

Johnston, Kevin

1997 Ecología agrícola tropical y el colapso Maya. En *X Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 1996* (editado por J.P. Laporte y H. Escobedo), pp.512-523. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala (versión digital).

40

ECOLOGÍA AGRÍCOLA TROPICAL Y EL COLAPSO MAYA

Kevin Johnston

¿Qué papel jugó la ecología de la producción agrícola tropical en el colapso de la civilización Clásica Maya? Muchos Mayistas se acogen a lo que yo llamaré el "modelo ecológico" del colapso. Otros modelos del colapso han sido propuestos, por supuesto, pero les discutiré. De acuerdo al modelo ecológico, el colapso fue un evento demográfico precipitado por una crisis ecológica, que, a su vez, fue el resultado de décadas, si no siglos, de cambio ambiental causado por el hombre. El cambio en el ambiente fue causado por la agricultura, la cual los agricultores practicaron cada vez en forma más intensiva en la medida que la población Clásica Maya se incrementaba. El "modelo ecológico", pues, identifica la causa primaria del colapso como inducida por una degradación ambiental precipitada por la presión de la población.

Si la degradación ambiental fue un factor importante en el colapso Maya, entonces es importante conocer el por qué el ambiente del bosque tropical se degradó cuando los agricultores intensificaron su producción. El problema es ecológico y requiere una respuesta ecológica. Los sistemas agrícolas son ecosistemas caracterizados por procesos distintivos o característicos de corrientes de nutrientes, la competencia entre especies y cambio dinámico. A pesar que sistemas tropicales semi-domesticados (Altieri 1995:5) continúan productivos para los agricultores debido a sus interacciones complejas con ecosistemas no domesticados, incluyendo el bosque. Para entender porqué los ambientes del bosque lluvioso se degradan cuando los agricultores intensifican la producción debemos entender, primero, la interacción ecológica entre el campo y el bosque y, segundo, la forma en la cual la intensificación altera dicha interacción.

El que esta degradación ambiental contribuyó al colapso Maya no puede ser negado. Los Mayistas están sin lugar a dudas correctos al creer que la degradación fue promovida por los cambios ecológicos traídos por la agricultura. Pero los Mayistas se han *equivocado* en su identificación de las causas de dichos cambios. Las ideas de los Mayistas sobre la ecología de la agricultura tropical están basados primariamente sobre la investigación conducida hace 30 a 80 años. Sin embargo, solo ha sido dentro de los últimos 15 años que los ecologistas han descubierto las razones *reales* de por qué los ambientes tropicales se degradan cuando los agricultores intensifican la producción.

Estos estudios, llevado a cabo en el Amazonas, Asia, el sur de Asia y en África, han revolucionado nuestro conocimiento de los procesos que limitan la productividad de los sistemas tradicionales de agricultura tropical. La mayor parte de Mayistas no está familiarizada con estos estudios, sin embargo, ellos tienen el potencial para redefinir nuestro entendimiento de las dinámicas ecológicas del colapso Maya. Estos nuevos estudios ecológicos son pertinentes a la arqueología Maya. ¿Por qué? Porque estos hallazgos no son consistentes con varias hipótesis centrales del modelo ecológico del colapso. Déjenme enfatizar que estos estudios no invalidan el modelo ecológico del colapso Maya, sino indican que el modelo ecológico del colapso está simplemente incompleto.

Este estudio tiene dos objetivos: (1) revisé la investigación nueva de hallazgos en la ecología de la producción agrícola tropical y (2) describí las implicaciones de estos hallazgos para los modelos

arqueológicos del colapso. Dividí mi discusión en dos secciones. En la primera sección, examiné el modelo ecológico tradicional del colapso Maya, el cual se centra en dinámicas ecológicas dentro del campo agrícola.

En la segunda sección argumento que la dinámica ecológica más significativa del colapso fue motivada por la fragmentación del bosque. Esta fragmentación afectó la dinámica de interacción ecológica entre el campo y el bosque, que a su vez afectó adversamente (negativamente) la capacidad de los campos para recuperar su fertilidad bajo la presión agrícola.

Con estos puntos en mente, hago preguntas que difieren de aquellas preguntadas por los Mayistas en el pasado. En lugar de preguntar, ¿Cuáles son los límites numéricos para el crecimiento de la población en los bosques lluviosos Mayas?, esto es, cuál es su capacidad, yo pregunto, ¿Por qué hay límites en el crecimiento de la población en el bosque tropical? En lugar de preguntar ¿Qué pasó, ecológicamente hablando, cuando esos límites sobrepasaron su capacidad de producción?, yo pregunto, ¿Qué pasó ecológicamente cuando esos límites fueron sobrepasados? Al hacer estas preguntas ecológicas, yo estoy tratando de contestar una pregunta arqueológica: ¿Qué procesos ecológicos promovieron la degradación ambiental del Clásico Tardío y cómo puede contribuir una mejor comprensión de estos procesos a nuestro conocimiento arqueológico del colapso Maya, sus causas y sus consecuencias? Al adoptar la nueva perspectiva de la ecología tropical, los Mayistas ganan una perspectiva del mundo antiguo que en años anteriores no era accesible.

ECOLOGÍA TROPICAL Y PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

Déjenme comenzar con un rápido repaso de la ecología tropical básica, agricultura tropical y su relación entre la dinámica de población y la producción agrícola. Como ustedes saben, los ecosistemas tropicales son frágiles y distintivos. En un bosque tropical húmedo, tal como lo es el de Petén, los nutrientes se encuentran no en los *suelos*, como en los ambientes templados (tales como en el altiplano guatemalteco), sino en la *vegetación* que sostiene el suelo. Los suelos de los bosques tropicales contienen muy bajas concentraciones de nutrientes. Debido a que los nutrientes se encuentran en la cubierta del bosque, los humanos adquieren estos nutrientes al botar y secar la vegetación, quemándola y soltando estos nutrientes en la forma de ceniza. Esta forma de agricultura es conocida como *roza*.

Después del primer o segundo año de cultivo, la productividad de los campos de milpa decae severamente. Debido a que el grupo de nutrientes requeridos para la agricultura residen en el bosque, los agricultores deseosos de restaurar la fertilidad de sus campos deben de dejarles descansar. Durante este descanso, las plantas crecen y la cubierta regresa a los bosques. Dependiendo de la topografía, hidrología y la estructura y química del suelo, los campos deben descansar por 3 a 7 años por cada año de cultivo. Para cada campo que esté bajo cultivo, entonces, los agricultores deben de tener a su disposición 3 a 7 campos en descanso. Si este ciclo de descanso no se mantiene, la fertilidad del campo baja. Las limitaciones productivas del cultivo de *milpa* afecta el tamaño de la población.

Al mismo tiempo que la población crece, progresivamente una mayor cantidad de alimentos debe ser producida para alimentarla. En las sociedades no industriales, como lo eran los antiguos Mayas, el suplemento de comida agrícola puede ser incrementado en dos formas. Si la densidad de la población es baja y hay suficiente cantidad de tierra para la colonización, los agricultores pueden incrementar la producción a través de la extensión: la expansión de la frontera agrícola al abrir nueva tierra. Si la tierra no es accesible para la colonización, la producción solo puede incrementarse a través de la *intensificación*: aplicación de más unidades de trabajo o material por unidad de tierra como medio para incrementar el cultivo por unidad de tierra. La intensificación es típica de densidades altas de población, la extensiva de bajas densidades.

El grado al cual la intensificación y extensión son sostenibles es determinado por una compleja relación entre el ambiente, la agricultura y la población. Para entender esta relación, los arqueólogos

emplean el término capacidad de sostén, el cual es definido como el número máximo de personas que pueden sostenerse a un determinado nivel de obtención de alimentos dentro de un ambiente específico (Hassan 1978:71).

Si los agricultores tropicales intensifican la producción más allá de la capacidad del suelo, el ambiente se deteriora y la producción agrícola declina. Reducciones precipitadas en la capacidad de sostén deben ser acompañadas de reducciones en el tamaño de la población o en la densidad. Las poblaciones que no se reducen cuando la capacidad de sostén decae deben de emigrar a tierras más productivas o enfrentar el hambre y la enfermedad. De acuerdo a información arqueológica y paleoecológica, el colapso del Clásico Maya fue un proceso de degradación ambiental y reducción en la población. Muchos arqueólogos concluyen, que la población Maya colapsó debido a que sobrepasaron su capacidad de sostén.

EL "MODELO ECOLÓGICO" DEL COLAPSO MAYA

La información de asentamientos indica que la población Maya decreció en tamaño en forma constante tanto en tamaño como en densidad a través de los periodos Preclásico y Clásico (Culbert y Rice 1990). La densidad de la población alcanzada durante el periodo Clásico Tardío es verdaderamente asombrosa. La información revisada por Culbert y Rice (1990) sugiere que la densidad de la población rural de las Tierras Bajas promediaba 135 a 260 personas por km², la densidad de la población urbana tenía un promedio de 900 personas por km² y las Tierras Bajas Centrales (definidas como un área de 30,000 km²) mantenía una población entre 2.6 y 3.4 millones de gente. Si estos estimados son exactos, la densidad de la población Maya fue una de las más grandes jamás tenidas por sociedades pre-industriales.

La mayoría de los agricultores Mayas probablemente practicaron lo que McAnany (1995:110) llama agricultura de roza en campos fijos (*fixed-plot, variable fallow farming*). En este sistema, los Mayas combinaron huertos y uso intensivo de campos de milpa. Alguna producción intensificada Maya por construcción de campos elevados, terrazas y laderas y otros. La agricultura practicada en estos campos mejorados fue predominantemente intensiva en quema.

El crecimiento poblacional colocó grandes presiones sobre la base agrícola de la sociedad Maya. En la medida que la población creció, más y más bosque fue cortado para la agricultura. De acuerdo a los estimados de algunos arqueólogos (Whitmore *et al.* 1990:35), en el punto más alto en densidad de la población Maya, los agricultores habían cortado o alterado significativamente el 75% del bosque de la Tierra Baja. A medida que la densidad poblacional se incrementó, la cantidad de tierra accesible por agricultor para el cultivo disminuyó, esto significó que la cantidad de tierra accesible para descanso decreció también. Enfrentados con un radio de tierra que disminuía para el cultivo, los agricultores Mayas no tuvieron más remedio que intensificar la producción.

Los Mayas tuvieron a su disposición tres medios para intensificar la producción. Primero, ellos podían reducir el periodo de descanso. Segundo, podían incrementar el número de años en los cuales un campo fue utilizado exitosamente en la cosecha. O, tercero, podían mejorar la tierra a través de terracedo, irrigación y otras mejoras. De cara a un crecimiento poblacional, ninguna de estas prácticas fue sustentable. Como Thomas Malthus señaló hace mucho tiempo, el tercer paso - intensificación agrícola a través de innovación tecnológica - es eventualmente casi siempre considerado obsoleto por un crecimiento poblacional continuo. Similarmente, las primeras dos prácticas, reducir el descanso e incrementar años sucesivos de siembra - incrementan la productividad a corto plazo pero decrece a largo plazo ya que degradan el ambiente. La degradación ambiental, por supuesto, era el resultado de la intensificación practicada entre los Mayas Clásicos. El registro paleoecológico (Rice 1993) indica que la deforestación y la agricultura intensiva fueron acompañados de erosión, filtración de los nutrientes del suelo y disminución de los recursos lacustres.

A un cierto punto en el proceso de intensificación, el incremento puesto en el trabajo agrícola produjo un decrecimiento del rendimiento en la cosecha (Livi-Bacci 1992:74-79). Entre más intensiva fue la forma en que los Mayas buscaron extraer alimentos de sus campos, más empeoró su situación. El incremento de falta de tierra y recursos de alimentos fue asociado con un incremento en la competencia entre entidades políticas, incluyendo la guerra. Eventualmente los conflictos entre entidades políticas, provocaron la pérdida de recursos de flora y fauna, disminuyó su productividad agrícola y se provocó un deterioro ambiental y enfrentaron presión nutricional, todos estos factores juntos causaron el colapso Maya (Morley 1920; Santley, Killion y Lycett 1986; Culbert 1988; Rice 1993; Sanders y Webster 1994).

El "modelo ecológico" sugiere que dos fenómenos contribuyeron significativamente al colapso: (1) presión poblacional y (2) la tendencia del sistema de agricultura Maya de perder productividad bajo condiciones de intensificación. El primer fenómeno, por supuesto, precipitó al segundo. Pero, ¿por qué esta productividad de la tierra disminuyó en lugar de incrementarse cuando la agricultura fue intensificada? Esta pregunta es el punto clave del debate concerniente al deterioro ambiental y a la sostenibilidad de la sociedad Maya antigua. Reconociendo su importancia, los Mayistas y otros científicos han investigado este problema por casi 100 años. Estos científicos se han preguntado: ¿Cuál es la razón exacta para que los campos sometidos a la quema y roza declinaran durante el segundo año de producción? ¿Cómo se restaura la fertilidad de los campos al no cultivarlos?

INVESTIGACIONES PREVIAS SOBRE EL DECLIVE DE LA ACTIVIDAD PRODUCTIVA

A pesar que la ciencia de la ecología tropical ha cambiado grandemente en las décadas recientes, el pensamiento Mayista sobre las dinámicas ecológicas del colapso continúa siendo tomado de las investigaciones realizadas hace más de 40 años (Santley, Killion y Lycett 1986:130-131; Culbert 1988:98). Pocos Mayistas están concientes de los orígenes históricos de estas interpretaciones apoyados por estudios ecológicos.

Uno de los científicos tempranos más influyentes es O.F. Cook (1909), quien durante las primeras dos décadas de este siglo estudió los efectos ecológicos de la agricultura de la milpa Maya. Según Cook, la producción agrícola disminuye por la invasión de mala hierba en los campos de siembra y propone que los sistemas de milpa son la causa de su propia destrucción. Esta destrucción es tan severa que algunos campos abandonados no pueden ser cultivados nuevamente en décadas y aun siglos. El Instituto Carnegie financió un programa grande de estudios Mayas y los directores Sylvanus Morley (1920) y más tarde Alfred Kidder (1930), fueron influenciados por la teoría de Cook. 1930 hasta los cincuenta ellos dedicaron bastantes recursos a la investigación del problema de la pérdida de fertilidad de los suelos. Científicos empleados por la Carnegie en este esfuerzo incluyeron al biólogo Cyrus Lundell (1933, 1937) y a los agrónomos Robert Emerson y Joseph Kempton (1935), quienes estuvieron de acuerdo en ocho años sin darle descanso a la tierra en un campo en Chichen Itza. Sin embargo, no pudo determinar si la pérdida de fertilidad de los campos fue causada por la invasión de la mala hierba, por la pérdida de los nutrientes del suelo, o por un factor microbiológico. El agrónomo Joseph Hester (1952, 1953, 1954) concluyó que la invasión de mala hierba, la pérdida de nutrientes del suelo y la erosión causaron el deterioro de la tierra. Durante los años 60, la especialista en suelos Ursula Cowgill (1962), confirmó que la quema de los campos de milpa afectaba negativamente la accesibilidad de los nutrientes del suelo. Pero ella no pudo explicar el por qué la misma disminuía cuando los campos eran cultivados.

Según estas investigaciones, la productividad decrece después del segundo año de cultivo de milpa debido a tres procesos ecológicos: pérdida de los nutrientes del suelo, competencia de la mala hierba y plaga de insectos. Los Mayistas aceptaron estas conclusiones y aún hoy son citados frecuentemente en las explicaciones sobre el colapso. De acuerdo al modelo ecológico del colapso, la tierra deforestada y cultivada intensamente se deterioraba debido a que los suelos, expuestos al calor y al sol intenso, se volvían compactos e impenetrables, se erosionaban y perdían sus nutrientes, los

cuales eran lavados. Al bajar el nivel de reforestación, lo cual es la razón por la cual la fertilidad de los campos es restituida, estos procesos contribuyeron a una reducción continua de la productividad agrícola.

Este deterioro progresivo del ambiente coincide con la información arqueológica y paleoecológica. Pero juzgando desde el punto de vista de los estudios de ecología tropical moderna, el panorama está incompleto. Los estudios recientes de ecología tropical confirman que los campos cultivados en forma intensiva pierden su fertilidad y son invadidos por mala hierba. Pero estos dos procesos no son la causa del deterioro del suelo. Por el contrario, son simplemente expresiones de un proceso ecológico mayor que es la verdadera causa del deterioro del mismo. Para entender este proceso y su efecto en la producción agrícola Maya, debemos cambiar nuestro enfoque sobre la ecología de campos agrícolas a la dinámica de interacción ecológica entre los campos y bosques. Para poder entender la trayectoria del colapso Maya, debemos primero entender esta unión.

ESTUDIOS RECIENTES SOBRE LA ECOLOGÍA DE LA AGRICULTURA TROPICAL

El estudio que voy a describir fue conducido en la cuenca del Amazonas durante los últimos 5 años por el Dr. Chris Uhl, un ecologista tropical de la Universidad Estatal de Pennsylvania y varios de sus colegas (Uhl, Clark y Marquirino 1982; Uhl 1987; Uhl, Buschbacher y Serrao 1988). Su investigación estudia la ecología de la agricultura tropical tradicional y los procesos que perturban la ecología de los bosques tropicales. Varios estudios independientes en Asia, el sur de Asia y África confirman las interpretaciones de estos científicos (Riswan y Kartawinata 1991; Riswan y Abdulhadi 1992).

Uhl y sus colegas concluyeron que los campos de siembra tropicales no se deterioran debido a la reducción de acumulación de nutrientes del suelo, invasiones de plantas e insectos. El deterioro de los campos está acompañado de estos procesos, pero los mismos no son la causa principal de su declive. Como es muchas veces el caso en la ciencia, debemos ser cuidadosos para distinguir entre una asociación de factores y la verdadera causa.

Es así como muchos ecologistas tropicales vieron la ecología de la producción agrícola y deterioro de los campos. Yo empecé examinando la hipótesis del declive de nutrientes y la degradación del suelo bajo cultivo. Carl Jordan (Jordan y Herrera 1981) propone y muchos ecologistas están de acuerdo (Nye y Greenland 1964; Denevan 1971; Harris 1971; Brinkmann y Nascimento 1973; Zinke *et al.* 1978), que en los ambientes tropicales alrededor del mundo el botar árboles de los bosques y cultivar la tierra no resulta en una pérdida significativa de los nutrientes del suelo. Los niveles de nutrientes se incrementan después de talar árboles y de la quema y decrecen solamente un poco durante el cultivo. Los niveles de nutrientes permanecen altos a través del periodo de cultivo. Aún después de varios años de cultivo, la cantidad de nutrientes en el suelo es varias veces mayor de los que se necesita para cultivar otra siembra. Los ecologistas concluyen que los agricultores no abandonan sus campos debido a la pérdida de los nutrientes del suelo.

¿Por qué entonces, las reservas de los nutrientes del suelo declinan solo un poco al mismo tiempo que los cultivos declinan dramáticamente? Los ecologistas han descubierto recientemente que el declive del cultivo es paralelo al declive en la accesibilidad de los nutrientes -- particularmente a la del fósforo, el cual es vital para el cultivo. La quema y el cultivo afecta la accesibilidad del nutriente y por lo tanto la productividad de los campos en formas complejas. Una de las principales fuentes de nutrientes después del primer año de cultivo es la descomposición de la materia orgánica.

Una de las principales fuentes de nutrientes después de un año de cultivo es la materia orgánica en descomposición - troncos de árboles, ramas, etc. Varios años de quema seguidos destruyen las reservas de los campos de esta materia orgánica que se encuentra en la superficie. Tal vez debido a que altera el pH, la materia orgánica descompuesta transforma el fósforo en una forma que puede ser absorbida por las siembras. Un incremento en la accesibilidad del fósforo estimula la accesibilidad del nitrógeno, el cual es otro nutriente requerido por las siembras. El declive de la productividad, en otras

palabras, no es causada por el declive en la acumulación de nutrientes, sino por un cambio en la proporción de los mismos.

En la medida en que la accesibilidad de los nutrientes disminuye la producción también disminuye. Al mismo tiempo, la mala hierba se incrementa debido a que éstas se adaptan a suelos pobres en nutrientes. Cuando los campos se dejan descansar después de 2 a 3 años de cultivo, el bosque se regenera. Pero cuando un agricultor cultiva el campo en forma consecutiva, la mala hierba impide la restauración del bosque. Esto se da debido a que la mala hierba tiene ciclos reproductivos rápidos y depositan las semillas en los campos durante los intervalos de limpieza de mala hierba (Uhl, Nespstad, Buschbacher, Clark, Kufman y Subler 1990:33). Mientras que los árboles crecen más despacio y tienen ciclos reproductivos más largos, por lo tanto, no tienen tiempo para producir semillas entre limpiezas. Esto significa que el agricultor puede eliminar de los campos de cultivo las especies del bosque (Uhl, Clark, Clark y Marquirino 1982:254; Uhl 1987:400).

Estos procesos ilustran un importante punto en la ecología de la agricultura tropical. Cuando hablamos sobre productividad agrícola, nos estamos refiriendo a dos fenómenos ecológicos distintivos. El primero es la fertilidad, que se refiere a la capacidad productiva de un campo del momento. Como hemos visto, la fertilidad es determinada por la accesibilidad de los nutrientes y ésta por la superficie ecológica de los campos, la que a su vez está determinada por el ciclo de descanso. El segundo fenómeno es la regeneración potencial, el cual se refiere a la capacidad productiva futura del campo (Nepstad, Uhl y Serrao 1991:249). El potencial de regeneración es el potencial del descanso, este es la clave para la sostenibilidad agrícola. Recuerden que el descanso es un proceso de reforestación y la reforestación restaura el conjunto de nutrientes que hacen la agricultura tropical posible. El potencial de regeneración y fertilidad, en otras palabras, son un fenómeno profundamente interrelacionado, ya que para restaurar la fertilidad a un suelo, el potencial de regeneración debe ser mantenido. Cualquier acción que interrumpa o vuelva lenta la reforestación afecta negativamente la restauración de la fertilidad del suelo.

¿Qué procesos ecológicos gobiernan el potencial de regeneración de los suelos? En los campos cultivados, el potencial para que un bosque vuelva a crecer está determinado primeramente por la presencia de semillas, raíces y retoños (Uhl 1987:390-93; Uhl, Clark, Clark y Marquirino 1982:254). Después de cada quema, las raíces y las semillas germinan y si se les permite crecer eventualmente restaurarán el bosque. En un bosque no perturbado cada metro cuadrado de suelo contiene entre 200 y 1000 semillas de árboles (Uhl, Nepstad, Buschbacher, Clark, Amufan y Subler 1990:29). Las semillas permanecen en el suelo después de su cultivo, así como las raíces de las plantas del bosque que depositaron las semillas. En estas semillas y raíces se encuentra un bosque durmiendo. Como hemos visto, limpieza de mala hierba puede extenuar a esta bodega de semillas enterradas, al igual que las quemaduras repetidas. En los campos se encuentran enterradas las semillas de especies primarias - plantas de crecimiento rápido que se especializan en tomar áreas perturbadas (Uhl, Nepstad, Buschbacher, Clark, Amufan y Subler 1990:29). Estas semillas son pequeñas, no están enterradas profundamente y se queman cuando un agricultor quema su campo por tres o más años. Al quemar los campos, el agricultor quema la reserva de semillas y restos de raíces de árboles del bosque. Una vez estas raíces y semillas se van, el potencial regenerador del campo se ve reducido y este se reforestará muy lentamente.

Los campos y los bosques están dinámicamente interrelacionados. Un campo cultivado carece de bancos de semillas y las raíces pueden recuperar su fertilidad solamente a través de lluvia de semillas y portadores (Uhl 1987:400). Las lluvias de semillas se dan cuando un bosque junto a un campo suelta sus semillas dentro de éste. Generalmente solo el borde del campo adyacente al bosque es afectado (Uhl, Clark, Clark y Marquirino 1982:254). En los bosques tropicales, los portadores principales de semillas son los pájaros y murciélagos que comen frutas, quienes tiran las semillas mientras están comiendo la fruta o lo pasan a través de su sistema digestivo (Cardoso da Silva, Uhl y Murray, en prensa). Los pájaros y los murciélagos viven en los bosques y no son dados a volar a campos sin árboles (Uhl, Buschbacher y Serrao 1988:677). Sin embargo, a medida que un campo agrícola crece, la

posibilidad de que su reserva de semillas sea restaurada disminuye. Un campo que ha sido cultivado continuamente y no está junto a un bosque, eventualmente perderá su potencial de regeneración.

En la medida que la población crece, la agricultura se extiende, un bosque es dividido y se vuelve cada vez más pequeño. Con el tiempo, estos fragmentos de bosques se convierten en islas o en un mar de cultivos. Las especies animales y de plantas que habitan estos pequeños espacios de bosque se vuelven cada vez más aislados y su reproducción es cada vez más difícil (Bierregaard *et al.* 1992; Mann y Plummer 1995). Entre más pequeños y más aislados son estos fragmentos de bosque, disminuyen las posibilidades que los campos adyacentes puedan ser restaurados con lluvia de semillas o portadores. Sin embargo, en la medida que crece un campo agrícola, necesita más de estas semillas para ser restaurado. No es sorprendente que grandes extensiones de campos en receso pierdan su habilidad de restauración. Los campos seriamente dañados en su potencial de regeneración pierden su capacidad para ser utilizados en la agricultura. Si esto es cierto, los agricultores Mayas cortaron y alteraron por lo menos un 75% del bosque (Whitmore *et al.* 1990), por lo tanto este bosque debe haber sido severamente fragmentado.

Los bosques tropicales fragmentados pueden eventualmente morir. Esto es un efecto de la distribución de especies, las cuales están sumamente dispersas. Al estar dispersas están protegidas de daño provocado por insectos y enfermedades. Los espacios entre los miembros individuales de especies, son lo suficientemente grandes para impedir el movimiento de especies que les dañan, pero no tan grande como para impedir la polinización por animales e insectos, la cual es la forma en que las plantas tienen contacto y se reproducen. En el trópico, los principales polinizadores de plantas son los pájaros y los murciélagos, a ninguno de estos animales les gusta cruzar campos abiertos. La fragmentación de los bosques y los campos de cultivo grandes, pueden tener dos efectos ecológicos destructivos. Por un lado puede impedir la reforestación de campos abandonados, así como también la reproducción de plantas que se encuentran en estos bosques (Laurance 1991). Los dos procesos interactúan. Debido a su efecto en la reforestación, una degradación de estos bosques fragmentados puede eventualmente resultar en degradación de los campos de cultivo.

La deforestación y/o la fragmentación del bosque, pueden afectar adversamente la producción agrícola. La información climatológica indica que la deforestación puede ocasionar un cambio en el clima (Potter *et al.* 1975; Lawson 1986; Meher-Homji 1988, 1991; Lean y Warrilow 1989; Shukla, Nobre y Sellers 1990; Salati y Nobre 1991). La severidad del efecto y su distribución espacial está correlacionada con el tamaño del área deforestada. En muchos bosques tropicales, por lo menos un 50% de la humedad que circula como lluvia es reciclada en la atmósfera a través de la evaporación del suelo y de la evapotranspiración de plantas (Oyebande 1988:21-23). El suelo expuesto por largos periodos de tiempo al sol y al calor pierde la humedad de la superficie por la evaporación y la evaporación se incrementa sobre terreno deforestado debido al rápido ascenso del aire caliente. De esta manera, el abastecimiento de humedad de las áreas deforestadas es gradualmente sustraído. Además, la capacidad del suelo para absorber la humedad decrece grandemente debido al incremento de dureza de la superficie y la pérdida de permeabilidad. Estos procesos afectan negativamente la precipitación, las áreas deforestadas que pierden su suplemento de humedad pueden no regenerarse jamás.

La deforestación también afecta la evapotranspiración de las plantas, ya que cuando el bosque ha sido deforestado, el total de la transpiración de las plantas disminuye (Oyebande 1988:20-23). El resultado puede ser un cambio en la periodicidad de la lluvia. En algunos casos, la época seca se vuelve más larga (Shukla, Nobre y Sellers 1990:1324-25). En otros casos llueve con menos frecuencia pero más torrencialmente, esto incrementa el problema de la erosión. Cuando el aire se lleva con el polvo dentro de la atmósfera, esto puede más adelante inhibir la precipitación. La evidencia sugiere que los efectos climatológicos de la deforestación pueden ser localizados, por ejemplo, afectando partes de valles de ríos o aún secciones de un solo escarpado.

La alteración de la lluvia afecta tanto a los campos como a los bosques. No solo las siembras son afectadas negativamente. Cuando los bosques están fragmentados, la precipitación decrece y más adelante puede agravar la sostenibilidad de los bosques fragmentados. Interacciones complejas pueden emerger entre estos bosques fragmentados que se encogen en la medida que los campos de cultivo crecen y los campos cuya continua productividad depende de la sobrevivencia de los mismos. En la medida que los bosques y los campos de cultivo se secan, se vuelven cada vez más susceptibles a incendios incontrolables, los cuales pueden reducir su productividad e integridad ecológica (Uhl, Buschbacher y Serrao 1988: 677).

Debido a que la regeneración de los bosques es la base para la agricultura tropical, cuando los agricultores incrementan sus campos más allá de cierto tamaño o convierten al bosque en pequeños fragmentos, ellos arriesgan las bases de su subsistencia. Como los paleoecólogos señalan, los cambios provocados por la degradación ambiental pueden ser acumulativos y pueden fallar en anticipar algún efecto ecológico más destructivo de la agricultura intensiva. A pesar que los agricultores están concientes de la degradación de su ambiente, ellos no son capaces de pararlo. La necesidad de alimentos de la población puede permanecer alta al mismo tiempo que la capacidad de sostenimiento decrece debido a la degradación del ambiente. El caso de la población Clásica Maya ilustra dramáticamente que el resultado puede ser un desastre.

IMPLICACIÓN DEL COLAPSO MAYA

Después de revisar los hallazgos de investigaciones ecológicas tropicales recientes, debemos regresar a la pregunta propuesta al principio de mi ponencia: ¿Qué es lo que la investigación moderna de la ecología tropical nos dice acerca de la posible dinámica del Colapso Maya? Permítanme reiterar las mayores implicaciones de esta investigación.

Lo más probable es que a medida que la población Maya Clásica creció en tamaño, la agricultura se convirtió en extensiva, los campos se expandieron y el bosque disminuyó. Una vez que la frontera agrícola desapareció, los agricultores se vieron obligados a intensificar su producción y los últimos remanentes del bosque se fragmentaron aún más. Debido a la fragmentación del bosque, a la expansión del tamaño del campo y a la intensificación de la producción, el tiempo de descanso de los campos fue reducido, las reservas de semillas y raíces fueron removidas de los campos y la reforestación disminuyó progresivamente.

El resultado fue un decrecimiento gradual en la productividad de los campos acompañado por una creciente demanda de alimento. A juzgar por los perfiles de población examinados por Culbert y Rice (1990), el crecimiento de la población Maya continuó hasta el final del periodo Clásico Tardío, después del cual su ritmo o escala de crecimiento sufre una caída intempestiva. A pesar que el declive en productividad debió haber comenzado un siglo antes del Colapso, no fue inmediatamente equiparado por el declive en el tamaño de la población. Un ambiente presionado de la forma en que hemos descrito pudo haber perdido su capacidad de mantener la agricultura en una forma rápida y dramática. Los procesos ecológicos que he descrito hoy son consistentes con el tipo de colapso, en el que los intentos Mayas para resolver su emergencia agrícola simplemente hicieron que empeorara su situación, lo cual es la última ironía del Colapso.

Lo que yo he descrito ahora son simplemente los lineamientos más amplios de varios procesos ecológicos que pudieron haber contribuido al colapso. Si vamos a entender las dinámicas del colapso, debemos entender más claramente su fundamento ecológico. El colapso fue precipitado por procesos ecológicos complejos interrelacionados que involucraron tanto el campo como el bosque. La clave al pasado, en otras palabras, existe parcialmente en el presente. Nuestros estudios a largo plazo, procesos de gran escala evidenciados en registros arqueológicos y paleoecológicos deben ser acompañados por estudios de corto plazo, procesos de pequeña escala visibles en el presente. Solo si adoptamos una

perspectiva multi-disciplinaria llegaremos a una mejor comprensión de lo que sucedió cultural y ecológicamente antes, durante y después del Colapso Maya.

REFERENCIAS

Altieri, Miguel

1995 *Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture*. Westview Press, Boulder.

Bierregaard, Richard O., Thomas Lovejoy, Valerie Kapos, Angelo A. dos Santos y Roger Hutchings

1992 The Biological Dynamics of Tropical Rainforest Fragments. *Bioscience* 42 (11):859-866.

Brinkman, W. L. y J. C. Nascimento

1973 The Effect of Slash and Burn Agriculture on Plant Nutrients in the Tertiary Region of Central Amazonia. *Acta Amazonica* 3:55-61.

Cardoso da Silva, Jose, Christopher Uhl y Gregory Murray

e.p. Plant Succession, Landscape Management, and the Ecology of Frugivorous Birds in Abandoned Amazonian Pastures. Manuscrito, Department of Biology, Pennsylvania State University.

Cook, Orator F.

1909 *Vegetation Affected by Agriculture in Central America*. Bureau of Plant Industry Bulletin, No.145. U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.

Cowgill, Ursula M.

1962 An Agricultural Study of the Southern Maya Lowlands. *American Anthropologist* 64:273-286.

Culbert, T. Patrick (ed)

1988 The Collapse of Classic Maya Civilization. En *The Collapse of Ancient States and Civilizations* (editado por N. Yoffee y G. Cowgill):69-101. University of Arizona Press, Tucson.

Culbert, T. Patrick y Don S. Rice (ed)

1990 *Pre-Columbian Population History in the Maya Lowlands*. University of New Mexico Press, Albuquerque.

Denevan, W. M.

1971 Camp Subsistence in the Gran Pajonal, Eastern Peru. *Geographical Review* 61: 496-518.

Emerson, Robert A. y Joseph H. Kempton

1935 Agronomic Investigations in Yucatan. *Carnegie Institution of Washington Yearbook* 1935, 34:138-142.

Harris, D.R.

1971 The Ecology of Swidden Cultivation in the Upper Orinoco Rain Forest, Venezuela. *Geographical Review* 61:475-495.

Hassan, Fekri A.

1978 Demographic Archaeology. En *Advances in Archaeological Method and Theory*, Vol.1 (editado por M. Schiffer):49-103. Academic Press, New York.

Hester, Joseph A., Jr.

1952 Agriculture, Economy, and Population Densities of the Maya. *Carnegie Institution of Washington Yearbook* 1952, 51:266-271.

- 1953 Agriculture, Economy, and Population Densities of the Maya. *Carnegie Institution of Washington Yearbook 1953*, 52:288-292.
- 1954 *Natural and Cultural Bases of Ancient Maya Subsistence Economy*. Tesis Doctoral, University of California, Los Angeles.
- Jordan, Carl F. y R. Herrera
1981 Tropical Rain Forests: Are Nutrients Really Critical? *American Naturalist* 117:167-180.
- Kidder, Alfred V.
1930 Annual report of the Chairman, Division of Historical Research. *Carnegie Institution of Washington Yearbook 1930*, 29:91-119. Washington, D.C.
- Laurance, William F.
1991 Edge Effects in Tropical Forest Fragments: Application of a Model for the Design of Nature Reserves. *Biological Conservation* 57: 205-219.
- Lawson, T. L
1986 Deforestation and Induced Changes in Meso/Micro-Climate. En *Land Clearing and Development in the Tropics* (editado por R. Lal, P. Sanchez y R. Cummings):195-202. Balkema, Rotterdam.
- Lean, J. y D. Warrilow
1989 Simulation of the Regional Climatic Impact of Amazon Deforestation. *Nature* 342 (2):411-413.
- Livi-Bacci, Massimo
1992 *Concise History of World Population*. Blackwell, Cambridge.
- Lundell, Cyrus C.
1933 The Agriculture of the Maya. *Southwest Review* 19:65-77.
- 1937 *The Vegetation of the Peten*. Carnegie Institution of Washington, Pub.478. Washington, D.C.
- Mann, Charles C. y Mark L. Plummer
1995 Are Wildlife Corridors the Right Path? *Science* 270 (1):1428-1430.
- McAnany, Patricia A.
1995 *Living with the Ancestors: Kinship and Kingship in Ancient Maya Society*. University of Texas Press, Austin.
- Meher-Homji, V. M.
1988 Effects of Forests on Precipitation in India. En *Forests, Climate, and Hydrology: Regional Impacts* (editado por E. Reynolds y F. Thompson):51-77. United Nations University, Tokyo.
- 1991 Probable Impact of Deforestation on Hydrological Processes. *Climatic Change* 19: 163-173.
- Morley, Sylvanus G.
1920 *The Inscriptions of Copan*. Carnegie Institution of Washington, Pub.219.
- Nepstad, D, Christopher Uhl y E. A. Serrao
1991 Recuperation of a Degraded Amazonian Landscape: Forest Recovery and Agricultural Restoration. *Ambio* 20 (6):248-255.

- Nye, P. H., y D. J. Greenland
1964 Changes in the Soil After Clearing Tropical Forest. *Plant and Soil* 21 (1):10 1-1 12.
- Oyebande, L.
1988 Effects of Tropical Forest on Water Yield. En *Forests, Climate, and Hydrology: Regional Impacts* (editado por E. Reynolds y F. Thompson):16-50. United Nations University, Tokyo.
- Potter, Gerald, Hugh Ellsaesser, Michael MacCracken y Frederick Luther
1975 Possible Climatic Impact of Tropical Deforestation. *Nature* 258:697-698.
- Rice, Don S.
1993 Eighth-Century Physical Geography, Environment, and Natural Resources in the Maya Lowlands. En *Lowland Maya Civilization in the Eighth Century A.D.* (editado por J. Sabloff y J. Henderson):11-64. Dumbarton Oaks, Washington, DC.
- Riswan, Soedarsono y K. Kartawinata
1991 Regeneration After Disturbance in a Lowland Mixed Dipterocarp Forest in East Kalimantan, Indonesia. En *Rain Forest Regeneration and Management* (editado por A. Gomez-Pompa, T. C. Whitmore y M. Hadley):295-301. UNESCO, Paris y The Parthenon Publishing Group, Park Ridge.
- Riswan, Soedarsono y Rochadi Abdulhadi
1992 Succession After Disturbance of Lowland Mixed Dipterocarp Forest by Shifting Agriculture in East Kalimantan, Indonesia. En *Tropical Forests in Transition: Ecology of Natural and Anthropogenic Processes* (editado por J. G. Goldammer):77-84. Birhauser Verlag, Basel.
- Salati, Eneas, y Carlos Nobre
1991 Possible Climatic Impacts of Tropical Deforestation. *Climatic Change* 19:177-196.
- Sanders, William T. y David Webster
1994 Preindustrial Man and Environmental Degradation. En *Biodiversity and Landscapes: A Paradox of Humanity* (editado por K. Chung Kim y R. Weaver):77-104. Cambridge University Press, Cambridge.
- Santley, Robert S., Thomas W. Killion y Mark T. Lycett
1986 On the Maya Collapse. *Journal of Anthropological Research* 42 (2):123-159.
- Shukla, J., C. Nobre y P. Sellers
1990 Amazon Deforestation and Climate Change. *Science* 247:1322-1325.
- Uhl, Christopher
1987 Factors Controlling Succession Following Slash-and-Burn Agriculture in Amazonia. *Journal of Ecology* 75:377-407.
- Uhl, Christopher, Robert Buschbacher y E. A. Serrao
1988 Abandoned Pastures in Eastern Amazonia: Patterns of Plant Succession. *Journal of Ecology* 76:663-681.
- Uhl, Christopher, Howard Clark, Kathleen Clark y Pedro Marquirino
1982 Successional Patterns Associated with Slash-and-Burn Agriculture in the Upper Río Negro of the Amazon Basin. *Biotropica* 14 (4):249-254.

Uhl, Christopher, Daniel Nepstad, Robert Buschbacher, Kathleen Clark, Boone Kaufmann y Scott Subler
1990 Studies of Ecosystem Response to Natural and Anthropogenic Disturbances Provide Guidelines for Designing Sustainable Land-Use Systems in Amazonia. En *Alternatives to Deforestation* (editado por A. Anderson):24-42. Columbia University Press, New York.

Whitmore, Thomas M., B. L. Turner II, B. L. Johnson, R. W. Kates y T. R. Gottschange
1990 Long-Term Population Change. En *The Earth as Transformed by Human Action* (editado por B.L. Turner, et al.):25-39. Cambridge University Press, Cambridge.

Zinke, P. J., S. Sabhasri y P. Kundstadter
1978 *Soil Fertility Aspects of the Lua Forest Fallow System of Shifting Cultivation*. University of Hawaii Press, Honolulu.