar que existen diferentes clases de Cr cuyos efectos sobre los organismos difieren; está en el aire, agua y suelo en forma de cromo III y el cromo VI. Este último aparece a través de procesos naturales y actividades humanas, es mayoritariamente tóxico para el organismo humano, porque puede alterar el material genético y causar cáncer.

Metales pesados en suelos agrícolas y plantas de maíz

La adición de lodos residuales en un suelo agrícola para el cultivo de maíz incluye altas cantidades de materia orgánica y nutrimentos, así como concentraciones variables de elementos potencialmente tóxicos con baja disponibilidad para las plantas; sin embargo, en las plantas de maíz normalmente no se detectan niveles de micronutrimentos en concentraciones altas de las requeridas, ni la absorción de elementos potencialmente tóxicos es alta (Ortiz, et al. 1999). No obstante, se reconoce que los suelos agrícolas en general presentan gran variabilidad en sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas, que influyen en la respuesta a la aplicación de lodos residuales.

La aplicación de lodos residuales en suelos agrícolas implica la solución de dos problemas ambientales: la reducción de una fuente potencial de contaminación y el aprovechamiento de un recurso de bajo coste que permite mejorar las características físicas, químicas y biológicas del suelo (Cuevas y Walter, 2004). Estos biosólidos incrementan la productividad de los suelos agrícolas, aunque el contenido de los metales pesados puede ser un factor limitante y los metales más comúnmente encontrados son: Cr, Ni, Cu, Zn, Cd y Pb. Cuevas y Walter (2004) evaluaron los efectos del compost de lodo en diferentes dosis y modos de aplicación sobre la distribución de los metales pesados en los distintos tejidos de la planta de maíz. Se determinó el efecto residual de estos metales a lo largo del perfil del suelo. Los resultados mostraron que las concentraciones de metales pesados asimilables a lo largo del perfil del suelo no presentaron en ningún caso diferencias significativas entre los tratamientos con compost de lodo frente al tratamiento con fertilizantes minerales, ni con los valores obtenidos en el suelo antes de iniciar el experimento.

Los resultados obtenidos de un estudio regional sobre las tasas de asimilación de las plantas de Cd, Ni y Pb en suelos contaminados y límites máximos permisibles de acumulación, combinados con datos sobre consumo de alimentos de la Encuesta Nacional de Alimentación son: 8.3, 3.13 y 8.1 kg/ha, respectivamente. Los límites máximos permisibles de concentración de cadmio y níquel resultaron aceptables con relación a los valores establecidos por la Comunidad Económica Europea y con el de Estados Unidos, respectivamente (Vázquez Alarcón, 2005). Se realizó otro estudio acerca de los elementos potencialmente tóxicos (Ni, Cr, Cu, Zn, As) en suelos agrícolas regados con aguas residuales en dos localidades conurbadas de la Ciudad de Oaxaca: Santa María Atzompa y Santa Cruz Xoxocotlán (Bautista Cruz et. al., 2006). Se encontró que los suelos agrícolas regados con aguas residuales tuvieron mayor concentración de estos metales pesados, aunque en los sitios de estudio ningún metal rebasó su límite permisible. Sin embargo, llaman la atención las concentraciones de manganeso. Otro estudio sobre la contaminación por metales pesados en suelos agrícolas consideró la bioacumulación de Cd, Cr, Pb, As y Hg en cultivos de los municipios del

Valle de Mezquital (Prieto García, 2007). En este estudio se encontraron concentraciones elevadas de Pb, por esta razón, fue necesario emprender acciones dirigidas a la restauración tanto de la calidad del agua de riego como de los suelos agrícolas. De los demás metales evaluados, se detectaron bioacumulaciones con niveles bajos en contraposición a los índices que alcanzaron Pb y As. En este sentido, el autor concluye que aún falta mayor investigación respecto a los factores que rigen la bioacumulación selectiva de elementos traza en los cultivos, esto es, el tipo de contaminantes contenido en el lodo, el tratamiento previo de las aguas residuales, la capacidad del suelo para degradar los residuos y el tipo de cultivo. Debe entenderse que las plantas acumulan los contaminantes en las raíces, mientras que los niveles de contaminación en los frutos es menor.

Metodología

Encuesta probabilística de hogares

La comunidad de estudio San Pablo Huitzo se encuentra localizada en la región de los Valles Centrales del estado de Oaxaca a una altitud de 1,700 metros sobre el nivel del mar. La distancia aproximada a la ciudad de Oaxaca la capital del estado es de 31 kilómetros. Contaba con una población total de 5,519 habitantes y los hogares tenían en promedio 3.79 miembros de acuerdo al censo de población y vivienda de 2010 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). La unidad de análisis son los hogares. Así, la encuesta consideró una muestra de 84 hogares que representa el 5.8% del total. La muestra se distribuyó en la traza urbana de la comunidad mediante un procedimiento polietápico. La encuesta fue dirigida a los jefes de hogar y cubrió los siguientes temas: características socioeconómicas, economía familiar, educación, salud, las principales enfermedades, consumo de los recursos naturales, usos, calidad y fuentes de agua.

Otras técnicas de campo

Además de la encuesta probabilística, el trabajo de campo incluyó entrevistas estructuradas a las autoridades municipales y no estructuradas a los productores en 2011. De esta manera, se recabó información cualitativa acerca de las economías familiares, los mercados laborales, las actividades económicas locales, las prin-

cipales enfermedades y la organización política. El maíz resultó ser el principal cultivo en la localidad de estudio ya que cuenta con la mayor superficie (140.69 hectáreas). Este cultivo fue seleccionado para evaluar el contenido de metales pesados procedentes del agua de riego contaminada por aguas residuales. Se tomaron muestras de mazorcas de las parcelas de 12 hogares que cultivaron maíz de riego por el método de zig-zag (Lachica et al., 1973) y además se cuidó la representatividad del muestreo en las tres secciones en las que se divide la comunidad.

Análisis de metales pesados

Se analizó el contenido de Cu, Cr y Ni en los granos de maíz mediante el método espectrofotométrico que se basa en la relación que existe entre la absorción de luz por parte de un compuesto y su concentración.

Se determinó cromo hexavalente de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NMX-AA-044-SCFI-2001. El fundamento de la técnica se basa en una reacción de óxido reducción en la cual el cromo hexavalente Cr (VI) reacciona con la 1,5-difenilcarbazida en un medio ácido para dar Cr³⁺ y 1,5- difenilcarbazona de color violeta; el producto obtenido se lee en un espectrofotómetro a 540 nanómetros. La intensidad de color es directamente proporcional a la concentración de cromo hexavalente.

La determinación de níquel se llevó a cabo utilizando la Norma Oficial Mexicana NMX-AA-076-1982. Se tiene como fundamento la extracción del níquel de un complejo de dimetilglioxima, el cual es extraído con cloroformo y el complejo vuelve a reaccionar con dimetilglioxima para el desarrollo del color. Así, se puede medir la absorción espectral a 445 nanómetros.

La determinación colorimétrica de cobre en la muestra vegetal se realizó en base a la Norma Oficial Mexicana NMX-F-191-1970, la cual se fundamenta en la extracción del cobre con citrato de EDTA y en la formación de un complejo colorido con rojo cresol. Se le realiza la lectura de absorbancia en el espectrofotómetro a 432 nanómetros.

Construcción del modelo

Se construyeron variables y ecuaciones para modelar las relaciones entre las tres dimensiones de la sustentabilidad: económica, social y ambiental. Los resultados obtenidos de la determinación de metales pesados

en granos de maíz de las muestras procedentes de 12 hogares, junto con datos de la encuesta, se utilizaron para crear la base de datos con la cual se construyeron las ecuaciones del modelo de desarrollo sustentable.

Las variables latentes representan un número relativamente pequeño de factores que pueden explicar casi igual que si se utilizara el conjunto original de variables sin perder información importante. Por esta razón, se construyeron las variables latentes a partir de conjuntos variables observables para los tres tipos de sustentabilidad mediante análisis factorial con ayuda del programa SPSS versión 19 de acuerdo con los siguientes criterios (Norusis 1994; Johnson y Wichern, 2007): 1) El conjunto de variables que integran la variable latente deben estar altamente correlacionadas entre sí. Esto implica superar las pruebas de adecuación muestral KMO y de esfericidad de Bartlett, esto es, el estadístico KMO debe ser ≥ 0.5 y chi-cuadrado aproximado debe ser significativa ($p < 0.05$), respectivamente. 2) El número de factores válidos son aquellos cuyos autovalores son > 1.0 y éstos se deben extraer por el método de componentes principales. 3) La varianza total explicada del primer componente debe ser $> 50\%$, ya que a partir de éste se calculan las puntuaciones de la variable latente. 4) Las cargas factoriales de la matriz de componentes rotados deben ser ≥ 0.5 y la rotación se debe realizar mediante el método de Varimax. Finalmente, 5) Se extraen las puntuaciones que sustituyen al conjunto de variables seleccionadas para cada componente válido (autovalor > 1.0) por el método de regresión y éstos se agregan a la base de datos.

El modelo general de regresión lineal por la técnica de mínimos cuadrados ordinarios se puede expresar de la siguiente manera:

$$Y_i = a_{i0} + a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{im}x_m + \varepsilon_i \quad [1]$$

En donde $i = 1, 2, \dots, n$, representa el número de renglones de la matriz y n es el tamaño de la muestra; $j = 1, 2, \dots, m$, son variables independientes; se debe notar que $n > m$; a_{i0} es término constante; y ε_i es el término de error aleatorio. Los criterios para seleccionar las ecuaciones de regresión son: 1) el coeficiente de determinación múltiple, R^2 , aceptable desde el

punto de vista del investigador, es > 0.5 , por lo tanto, el grado de explicación de la ecuación de regresión debe ser $> 50\%$; 2) la ecuación de regresión debe ser estadísticamente consistente, por lo tanto, debe superar la prueba del análisis de varianza (ANOVA), es decir, el estadístico F debe ser significativa ($p < 0.05$); asimismo, 3) los coeficientes de regresión y el término constante deben ser significativos de acuerdo con la prueba t de student ($p < 0.05$).

Modelo de desarrollo sustentable

El desarrollo sustentable según Barbier (1987) se conforma de las dimensiones: sustentabilidad económica, sustentabilidad social y sustentabilidad ambiental; y en este trabajo éstas se construyen mediante variables cuantificables referentes a la economía, la sociedad y el medio ambiente con datos de una encuesta probabilística y análisis químicos de metales pesados. Por lo tanto, se propone un modelo de desarrollo sustentable para los hogares de la comunidad de estudio, el cual considera relaciones recíprocas entre los tres tipos de sustentabilidad. El modelo propuesto se expresa mediante las ecuaciones lineales con término constante: [4.1], [4.2] y [4.3]. Los tres tipos de sustentabilidad son variables latentes que se construyeron mediante conjuntos de variables observables y se denominan: \widehat{SE} , \widehat{SS} y \widehat{SA} , respectivamente. Los valores de los parámetros α_{ij} , β_{ij} y γ_{ij} se estiman mediante el análisis de regresión de mínimos cuadrados ordinarios y ε_i es el término de error aleatorio.

$$\widehat{SE}_i = \alpha_{i0} + \alpha_{i1}\widehat{SS} + \alpha_{i2}\widehat{SA} + \varepsilon_i \quad [4.1]$$

$$\widehat{SS}_i = \beta_{i0} + \beta_{i1}\widehat{SE} + \beta_{i2}\widehat{SA} + \varepsilon_i \quad [4.2]$$

$$\widehat{SA}_i = \gamma_{i0} + \gamma_{i1}\widehat{SS} + \gamma_{i2}\widehat{SE} + \varepsilon_i \quad [4.3]$$

En donde $i = 1, 2, \dots, 12$ y $j = 0, 1$ y 3 . La construcción de las variables latentes se llevó a cabo mediante el método de análisis factorial. Como puede verse en el Cuadro No. 1, las variables latentes de las sustentabilidades económica y social contienen sólo dos variables cada una, mientras que la sustentabilidad ambiental se dividió en dos variables latentes que juntas incluyen seis variables. Se podrá notar que ninguna de las variables consideradas en las cuatro variables latentes (índices) se repite, por consiguiente, este re-

Cuadro No. 1 Variables que integran las variables latentes \widehat{SE} , \widehat{SS} y \widehat{SA} , construidas mediante análisis factorial. ^a

Variables latentes	Variables contenidas en las variables latentes	Estadístico KMO ≥ 0.5	Esfericidad de Bartlett: chi-cuadrado ($p < 0.05$)	Varianza total explicada (primer componente > 50%)
\widehat{SE}	1. <i>NFI</i> 2. <i>HA</i>	0.500	0.017	83.6
\widehat{SS}	1. <i>RF</i> 2. <i>IFMB</i>	0.500	0.026	81.9
\widehat{SA}	<i>ICD</i> 1. <i>HGa</i> 3. <i>ppm Ni</i> 2. <i>Fert</i> 4. <i>ppm Cr</i>	0.574	0.024	61.8
	<i>IMAS</i> 1. <i>GS</i> 2. <i>SMetHiper</i>	0.500	0.014	84.3

^aBase de datos de la encuesta del proyecto con clave UABJO-PTC-301.

sultado evita que los valores de los parámetros α_{ij} , β_{ij} y γ_{ij} de las ecuaciones de regresión [4.1], [4.2] y [4.3], incluyendo la R^2 , no se encuentren sobrestimados.

Así, la sustentabilidad económica (\widehat{SE}) se construyó a partir del número de fuentes de ingreso (*NFI*), que es un indicador del ingreso familiar total, *IF* y el autoempleo de los miembros del hogar en la agricultura familiar, *HA*. La segunda variable es un indicador del ingreso no monetario de la agricultura de básicos, pero también lo es del ingreso monetario procedente de la agricultura comercial en pequeña escala. Fueron eliminadas siete variables del conjunto original integrado por nueve variables para construcción de esta variable latente, entre las que destacan: tamaño de la fuerza laboral (*TFL*), ingreso familiar total (*IF*) y bienestar familiar (*BF*). El dinero gastado en la sustentabilidad social (\widehat{SS}) se integra por los regalos otorgados a familiares y amigos, *RF*, sobretudo a los hogares de ingresos muy bajos, *IFMB*; así, se forman lazos afectivos y de ayuda mutua que aseguran la retribución en especie o en efectivo de parte de los hogares receptores, cuando los hogares donantes enfrenen situaciones de contingencia o celebren fiestas familiares. De un total de 11 variables fueron eliminadas ocho, que son: escolaridad promedio (*Escprom*), gasto en fiestas (*GF*), número de migrantes (*NMig*), entre otras. Sin embargo, no fue posible formar un solo índice para la sustentabilidad ambiental y se obtuvieron dos índices. El índice de contaminación y depredación (*ICD*) considera la presión de la ganadería de traspasto y pastoreo sobre el bosque, *HGa*; la aplicación de fertilizantes en la agricultura, *Fert* cuyo manejo deja residuos en el suelo, agrega residuos a la ingesta de alimentos por el manejo con las manos, contamina

mantos freáticos por infiltración y cuerpos de agua por arrastre; y la concentración de níquel, *ppmNi*, y cromo, *ppmCr*, en los terrenos agrícolas procedente del agua de riego contaminada, la cual es absorbida por las plantas de maíz. En el proceso de construcción del (*ICD*) se eliminaron nueve de 12 variables, de las cuales destacan: uso de agua de pozo para beber (*APB*), consumo de leña cortada para consumo del hogar (*LC*), *ppmCu*. El índice de impacto del medio ambiente en la salud (*IMAS*) combina el gasto en la salud, *GS*, con los miembros del hogar con síndrome metabólico e hipertensión, *SMetHiper*, los cuales pueden agravar su salud por el consumo excesivo de alimentos ricos en carbohidratos como lo reporta (Celaya V. *et al.*, 2013). Sin embargo, no fueron consideradas: el número de miembros del hogar enfermos (*NEnf*) y personas con otro tipo de enfermedades (*OtrEnf*).

Asimismo, las variables latentes o índices presentan una consistencia interna aceptable ya que superan las pruebas descriptivas del análisis factorial. El estadístico KMO alcanza el valor mínimo aceptable (0.50) y lo rebasa sólo en el caso de *ICD*; en cambio, el estadístico chi-cuadrado de la prueba de esfericidad de Bartlett alcanza la significación esperada ($p < 0.05$). Las variables latentes cumplen con el criterio que la varianza total explicada del primer componente, o factor, es > 50%, es decir, tres variables latentes se encuentran por arriba del 80% y solamente una arriba del 60%. De las dos variables que forman tanto el índice de sustentabilidad económica (\widehat{SE}) como el índice sustentabilidad social (\widehat{SS}), una métrica (*NFI* y *RF*) y otras dicotómicas (*HA* y *IFMB*). Las variables dicotómicas tienen la escala: 1 = Sí y 0 = No y las variables métricas

cuentan con una escala convencionalmente aceptada o son el resultado de un proceso de conteo. De las 12 variables propuestas para construir el *ICD*, solamente fueron seleccionadas dos métricas (*ppmNi* y *ppmCr*) y dos dicotómicas (*HGA* y *Fert*). Por último, el *IMAS* considera dos variables métricas. Normalmente no se recomienda mezclar directamente variables con escalas métricas y dicotómicas. Sin embargo, el análisis factorial estandariza todas las variables consideradas, de esta manera, todas variables analizadas adoptan una misma escala métrica con media cero y desviación estándar unitaria. Este procedimiento no elimina por completo el error incurrido al mezclar variables métricas con variables cualitativas. En este sentido, si bien los resultados tendrán un carácter exploratorio para los académicos más exigentes, son pioneros en el análisis del desarrollo sustentable a nivel de hogares.

Discusión y resultados

Relación entre sustentabilidad económica, social y ambiental

Se hicieron ajustes a las relaciones entre \widehat{SE} , \widehat{SS} y \widehat{SA} , dadas por las ecuaciones [4.1], [4.2] y [4.3] con el propósito de reducir el error introducido por el cálculo de éstas. En primer lugar, \widehat{SA} fue sustituida por *ICD* y *IMAS*. En segundo lugar, para obtener las ecuaciones de regresión [4.1], [4.2] y [4.3] mediante el análisis de regresión, se agregaron como variables independientes algunas de las variables originalmente consideradas para la construcción de las variables latentes \widehat{SE} , \widehat{SS} , *ICD* y *IMAS*, que fueron eliminadas. Ninguna de las variables independientes agregadas al análisis de regresión forman de la variable latente considerada como variable dependiente. De esta manera, no existe redundancia que causar una sobreestimación del valor de la R^2 , de los coeficientes de regresión y del

término constante. Se obtuvieron tres ecuaciones de regresión con coeficientes de determinación múltiple, R^2 , y R^2 corregida, R^2_{cor} , aceptables; además superan la prueba del análisis de varianza (ANOVA), esto es, la *F* estadística es significativa ($p < 0.01$); y sus coeficientes de regresión son significativos ($p < 0.05$) cuando se aplica la prueba *t* de student² (Cuadro No. 2).

La relación funcional entre la sustentabilidad económica, \widehat{SE} y las sustentabilidades social y ambiental, \widehat{SS} y la \widehat{SA} , dada por [4.1] se prueba mediante la ecuación de regresión [5.1]. El término constante es diferente de cero. *IFMB* y *RF* integran \widehat{SS} , mientras que *ppmCr* y *Fert* pertenecen a *ICD* que es parte de la \widehat{SA} (Cuadro No. 1). \widehat{SE} depende directamente del contenido de cromo en los granos de maíz, *ppmCr* y de ingresos familiares muy bajos, *IFMB*, asimismo; y está inversamente relacionada con los regalos a otorgados a familiares y amigos, *RF* y el uso de fertilizantes en la agricultura, *Fert*. Los hogares requieren de un ingreso mínimo para satisfacer sus necesidades básicas, *IFMB* y de un contenido mínimo de cromo en la dieta que asegure la salud general de los miembros del hogar. Entonces el cromo no aparece como un contaminante tóxico en los granos de maíz sino por el contrario constituye un nutriente esencial para mantener la salud. Los fertilizantes tienen dos efectos negativos posibles en la economía familiar. El primero se refiere al gasto en fertilizantes que afecta el presupuesto destinado a otros rubros prioritarios de consumo (bienestar). La segunda se refiere a los posibles efectos negativos en la salud de los miembros del hogar que manejan los fertilizantes con la mano. Resulta más convincente la primera explicación ya que San Pablo Huitzo es una comunidad con una gran desigualdad en la distribución en el ingreso (Celaya V. *et al.*, 2013), mientras que la segunda queda como hipótesis en este artículo por

$$\widehat{SE} = \frac{0.9973}{(0.005)} + \frac{15.9218ppmCr}{(0.001)} + \frac{0.9713IFMB}{(0.045)} - \frac{0.0005RF}{(0.049)} - \frac{1.4694Fert}{(0.004)}, \quad R^2 = 0.872 \text{ y } R^2_{cor} = 0.799 \quad [5.1]$$

$$\widehat{SS} = -\frac{0.5662}{(0.015)} + \frac{1.1004LC}{(0.011)} + \frac{0.0001GS}{(0.013)}, \quad R^2 = 0.770 \text{ y } R^2_{cor} = 0.719 \quad [5.2]$$

$$\widehat{IMAS} = -\frac{0.831199}{(0.001)} + \frac{0.000982RF}{(0.000)} + \frac{0.000001IF}{(0.002)}, \quad R^2 = 0.876 \text{ y } R^2_{cor} = 0.849 \quad [5.3]$$

2 En las ecuaciones ver debajo de cada coeficiente de regresión en donde aparece entre paréntesis el valor de la significación.

falta de evidencia. Los regalos otorgados a familiares y amigos tampoco tienen un efecto positivo en la economía familiar; esto significa que existe déficit entre el monto de los regalos otorgados y el monto de los regalos recibidos. Este resultado afecta el presupuesto familiar sobre todo de los hogares de bajos ingresos.

La ecuación de regresión de la sustentabilidad social [5.2] sólo depende de la sustentabilidad social, \widehat{SA} , ya que incluye como variables independientes el gasto en salud, GS que es parte $IMAS$ y la leña cortada para consumo del hogar, LC , que pertenece al subconjunto original de variables de ICD . \widehat{SS} está directamente relacionada LC y GS . La LC representa un ingreso en especie para los hogares y fomenta la convivencia entre los miembros de los hogares que participan esta actividad. El GS es un ingrediente necesario para conservar la salud en el hogar sobre todo en San Pablo Huitzo con altas incidencias de síndrome metabólico, hipertensión y artritis (Celaya V. *et al.*, 2013); y además la ausencia de drenaje expone a la población a traer enfermedades gastrointestinales.

Con respecto a la sustentabilidad ambiental, no se encontró una ecuación de regresión estadísticamente consistente que modelara las relaciones del índice

de depredación y contaminación, ICD con la \widehat{SE} y la \widehat{SS} . Esto indica que ICD no depende de ninguna de las variables observables que integran estas variables latentes, ni de aquellas variables observables que fueron excluidas. En cambio, el índice de impacto del medio ambiente en la salud, $IMAS$, sí depende de la \widehat{SS} y la \widehat{SE} . Los regalos otorgados a familiares y amigos, RF son parte de la \widehat{SS} y el ingreso familiar total, IF constituye el presupuesto de los hogares, aunque no fue incluida en la \widehat{SE} , forma parte de conjunto originalmente propuesto. Así, conforme se incrementa IF se puede asignar más dinero al cuidado de la salud y en particular a las principales enfermedades crónico-degenerativas, así también a la convivencia entre hogares (RF). En resumen, las relaciones entre \widehat{SE} , \widehat{SS} y $IMAS$ en los hogares se establecen a través de las ecuaciones [5.1], [5.2] y [5.3] que establecen relaciones recíprocas entre \widehat{SE} y la \widehat{SA} , relaciones en un solo sentido entre \widehat{SE} y \widehat{SS} (Figura 1). Por otro lado, se comprueba la existencia de las ecuaciones [4.1], [4.2] y [4.3]. Además, se comprueba la hipótesis ya que fue posible determinar las relaciones entre los tres tipos de sustentabilidad y además encontraron relaciones recíprocas (Cuadro No. 3 y Figura 1).

Cuadro No. 3 Resultado del análisis de regresión de mínimos cuadrados ordinarios utilizando como variables dependientes a la \widehat{SE} , \widehat{SS} y $IMAS$.*

Variables	Ecuación de Sustentabilidad Económica		Ecuación de Sustentabilidad Social		Ecuación de Sustentabilidad Ambiental	
	Coef. tipificados beta	Estadístico t	Coef. tipificados beta	Estadístico t	Coef. tipificados beta	Estadístico t
Constante		4.098		-2.995		-5.094
Contenido de cromo en granos de maíz, ppm Cr	0.872	5.659				
Ingreso familiar muy bajo, IFMB (Sí/No)	0.439	2.440				
Monto de los regalos otorgados a familiares, RF	-0.423	-2.380			0.898	7.460
Uso de fertilizantes (Sí/No)	-0.665	-4.132				
Consumo de leña cortada, LC (Sí/No)			0.542	3.173		
Gasto anual en salud, GS			0.526	3.077		
Ingreso familiar, IF					0.532	4.421
Coefficiente de determinación múltiple, R ²	0.872		0.770		0.876	
R ² corregida	0.799		0.719		0.849	
Estadístico F	11.927 p < 0.003		15.057 p < 0.001		31.826 p < 0.000	
Grados de libertad de la ecuación y total	4 y 11		2 y 11		2 y 11	

*Base de datos de la encuesta del proyecto con clave UABJO- PTC- 031.

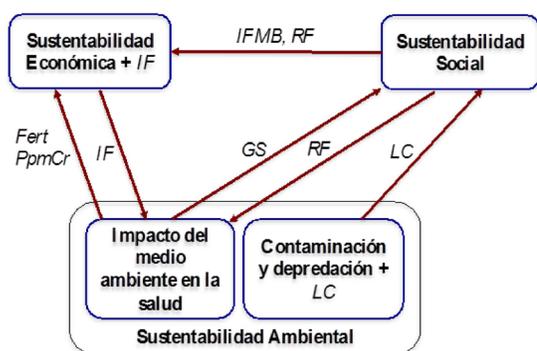


Figura 1. Relaciones entre sustentabilidad económica (SE) y sustentabilidad social (SS); entre SS y los índices ambientales $IMAS$ y $ICD + LC$; entre $IMAS$ y $SE + IF$.

Conclusiones

El modelo de desarrollo sustentable definido por las ecuaciones de los tres tipos de sustentabilidad (económica, social y ambiental) funciona a nivel de los hogares. Fue posible construir tanto las variables latentes (índices) para cada tipo de sustentabilidad como las ecuaciones de regresión que establecen relaciones entre ellas. La ecuación de sustentabilidad económica incorpora a los fertilizantes en la agricultura de riego en detrimento de la economía familiar, mientras que el contenido de cromo en los granos de maíz no resultó ser tóxico sino más un nutriente esencial. El gasto en fertilizantes no parece ser rentable para el cultivo del maíz porque se realiza a costa de la economía familiar. En cambio, conforme se incrementa el contenido de cromo en los granos de maíz para consumo humano debe producirse una mejora general de salud que se refleja en una contracción en el gasto en salud y el ahorro producido se debe reflejar en un incremento en otros rubros de gasto. El maíz aparece como una planta que resiste el exceso de metales pesados en el suelo y sólo asimila las cantidades requeridas de éstos para su desarrollo. Es conveniente subrayar la presencia de los ingresos por recolección de leña y de la práctica social de los regalos otorgados a familiares y amigos en el modelo de desarrollo sustentable. El ingreso en especie de leña cortada y el gasto en salud realizan contribuciones similares a la sustentabilidad social. La extracción de leña aparece como una actividad sostenible, ya que los hogares pueden cubrir sus requerimientos recolectándola en el bosque comunitario, de lo contrario, recurrirían a la compra de este combustible procedente de otras comunidades.

En cambio, los regalos a familiares y amigos sostienen, por un lado, una relación inversa con la sustentabilidad económica porque éstos afectan el presupuesto familiar; por otro lado, estos regalos tienen una relación directa con la sustentabilidad ambiental porque ayudan a mitigar el gasto en salud.

Finalmente, la hipótesis planteada al principio de este trabajo se cumple en lo concerniente a las relaciones entre los tres tipos de sustentabilidad dadas por las ecuaciones [5.1], [5.2] y [5.3]. No se encontró evidencia de que la contaminación por los metales pesados evaluados en el agua de riego a través de los granos de maíz afecte la salud y la economía de los hogares. Más bien el cromo aparece como un nutriente esencial. El gasto en fertilizantes afecta la economía familiar pero no se encontró evidencia de que afecte la salud de los hogares que cultivan maíz de riego. Los hallazgos acerca del maíz, el principal alimento básico de México, sobre su resistencia a la contaminación por metales pesados confirma los resultados de otros trabajos que utilizan diferentes metodologías (Ortiz, *et al.* 1999; Cuevas y Walter, 2004; Vázquez Alarcón, 2005; Bautista Cruz *et al.*, 2006). Para concluir, el enfoque expuesto para evaluar el desarrollo sustentable a nivel de hogares, probó ser efectivo. Las ecuaciones propuestas 4.1, 4.2 y 4.3 construidas mediante regresión de mínimos cuadrados ordinarios establecen relaciones estadísticamente consistentes entre los tres tipos de sustentabilidades utilizando ciertos rubros de gasto, de ingreso en efectivo y en especie, contaminantes probables que afectan la salud. Asimismo, las enfermedades crónicas degenerativas (síndrome metabólico e hipertensión) y el gasto en salud se funden para formar la sustentabilidad ambiental; no se encontró relación de estas enfermedades con la contaminación sino con la dieta como señalan (Celaya V. *et al.*, 2013), mientras que el gasto en salud refleja el peso de todas enfermedades. **i**

Referencias bibliográficas

- Barbier, E.B. (1987). "The Concept of Sustainable Economic Development", *Environmental Conservation*, Vol. 14 No. 2, pp. 101-110.
- Bautista Cruz MA, Arnaud Viñas MR. (2006). Elementos potencialmente tóxicos en suelos agrícolas con manejo de riesgo contaminante. *Naturaleza y Desarrollo*. Vol.4:36-42.

- Celaya V., Hugo, Gijón C., A. Sylvia, Reyes M., Rafael G., Bautista M., Juan L., Benítez A., I. Selene y Pacheco H., María de J. (2013) Desarrollo sustentable, bienestar y salud en San Pablo Huitzo, Oaxaca, Oax. En: Sánchez Saldaña, Kim y Guzmán Gómez, Elsa (comp.). Crisis civilizatoria en el México rural: escenarios y respuestas locales, regionales y nacionales. Guadalajara, México: AMER, pp. 1-21.
- CMMAD (Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo) (1987): Nuestro futuro común. Informe Brundtland, Alianza Editorial, Madrid.
- Cuevas Gabriela & Walter I. (2004). Metales pesados en maíz (*Zea mays* L.) cultivado en un suelo enmendado con diferentes dosis de compost de lodo residual. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. Vol. 20, No.2. Pp. 59-68.
- Daly, H.E. (1996). De la economía del mundo lleno a la economía del mundo vacío, en Goodland, R. et al. (eds.). *Medio ambiente y desarrollo sostenible*. Madrid: Trotta.
- Devlin, T. M. (2004). *Bioquímica*, 4ª edición. Reverté, Barcelona. ISBN 84-291-7208-4.
- Donnella H. Meadows, Dennis L. Meadows, Jorgen Randers y William W. Behrens, 1972, *The Limits to Growth. A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*, Londres, Potomac.
- E. Goldsmith, R. Allen, M. Allaby, J. Davoll y S. Lawrence, 1972, *Manifiesto para la supervivencia*, Madrid, Alianza Editorial.
- Foladori Guillermo & Tommasino H. (2000). El concepto de desarrollo sustentable treinta años después. Pp. 41-56.
- Foladori Guillermo (1999). *Los límites del desarrollo sustentable*. Montevideo: Ediciones de la Banda Oriental/Trabajo y Capital.
- García y Vergara (2000). La evolución del concepto de sostenibilidad y su introducción en la enseñanza. Pp. 473- 486.
- Glynn Henry et al. (1999). *Ingeniería Ambiental*. Editorial Pearson Educación de México. México. Pp. 313.
- J. Norusis M. (1994). *SPSS Professional Statistics 6.1*. Copyright © by SPSS Inc. ISBN 0-13-190125-7.
- Johnson Richard & Wichern Dean (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis*. 6ª Edición. Pearson Education, Inc. ISBN: 0-13-187725-1
- Lachica, M., A. Aguilar y J. Yañez (1973). Análisis foliar. Métodos analíticos utilizados en la Estación Experimental del Zaidín. *Anal. Edafol. Agrobiol.* 32: 1033-1047.
- Lélé, S. M. (1991). Sustainable Development: a critical review. *World Development*. v. 19, n. 6, pp. 607- 621, jun. Great Britain: Pergamon Press.
- Mas-Colell, A. (1994). Elogio del crecimiento económico, en Nadal, J. (ed.). *El mundo que viene*. Madrid: Alianza.
- Melo Virginia & Cuamatzi O. (2007). *Bioquímica de los procesos metabólicos*. Reverté Ediciones S.A de C. V. Segunda edición. ISBN 968- 6708- 61- 8. Pp. 362- 373.
- “Análisis de aguas - determinación de cromo hexavalente en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - método de prueba (cancela a la nmx-aa-044-1981), Norma oficial mexicana NMX-AA-044-SCFI-2001.” *Diario Oficial de la Federación*, 1 de agosto de 2001.
- “Análisis de agua- Determinación de níquel.- Método clorométrico de dimetilglioxina,” Norma oficial mexicana NMX-AA-076-1981. *Diario Oficial de la Federación*, 1 de junio de 1988.
- “Método de prueba para la determinación de cobre en grenetina,” NMX-F-191-1970. *Diario Oficial de la Federación*, 12 de agosto de 1970.
- Norton, B.G. (1995). Evaluating ecosystem states: Two competing paradigms. *Ecological Economics*, 14, pp. 113-127.
- Ortiz Hernández, et al. (1999). Efecto de la adición de lodos residuales sobre el suelo agrícola y un cultivo de maíz. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 15 (2). Pp.69-77.
- Parada R. (2004). Intoxicación por metales pesados y otros elementos. *Toxicología veterinaria*.
- Perezgasga F. (1999). *La contaminación por metales pesados en Torreón, Coahuila, México*. Texas Center for Policy Studies, CILADHAC. En *Defensa del Ambiente*, A.C. Primera edición.
- Pierri, Naína (2005) “Historia del concepto de desarrollo sustentable” en Foladori, Guillermo y Pierri, Naína; eds. *¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable*. [online] pp. 27-81.

- Porta Casanellas, et al. (2008). Introducción a la Edafología: uso y protección del suelo. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. Pp. 264-265.
- Prieto García et al. (2007). Presencia de metales pesados en cultivos del Valle de Mezquital, México. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales, 3 (2). Pp. 100-110.
- Sachs I. (1980). Ecodesarrollo. Concepto, aplicación, implicaciones. Comercio Exterior. v. México D. F.: 30, n.7, pp. 718-725.
- Sachs I. (1994). Estrategias de transição para o século XXI Cadernos de Desenvolvimento e Meio Ambiente, n. 1. Curitiba: Editora UFPR.
- Solow, R. (1991). Sustainability: An Economist's Perspective, en Dorfman, R. y Dorfman, N.S. (eds.). Economics of the Environment. Nueva York.
- Vázquez Alarcón et al., 2005. Límites permisibles de acumulación de cadmio, níquel y plomo en suelos del valle de Mezquital, Hidalgo. TERRA Latinoamericana, Vol.23, Núm. 4. Pp. 447-455.