

Invited review [Revisión]



LAS GRANJAS PORCINAS EN ZONAS DE KARST: ¿CÓMO PASAMOS DE LA CONTAMINACIÓN A LA SUSTENTABILIDAD? †

[PIG FARMS IN KARST AREAS: HOW DO WE GO FROM POLLUTION TO SUSTAINABILITY?]

Francisco Bautista^{1*}, Yameli Aguilar² and Neftaly Gijón-Yescas³

¹*Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México. Antigua carretera a Pátzcuaro No. 8701. Col. Ex-Hacienda de San José de la Huerta. C.P. 58190. Morelia, Michoacán, México. Email. leptosol@ciga.unam.mx*

²*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Av. Correa Rachó por calle 15, Col. Díaz Ordaz, Mérida, Yucatán, México. C.P. 97130. Email: yaguilarduarte@gmail.com*

³*Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán. Km. 15.5, Carretera Mérida-Xmatkuil, C.P. 97315 Mérida, Yucatán.*

*Corresponding author

SUMMARY

Introduction: The state of Yucatán is the third national producer of pork meat due to a large number of pig farms, there are them of all sizes from very small to mega-farms with more than 30 000 pigs, many of which generate environmental and social problems. **Objectives:** The analysis of the operation of pig farms in Yucatán; identification of environmental problems; and proposals for mitigating damage to the environment and human health. **Results:** The environmental problem is generated by the large amount of water with which they operate to clean the farms and cool the pigs during high-temperature days. In addition to the large volumes of water extraction, large volumes of wastewater are generated that are not properly treated and that contaminate air, soil, and groundwater. In this work, the traditional way of operating farms is documented, emphasizing environmental damage. The particularities of karst landscapes and their environmental vulnerability are explained. **Implications:** Ways of reducing environmental problems are proposed with the idea that they are taken into account to move towards sustainable management of pig farms in the state of Yucatán, for example, selection of the best sites for pig farming (relief, soils, climate, and depth of groundwater), reduction of extracted water, treatment through artificial wetlands and agricultural use of wastewater through sprinklers in soils of the Luvisol, Nitisol and Vertisol groups. **Conclusions:** For the transit of contamination to Sustainability in the management of pig farms in the state of Yucatán requires knowledge, innovations to solve problems, social commitment with local communities, and environmental regulations. It will not be easy but it is possible.

Key words: Aquifer; Sewage Water; Soils; Landforms; Agroecology.

RESUMEN

Introducción: El estado de Yucatán es el tercer productor nacional de carne de cerdo debido al gran número de granjas porcinas, las hay de todos los tamaños desde las muy pequeñas hasta las mega-granjas con más de 30 000 cerdos, muchas de las cuales generan problemas ambientales y sociales. **Objetivos:** El análisis de la operación de las granjas porcinas en Yucatán; la identificación de los problemas ambientales; y las propuestas de mitigación de los daños al ambiente y a la salud humana. **Resultados:** El problema ambiental se genera por la gran cantidad de agua con las que operan para limpiar las granjas y enfriar a los cerdos durante los días de alta temperatura. Además de las grandes cantidades de extracción de agua, se generan grandes volúmenes de aguas residuales que no son tratadas adecuadamente y que contaminan aire, suelos y agua subterránea. En este trabajo se documenta la forma tradicional de operación de las granjas haciendo énfasis en los daños ambientales. Se explican las particularidades de los paisajes kársticos y su vulnerabilidad ambiental. **Implicaciones:** Se plantean las formas de disminución de los problemas ambientales con la idea de que sean tomados en cuenta

† Submitted December 29, 2021 – Accepted May 4, 2022. <https://doi.org/10.56369/tsaes.4154>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
ISSN: 1870-0462.

para transitar hacia un manejo sustentable de las granjas de cerdo en el estado de Yucatán, por ejemplo, selección de los mejores sitios para la porcicultura (relieve, suelos, clima y profundidad del agua subterránea), reducción del agua extraída, tratamiento mediante humedales artificiales y uso agrícola del agua residual mediante aspersores en suelos de los grupos Luvisol, Nitisol y Vertisol. **Conclusiones:** Para el tránsito de la contaminación hacia la sustentabilidad en el manejo de las granjas porcinas en el estado de Yucatán se requiere de conocimiento, de innovaciones para la solución de los problemas, de compromiso social con las comunidades locales y de regulaciones ambientales. No será fácil, pero es posible.

Palabras clave: Acuífero; Aguas Residuales; Suelos; Geofomas; Agroecología.

INTRODUCCIÓN

El rápido desarrollo de la producción ganadera en el mundo se debe al aumento de los ingresos y a la mayor ingesta de proteínas animales, principalmente de la población china, país que consume entre el 37.8 y el 55.3% de la producción mundial, seguida, en menor medida, por la Unión Europea, Estados Unidos, Rusia y Brasil. Los países importadores de carne de cerdo son: China, Japón, México, Corea del Sur, y EE.UU. Los principales países exportadores son la Unión Europea, EE.UU., Canadá, Brasil y México (FIRA, 2020).

La intensificación de la producción ganadera, en particular la porcina, genera una gran cantidad de estiércol y aguas residuales, lo cual se magnifica cuando hay una desconexión entre los sistemas agrícola y pecuario, esta situación provoca la contaminación del ambiente, aire, suelos y cuerpos de agua superficiales y subterráneos (Jia *et al.*, 2018).

A nivel global, se ha intentado disminuir los problemas de contaminación ambiental mediante la aplicación de diversas estrategias, como el uso de subproductos agrícolas en las dietas; alimento bajo en proteínas combinadas con aminoácidos sintéticos (Mosnier *et al.*, 2011); las plantas forrajeras no convencionales (Flores y Bautista, 2012; Sarmiento-Franco *et al.*, 2021); la aplicación de enzimas para promover la digestión de los ingredientes de los alimentos (Mackenzie *et al.*, 2016); producción y manejo agrícola de los desechos porcinos (Bouwman *et al.*, 2013; Noya *et al.*, 2017). Sin embargo, aún persisten grandes problemas ambientales (Wei *et al.*, 2016).

En el mundo las regulaciones ambientales para el manejo de los desechos líquidos y sólidos de las granjas porcinas se han endurecido durante la década de 2010 a 2021. Las consecuencias han sido que las granjas medianas y pequeñas han desaparecido en China (Zhang *et al.*, 2021); en EE.UU. las granjas han sido expulsadas a sus países de origen (Corn *et al.*, 2009; Schmidt, 2009). Por el contrario, en México las mega-granjas porcinas con varias decenas de miles de animales

se encuentran en pleno crecimiento, tanto porque han llegado granjas del extranjero, como por la creación de nuevas granjas para abastecer de carne a China y Japón.

El uso de los desechos sólidos y líquidos de las granjas porcinas en la agricultura requiere la selección de los mejores sitios donde sean de utilidad y donde el riesgo de contaminación sea menor, del mismo modo, tanto la producción agrícola como el re-uso de los desechos agrícolas debería ser analizado espacialmente (Wei *et al.*, 2018) y monitoreado temporalmente (Aguilar *et al.*, 2011b; Aguilar y Bautista, 2011a). El conocimiento del medio físico (relieve, suelos, cuerpos de agua) y de la población humana (Wei *et al.*, 2016) son de capital importancia en los países donde la agricultura y la ganadería no están conectadas.

La porcicultura en el estado de Yucatán es una de las principales actividades económicas, siendo el estado el tercer productor nacional de carne de cerdo. La importancia económica de las granjas porcícolas, desafortunadamente está ligada a la generación de grandes cantidades de aguas residuales, a la contaminación del ambiente y (Bautista y Aguilar, 2021) con los daños a la salud (Schmidt, 2009; Polanco *et al.*, 2015). Las regulaciones ambientales para el tratamiento de los desechos son laxas y la mano de obra es de las más baratas del país, estas ventajas competitivas (para las empresas) han permitido que en el estado operen más de 400 mega-granjas porcinas, principalmente en el centro y norte del estado, así como una cantidad no conocida de medianas y pequeñas granjas. El problema ambiental no se ha solucionado, por el contrario, la instalación y operación de nuevas granjas van en aumento, al igual que los conflictos sociales entre comunidades mayas y las mega-granjas porcinas.

Los retos de la porcicultura yucateca, además del aumento de la producción y de las exportaciones mexicanas de carne de cerdo, son: a) la instrumentación de cambios tecnológicos en el proceso de producción de carne para evitar la contaminación del ambiente y evitar las afectaciones a la salud humana; b) la selección de

los mejores lugares para la instalación de las granjas de cerdos, en términos ambientales y económicos.

Los objetivos de este trabajo fueron: a) El análisis de la operación de las granjas porcícolas en Yucatán; b) La identificación de los problemas ambientales; c) Las propuestas de mitigación de los daños al ambiente y a la salud humana.

OPERACIÓN DE LAS GRANJAS PORCÍCOLAS EN YUCATÁN, MÉXICO

Las granjas porcícolas son de lo más variado, se pueden agrupar por tamaños (mega, grandes, medianas, pequeñas y micro) (Drucker *et al.*, 2007). En este texto las agruparemos por la forma de operación de las granjas en los modelos I, II, y III (Figura 1).

Una de las coincidencias en los tres modelos de granjas porcícolas es el uso de una gran cantidad de agua, utilizada en el aseo y enfriamiento de los cerdos; en el lavado de los corrales; y en el mantenimiento de las instalaciones. Por ejemplo, una mega granja puede generar aguas residuales con volúmenes de 1 500 m³/día (1 500 000 Litros/día) es decir, 547 500 000 Litros/año.

El modelo I aplica generalmente a las granjas porcícolas micro, pequeñas y medianas menos tecnificadas, a menudo las más antiguas y menos preocupadas por el ambiente. Los daños ambientales en este tipo de granjas son: a) generación de aerosoles emitidos a la atmósfera sin tratamiento alguno que emiten malos olores y sustancias tóxicas para la salud humana y la vida silvestre; b) una gran cantidad de aguas residuales sin tratar que se almacenan en “Lagunas de oxidación”, que se van descargando en el suelo de la selva o directamente al acuífero; c) se degrada el suelo, se saliniza y se lava hasta quedar la roca expuesta; d) la vegetación se muere poco a poco debido a que el exceso de agua evita la respiración de las raíces o por la salinización del suelo; e) la fauna se debe desplazar a lugares aledaños no contaminados; f) el acuífero se contamina con el agua residual que además de la alta carga orgánica (materia orgánica disuelta) lleva antibióticos, hormonas, otros medicamentos, heces fecales; bacterias, principalmente. La biota que habita el acuífero se elimina en definitiva en los lugares donde se establecen este tipo de granjas. La calidad del agua llega a ser tan baja que no sirve para las actividades del hogar, lo que obliga a las comunidades humanas a comprar agua potable. Bajo estas condiciones la recuperación del acuífero será un desafío mayúsculo; y g) la salud humana se

afecta por los aerosoles (Figura 2). La contaminación por malos olores, microorganismos patógenos y sustancias tóxicas se propaga a otros paisajes geográficos kársticos, tanto por arriba (aerosoles), como por abajo (el agua subterránea).

Este modelo de granja es extremadamente contaminante del ambiente (atmósfera, acuífero y suelo) por lo que se provocan el daño en la salud humana y en su economía por la falta de agua, por tratamientos médicos y psicológicos que ocasionan los aerosoles (Borlée *et al.*, 2015, 2017).

El modelo II es común en las granjas medianas y grandes. El problema principal reside en que los altos volúmenes de extracción de agua de buena a mala calidad y su posterior transformación en aguas residuales de muy mala calidad por la alta carga orgánica y otros contaminantes ya mencionados, constituye un alto riesgo de degradación del ambiente (atmósfera, agua subterránea, suelos, así como afectaciones a la vida silvestre y a la salud humana). Por estas razones (grandes volúmenes de agua y alta carga orgánica) las aguas residuales no son tratadas sino descargadas al ambiente (Drucker *et al.*, 2007), cuando llegan a ser tratadas no alcanzan la calidad suficiente para ser inocuas al ambiente y la salud humana.

En resumen, el modelo II es de simulación de cumplir las normas, los grandes volúmenes de aguas residuales y lo vulnerable del ambiente impiden alcanzar los objetivos de no generación de problemas ambientales y de no afectar a la salud a las comunidades humanas.

“A pesar de las altas eficiencias de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales, la calidad resultante no es adecuada para ser descargada al ambiente, incluso ni para ser utilizada en la agricultura” (Garzón-Zúñiga y Buelna, 2014).

El modelo III es el más tecnificado, con una población de cerdos de entre 30 000 a 50 000 y con una generación de 1 500 m³/día (1 500 000 Litros/día) es decir 547 500 m³/año (547 500 000 Litros/año) que contienen heces, orina, suciedad de los corrales y desperdicio de alimento. Este modelo de producción adolece de los mismos problemas del modelo II, pero magnificados, altos volúmenes de aguas residuales con alta carga orgánica, lo que impide los más de 60 días de tiempo de residencia en el reactor anaerobio.

Un problema adicional radica en la cloración del agua previo a ser descargada en el suelo. Aquí hay dos problemas, la cloración que al mezclarse con

agua residual con carga orgánica, propicia la formación de compuestos muy tóxicos, organoclorados del tipo de los plaguicidas, ver detalles abajo, por lo que contamina suelos y acuífero dañando a la vida silvestre y a la salud humana.

EL AGUA RESIDUAL PORCINA

Al mezclar el agua extraída de los pozos con las heces y orina porcinas se forma el agua residual (AR). El AR que sale de las granjas porcícolas podría llegar a contener lo siguiente: materia orgánica soluble, potencialmente dañina para el agua subterránea; materia orgánica flotante, potencialmente dañina para el agua subterránea; sólidos suspendidos totales; sólidos solubles, potencialmente dañinos para el suelo; nitrógeno, fósforo y potasio (NPK) y elementos menores, potencialmente dañinos para el agua subterránea; sólidos solubles, potencialmente dañinos para el suelo; hormonas, potencialmente dañinos para la salud humana, para la vida silvestre terrestre, aérea y acuática; antibióticos, potencialmente dañinos para la salud humana, para la vida silvestre terrestre, aérea y acuática; entre otros contaminantes menores (Álvarez *et al.*, 2004; Ayora-Talavera *et al.*, 2005; Polanco y Beilin, 2019).

La calidad de las aguas residuales reportada por Drucker y colaboradores (2007) para las granjas

porcinas de cerdos del estado de Yucatán presenta las siguientes características: 6 293 a 13 990 mg/L DBO con una norma oficial mexicana (NOM001) de 30 a 150 mg/L; 15 106 a 33 581 mg/L SST con una NOM001 de 40 a 150 mg/L; y 1 260 a 2 861 mg/L NKT con una NOM001 de 15 a 40 mg/L. Todos los parámetros muy por arriba de la NOM001. Esta situación es así porque la mayoría de las granjas porcícolas no separan los sólidos (excretas) de los líquidos (orina y aguas residuales) lo cual provoca una alta carga orgánica y altos volúmenes de descarga que a la postre dificulta el tratamiento de las aguas residuales, incluso cuando se llega a tener alguna idea de tratarlas.

Según Garzón-Zúñiga y Buelna (2014) mencionan que “*Con respecto a los sistemas de tratamiento actualmente aplicados se determinó que el sistema que presenta la mejor eficiencia fue el digestor anaerobio de líquido y sólidos operado con un tiempo de retención hidráulico (TRH) ≤ 60 d, con el cual, al tratar los efluentes de engorda de dos granjas grandes, se obtuvieron las siguientes eficiencias de remoción: SST ≥ 92.5 %; DQO ≥ 97 %; DBO5 ≥ 96 %; y 2 unidades logarítmicas de Coliformes Fecales. Sin embargo, a pesar de las altas eficiencias de remoción, la calidad del efluente no es adecuada para ser descargado en cuerpos de agua ni para ser reutilizado en riego agrícola*”.

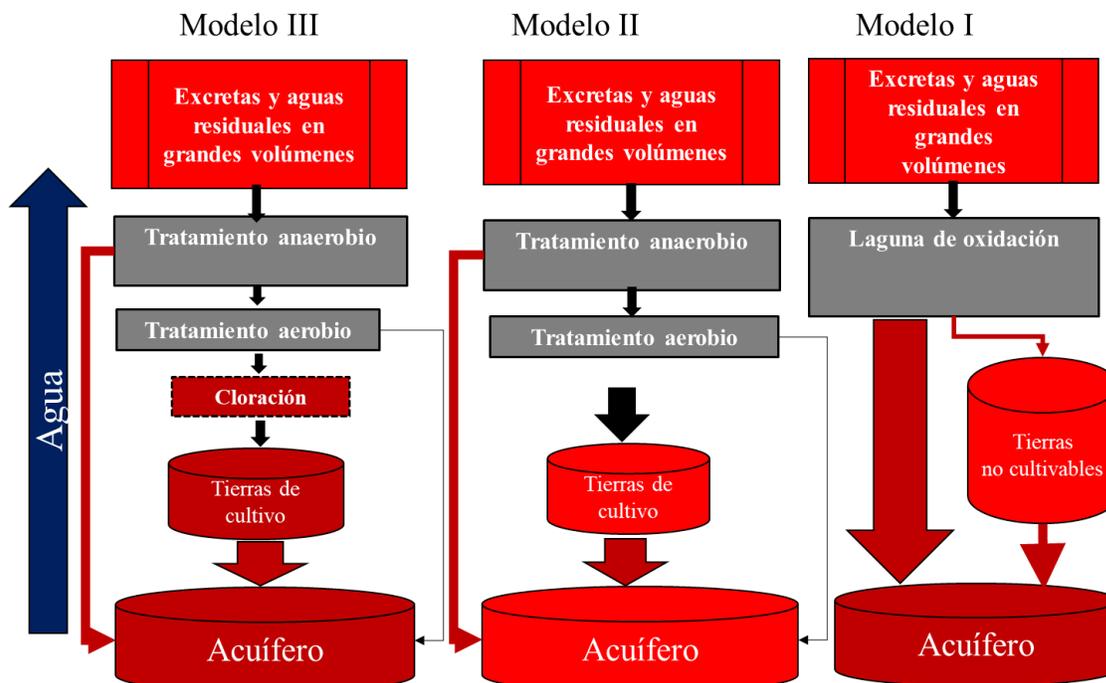


Figura 1. Modelos de tratamiento de las aguas residuales en las granjas porcícolas.

La digestión anaeróbica como proceso para el tratamiento de agua residual y el estiércol se considera una tecnología útil porque además se produce biogás. Sin embargo, no es útil cuando la generación de residuos es alta en volumen. El manejo de los biodigestores tiene un costo y a menudo suelen operarse mal. En China se optó por el uso de biodigestores en granjas porcinas pequeñas, medianas y grandes que finalmente fueron abandonados por ineficientes debido a la falta de infraestructura, mano de obra y conocimiento, a pesar de los subsidios gubernamentales (Chadwick *et al.*, 2015). Pérez-Espejo y Cervantes-Hernández (2018) han reportado una situación similar para los biodigestores instalados en granjas porcícolas de Yucatán.

Además, los cerdos llevan una gran variedad de agentes infecciosos y por esta razón la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas

en inglés) recomienda la instrumentación de un programa de bioseguridad (conjunto de medidas destinadas a evitar la introducción y propagación de agentes patógenos). La idea es evitar diversos riesgos a las poblaciones humanas vecinas, entre los que destacan las enfermedades zoonóticas (gusanos, bacterianas y virales), así como estrés, asma y ansiedad por los malos olores. Además del perjuicio social por los malos olores. Por ejemplo, la influenza porcina AH1N1 que ya ha sido reportada en el estado de Yucatán (Álvarez *et al.*, 2004; Ayora-Talavera *et al.*, 2005), así como otras sustancias tóxicas (Polanco *et al.*, 2015).

En cuanto a organismos, las AR porcinas contienen una gran cantidad y variedad de bacterias y otros organismos, potencialmente dañinos para la salud humana, para la vida silvestre terrestre, aérea y acuática (García, 2015; Borlée *et al.*, 2017; Radon *et al.*, 2007; Smit y Heederik, 2017; Loftus *et al.*, 2015; Schiffman *et al.* 2000; Wing *et al.*, 2008; Cheng *et al.*, 2020).

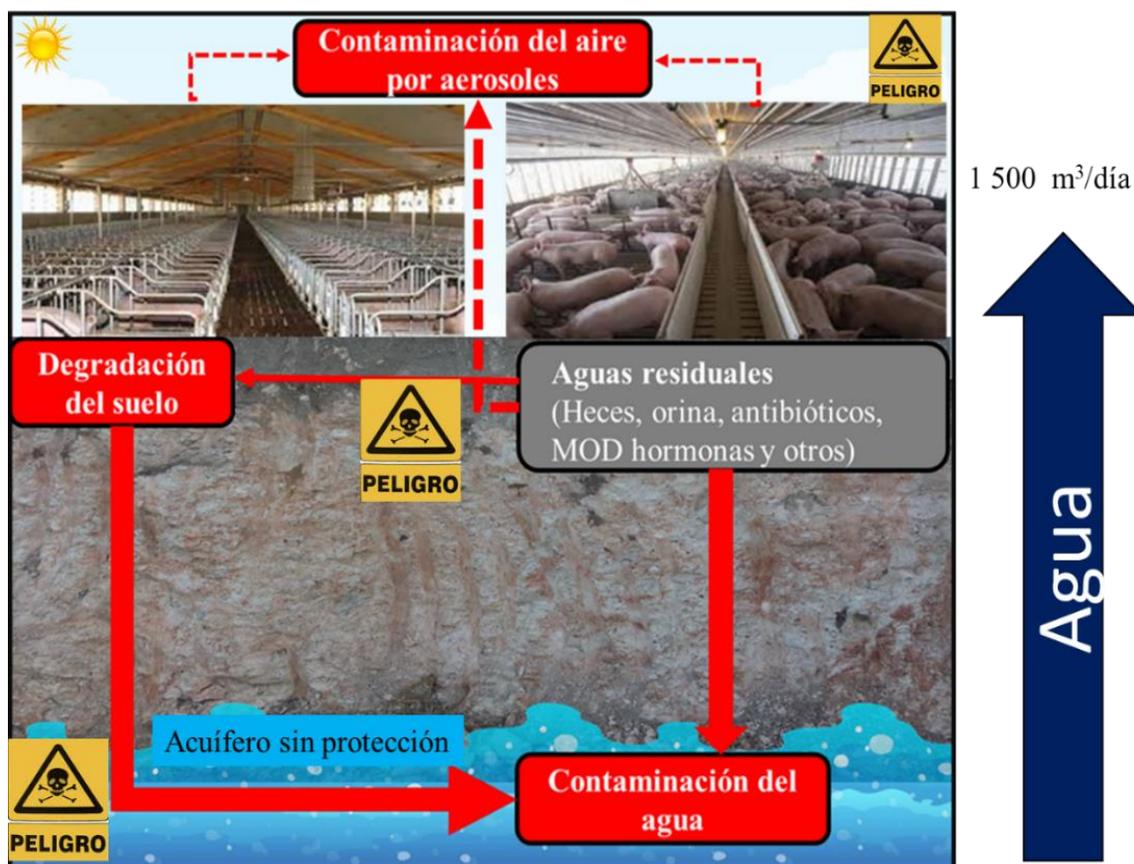


Figura 2. Degradación del suelo, aire y agua subterránea por las aguas residuales de las granjas porcícolas. MOD= materia orgánica disuelta.

LA ATMÓSFERA, CLIMA Y AGUAS RESIDUALES

Algunos fenómenos atmosféricos que regulan el clima son: a) marcado gradiente de presión atmosférica e influencia del anticiclón Bermuda Azores del Atlántico y presencia estival de vientos alisios y ondas tropicales; a) la sequía intraestival; c) las tormentas tropicales y huracanes; d) los frentes fríos en invierno; y e) la influencia de la corriente cálida del Canal de Yucatán (Orellana *et al.* 1999; Delgado *et al.*, 2017).

El resultado es que en el extremo noroeste los subtipos climáticos son muy cálido árido con lluvias en verano y alto porcentaje de lluvia invernal, $BS_0(h)w(x')$, circundado por el muy cálido semiárido con lluvias de verano, $BS_1(h)w$. En el resto del estado son climas cálidos dando lugar a la variación en la precipitación, tanto de verano como de invierno (Delgado *et al.*, 2017).

En una gran superficie del estado de Yucatán durante la época de lluvias la precipitación pluvial (el agua que llega a un sitio) es superior a la evapotranspiración (el agua que se pierde), por lo que se tiene un exceso de humedad (Figura 3). En agronomía se utiliza la longitud del periodo de crecimiento (LPC), que se refiere a los meses de lluvia continua durante la época de lluvias, para saber los meses del temporal y así seleccionar los cultivos. De esta forma se identifican los meses de exceso de humedad cuando la precipitación es mayor que la evapotranspiración, así como los meses húmedos cuando la precipitación es mayor que la mitad de la evapotranspiración. En la figura 3 se muestran dos casos de LPC, en los que la precipitación es casi la misma pero la evapotranspiración es mayor en Tizimín que en Conkal, lo que ocasiona mayor humedad en Conkal y, por lo tanto, mayor peligro de que el agua opere como vehículo para llevar la contaminación al agua subterránea. En los modelos de vulnerabilidad de contaminación del agua subterránea, es mucho mejor incorporar la LPC que la precipitación media anual.

Durante la época de “nortes” la precipitación podría ser superior a la evapotranspiración. La alta cantidad de lluvia en los climas cálidos se convierte en el vehículo que podría transportar los contaminantes al acuífero (Bautista *et al.*, 2009; Delgado *et al.*, 2017).

Los riesgos de transporte por lluvia de las aguas residuales dispersadas en la superficie al acuífero, son indiscutibles, al menos, durante junio, julio, agosto, septiembre y octubre. También en mayo en

algunos casos (Bautista *et al.*, 2009; Aguilar *et al.*, 2016b). Además, entre junio y octubre los vientos alisios propician la formación de tormentas tropicales y huracanes que desbordan las lagunas de oxidación (almacenaje de aguas residuales) y de los mal llamados “reactores anaerobios a cielo abierto” que en realidad son lagunas de almacenamiento de aguas residuales de algunas granjas porcícolas, fuente de dispersión de contaminantes vía atmósfera.

Por otro lado, el uso del agua en los chiqueros, el tratamiento del agua y la aplicación para riego, provocan la formación de aerosoles con microorganismos patógenos; y compuestos orgánicos que generan malos olores. Todos ellos tóxicos para la vida silvestre y humana. Los malos olores ambientales también pueden producir respuestas inflamatorias, inmunológicas, infecciosas o toxicológicas. Además, pueden afectar el bienestar físico, mental y social debido a su significado psicológico y cultural (Schiffman *et al.* 2000; Polanco *et al.*, 2015; Polanco y Álvarez, 2021).

Particularmente, los olores que se consideran desagradables y repugnantes pueden afectar el estado de ánimo, los usos beneficiosos de la propiedad y las actividades sociales que son fundamentales para la calidad de vida. Los compuestos del olor pueden afectar la salud humana de la siguiente manera: a) estimulan el nervio trigémino, las sustancias químicas producen irritación de los ojos, nariz y garganta u otros efectos toxicológicos; b) los compuestos odorantes pueden inducir síntomas como náuseas, vómitos, dolores de cabeza, estrés, estado de ánimo negativo y una sensación de picadura a concentraciones superiores al umbral del nervio olfativo; c) la endotoxina induce la inflamación y obstrucción del flujo de aire (Wing *et al.* 2008); d) los malos olores provocan la disfunción pulmonar en asmáticos; infecciones agudas; obstrucción pulmonar crónica; neumonía; y enfermedades por zoonosis (Borlée *et al.*, 2017; Radon *et al.*, 2007; Smit y Heederik, 2017).

AGUA, ROCAS Y AGUAS RESIDUALES

La calidad del agua subterránea depende del tipo de roca y de las actividades en la superficie, extracción de agua y descarga de aguas residuales.

El agua subterránea en el estado de Yucatán no es homogénea, es decir, presenta diferencias en salinidad (media, alta y muy alta) y sodicidad (muy baja, baja y media). Las concentraciones de los iones cloro, sulfatos y carbonatos, así como de

sodio y calcio, dan lugar a diversas familias de agua, como bicarbonatadas, cloruradas, sulfatadas, sódicas y cálcicas (Delgado *et al.*, 2010; Cupul *et al.*, 2021).

El agua con predominancia de iones cloro y sodio indican que el agua del mar ha llegado tierra adentro (intrusión salina), en aquellos lugares donde se ha sobreexplotado el agua dulce. El agua clorurada y con sodio no es de buena calidad, no sirve para el consumo humano y es dañino para el suelo. El agua con el ion sulfato indica que en el

subsuelo hay estratos de roca con yeso, este tipo de agua no es buena para consumo ni sirve para la agricultura. El agua con exceso de carbonato de calcio es salina (C_3S_1) pero puede ser de consumo humano de manera limitada porque, en algunas personas y animales, puede llegar a producir problemas renales. La mejor calidad del agua subterránea del estado de Yucatán fue medianamente salina (C_2S_1) donde el carbonato de calcio es la sal predominante, este tipo de agua es de calidad media para consumo humano y debe utilizarse con mucho cuidado en la agricultura.

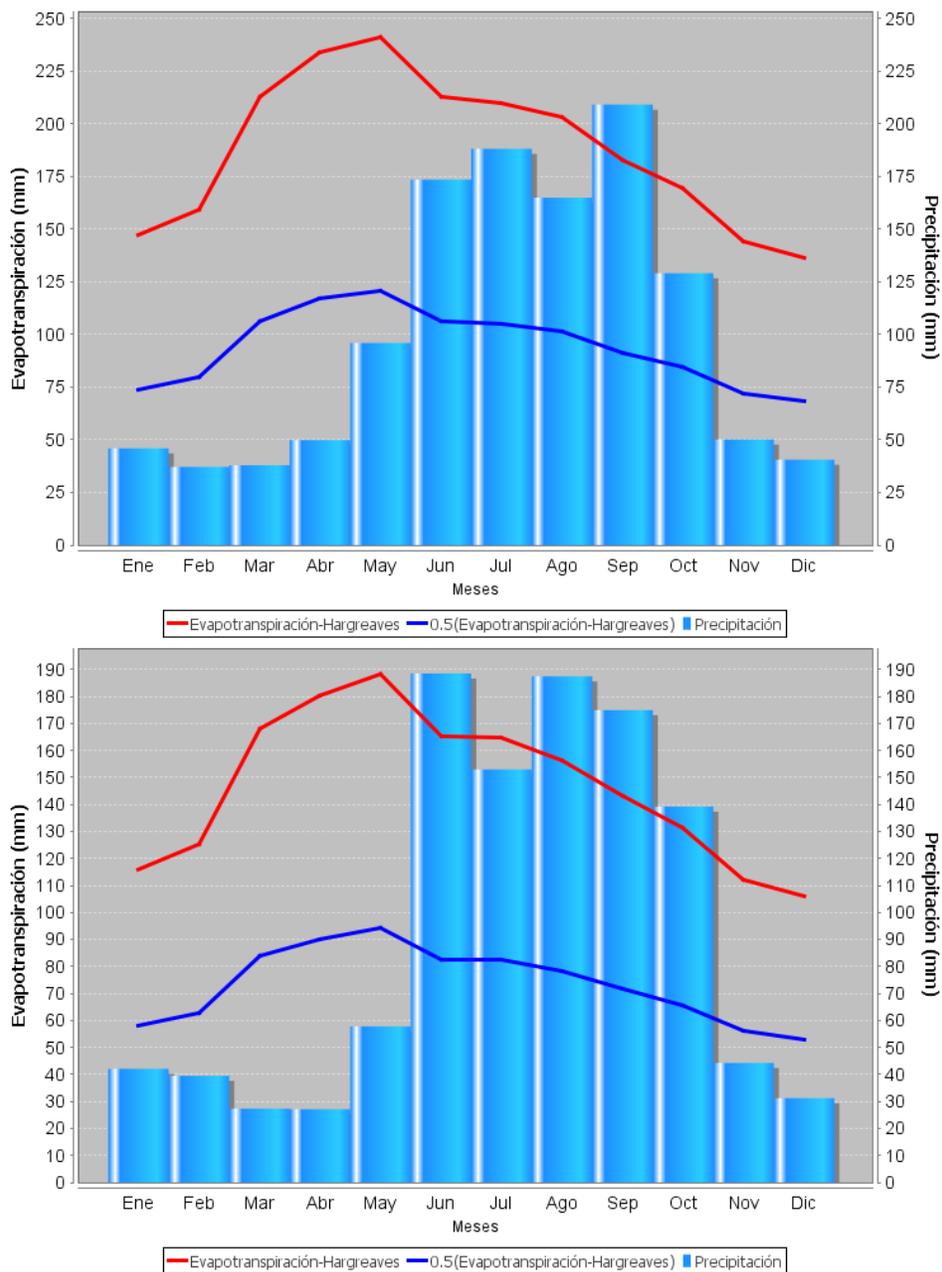


Figura 3. Gráficas de la duración del periodo de lluvia en Tizimín y Conkal Yucatán.

No se encontró una buena calidad del agua subterránea debido a que el agua disuelve los minerales de las rocas y como en el subsuelo hay rocas sedimentarias solubles no fue posible encontrar la clase C_1S_1 (Richards, 1954; Delgado *et al.*, 2010; Sandoval y Heredia, 2018; Bautista *et al.*, 2021). Esta descripción de la calidad del agua subterránea del estado de Yucatán difícilmente cambiaría con el tiempo porque consideró la cuantificación de los iones que naturalmente se encontrarían en el agua, solo en el caso de los iones de cloro y sodio podrían presentarse cambios, ya que estos dependen de la intrusión salina.

En resumen, cuatro clases de salinidad-sodicidad y cinco familias de agua, clorurada, cálcico-sulfatada, sodio-bicarbonatada, calcio-bicarbonatada e intermedias. Especialmente y a escala regional se identifican seis acuíferos considerando su calidad (Delgado *et al.*, 2010; Bautista *et al.*, 2021).

La intrusión salina, como su nombre lo dice, es el proceso por el cual el agua del mar tiende a ir hacia el continente, quedando por debajo del agua dulce por ser más densa (por las sales disueltas), es un proceso natural que suele estar en equilibrio cuando la dinámica del flujo de agua dulce no está fuertemente alterada. Sin embargo, cuando tierra adentro la extracción del agua dulce del acuífero sea cada vez mayor, el agua de mar no tiene presión que la detenga, por lo que se va tierra adentro, es decir se induce la intrusión salina. Aunque puede suceder en toda la zona costera, este fenómeno se expresa claramente en el noreste y noroeste del estado de Yucatán a la altura del anillo de cenotes que desemboca al mar por el este en Ría Lagartos y al oeste por Celestún, respectivamente. *La intrusión marina (hasta un 2% de agua de mar) en la trayectoria de Celestún fue mayor que en la trayectoria de Dzilam Bravo. La intrusión marina en la trayectoria de Celestún no se ve afectada por la precipitación, mientras que en la zona costera de Dzilam Bravo varía fuertemente de forma inversa a la precipitación* (Pérez-Ceballos *et al.*, 2021).

La planicie subhorizontal menor de 10 msnm es de alto riesgo de intrusión salina, allí *la capa de agua dulce flota sobre la salada debido a la diferencia de densidades, de donde se extrae el líquido para uso y consumo humano* (Sandoval y Heredia, 2018), por lo que, la extracción de altos volúmenes de agua dulce podría generar el ascenso del agua salina.

El acuífero kárstico no confinado en el estado de Yucatán es una lente de agua dulce que flota sobre

agua salina más densa que penetra más de 40 km tierra adentro (Marín *et al.*, 2000; Graniel *et al.* 1999, 2004). *El agua subterránea regional fluye hacia el mar a través del acuífero libre hasta llegar al acuífero confinado* junto a la costa (Villasuso-Pino *et al.*, 2011). La situación de “acuífero no confinado” significa que el agua fluye hacia la costa y que esta situación es una de las formas de conexión entre los paisajes geográficos, es decir, lo que sucede con el agua subterránea en un paisaje geográfico le puede afectar a otros paisajes geográficos vecinos, para bien o para mal en caso de contaminación y en caso de sobre extracción. Esta situación también permite comprender que los “inventarios de agua” cambian con el tiempo, se cuenta con mayor cantidad de agua en los paisajes geográficos durante la época de lluvias y se tiene menos agua durante la época de secas debido a que el agua tiene un determinado tiempo de “residencia” que depende de la duración de los meses de lluvia continua y del flujo del agua subterránea.

Las rocas son disueltas por el agua y de esta manera el agua lleva disueltos los iones de las rocas por las que pasa. En el sur del estado están las rocas de yeso y en el resto del estado las de carbonato de calcio. La caliza contiene carbonato de calcio como principal componente, pero con diversos arreglos minerales que en algunos casos le dan dureza y en otros no, haciéndola soluble. Contiene pequeñas cantidades de otros minerales como óxidos de hierro de color rojo y silicatos, entre otros. Las partes menos duras de la caliza se solubilizan y es allí donde se van formando numerosas grietas, hoyos, dolinas, uvalas y en general diferentes longitudes y tamaños de conductos que llevan el agua de lluvia hasta el acuífero, alimentándolo durante la época de lluvias (Aguilar *et al.*, 2021).

En las ciudades del estado de Yucatán, al no tener drenaje las aguas residuales tienen como destino el acuífero, por ejemplo, bajo la ciudad de Mérida el acuífero tiene de todo, alta carga orgánica, metales pesados, bacterias fecales, nitratos, entre otras sustancias (Pacheco *et al.*, 2004). En las zonas agrícolas el agua subterránea contiene altas concentraciones de nitratos y plaguicidas (Pacheco *et al.*, 2004; Polanco *et al.*, 2015). Donde hay granjas porcícolas el agua subterránea está contaminada con materia orgánica, bacterias fecales, hormonas y antibióticos, cuando menos (Grain, 2009; Schmidt, 2009; Garzón-Zúñiga y Buelna, 2014; García, 2015). En todos los casos la vida silvestre del agua subterránea disminuye fuertemente (Aguilar *et al.*, 2011ab, 2013; 2014, 2016b).

Los daños que puede llegar a provocar el agua residual de las granjas porcícolas al agua subterránea serían los siguientes: a) eutrofización por la gran cantidad de materia orgánica soluble en el agua residual, lo cual a su vez ocasiona el consumo de oxígeno, lo cual conlleva a la muerte a los organismos acuáticos aerobios y en general, a la degradación (putrefacción) del agua; b) la contaminación de las aguas subterráneas con las aguas residuales que podrían contener antibióticos, hormonas u otros compuestos utilizados en la cría de cerdos y que son nocivos para la vida silvestre y humana; y c) la adición de compuestos organoclorados a los cuerpos de agua ocasiona la muerte de los organismos y, además, son tóxicos para la vida humana.

La cloración generalmente se emplea como un paso final en las plantas de tratamiento de aguas residuales para controlar de manera eficiente los microorganismos patógenos en los efluentes para dar protección a los ecosistemas y la salud humana (Collivignarelli *et al.*, 2017). En el caso de las granjas porcícolas se debe tener en claro que, si el agua residual aún contiene materia orgánica soluble, particularmente con aminoácidos libres, como la tirosina y el triptófano, la aplicación de cloro dará como resultado la formación de una amplia gama de subproductos de desinfección clorados, incluidos trihalometanos, ácidos haloacéticos, haloacetnitrilos y haloacetamidas, todos ellos compuestos órgano-clorados que contribuyen a la toxicidad general de las aguas residuales que podrían provocar efectos adversos sobre la biota de los cuerpos de agua y suelos agrícolas receptores e incluso la salud humana (Du *et al.*, 2017; Li *et al.*, 2019; Lu *et al.*, 2021). En consecuencia, el control de los compuestos órgano-clorados se encuentra entre los requisitos adicionales para la reutilización del agua de acuerdo con la comunidad económica europea (CE, 2018). Esta situación no ha sido estudiada en las aguas residuales de las granjas porcícolas.

La planicie kárstica de 10 m de altura, la lluvia abundante de mayo a octubre que llega al acuífero, el escaso suelo que no retiene el agua de lluvia ni tiene capacidad para limpiarla y la roca soluble con gran cantidad de grietas, hacen un medio físico incapaz de proteger al acuífero de las aguas residuales de las granjas porcícolas (Aguilar *et al.*, 2011ab, 2013; 2014, 2016b).

LOS SUELOS, AGRICULTURA Y AGUAS RESIDUALES

En las planicies kársticas los suelos predominantes en el estado de Yucatán corresponden al grupo

Leptosol (Tabla 1). Tienen calificadores Nudilithic (menos de 5 cm de profundidad), Lithic (de hasta 10 cm de profundidad), Rendzic (materia orgánica y carbonatos de calcio), Skeletic (pedregosos), Hyperskeletal (más de 80% de pedregosidad), Calcic (carbonato de calcio secundario), Mollic (con materia orgánica) (Figura 4). Un poco más al sur aparecen los Cambisols y en superficies pequeñas los Luvisols (Bautista *et al.*, 2015).

Los suelos son los grandes protectores de los acuíferos en general, funcionan como reactores en la descomposición de los compuestos orgánicos (Aguilar *et al.*, 2011b); sin embargo, los suelos en las planicies kársticas son de muy escaso desarrollo, es decir, que sus capas u horizontes pueden tener la siguiente secuencia: AR, ACR y ABwC, que significa que contiene una capa u horizonte A de muy escaso espesor sobre la roca continua (R) o sobre roca fragmentada (horizonte C) también de escaso espesor. En superficies pequeñas suele encontrarse suelos con un horizonte Bw incipiente (Bautista *et al.*, 2011, 2015) con profundidades menores de 25 cm.

En estudios científicos previos (Aguilar *et al.*, 2011ab) ya se han evaluado a los Leptosols para su posible uso como receptor de aguas residuales con alta carga orgánica y aunque en un inicio presentan cierto grado de descomposición y mineralización, al corto plazo también presentaron evidencias de salinización (degradación química), es decir, que no tienen la capacidad para recibir continuamente abonos orgánicos sólidos, además por su poco espesor (no más de 25 cm) se concluye que estos suelos no poseen aptitudes como receptores de aguas residuales, tampoco son aptos para las actividades agropecuarias intensivas (Aguilar *et al.*, 2011b) debido, entre otras cosas, a los grandes afloramientos de roca (Figura 5).

En los lomeríos del ambiente tecto-karst aparecen los suelos de los grupos Luvisols y Vertisols, incluso en algunas geoformas llegan a ser dominantes (Tabla 1). Ambos son suelos de mayor desarrollo. Los del grupo Luvisols se caracterizan por tener un horizonte Bt de acumulación de arcilla. Los Vertisols son los suelos típicamente arcillosos, pero con arcilla del tipo de la smectita, con altos valores de capacidad de intercambio de cationes, dichas arcillas propician su gran plasticidad, la formación de grietas cuando se secan y la formación de relieve en gilgai cuando se humedecen (Bautista *et al.*, 2015). Tanto Luvisols como Vertisols protegen al acuífero porque adsorben iones disueltos, materia orgánica y metales pesados. A menudo tienen espesores o profundidades mayores a 1 m. Terrenos con

grandes superficies de estos suelos son los ideales para el establecimiento de las granjas porcícolas (Bautista y Aguilar, 2021).

Los suelos de las planicies kársticas no cuentan con las propiedades físicas (cantidad de tierra fina) ni

químicas (alta capacidad de intercambio de cationes) para funcionar como reactores y proteger a los acuíferos de la contaminación generada por las granjas porcícolas (Bautista *et al.*, 2015; Bautista y Aguilar, 2021).

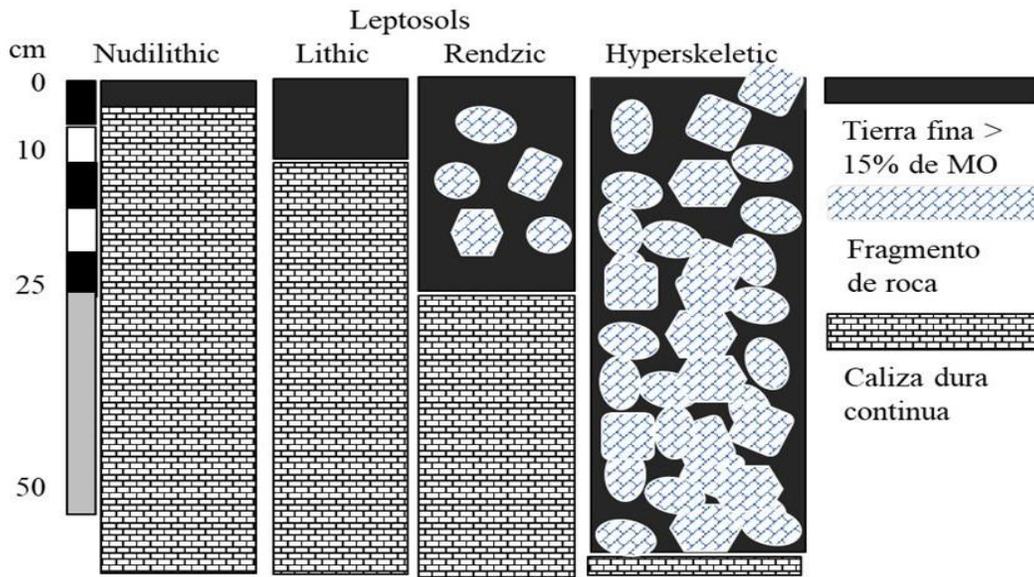


Figura 4. Esquemas de los suelos dominantes en el estado de Yucatán.

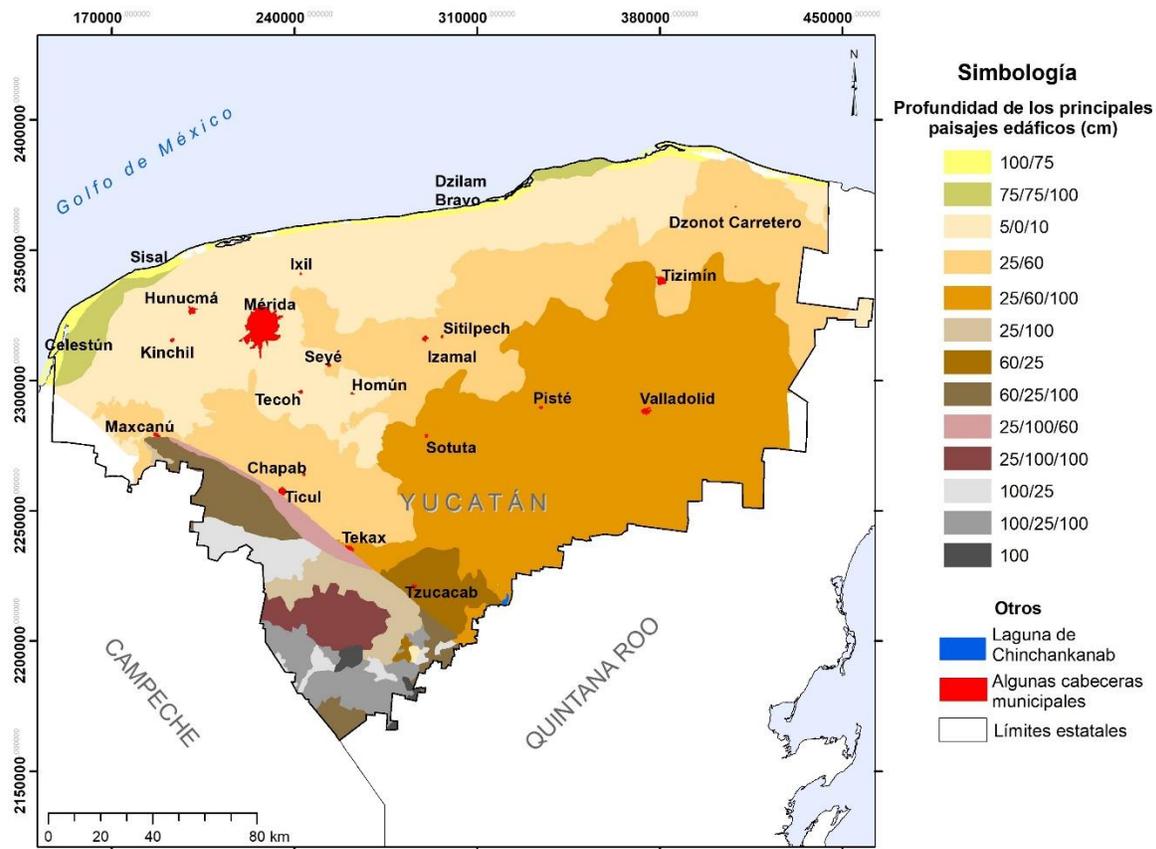


Figura 5. Imagen tomada con un dron de los afloramientos rocosos frecuentes en la planicie kárstica de 10 m de altitud. Nótese la ausencia de suelo donde aparece el color blanco de la caliza.

Tabla 1. Geoformas y suelos en los ambientes kárstico y tecto-kárstico del estado de Yucatán (Bautista et al., 2015).

Geoforma	Altitud (msnm)	Pendiente	Suelos
Planicie	10	0-0.5	LP
Planicie	10-20	0.5-1	LP/CM
Planicie	10-20	0.5-1	LP/CM
Planicie	20-30	0.5-1	LP/CM/LV
Planicie	30-40	1-3	CM/LP
Planicie		1-3	LP/LV
Planicie	50	1-3	CM/LP/VR
Planicie	50-70	1-3	CM/LP/LV
Lomerío	10-20		LP
Lomerío	90-110	6-12	LV/LP
Lomerío	50-90	6-12	LV/LP/VR
Lomerío	90-150	6-12	LV/ST/LP/
Lomerío	70-110	6-12	VR/LP
Lomerío	Menor de 100	3-6	LP/LV/CM
Lomerío	100-150	6-12	LP/LV
Lomerío	Mayor de 150	12-18	LP/VR/ST

LP: Leptosols, CM: Cambisols; LV: Luvisols; VR: Vertisols; ST: Stagnosols

**Figura 6.** Mapa del estado de Yucatán con leyenda de profundidad de suelo.

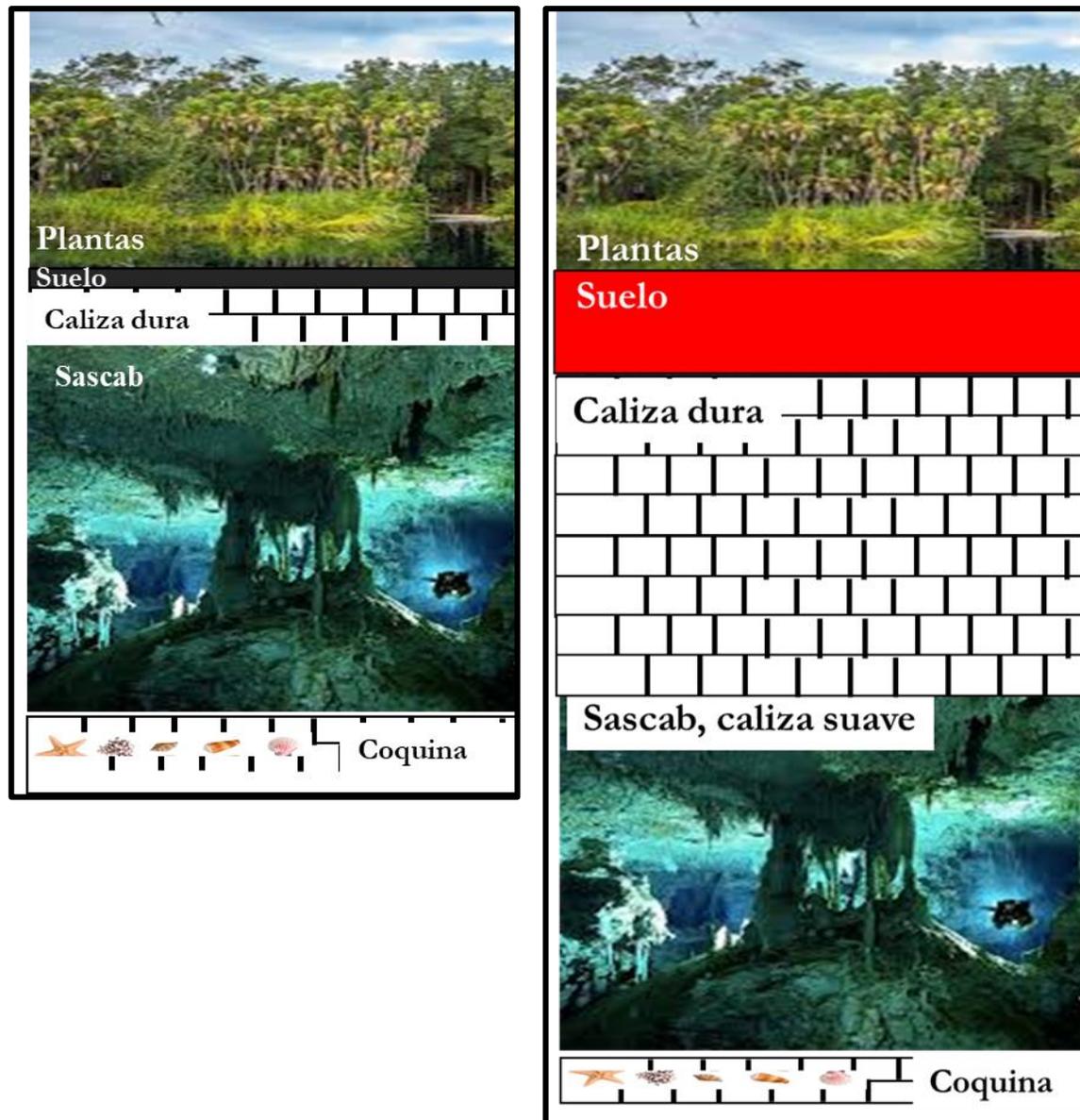


Figura 7. Esquemas de los territorios kársticos de Yucatán mostrando relieve, suelo, subsuelo y acuífero. A la izquierda la planicie kárstica del norte a menos de 10 msnm con Leptosols y a la derecha una planicie al sur del estado con más de 20 msnm y Luvisols y Cambisols.

Se cuenta con mapas a escala 1:250 000 de los suelos y 1:50 000 de relieve que al unirlos podríamos observar las zonas más propicias para el uso de aguas residuales porcinas y domésticas en la agricultura, aquellas con profundidades de suelo mayores a un metro (Figura 6). No obstante, se debe seguir trabajando hasta lograr mapas de suelos para los municipios a escalas 1: 25 000 o de mayor resolución.

Los paisajes kársticos deben entenderse desde su estructura de manera integral: relieve, altitud, suelo, subsuelo, acuífero, vegetación, como se muestra en la figura 7, así como su función, en este

caso particular, en la protección del agua subterránea.

OPCIONES DE MITIGACIÓN DE LOS PROBLEMAS AMBIENTALES

La estrategia por seguir no debe ser un tratamiento de aguas residuales que garantice una contaminación cero porque eso es imposible, lo que se recomienda es reducir al mínimo la cantidad de agua a utilizar. Se recomienda tener presente el adagio de “*el que mucha agua usa, mucha agua debe de tratar*”.

Un sistema manual o mecánico de limpieza de los chiqueros sería una opción para disminuir el volumen de agua a utilizar. En algunas granjas de EE.UU. la limpieza se realiza con un “Trapeador mecánico” que se desliza sobre superficies pulidas del piso, el equipo se desliza de un extremo a otros conduciendo el excremento y colectándolo en contenedores para después pasar a los biodigestores, se podrían separar líquidos de sólidos para ser tratados de diferente forma, composteo de sólidos y tratamiento anaerobio de líquidos (Figura 8).

Se recomienda crear un sistema de separación de aguas residuales cuando se apliquen hormonas y antibióticos, ya que estos compuestos químicos, alteran y disminuyen la eficiencia de las plantas de tratamiento, disminuyen la eficiencia del compostaje y afectan el buen funcionamiento de los humedales artificiales. Para las aguas residuales se deben construir biodigestores herméticos, una parte de la carga orgánica se transformará a metano que debería ser captado y utilizado como combustible. Se recomienda hacer ensayos para identificar el menor tiempo de residencia y la máxima eficiencia.

Con volúmenes pequeños de aguas residuales este mecanismo de control de la contaminación se hace más eficiente.

En lugar de clorar, se recomienda diseñar humedales artificiales, en este sistema de tratamiento el agua residual perderá carga orgánica y se preparará para posteriormente descargar el agua a suelos con aptitud agrícola y depuradora, de los grupos Luvisol, Nitisol y/o Vertisol, como los que hay en el sur del estado de Yucatán.

A mayor precipitación pluvial mayor peligro de contaminación del agua subterránea debido a que es la lluvia el vehículo por el cual los contaminantes que se colocan en la superficie del terreno llegan al acuífero. Por esto se recomienda que los mejores sitios para el establecimiento de las granjas deben ser menor de seis meses de lluvia continua, en climas preferentemente Aw_0 , es decir, los más secos de los cálidos húmedos. Además, los lugares con mayor precipitación podrían saturar los humedales. En la construcción de los humedales se deberá prever que los huracanes son recurrentes.

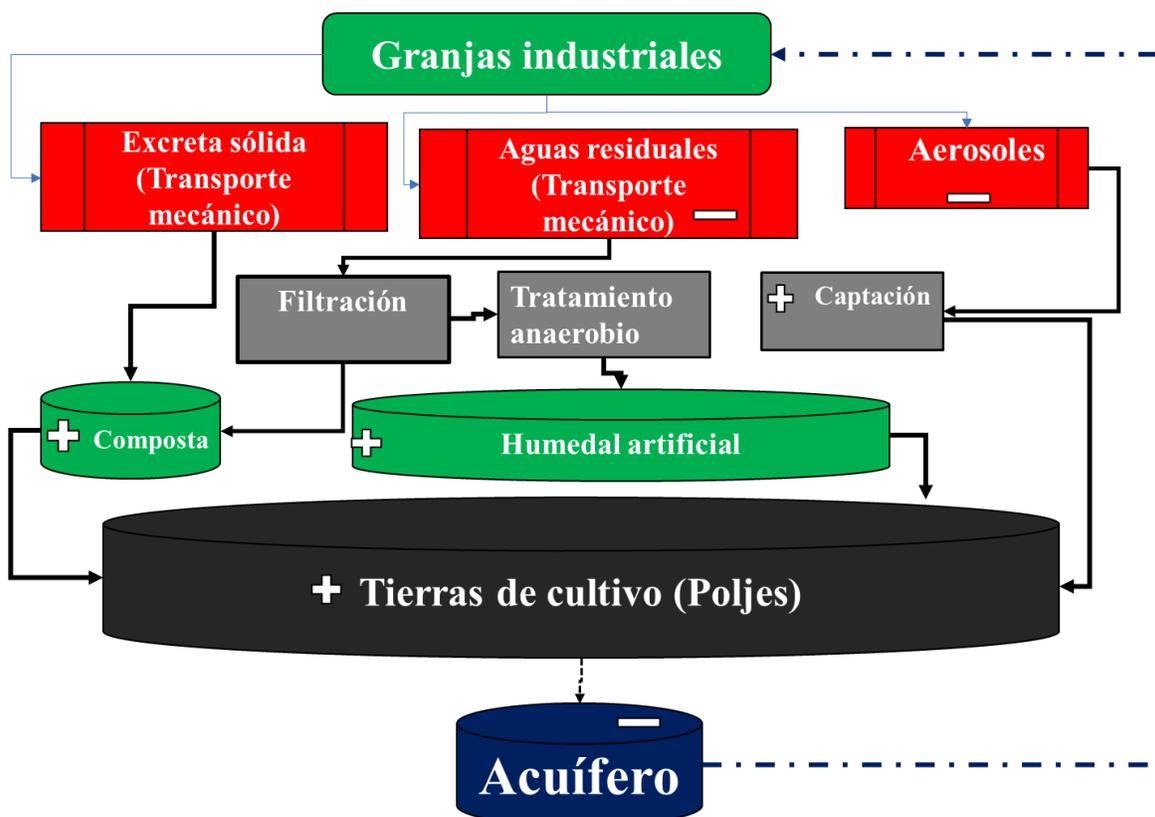


Figura 8. Propuesta de modelo ahorrador de agua en una granja porcícola.

Es recomendable que el acuífero se localice más allá de los 30 metros de profundidad, la lógica es; a mayor distancia de la superficie del suelo, mayor protección del agua subterránea. Sin embargo, esto no es así cuando existen conductos en la zona crítica (suelo y subsuelo).

Se recomienda seleccionar las grandes uvalas y poljes con los suelos arriba mencionados para el uso de las aguas residuales en la siembra de cultivos que sean alimento para los cerdos, de esta manera se cierra el círculo alimento-abono-alimento o porcicultura-agricultura-porcicultura. Esto hará que la empresa dedique esfuerzos e inversión en actividades agrícolas, pero a cambio le dará sustentabilidad a la actividad principal, la porcicultura.

LA CONEXIÓN AGRICULTURA Y PORCICULTURA

A mediano plazo se recomienda encontrar alimentos diferentes a los granos convencionales, como por ejemplo el uso de algunas plantas de las selvas bajas y medianas utilizadas por los mayas, las más utilizadas en la alimentación de los cerdos son: *Brosimum alicastrum*, *Bursera simaruba*, *Jacaratia mexicana*, *Swartzia cubensis*, *Bauhinia divaricata*, *Bunchosia glandulosa*, *Sesbania emerus*, *Piper auritum* y *Leucaena leucocephala* (Flores y Bautista, 2012; Sarmiento-Franco *et al.*, 2021).

Otras especies que han sido reportadas como alimento de los cerdos y que son parte de la sabiduría maya son: *Centrosema virginianum*, *Sorghum halepense*, *Brachiaria fasciculata*, *Waltheria americana*, *Boerhavia erecta*, *Ipomoea tricolor*, *Boerhavia caribaea*, *Borreria ocimoides*, *Cracca greenmanii*, *Desmodium glabrum*, *Dioscorea floribunda*, *Oxalis berlandieri*, *Boerhavia coccinea*, *Chamaecrista yucatanensis*, *Cracca panamensis*, *Desmodium incanum*, *Galactia striata*, *Heliconia latispatha*, *Mirabilis jalapa*, *Mirabilis violácea*, *Oxalis yucatanensis*, *Pachyrhizus erosus*, *Portulaca halimoides*, *Saccharum officinarum*, *Solanum niidepannum*, *Tephrosia cinérea*, *Xanthosoma yucatanense*, *Canavalia ensiformis*, *Merremia cissoides*, *Musa paradisiaca*, *Musa sapientum*, *Phaseolus lathyroides L.*, *Sorghum bicolor (L.) Moench*, *Talinum triangulare (Jacq.) Willd.*, *Vigna elegans (Piper)*, *Maréchal*, *Mascherpa and Stainier*, *Vigna unguiculata (L.) Walp.*, *Vigna vexillata (L.) A. Rich.*, *Sabal mexicana*, *Bactris balanoidea*, *Bauhinia divaricata*, *Sesbania emerus*, *Piper auritum*, *Bunchosia glandulosa*, *Malpighia lundellii*, *Malpighia glabra L.*, *Bursera simaruba*, *Leucaena*

leucocephala, *Enterolobium cyclocarpum*, *Byrsonima crassifolia*, *Ficus yucatanensis*, *Psidium guajava*, *Simarouba glauca*, *Byrsonima bucidaefolia*, *Jacaratia mexicana*, *Swartzia cubensis*, *Ziziphus yucatanensis*, *Artocarpus communis* y *Pithecellobium saman*. El conocimiento tradicional maya sobre las plantas incluye la parte comestible de la planta forrajera, 38 herbáceas, 13 árboles, seis arbustos y dos palmas (Flores y Bautista, 2012).

El conocimiento del pueblo maya sobre el uso de algunas plantas del bosque tropical estacional en la alimentación de los cerdos es un insumo intelectual que puede utilizarse para mejorar la producción porcina o para diseñar nuevas formas de producción ganadera en un ambiente particular (relieve, acuíferos, suelos y climas) como el kárstico de la Península de Yucatán.

La sustitución parcial del alimento para la cría y/o engorda del cerdo deberá estar supervisada por especialistas en nutrición animal (López Herrera *et al.*, 2008; Rojas-Schroeder *et al.*, 2017; Sarmiento-Franco *et al.*, 2021), es decir, deberá estar fundamentada en conocimiento científico generado en las universidades y centros de investigación locales, que ya se hace de manera rutinaria pero que no han tenido la integración con los productores.

El uso de plantas nativas en la alimentación de los cerdos podría impulsar el cultivo de especies que crecen de manera natural tanto en la selva baja como en la selva mediana y con esto mejorar la economía local, así parte del dinero que llegaría por la exportación de carne se quedaría en el estado porque actualmente todo el alimento se importa.

Del mismo modo, el uso de las plantas cultivadas en Yucatán, como el maíz o que se podrían cultivar como el sorgo (que ya son alimentos probados y eficientes en la alimentación de los cerdos), podrían propiciar una economía circular, agricultura-ganadería-agricultura.

El reciclaje de desechos orgánicos agrícolas se reconoce generalmente como uno de los factores clave para la producción agrícola y ganadera sostenible, lo que ha inspirado la exploración renovada de técnicas de reciclaje más efectivas (Westerman y Bicudo, 2005).

EL RIEGO AGRÍCOLA CON LAS AGUAS RESIDUALES

El agua residual de lavado de las naves de crianza de cerdos podría utilizarse para riego agrícola con seguridad ambiental, sin contaminar, solo en los

meses de diciembre a abril que son los de la época de escasa precipitación pluvial, pero siempre y cuando sean utilizados en los suelos de los grupos Luvisol, Nitisol y Vertisol que no son los dominantes.

Un riego agrícola usando las aguas residuales porcinas con seguridad ambiental sería de 780 a 1120 m³/ha por semana para suelos de los grupos Luvisol y Vertisol, respectivamente. Teniendo en cuenta los meses del año en los cuales la precipitación pluvial es escasa tenemos 24 semanas o 24 riegos, lo que hace un total del 18 720 a 26 880 m³/ha/año (Tabla 2).

El agua residual porcina aplicada en riego agrícola sobre Leptosols tendría como destino el ambiente, por ejemplo: a) la atmósfera con la consecuente formación de aerosoles tóxicos para la población humana y la vida silvestre; b) el agua subterránea, con la consecuente contaminación y pérdida de la vida silvestre acuática y riesgo de contaminación a fuentes de agua donde la población humana se abastece, aumentando la incidencia de enfermedades de origen hídrico; c) al suelo con su consecuente degradación en el corto plazo (salinización y erosión) en no más de tres años; d) no hay cultivos reportados que pueda aprovechar las aguas residuales como abonos orgánicos; y e) la vegetación natural aledaña a la zona de riego también estaría en peligro pues los suelos, al salinizarse ocasionan que las raíces de la vegetación silvestre se “queme”, lo que ocasionaría perjuicios también a la fauna silvestre, en especial a las abejas, al no contar con vegetación sana de la cual se alimenta y consecuentemente afecte los bienes ecosistémicos como la polinización tanto de vegetación natural como cultivada.

Para el uso agrícola de las aguas residuales porcinas deben considerarse los siguientes aspectos: a) la aplicación de aguas residuales porcinas como riego solo deberán usarse en la época de secas, cuando la precipitación pluvial es menor que la mitad de la evapotranspiración; b) se recomienda seleccionar grandes uvalas y/o poljes con suelos de los grupos Luvisol, Nitisol y Vertisol; c) la selección de los suelos deberá considerar una profundidad de 1 m como mínimo, las propiedades a medir son: densidad aparente, volumen de

fragmentos gruesos por horizonte, superficies de afloramientos rocosos, capacidad de retención de humedad a capacidad de campo. Con estas propiedades del suelo se calcula la cantidad de tierra fina a 25 cm de profundidad y la retención de humedad en litros o m³ por hectárea; d) los riegos podrían ser semanales con volúmenes estimados de 780 a 1220 m³/ha según las propiedades de los suelos; e) se recomienda que el riego agrícola de las aguas residuales se realice con el método por aspersión o por goteo, pero no con cañón, porque se podrían generar aerosoles (tóxicos para la salud humana). Además, el uso del riego por cañón (por la fuerza con la que cae) degradará y erosionará el escaso espesor de los suelos de la zona de riego en el corto plazo, generando que el agua de riego entre de manera directa a las aguas subterráneas. Se recomienda también realizar un monitoreo de la calidad de los suelos, en especial de los valores de la conductividad eléctrica (contenido de sales) para garantizar que los suelos no se estén degradando químicamente.

LA LEGISLACIÓN VIGENTE

El reglamento de la ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente en materia de evaluación de impacto ambiental en su capítulo III del procedimiento para la evaluación del impacto ambiental, para la construcción y operación de una granja porcina a la letra dice: *Artículo 9o.- Los promoventes deberán presentar ante la Secretaría una manifestación de impacto ambiental, en la modalidad que corresponda, para que ésta realice la evaluación del proyecto de la obra o actividad respecto de la que se solicita autorización.* Es decir, una vez ubicado el sitio para la granja deberán presentar una “manifestación de impacto ambiental” (MIA). Una vez concluida la evaluación de la MIA, la Secretaría deberá emitir, fundada y motivada, la resolución correspondiente en la que podrá: Autorizar o negar la realización de la obra o actividad en los términos y condiciones manifestados; o autorizar total o parcialmente la realización de la obra o actividad de manera condicionada. Una vez aprobada la MIA por el gobierno estatal, entonces se podrá proceder a la construcción de la granja, nunca antes porque se estaría incumpliendo la ley.

Tabla 2. Cálculo del volumen del agua de riego con aguas residuales porcinas con seguridad ambiental.

Suelos	Prof (m)	m ² /ha	m ³ /ha	DA	t/ha	CC (%)	t/ha o m ³ /ha	m ³ por 24 riegos
Vertisol-arable	0.2	10000	2000	1.4	2800	40	1120	26880
Luvisol-arable	0.2	10000	2000	1.3	2600	30	780	18720

Prof: profundidad; DA: densidad aparente; CC: capacidad de campo

En el documento titulado “*Convención sobre los derechos del niño*” en el Artículo 24, inciso 2C a la letra dice: *combatir las enfermedades y la malnutrición en el marco de la atención primaria de la salud mediante, entre otras cosas, la aplicación de la tecnología disponible y el suministro de alimentos nutritivos adecuados y agua potable salubre, teniendo en cuenta los peligros y riesgos de contaminación del medio ambiente*” (UNICEF, 2006). Es por esto que los países firmantes de este documento están comprometidos jurídicamente a velar por la salud de los niños y a su derecho de tener un ambiente libre de contaminantes.

La Comisión Nacional de Derechos Humanos (CNDH) publicó en el año 2018 el documento “*Declaración de las Naciones Unidas sobre los Derechos de los Pueblos Indígenas*” que en el Artículo 29 a la letra dice: *1) los pueblos indígenas tienen derecho a la conservación y protección del medio ambiente y de la capacidad productiva de sus tierras o territorios y recursos. Los Estados deberán establecer y ejecutar programas de asistencia a los pueblos indígenas para asegurar esa conservación y protección, sin discriminación; 2) los Estados adoptarán medidas eficaces para asegurar que no se almacenen ni eliminen materiales peligrosos en las tierras o territorios de los pueblos indígenas sin su consentimiento libre, previo e informado; y 3) los Estados también adoptarán medidas eficaces para asegurar, según sea necesario, que se apliquen debidamente programas de control, mantenimiento y restablecimiento de la salud de los pueblos indígenas afectados por esos materiales, programas que serán elaborados y ejecutados por esos pueblos* (CNDH, 2018).

A nivel federal, en el Artículo 2 constitucional entre otras cosas dice: “*A. Esta Constitución reconoce y garantiza el derecho de los pueblos y las comunidades indígenas a la libre determinación y, en consecuencia, a la autonomía para: a) Conservar y mejorar el hábitat y preservar la integridad de sus tierras en los términos establecidos en esta Constitución; b) Acceder, con respeto a las formas y modalidades de propiedad y tenencia de la tierra establecidas en esta Constitución y a las leyes de la materia, así como a los derechos adquiridos por terceros o por integrantes de la comunidad, al uso y disfrute preferente de los recursos naturales de los lugares que habitan y ocupan las comunidades, salvo aquellos que corresponden a las áreas*

estratégicas, en términos de esta Constitución (CNDH, 2015; Gutiérrez, 2019).

En otras palabras, los pueblos indígenas tienen el derecho de conservación y uso de los recursos naturales de sus tierras, esto conduce a la instrumentación de medidas de consulta para el uso de la tierra. Debe considerarse que toda la península de Yucatán es territorio maya, indígena y está habitado por varios grupos mayas.

RECOMENDACIONES PARA LA INSTALACIÓN DE GRANJAS PORCINAS MODELO

En el estado de Yucatán se cuenta con experiencia internacional en la comercialización de productos cárnicos de cerdo y en el manejo de las granjas, siendo una actividad creciente. Es por esto que las inversiones en la instalación de nuevas granjas porcinas deben tener claridad en las zonas donde no tendrán conflicto por el uso de los recursos naturales. En este sentido, los territorios de las áreas naturales protegidas (ANP) particulares, municipales, estatales y federales no se recomiendan para la instalación y operación de mega-granjas porcinas debido a que la ley protege esos territorios.

No se recomienda la instalación de granjas porcinas en las planicies kársticas menores de 20 msnm porque los suelos son de escaso espesor y porque hay una gran cantidad de cenotes. Incluso hay zonas de doble restricción, tanto legal por ser ANP y física por estar muy cerca del acuífero y por los suelos del grupo Leptosol.

Existe una gran superficie del estado de Yucatán donde la instalación y/o operación de mega-granjas modelo porcinas es posible con algunas restricciones, allí se recomienda seleccionar los sitios donde dominen los suelos de los grupos Luvisol, Vertisol y Nitisol; lo más lejos de los cenotes y siguiendo el modelo de la figura 9.

Al suroeste se localiza una superficie de lomeríos alineados, lomeríos aislados, planicies interlomas y planicies escalonadas con suelos profundos y con altitudes mayores a los 60 msnm del acuífero, donde la porcicultura no tendría problemas para el establecimiento de las granjas porcinas modelo de la figura 7. Allí están los territorios más aptos, más recomendables, solo se debe tener la anuencia de los pueblos originarios para la instalación y operación de las granjas.

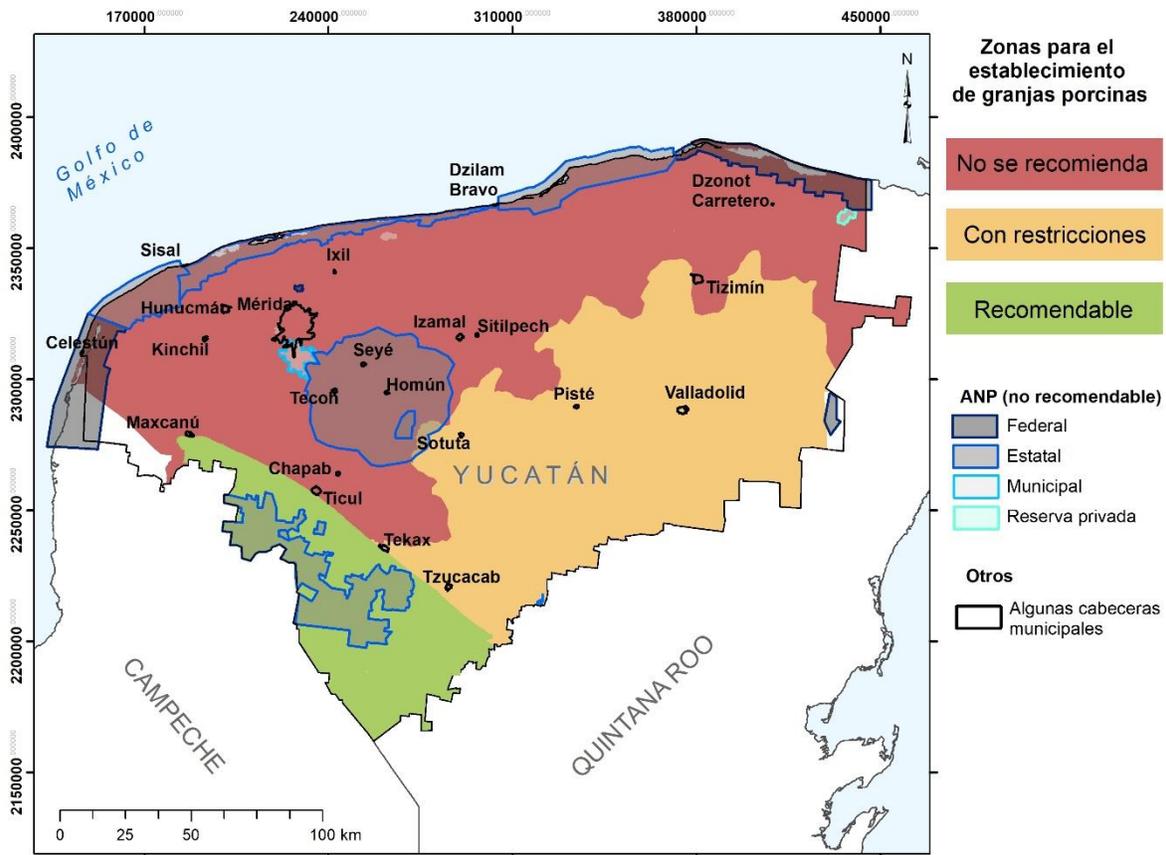


Figura 9. Zonas para el establecimiento de granjas porcícolas con un modelo sustentable.

CONCLUSIONES

El sistema de crianza de los cerdos que actualmente se realiza debe cambiar para hacerse sustentable, esto es, cambiar en varios rubros: el manejo de los desechos sólidos y líquidos de las granjas; propiciar el intercambio de productos, subproductos y desechos entre la agricultura y la ganadería; la selección ambiental de los mejores sitios (clima, relieve, suelos, acuíferos); conciliar el tipo de desarrollo con las comunidades humanas.

Las recomendaciones generales son las siguientes: a) disminuir la cantidad de agua a menos de un décimo, la separación de los residuos sólidos y líquidos; el tratamiento de los residuos; b) la utilización de los productos secundarios del tratamiento de los residuos en labores agrícolas, así como la incorporación de los productos agrícolas locales en la alimentación de los cerdos; c) la selección de los mejores sitios para la instalación de las granjas, sitios ambientalmente adecuados, lejos del agua subterránea, con precipitaciones moderadas o bajas, relieve tipo grandes uvalas o poljes, suelos profundos y arables, de los grupos

Vertisol, Luvisol, Nitisol; d) las granjas deben localizarse lejos de las ciudades, cabeceras municipales y localidades para garantizar el derecho de los niños y adultos a un ambiente limpio y sano; e) la generación de riqueza debe estar acompañada de justicia social, lo cual significa que la generación de riqueza no conlleve al intercambio de bajos salarios por mala salud, que en realidad contribuye al empobrecimiento de la gente.

Por otro lado, los gobiernos de la península de Yucatán deberán evitar la generación de conflictos ambientales señalando aquellos paisajes geográficos definitivamente no aptos para la cría de cerdos, como lo son: las áreas naturales protegidas, las zonas cercanas al acuífero como las planicies menores de 20 msnm, las zonas sin suelos de los grupos VR, LV, NT.

Otra tarea de gobierno será la promoción, mediante leyes, de la disminución de la extracción de los grandes volúmenes de agua subterránea, así como la promoción del tratamiento de las descargas de aguas residuales en concentraciones bajas de

contaminantes, es decir, leyes específicas para los paisajes kársticos.

Gobiernos de los tres niveles, granjeros y población en general deberán aprender a vivir sosteniblemente en el karst, lo que significa, respetar la legislación ambiental, comprender la alta fragilidad, vulnerabilidad y potencial de los paisajes geográficos kársticos, para la conservación de los ecosistemas y la salud pública de las generaciones actuales y futuras.

Funding. The PAPIIT DGAPA-UNAM provided financial support to the project IN 209218.

Conflict of interests. The authors have no conflict of interest to declare.

Compliance with ethical standards. The research presents original data that have not been submitted to other journals at the same time.

Data availability. Data are available from the corresponding author (leptosol@ciga.unam.mx) upon reasonable request.

REFERENCIAS

- Aguilar, Y. and Bautista, F., 2011a. Extrapolating the suitability of soils as natural reactors using an existing soil map: application of pedotransfer functions, spatial integration and validation procedures. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13, pp. 221-232.
<https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/810/577>
- Aguilar, Y., Bautista, F. and Díaz-Pereira, E., 2011b. Soils as natural reactors for swine wastewater treatment. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13, pp. 199-210.
<https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/815/576>
- Aguilar, Y., Bautista, F., Mendoza, M. and Delgado, C., 2013. Vulnerabilidad y riesgo de contaminación de acuíferos kársticos. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 16, pp. 243-263.
<https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/1808/826>
- Aguilar, Y., Bautista, F., Mendoza, M., Ihl, T. and Frausto, O., 2014. *Propuesta del IVAKY: índice de vulnerabilidad del acuífero kárstico yucateco a la contaminación*. En 10 Soluciones para el manejo sustentable del agua, Península de Yucatán. pp. 112-135. Fundación ICA, México D. F.
- Aguilar, Y., Bautista, F., Mendoza, M., Frausto, O. and Ihl, T., 2016a. Density of karst depressions in Yucatan state, México. *Journal of Studies of Cave and Karst*, 78, pp. 51-60.
<https://doi.org/10.4311/2015ES0124>
- Aguilar, Y., Bautista, F., Mendoza, M., Frausto, O., Ihl, T. and Delgado, C., 2016b. IVAKY: Índice de la vulnerabilidad del acuífero kárstico yucateco a la contaminación. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 15, pp. 913-933.
- Aguilar, Y., Bautista, F., Quintana, P., Aguilar, D., Trejo-Tzab, R., Goguitchaichvili, A. and Chan-Te, R., 2021. Color as a New Proxy Technique for the Identification of Road Dust Samples Contaminated with Potentially Toxic Elements: The Case of Mérida, Yucatán, México. *Atmosphere* 12(4): 483.
<https://doi.org/10.3390/atmos12040483>
- Álvarez, F.M., Rodríguez, B.J.C., Ciprián, C.A., Rodríguez, G.L., Ayora, T.G. and Segura, C.J.C., 2004. Perfil serológico del virus de influenza porcina, *Mycoplasma hyopneumoniae* y *Actinobacillus pleuropneumoniae* en granjas de Yucatán, México. *Veterinaria México*, 35, pp. 295-305.
- Ayora-Talavera, G., Cadavieco-Burgos, J. M. and Canul-Armas, A. B., 2005. Serologic evidence of human and swine influenza in Mayan persons. *Emerging Infectious Diseases*, 11, pp. 158-161.
<https://doi.org/10.3201/eid1101.040554>
- Bautista, F., Bautista, D. and Delgado, C., 2009. Calibration of the equations of Hargreaves and Thornthwaite to estimate the potential evapotranspiration in semi-arid and subhumid tropical climates for regional applications. *Atmósfera*, 22, pp. 331-348.
- Bautista, F., Palacio, G., Quintana, P. and Zinck, A., 2011. Spatial distribution and development of soils in tropical karst areas from the Peninsula of Yucatan, Mexico. *Geomorphology*, 135, pp. 308-321.

- <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.02.014>
- Bautista, F., Frausto, O., Ihl, T. and Aguilar, Y., 2015. Actualización del mapa de suelos del Estado de Yucatán México: Enfoque geomorfopedológico y WRB. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2, pp. 303-315.
- Bautista F. and Aguilar Y., 2021. Evaluación de la aptitud de tierras para el desarrollo de la porcicultura a escala regional en Yucatán, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24, pp. #34. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/3662/1565>
- Bautista, F., Pacheco, A. and Delgado, C., 2021. Evaluation of the quality of irrigation water using the Agriwater software. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8, e2636. <https://doi.org/10.19136/era.a8n2.2636>
- Borlée, F., Yzermans, C.J., Aalders, B., Rooijackers, J., Krop, E., Maassen, C.B.M. and Smit, L.A.M., 2017. Air pollution from livestock farms is associated with airway obstruction in neighboring residents. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 196, pp. 1152-1161. <https://doi.org/10.1164/rccm.201701-0021OC>
- Borlée, F., Yzermans, C.J., van Dijk, C.E., Heederik, D. and Smit, L.A.M., 2015. Increased respiratory symptoms in COPD patients living in the vicinity of livestock farms. *European Respiratory Journal*, 46, pp. 1605-1614. <http://doi.org/10.1183/13993003.00265-2015>
- Bouwman, L., Goldewijk, K.K., Van Der Hoek, K.W., Beusen, A.H.W., Van Vuuren, D.P., Willems, J., Rufino, M.C. and Stehfest, E., 2013. Exploring global changes in nitrogen and phosphorus cycles in agriculture induced by livestock production over the 1900–2050 period. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2013, 110, pp. 20882-20887. <https://doi.org/10.1073/pnas.1012878110>
- CE, 2018. Proposal for a regulation of the European parliament and of the council on minimum requirements for water reuse. COM (2018) 337.
- Collivignarelli, M.C., Abba, A., Alloisio, G., Gozio, E. and Benigna, I., 2017. Disinfection in wastewater treatment plants: evaluation of effectiveness and acute toxicity effects. *Sustainability*, 9, pp. 1704-1714. <https://doi.org/10.3390/su9101704>
- Corn, J., Cumbee, J.C., Barfoot, R. and Erickson, G.A., 2009. Pathogen exposure in feral swine populations geographically associated with high densities of transitional swine premises and commercial swine production. *Journal of Wildlife Diseases*, 45, pp. 713-721. <https://doi.org/10.7589/0090-3558-45.3.713>
- Chadwick, D., Wei, J., Yan'an, T., Guanghui, Y., Qirong, S. and Qing, Ch., 2015. Improving manure nutrient management towards sustainable agricultural intensification in China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 209, pp. 34-46. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.03.025>
- Cheng D., Hao Ngo, H., Guo, W., Woong Chang, S., Duc Nguyen, D., Liu, Y., Wei, Q. and Wei, D., 2020. A critical review on antibiotics and hormones in swine wastewater: Water pollution problems and control approaches. *Journal of Hazardous Materials*, 387, 121682. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.12.1682>
- CNDH, 2015. Derechos humanos de los pueblos indígenas en México. Comisión Nacional de los Derechos Humanos.
- CNDH, 2018. Declaración de las Naciones Unidas sobre los Derechos de los Pueblos Indígenas. Comisión Nacional de los Derechos Humanos.
- Cupul, F., Isaiah, D., Ortega, D., Cervantes, D. and Cejudo, E., 2021. Tendencias en la biogeoquímica del agua subterránea en la región agroindustrial del noreste de Yucatán. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24, pp. #11.

- <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/3551/1527>
- Delgado, C., Pacheco, J., Cabrera, A., Batllori, E., Orellana, R. and Bautista, F., 2010. Quality of groundwater for irrigation in tropical karst environment: The case of Yucatan, Mexico. *Agricultural Water Management*, 97(10): 1423-1433. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.04.006>
- Delgado, C., Bautista, F., Ihl, T. and Palma-López, D., 2017. Duración del período de lluvias y aptitud de tierras para la agricultura de temporal. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4, pp. 485-497. <https://doi.org/10.19136/era.a4n12.1320>
- Du, Y., Lv, X.T., Wu, Q.Y., Zhang, D.Y., Zhou, Y.T., Peng, L. and Hu, H.Y., 2017. Formation and control of disinfection by products and toxicity during reclaimed water chlorination: a review. *Journal of Environmental Sciences*, 58, pp. 51-63. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.01.013>
- Drucker, A., Escalante, R., Gómez, V. and Magaña, S., 2007. La industria porcina en Yucatán: un análisis de la generación de aguas residuales. *Problemas del Desarrollo*, 34, pp. 105-124. <http://dx.doi.org/10.22201/ieec.20078951e.2003.135.7505>
- Flores, S. and Bautista, F., 2012. Knowledge of the Yucatec Maya in seasonal tropical forest management: the forage plants. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83, pp. 503-518.
- FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura), 2020. *Programa alimentario carne de cerdo 2020*. FIRA, México, 28 pp.
- Garzón-Zúñiga, M.A. and Buelna, G., 2014. Caracterización de aguas residuales porcinas y su tratamiento por diferentes procesos en México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30, pp. 65-79.
- García, L., 2015. Tratamiento de agua residual porcina con presencia del antibiótico tilosina en un sistema anaerobio. Tesis de doctorado en Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Grain., 2009. Gripe porcina: un sistema alimentario que mata. *Ecología Política*, 37, pp. 114-118.
- Grael, C.E., Vera, I. and González, L., 2004. Dinámica de la interfase salina y calidad del agua en la costa nororiental de Yucatán. *Ingeniería*, 8(3): 15-25.
- Grael, C., Morris, L. and Carrillo-Rivera, J., 1999. Effects of urbanization on groundwater resources of Merida, Yucatan, Mexico. *Environmental Geology*, 37: 303-312. <https://doi.org/10.1007/s002540050388>
- Gutiérrez, A., 2019. Los derechos humanos de los pueblos indígenas en México. *Prolegómenos*, 22, pp. 137-156. <https://doi.org/10.18359/prole.3479>
- IUSS Working Group WRB, 2014. *World reference base for soil resources 2014*. Rome: FAO.
- Jia, W., Qin, W., Zhang, Q., Wang, X., Ma, Y. and Chen, Q., 2018. Evaluation of crop residues and manure production and their geographical distribution in China. *Journal of Cleaner Production*, 188: 954-965
- Kozari, A., Paloglou, A. and Voutsas, D., 2020. Formation potential of emerging disinfection by-products during ozonation and chlorination of sewage effluents. *Science of the Total Environment*, 700, 134449. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134449>
- Li, Z., Xinyao, L., Zhijun, H., Shaoyang, H., Junjie, W., Zongyao, Q., Jianfang, F., Qiming, X. and Tingting, G., 2019. Occurrence and ecological risk assessment of disinfection by products from chlorination of wastewater effluents in East China. *Water Research*, 157, pp. 247-257. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.03.072>
- Loftus, C., Yost, M., Sampson, P., Torres, E., Arias, G., Breckwich, V. and Karr, C., 2015. Ambient ammonia exposures in an agricultural community and pediatric asthma morbidity. *Epidemiology*, 26, pp. 794-801.

- <https://doi.org/10.1097/EDE.00000000000000368>
- López Herrera, M.A., Rivera-Lorca, J.A., Ortega-Reyes, L., Escobedo-Mex, J.G., Magaña-Magaña, M.A. Sanginés-García, J.R. and Sierra-Vázquez, A.C., 2008. Contenido nutritivo y factores antinutricionales de plantas nativas forrajeras del norte de Quintana Roo. *Técnica Pecuaria en México*, 46, pp. 205-215.
- Lu, Y., Song, Z., Wang, Ch., Liang, J., Xu, N., Hu, Q. and Wu, Q., 2021. Combination of high-resolution mass spectrometry and a halogen extraction code to identify chlorinated disinfection byproducts formed from aromatic amino acids. *Water Research*, 190, 116710. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116710>
- Mackenzie, S.G., Leinonen, I., Ferguson, N. and Kyriazakis, I., 2016. Can the environmental impact of pig systems be reduced by utilizing co-products as feed? *Journal of Cleaner Production*, 115, pp. 172-181. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.074>
- Marín, L.E., Birgit, S., Pacheco, J. and Escolero, O.A., 2000. Hydrogeology of a contaminated sole-source karst aquifer, Mérida, Yucatán, Mexico. *Geofísica Internacional*, 39(4): 359-365.
- Mosnier, E., van der Werf, H.M.G, Boissy, J. and Dourmad, J.Y., 2011. Evaluation of the environmental implications of the incorporation of feed-use amino acids in the manufacturing of pig and broiler feeds using Life Cycle Assessment. *Animal*, 5, pp. 1972-1983. <https://doi.org/10.1017/S1751731111001078>
- NORMA MEXICANA NMX-AA-83-1982. *Análisis de agua. determinacion de olor*. <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa083.pdf>
- Noya, I., Villanueva-Rey, P., González-García, S., Fernandez, M.D., Rodriguez, M.R. and Moreira, M.T., 2017. Life cycle assessment of pig production: a case study in Galicia. *Journal of Cleaner Production*, 142, pp. 4327-4338.
- <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.160>
- Orellana, R., Balam, M., Bañuelos, I., García, E., González-Iturbe, J., Herrera, F. and Vidal, J., 1999. *Evaluación climática*. In: García de Fuentes A, Córdoba J, Ordoñez Y, Chico Ponce de León PA (eds) Atlas de Procesos territoriales en Yucatán. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán. pp. 163-177.
- Pacheco, J., Cabrera, A. and Pérez, R., 2004. Diagnóstico de la calidad del agua subterránea en los sistemas municipales de abastecimiento en el Estado de Yucatán, México. *Ingeniería*, 8, pp. 165-179.
- Pérez-Ceballos, R., Canul-Macario, C., Pacheco-Castro, R., Pacheco-Ávila, J., Euán-Ávila, J. and Merino-Ibarra, M., 2021. Regional Hydrogeochemical Evolution of Groundwater in the Ring of Cenotes, Yucatán (Mexico): An Inverse Modelling Approach. *Water*, 13, 614. <https://doi.org/10.3390/w13050614>
- Pérez-Espejo, R.H. and Cervantes-Hernández, G.I., 2018. Estrategias de mitigación. El programa de biodigestores en Yucatán México. *Península*, 13, pp. 235-262.
- Polanco, A.G., Navarro, J.A., Solorio, J., Mena, G.L., Marrufo, J. and Del-Valls-Casillas T.A., 2015. Contamination by organochlorine pesticides in the aquifer of the Ring of Cenotes in Yucatán, México. *Water and Environment Journal*, 29, pp. 140-150. <https://doi.org/10.1111/wej.12080>
- Polanco, A.G. and Beilin, K., 2019. Toxic bodies: water and women in Yucatan. *Hispanic Issues On-Line*, 24, pp. 168-193.
- Polanco, A.G. and Álvarez F.J., 2021. *Water Pollution and Climate Change, Effect on Human Health*. En: R. Brears ,ed. The Palgrave Handbook of Climate Resilient Societies. Springer Nature Switzerland. pp. 1-21.
- Radon, K., Schulze, A., Ehrenstein, V., van Strien, R.T., Praml, G. and Nowak, D., 2007. Environmental exposure to confined animal feeding operations and respiratory health of neighboring residents.

- Epidemiology*, 18 pp. 300-308.
<https://doi.org/10.1097/01.ede.0000259966>
- Richards, L.A., 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. Handbook, USDA 60. Washington D.C., USA.
- Rojas-Schroeder, J.A., Sarmiento-Franco, L., Sandoval-Castro, C.A. and Santos-Ricalde, R., 2017. Utilización del follaje de Ramón (*Brosimum alicastrum* Swartz) en la alimentación animal. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20, pp. 363-371.
<https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/2501/1093>
- Sandoval, I. and Heredia, J.D., 2018. Caracterización fisicoquímica y direcciones de flujo del agua subterránea en la zona noroeste de la península de Yucatán. Realidad, datos y espacio. *Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 9, pp. 29-37.
- Sarmiento-Franco, L., Santos-Ricalde, R., Sandoval-Castro, C. and Torres-Acosta, J., 2021. Contribution of the FMVZ-UADY to the knowledge on feeding pigs, poultry and rabbits with tropical resources. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24, pp. #66.
<https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/3688/1608>
- Schiffman, S.S., Walker, J.M., Dalton, P., Lorig, T.S., Raymer, J.H., Shusterman, D. and Williams, M., 2000. Potential Health Effects of Odor from Animal Operations, Wastewater Treatment, and Recycling of Byproducts. *Journal of Agromedicine*, 7:1, 7-81,
https://doi.org/10.1300/J096v07n01_02
- Schmidt, CH.W., 2009. Las CAFO porcinas y la nueva influenza H1N1: separando los hechos de los temores. *Salud Pública de México*, 51, pp. 512-521.
- Smit, L.A. M. and Heederik, D., 2017. Impacts of intensive livestock production on human health in densely populated regions. *GeoHealth*, 1, pp. 272-277.
<https://doi.org/10.1002/2017GH000103>
- UNICEF, 2006. *Convención sobre los derechos del niño*. ONU.
- Villasuso-Pino M., Sanchez I., Canul-Macario, C., Casares-Salazar, R., Baldazo, J. and Poot, C., 2011. Hydrogeology and conceptual model of the karstic coastal aquifer in northern Yucatan state, Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13, pp. 243-260.
<https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/812/581>
- Wei, J., Wei, Q., Qiang, Z., Xuan, W., Yan, M. and Qing, C., 2018. Evaluation of crop residues and manure production and their geographical distribution in China. *Journal of Cleaner Production*, 188, pp. 954-965.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.300>
- Wei, S., Bai, Z.H., Qin, W., Xia, L.J., Oenema, O., Jiang, R.F. and Ma, L., 2016. Environmental, economic and social analysis of peri-urban pig production. *Journal of Cleaner Production*, 29, pp. 596-607.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.133>
- Westerman, P.W. and Bicudo, J.R., 2005. Management considerations for organic waste use in agriculture. *Bioresource Technology*, 96(2): 215-221,
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.05.011>.
- Wing, S., Avery, R., Marshall, S.W., Thu, K., Tajik, M., Schinasi, L. and Schiffman, S., 2008. Air pollution and odor in communities near industrial swine operations. *Environmental Health Perspectives*, 116, pp. 1362-1368.
<https://doi.org/10.1289/ehp.11250>
- Zhang, S., Wu, X., Han, D., Hou, Y., Tan, J., Kim, S., Li, D., Yin, Y. and Wang, J., 2021. Pork production systems in China: a review of their development, challenges and prospects in green production. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 8, pp. 15-24.
<https://doi.org/10.15302/J-FASE-2020377>

