

**Los Efectos del Cambio de Clima y del Impacto Humano en los Paisajes Históricos
de Oaxaca**

**Informe Final Entregado al
Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, México**

Mayo 2009

**Arthur A. Joyce (editor)
Department of Anthropology
University of Colorado at Boulder
Hale Science Building 350
Boulder, Colorado
80309-0233
EUA**

Con contribuciones por:

**Arthur A. Joyce¹
Michelle Goman²
William Guerra²
Raymond Mueller³
Lucia Pou³
Naomi Levin⁴
William Middleton⁵**

¹Department of Anthropology, University of Colorado at Boulder, 233 UCB, Hale Science Bldg. 350, Boulder, Colorado, 80309-0233 EUA

²Department of Earth and Atmospheric Sciences, Cornell University, Ithaca, NY 14853 EUA

³Department of Environmental Studies, Richard Stockton College of New Jersey, Pomona, NJ 08240, EUA

⁴Division of Geological & Planetary Sciences, California Institute of Technology, MC 100-23, 1200 E. California Blvd, Pasadena, CA, 91125

⁵Department of Material Culture Sciences, Rochester Institute of Technology, 18 Lomb Memorial Drive, Rochester NY, 14623-5604

Capítulo 1 Introducción

Arthur A. Joyce

Mi plan de investigación como investigador huésped de CIESAS era llevar a cabo un programa de estudio de campo y laboratorio acerca de la relación entre seres humanos, la naturaleza y los cambios de clima. Este programa fue diseñado para examinar los efectos en los paisajes históricos y en la flora del Valle de Nochixtlán en Oaxaca a causa del impacto de los cambios de clima y de las actividades de los seres humanos. Con colaboradores en paleoecología, paleobotánica, y geología he llevado a cabo una serie de estudios en la Mixteca Alta de Oaxaca y Guerrero así como en la región de la costa pacífica (Figura 1.1). Este informe presenta los resultados preliminares del proyecto y considera sus implicaciones para la historia holocena de cambios en vegetación, clima, y geomorfología.

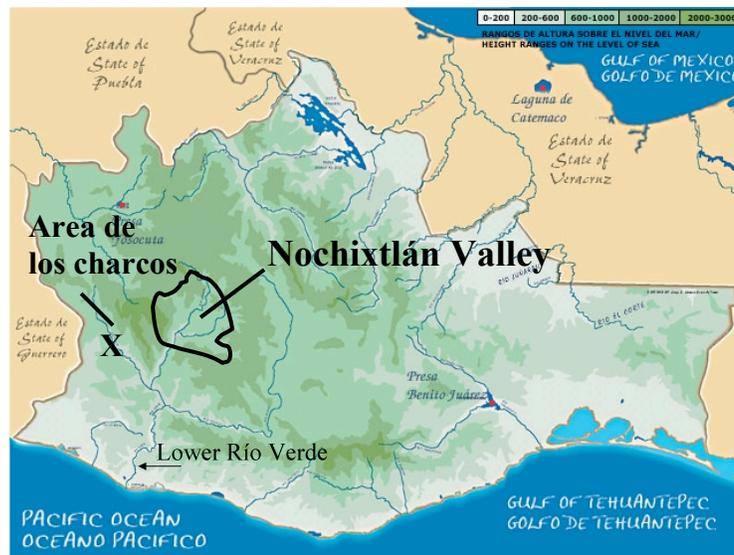


Figura 1.1. Mapa de Oaxaca mostrando las regiones del estudio

Marco de Referencia

Efectos del Impacto Humano y Cambio de Clima en los Paisajes del México Antiguo

La degradación ambiental causada por el uso humano del terreno es a menudo vista como un problema de la edad industrial moderna. Estudios recientes en Europa, el este cercano, y México, no obstante, han provisto evidencia del cambio antropogénico del paisaje datando a miles de años (Diamond 2004; Redman 1999). En México la evidencia de deforestación para los fines de agricultura está presente en núcleos de lagos tan tempranos como el 4000 a.C. con un aumento significativo en cambios ecológicos desencadenados por el uso de la tierra seguido por el desarrollo de sociedades urbanas. Como respuesta a la erosión antropogénica, los habitantes en muchas regiones

desarrollaron tecnologías para conservar el suelo, especialmente terrazas. La erosión antropogénica, la deforestación y la degradación del paisaje han sido implicados en grandes cambios culturales en México (e.g. Curtis et al. 1996; Joyce 2009).

A pesar del aumento en los estudios enfocados en el impacto humano, los debates acerca de la naturaleza del cambio los paisajes por causas antropogénicas y su papel en la evolución de las culturas continúan (Dunning and Beach 1994; Fisher et al. 2003; Joyce and Mueller 1997). Uno de los problemas que causa la generalización acerca del impacto humano es la falta de datos en muchas regiones de México. Las tierras altas del sur de México, en particular, han cedido poca información acerca del medioambiente. Las tierras altas del sur contienen pocos lagos de los que muestras de núcleos pueden ser colectadas para obtener secuencias de polen fósil así como evidencia de erosión antropogénica. Cambios de clima han sido difíciles de estudiar en particular ya que las secuencias sedimentológicas y las secuencias de polen son a menudo inundadas por el impacto antropogénico, haciendo las influencias climáticas muy difícil de aislar. Las recientes innovaciones metodológicas, como el uso de isótopos de oxígeno de gasterópodos recuperados de los núcleos de lagos, pueden proveer datos climatológicos, ya han comenzado a afrontar este problema, pero estas técnicas sólo han sido usadas en unas pocas áreas (Hodell et al. 2001).

El esfuerzo de investigación más intenso en los efectos de clima y de impacto humano en el medioambiente y personas en el sur de las tierras altas de México ha sido el Proyecto de la Ecología del Río Verde – en el sur de Oaxaca (Goman et al 2005; Joyce and Mueller 1992, 1997; Joyce et al. 1998). El Proyecto de la Ecología del Río Verde es un proyecto interdisciplinario el cual envuelve un equipo colaborativo de antropólogos, geólogos, y palinólogos designados a examinar los cambios antropogénicos del paisaje y su impacto en la población humana a lo largo de la cuenca de drenaje del Río Verde. Las culturas que viven a lo largo del Río Verde incluyen gente Mixteca y Zapoteca, quienes desarrollaron las ciudades más tempranas e impresionantes en las Américas, las cuales fueron las capitales de sociedades complejas. Estudios geomorfológicos en el valle de Nochixtlán en la cuenca de drenaje superior del Río Verde han provisto evidencia de múltiples episodios de erosión. Tres episodios de erosión corresponden al período más significativo de cambios en el uso de tierra, sugiriendo que la erosión fue por causa antropogénica. El período de erosión más temprano y quizás el más significativo corresponde al desarrollo de aldeas sedentarias, crecimiento en la población, y la expansión de la agricultura. Otro período de erosión corresponde el desarrollo de las primeras ciudades en la región y al movimiento de los habitantes hacia el terreno elevado, los cuales eran propensos a la erosión. Los datos del período final corresponden a la caída de los estados del Período Clásico, lo cual probablemente resultó en la inhabilidad de movilizar la labor necesaria para mantener el sistema de terrazas.

El estudio del valle de Nochixtlán ha provisto uno de los modelos más comprensivos del cambio continuo de paisaje en México (Joyce and Mueller 1997). Desafortunadamente, como sucede en la mayoría de las tierras altas de México, la falta de cuencas en el valle de Nochixtlán que pudiesen proveer información a largo plazo acerca del polen y de isótopos ha limitado nuestra capacidad de examinar los cambios en la flora y considerar los cambios de clima como un factor causal en la evolución del paisaje. Hasta este punto, hemos estado limitados primariamente a estudios geomorfológicos y geológicos modelando los cambios ambientales y sus efectos en la población humana.

Este proyecto está diseñado para traer consigo técnicas innovadoras, envolviendo varias colaboraciones nuevas, al estudio de la ecología de Nochixtlán.

Una Sobrevista de la Temporada de Campo y los Estudios del Laboratorio

Los resultados del proyecto contribuyen a un modelo acerca de como los patrones del medio ambiente actual son el producto de cambios históricos por causa del clima y el impacto de poblaciones humanas. El proyecto ha llevado a cabo varias técnicas raras veces o nunca usadas en las tierras altas del sur de México. Estas técnicas incluyen: (1) Extracciones de muestras de núcleos de sedimentos de varios estanques para colectar polen y carbón con el propósito de examinar cambios climáticamente sensibles en la vegetación así como la frecuencia de fuegos (Faegri y Iversen 1989). El análisis de polen ha sido usado exitosamente en otras partes de México para documentar el cambio continuo de vegetación. Los núcleos de sedimento eran analizados por puntos máximos en carbón macroscópico, lo cual refleja el evento de un fuego (Whitlock y Larson 2001). (2) De los núcleos también se tomaron muestras para estudiar isótopos de oxígeno y carbono para examinar cambios de clima, deforestación, y agricultura. La composición de carbono isotópico estable de material orgánico tomado de los núcleos de sedimento pueden ser usados para distinguir entre plantas que operan bajo diferentes vías fotosintéticas (C_3 versus plantas C_4 ; Lane et al. 2004). La Poacea (familia de hierbas, la cual incluye el maíz) fotosintetiza usando la vía de C_4 . La composición de isótopos de oxígeno estable de carbonatos biogénicos (moluscos y ostrácodos) que vivieron dentro del sistema de un lago pueden ser usados como indicadores de las proporciones de precipitación menos la evapotranspiración de modo que es un excelente modelo para representar cambios climáticos. (3) Un estudio de suelos enterrados para tomar muestras de fitolitos, lo cual provee información en el cambio de la vegetación. Fitolitos de ópalo son células de plantas y espacios intercelulares que han sido fosilizados mientras aún estaban vivos a través de la deposición de sílice amorfa (Piperno 2006). Los fitolitos son incorporados en el sedimento sobre el cual fueron depositados y pueden ser extraídos por medio de un simple procedimiento mecánico y ser identificados bajo el microscopio. El estudio de fitolitos se enfocará en los sedimentos obtenidos de los suelos enterrados los cuales han sido expuestos en drenajes incisos en el valle de Nochixtlán, de los cuales se han tomado muestras en el valle de Nochixtlán durante la última década por el Proyecto de la Ecología del Río Verde (Joyce y Mueller 1997). (4) Muestras de carbonatos de suelo fueron tomadas para obtener isótopos de carbono y de oxígeno con el propósito de examinar la vegetación y los cambios de clima. La composición de carbono y oxígeno estable de carbonatos de suelo (Ito 2001; Levin et al. 2004) también ha probado ser efectiva en generar datos de patrones de vegetación (C_3 versus plantas C_4) y datos climáticos (proporciones de precipitación menos evapotranspiración). Los carbonatos que han de ser usados para determinar la composición isotópica estable de carbono y de oxígeno serán extraídos de suelos enterrados expuestos en drenajes incisos del valle de Nochixtlán. (5) Un estudio de anillos de árboles lo cual provee evidencia en el cambio del clima (Cook y Kairiukstis 1990). Dados los registros instrumentales de precipitación, temperatura, y luz solar, es posible construir una correlación estadística entre estas medidas y las medidas del crecimiento de los árboles (e.g. variaciones en el grosor de los anillos). La correlación histórica, y las ecuaciones resultantes describiendo el modelo basado en los anillos de los árboles, pueden ser empleados para construir un modelo que

represente datos climáticos retrógrados usando sólo el conjunto de datos de los anillos. Nuestro estudio comienza a construir modelos dendroclimatológicos y a evaluar el potencial de la profundidad de tiempo de las muestras de los anillos de árboles disponibles (i.e., árboles vivos, tocones, y muestras de bosques). También, continuamos los estudios de la geomorfología del valle de Nochixtlán (ver Joyce y Mueller 1992, 1997).

Yo dirigí el proyecto en general, trabajando con los varios colaboradores para localizar lugares de donde se podía obtener muestras, obtener el permiso de las autoridades locales, integrar los varios conjuntos de datos, y relacionar los resultados con los estudios actuales en el uso cultural de tierra y demografía. El trabajo en el campo fue llevado a cabo en el curso de dos meses en el verano del 2008. Los análisis de laboratorio continuarán por lo menos durante 2009 y 2010.

Este reporte presenta los resultados en el estudio de campo llevado a cabo durante el verano del 2008. El análisis de laboratorio de los datos de paleoecológicos, geológicos, de fitolitos, e isótopos estables está actualmente siendo procesado, así que los resultados del estudio aún no están disponibles. Los resultados preliminares hasta la fecha son presentados aquí y las implicaciones para modelos de cambios climáticos y de vegetación durante el Holoceno son discutidos junto con la evidencia de historia de impacto humano en el medio ambiente. El Capítulo 2 escrito por los paleoecólogos Michelle Goman y William Guerra presenta resultados de núcleos de sedimentos llevados a cabo en estanques y lagunas en ambos el Valle del Río Verde inferior y la Mixteca alta de Oaxaca en la parte este de Guerrero. El Capítulo 3 escrito por los geólogos Raymond Mueller y Lucia Pou, hace un resumen de los resultados geomorfológicos y de estudios de los suelos en el Valle de Nochixtlán. El Capítulo 4 escrito por la geóloga Naomi Levin presenta resultados preliminares del estudio de isótopos de suelos en Nochixtlán y las implicaciones de cambios de clima y vegetación durante el Holoceno. El Capítulo 5 escrito por el paleobotánico William Middleton discute los resultados del estudio de los fitolitos extraídos de los suelos y de las superficies terrestres modernas del Valle de Nochixtlán. El reporte concluye con una breve síntesis de los resultados y sus implicaciones para la paleoecología del Holoceno de la región de la Mixteca Alta (Capítulo 6).

Capítulo 2

Recolección de Núcleos de Sedimentos y Muestras Para Análisis Paleoecológicos y Muestras de Núcleos de Anillos de Árboles para Análisis Dendrocronológicos

Michelle Goman
William Guerra

Este estudio reporta los detalles del trabajo de campo llevado a cabo en Mayo y Junio del 2008 en Oaxaca y Guerrero como parte del proyecto paleoecológico de *Los Efectos del Cambio de Clima y del Impacto Humano en los Paisajes Históricos de Oaxaca*.

Métodos de Campo

El estudio involucró la recolección de núcleos de sedimentos y muestras de pantanos en ubicaciones adecuadas. Muestras de núcleos fueron recolectadas usando una barra de sondeo Livingstone, típicamente desde la plataforma de una balsa (Figura 2.1). En donde fue posible, intentamos recolectar núcleos de las partes más profundas de cualquier dado sistema de lagunas. Esto no siempre fue posible ya que no poseíamos las suficientes barras, o el tiempo, o seguridad nos requería que sondeáramos en aguas poco profundas. Los núcleos fueron extraídos sobre la plataforma y almacenados dentro de tubos de butírico.

Las muestras de núcleos de taladros fueron recolectadas en varias localidades a veces en combinación con núcleos de sondeos. Las muestras de taladro fueron almacenadas y catalogadas en bolsas ziplock. Todas las muestras fueron enviadas al laboratorio de la Universidad de Cornell – Cornell Quaternary Lab (CQUAL) - y almacenadas bajo condiciones de refrigeración. Los núcleos de sedimento y las muestras serán analizados en el CQUAL para una variedad de modelos del medio ambiente antiguo los cuales aclararán los cambios en el medio ambiente ocasionados o por cambios de clima naturales o por la mano del hombre en el paisaje. Específicamente prestaremos atención al polen y microfósiles de plantas para reconstruir la vegetación acuática y terrestre (Faegri y Iversen 1989). La historia de los fuegos en los sitios será reconstruida usando carbón microscópico y macroscópico (Whitlock y Larsen 2001). También examinaremos la historia de los isótopos estables de las lagunas sondeadas (Lane et al. 2004). Los cambios en los valores de los isótopos estables de carbono indican alteraciones en la gran composición de plantas de C3 a C4 o viceversa. Un cambio hacia plantas C4 indica la agricultura del maíz. Los isótopos de oxígeno también serán examinados por su material de carbonato como nódulos de carbonato y moluscos; este análisis puede proveer un entendimiento de la historia del cambio en la precipitación. Varias muestras de cada sitio serán seleccionadas para fechamiento de radiocarbono AMS con el propósito de construir una cronología.

Un estudio piloto de anillos de árboles de la Mixteca Alta también está siendo llevado a cabo para examinar si los árboles producen anillos anuales y ver si sus grosores varían como función de las variables, climáticas como la temperatura y caída de lluvia. Técnicas estándares dendrocronológicas y dendroclimatológicas están siendo usadas (Cook y Kairiukstis 1990).

Ubicaciones de Muestras

Sitios en las Tierras Bajas de Oaxaca

Sitios múltiples fueron muestreados en la región inferior de la planicie de inundación del Río Verde. Los sitios en donde tomamos muestras se enfocaron en una variedad de series de pantanos desde localidades costeras hasta un lago al norte del importante sitio arqueológico de Río Viejo (Figura 2.2 y Tabla 2.1).

Cerro Hermosa

Tomamos la tarea de hacer sondeos exploratorios cerca del estuario del río en Cerro Hermosa. Observaciones de campo previas en 2000 d.C. notaron un horizonte de turba enterrado cerca de la pequeña comunidad playera. A pesar de múltiples intentos en diferentes ubicaciones no pudimos encontrar este horizonte enterrado.

Seleccionamos un manglar en un terreno contra el borde de Cerro Hermosa y recolectamos 2 m de sedimento. Los primeros ~50 cm fueron muestreados cada ~2 cm usando la paleta y fueron almacenados en bolsas ziplock. Después recuperamos un núcleo de una profundidad de ~1.5m debajo de la superficie.

Salinas

Nuestra intención en este sitio era tomar muestras de las lagunas de agua salada localizadas al norte de la laguna Chacahua la cual fue examinada por nuestros colegas durante temporadas de campo previas (Drs. Joyce and Mueller). La excursión hacia las playas de sal fue ardua. Seguimos uno de los diques de irrigación hacia nuestro local de sondeo. Desafortunadamente, las aguas de irrigación han cambiado dramáticamente la ecología local y no encontramos playas de sal, sólo encontramos los posibles restos de tales playas de sal. La región está dominada por vegetación compuesta de matorrales bajos (*Acacia* spp.), cactus, y batidáceas (*Salicornia* spp.). Sacamos núcleos usando el equipo de barra de sondeo para recuperar ~180 cm de sedimento a intervalos de ~10 cm. También recolectamos un núcleo de sedimentos de ~20 cm de largo empezando desde una profundidad de 36 cm.

Laguna Espejo

Laguna Espejo es un gran lago de agua dulce (2 km²). Está localizado aproximadamente a unos 5 km al norte de la desembocadura del Río Verde. El lago está ubicado en un espacio cerrado en una depresión de lecho de roca y es alimentado casi del todo por agua fresca subterránea. Recolectamos varios núcleos cortos del lado noroeste del lago en 2000 d.C. Durante esta temporada de campo esperamos poder alcanzar aguas más profundas y recolectar secuencias de sedimentos más largas.

Nuestro primer día de sondeo nos llevó al medio del lago en donde profundidades de 5-10 metros fueron documentadas. Intentamos sacar un núcleo en unos ~2.5m de agua pero tuvimos que abortar la tarea ya que se desarrollaron fuertes vientos. Pescadores locales con canoas motorizadas nos sacaron hasta orilla. El sistema de vientos local es tal que todos los días, aproximadamente a las 12 pm se desarrolla un fuerte viento oeste noroeste al punto de que nuestra balsa, la cual remamos hasta nuestra zona de sondeo, no estaba segura.

En el segundo día, modificamos nuestras metas de sondeo y nos quedamos más cerca de la orilla pero en una diferente localidad de la expedición de sondeo del 2000. Obtuvimos 3 núcleos a una profundidad de aproximadamente 1.75 m. El largo de los núcleos eran de unos 0.38 m a 1.05 m.

Charco Lavado

Es un lago grande de ~50 ha de aguas poco profundas localizado al noroeste y otro lado del río donde se encuentra el sitio arqueológico de Río Viejo. Este sitio es un área de pescadería importante y está rodeado de plantaciones y huertos de frutas, en particular mangos. Las márgenes de lago están cubiertas de plantas acuáticas flotantes, lechuga de agua (*Pistia* spp.). Sondeamos en la región sur del lago en dos diferentes días, en aguas con una profundidad de unos ~1.5m. Recolectamos tres núcleos y recuperamos unos 3.95 m de sedimento.

Charco Barro

Charco Barro es un pequeño lago semilunar localizado en un canal serpenteante antiguo del Río Verde. Un núcleo de sedimento recolectado de la periferia del lago en 2000 d.C. ha sido intensamente analizado. Regresamos al sitio para sacar un núcleo del centro y de regiones más profundas del lago. Sin embargo, cambios fundamentales han ocurrido en la región y éstos no nos han permitido hacer los sondeos. Notablemente, el terreno ha sido cercado desde 2000 d.C. y el ganado excluido. La eliminación del ganado parece haber facilitado el crecimiento de vegetación espesa alrededor del lago semilunar de manera tal que éste es impenetrable (especialmente con nuestra balsa).

El Charquito

El Charquito es una laguna de agua dulce más pequeña (~15 ha), la cual yace como a 1 km al oeste del Río Verde y unos 6 km al norte de Río Viejo. Es un sistema de lagos más pequeño que Charco Lavado pero éste probablemente se formó de manera similar. El origen de las cuencas de ambos lagos parece estar atado a la geomorfología fluvial de la región con el agua fresca estancándose en regiones naturalmente bajas asociadas con el pantano posterior del río las cuales son bordeadas por diques naturales del Río Verde (Mueller 1991 and Mueller, pers. comm. 2006). Alfombras flotantes de lechuga de agua cubrió la laguna. Sondeamos en la región sur del lago sobre 1m de agua y recuperamos aproximadamente 2.8 m de sedimento.

Sitios de la Tierra Alta de Oaxaca en el Sur de la Mixteca Alta

Laguna Minucua (elevación: 2510m)

Laguna Minucua es una pequeña (~.25 ha) laguna sin una ensenada o canal de salida que sean aparentes. El estanque parece estar formado por un cenote de carbonato, pero esto no ha sido verificado. El sitio está rodeado en el lado noroeste por una cadena calcárea, sobre la pendiente de la cual crecen *Pinus oaxacana* y *Quercus* spp.

Sacamos núcleos de unos 26 árboles de pino (en duplicados) con la ayuda de los estudiantes de la escuela local de foresta (Instituto Tecnológico Superior de San Miguel el Grande). Los núcleos fueron obtenidos de los árboles que rodean el lago. William Guerra actualmente ha tomado la tarea de hacer un estudio dendrocronológico de los núcleos de los árboles. El grosor de los árboles tenían tamaños de 84-340 cm y datos

preliminares indican que a pesar de sus tamaños muchos de los árboles son muy jóvenes (~40 años) con el más viejo siendo ~60 años.

El lago en Minucua también fue sondeado en dos ocasiones. El agua del lago es muy poco profunda, <30cm. Obtuvimos dos núcleos en los que se recuperaron de unos 3.5 m a 5.6 m de sedimento. Sorprendentemente, dada la poca profundidad del agua, los núcleos fueron altamente laminados, posiblemente con varvas. Las laminaciones consisten de pares orgánicos e inorgánicos de cintas que puede que representen cambios en las estaciones en la acumulación del lago. Si esto es correcto, entonces cada juego de cintas representaría un año. William Guerra ha comenzado la descripción no-destructiva inicial de los núcleos con susceptibilidad magnética, densidad gamma (Figura 3) y rayos-X. Tenemos dos fechas de radiocarbono de este núcleo (Figura 3). Recolectamos una muestra de agua del lago.

Hacemos aquí una interpretación preliminar y algo rudimentaria de la documentación de Minucua. Los datos de susceptibilidad magnética muestran cambios interesantes a lo largo del núcleo. Hemos interpretado estos cambios como el reflejo de variaciones en el aporte de material sedimentario dentro de la cuenca de la laguna, lo más seguro como el resultado de la actividad agrícola prehistórica. Provisionalmente interpretamos la cronología de los cambios como lo siguiente pero reconocemos que esta interpretación está limitada por solo dos fechas de radiocarbono (esto será rectificado en el futuro). Las fechas, no obstante, dan soporte a la interpretación de que las cintas apareadas fueron depositadas anualmente.

La información de susceptibilidad magnética sugiere una secuencia de cuatro fases de deposición en el lago. Estimamos las edades de estas fases por medio de una combinación de fechas de radiocarbono y una cuenta preliminar de las laminaciones. La primera fase del núcleo del lago se extiende desde la base del núcleo hasta aproximadamente 4 m de profundidad y se caracteriza por su relativamente baja información de susceptibilidad magnética, creemos que este período corresponde al período Formativo Arcaico-Temprano Tardío (ca. 2000-800 a.C.), con relativamente poca actividad antropogénica alrededor del lago. Un máximo de susceptibilidad magnética puede que corresponda al relativamente breve período de actividad agrícola dentro de las márgenes del lago durante el Formativo Temprano. La segunda fase se extiende desde ~4 m hasta unos 1.25m y se caracteriza por sus sostenidos valores de susceptibilidad magnética; creemos que este período corresponde a los períodos desde el Formativo Medio al Clásico Tardío (ca. 800 a.C.-d.C. 800) y sugiere una significativa y sostenida actividad agrícola en los alrededores vecinos al lago. Una fecha de radiocarbono del final de esta fase cedió una fecha de d.C. 750 (no corregida), la cual la ubicaría al final del período Clásico Tardío. La fase 3 se extiende desde 1.25 m hasta unos 0.30 m. Este período está limitado por las dos fechas de radiocarbono y refleja los períodos desde el Posclásico hasta la era moderna (~d.C. 1960's). Este período está marcado por una caída precipitosa en la información de susceptibilidad magnética al final del período Clásico y tal vez refleja un extenso abandono de la tierra y la despoblación durante el Posclásico Temprano (ca. d.C. 800-1200). Los valores de susceptibilidad magnética para esta fase son similares a la fase 1. Una historia similar de erosión ha sido documentada de la evidencia geomorfológica del Valle de Nochixtlán (Joyce and Mueller 1997; Mueller and Pou 2008). La fase 4 (~30 cm hasta la cima del núcleo) refleja la historia más reciente del lago. Esta sección parece estar desprovista de laminaciones,

posiblemente correspondiendo a la dramática caída en el nivel de las aguas del lago. Laminaciones de sedimentos de lagos típicamente se forman en cuencas de lagos profundos. La caída del nivel de las aguas del lago puede que se deba a causas antropogénicas (uso agrícola), geológicas (fallas en el lecho de roca), o climáticas (reducción en la caída de lluvias). La fase 4 también es notable por sus muy bajos valores de susceptibilidad magnética (los más bajos del todo el núcleo). No estamos seguros como interpretar esta disminución, ya que la agricultura por seguro se practica alrededor del lago hoy en día.

Laguna Yuchaca (elevación: 2460m)

Laguna Yuchaca es un pequeño estanque (~1 ha) ubicado al lado de una carretera sin pavimentar la cual conecta las siembras y las comunidades. Está ubicada a una corta distancia (~2 km) de la Laguna Minucua. La carretera se encuentra en el lado oeste del lago y de campos de cultivo arables que rodean el lago. Estos campos estaban en barbecho cuando sondeamos, pero lo más probable es que eran de maíz. El campo también estaba siendo usado para el pastoreo de animales, especialmente de ovejas. El lado del lago más cercano a la carretera estaba lleno de densas espadañas (*Scirpus* spp.?)

Recolectamos dos núcleos en agua a una profundidad de ~0.5 m con una recuperación de 0.69 m y 2.54 m. El núcleo se oxidó rápidamente con el contacto del aire. Los núcleos de Yuchaca no han sido analizados más allá pero puede que al final sean comparados con núcleos de Minucua, aunque los núcleos de Yuchaca no están laminados.

Al lado este del lago hay una pequeña loma, sobre la cual crecen pinos. Árboles de pino también crecen entre la carretera y el lago. Sacamos núcleos de 15 especímenes de *Pinus oaxacana* (dos cada uno) para hacer trabajos dendrocronológicos. El grosor de los árboles varió de 124-260 cm. Durante nuestra visita observamos evidencia de árboles caídos y su uso para la construcción de casas.

Sitios de las Tierras Altas de Guerrero

Laguna Ojo de Mar (elevación: 890 m)

Este lago es de ~3.5 ha. El lago colinda con un alto precipicio al este. Su fuente de agua penetra por el sureste a través de lo que es ahora un túnel encerrado en ladrillos. Es posible que haya una fuente subacuática gaseosa, ya que informantes locales aseguran que en ocasiones el lago “eructa.” Nosotros no fuimos testigos de esto y por el momento no sabemos cual es el mecanismo que causa este fenómeno. El lago está limitado en su lado oeste por la carretera local y es también un sitio para nadar muy popular entre los habitantes locales así como visitantes en el pueblo de Huamuxtitlán. El sitio arqueológico de Huamuxtitlán-Tecoapa (también conocido como La Organera) tiene vista al lago. El Río Tlapaneco se localiza a aproximadamente 1.3 km al oeste del sitio.

Una medición batimétrica informal mostró que el lago tiene aproximadamente unos 20 m de profundidad cerca del precipicio, pero este pierde profundidad rápidamente hacia la orilla del lado suroeste. Recolectamos dos muestras de agua de este sitio; una del lago y otra del arroyo.

Recolectamos dos núcleos en ~5 m de profundidad de agua con 2 m y 3m de núcleos de sedimento recuperado, respectivamente. La estratigrafía de los núcleos es algo compleja y tiene definidas capas de carbón, indicando quema cercana. William

Guerra está actualmente analizando el record sedimentario de la Laguna Ojo de Mar (abreviado LOM). El tiene rayos-X de los núcleos y ha tomado la tarea de hacer la recolección de la información de la susceptibilidad magnética y la densidad gamma, y dos fechas de radiocarbono (Figura 4). En última instancia, analizaremos los núcleos por el polen, carbón macroscópico, e isótopos de oxígeno y carbono.

Como con Minucua, nuestros argumentos permanecen provisorios; no obstante, basado en los análisis preliminares hemos hechos las siguientes interpretaciones. La documentación de LOM cubre los períodos desde previo a la conquista hasta el presente. Los datos de susceptibilidad magnética en LOM es difícil de interpretar en esta etapa, pero al parecer éstos reflejan una actividad agrícola significativa y el abandono del sitio. La fase 1 se extiende desde la base del núcleo hasta más o menos 2 m de profundidad y refleja el uso agrícola del paisaje desde el Posclásico hasta aproximadamente d.C. 1600. Durante la fase 2, la susceptibilidad magnética decayó de manera precipitosa y permaneció baja por el resto del sondeo (notar que el metro de sedimento arriba aún espera por un análisis de susceptibilidad magnética), excepto por una breve máxima a unos 1.28 m. Los bajos valores sugieren el cese de aporte de sedimento inorgánico a la cuenca del lago, posiblemente como resultado de una disminución significativa en la agricultura siguiendo la Conquista Española. Este período es también, en general, contemporáneo con la Pequeña Edad de Hielo, la cual es conocida por haber ocasionado un clima de condiciones más secas en regiones ubicadas al sur de Mesoamérica.

Hoya Palapa (elevación: 1597 m)

Es descrito como un sistema efímero en los mapas locales pero éste estaba seco durante nuestra visita. La cuenca está rodeada por topografía más elevada sin ensenadas o corrientes de salida que fueran obvias. Cuando el lago está lleno, éste es lo más posible alimentado por aguas subterráneas y escurrimiento sobre la superficie. La vegetación era escasa e incluyó vegetación de matorrales bajos (*Acacia* spp.), *Quercus* spp., y palmas (Arecaceae). Una manada de caballos locales y de ganado ocupó la cuenca durante el sondeo. Usamos una sonda para coleccionar 2.42 m en incrementos de 10-15 cm. Para añadir, coleccionamos muestras de agua del pequeño estanque (~0.5 ha) ubicado cerca del sitio.

Tabla 2.1: Núcleos de Sedimento y Muestras de Recuperación

Nombre del Sitio	Código del Sitio	Descripción	Núcleo Máximo/Muestra de Recuperación
Sitios en la Tierra Baja de Oaxaca			
Cerro Hermosa	CH	Manglar cerca de un ecosistema terrestre.	2.00 m
“Fireswamp” (“Pantano de Fuego”)	FS	Playa de sal en re-vegetación.	1.77 m
Espejo	ESP	Lago grande (250 ha) den agua fresca.	1.05 m
Charco Lavado	CL	Lago de agua fresca de ~50 ha.	2.30 m
El Charquito	EC	Lago de agua fresa de ~15 ha.	3.19 m
Sitios en la Tierra Alta de Oaxaca			
Laguna Minucua	MN	Posible senote (.25 ha)	5.60 m
Laguna Yuchaca	YA	Posible senote (1 ha)	2.54 m
Sitios en la Tierra Alta de Guerrero			
Laguna Ojo de Mar	LOM	Lago de agua fresca (~3.5 ha)	2.74 m
Hoya Palapa	HP	Lago efimero (~4 ha)	2.42 m

Tabla 2.2: Sitios de las Muestras de Núcleos de Anillos de Árboles

Nombre del Sitio	Código del Sitio	Descripción	# Núcleos de Árboles	Alcance de Grosor
Laguna Minucua	MN	Ambiente alrededor de un senote.	26 (x2)	84-340 cm
Laguna Yuchaca	YA	“	15 (x2)	124-260 cm

Figura 2.1: Imagen mostrando nuestra balsa y la operación de sondeo usada en el trabajo de campo. Esta imagen fue tomada en la Laguna Ojo de Mar, Guerrero.



Figura 2.2: Mapa muestra las ubicaciones aproximadas de los sitios de sondeo. Mapa A muestra las localidades de las muestras en los sitios de las tierras bajas. CH= Cerro Hermosa, FS= Fireswamp, ESP= Espejo, CL= Charco Lavado, and EC= El Charquito. La estrella muestra la ubicación de Río Viejo. Mapa B muestra las localidades de las muestras tomadas en los sitios de las tierras altas. MN= Minucua, YA= Yuchaca, HP= Hoya Palapa y LOM=Laguna Ojo de Mar. Mapa C muestra los estados de Guerrero (GR) y Oaxaca (OA).

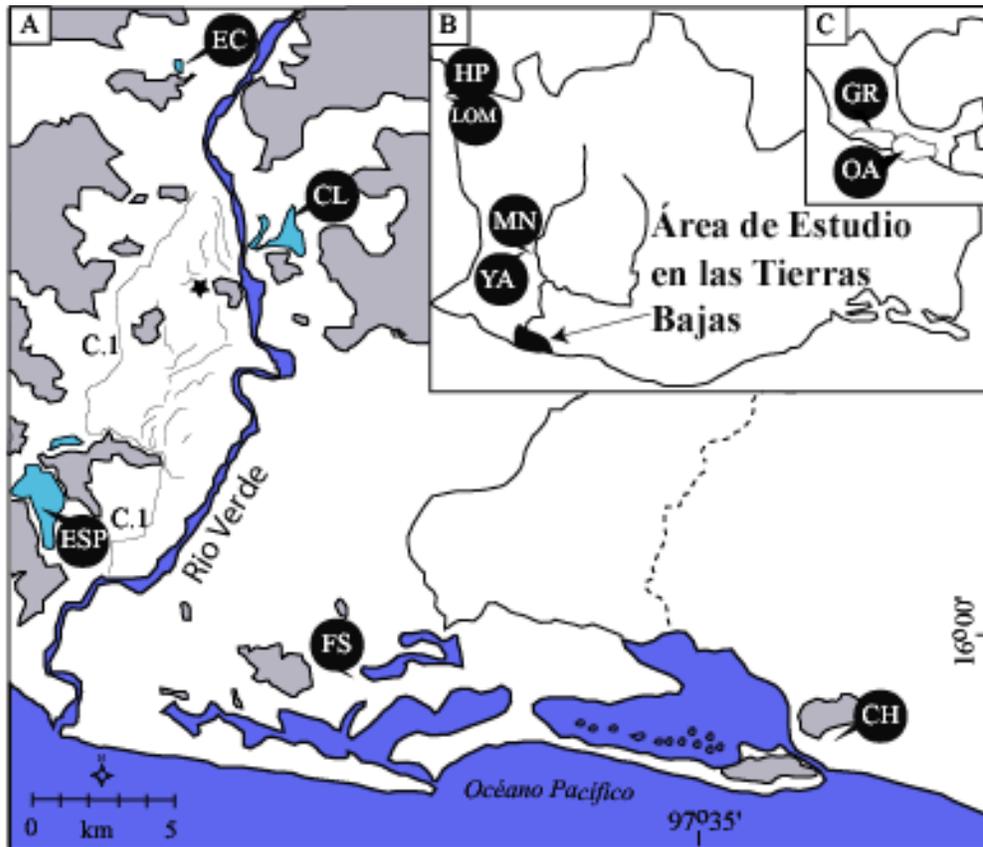


Figura 2.3: Susceptibilidad Magnética de Minucua, información de densidad gamma y datos AMS.

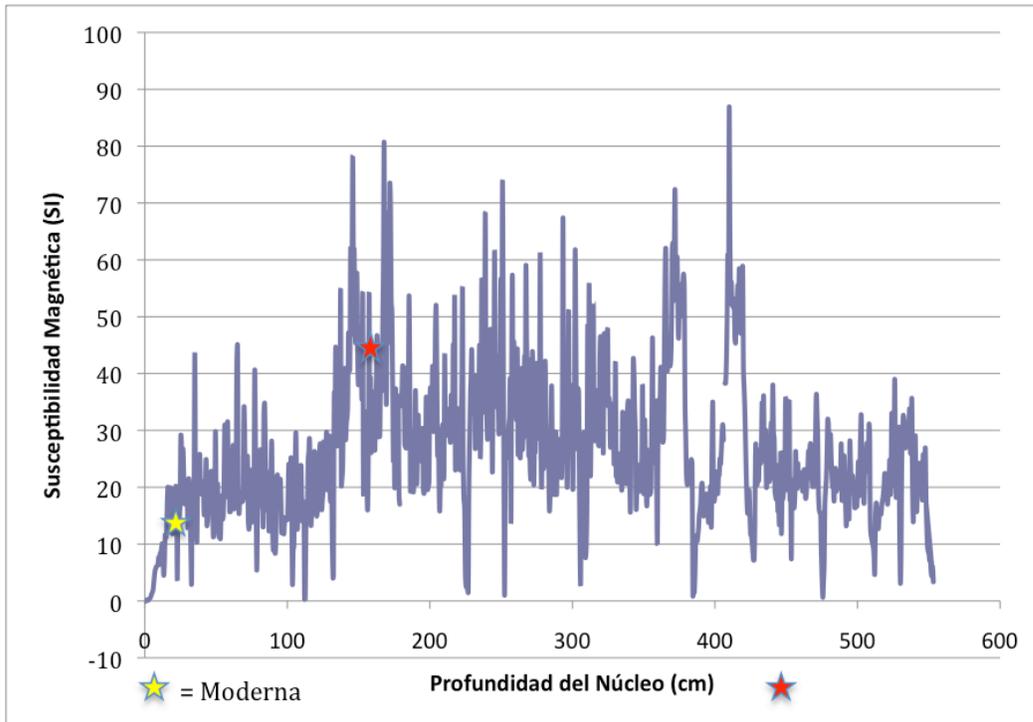
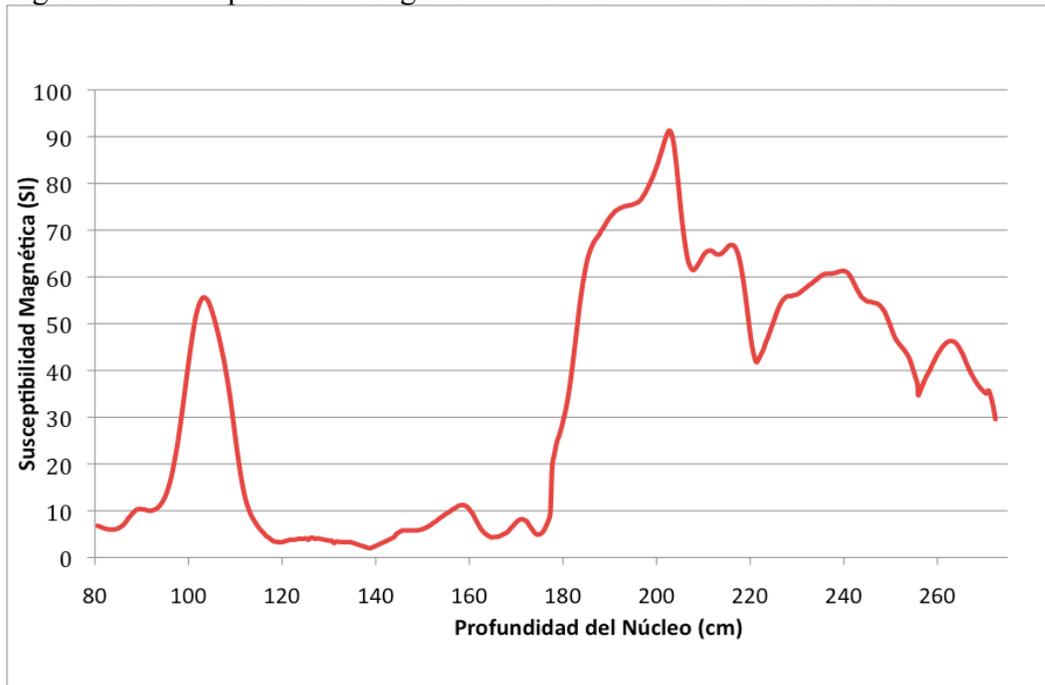


Figura 2.4: Susceptibilidad Magnética de Yuchaca e información AMS.



Capítulo 3 **Suelos/Estudios Geomorfológicos**

Raymond G. Mueller
Lucia Pou

Antecedentes

Este capítulo discute los resultados preliminares de los estudios geomorfológicos y de suelos llevados a cabo en el Valle de Nochixtlán como parte del proyecto *Los Efectos del Cambio de Clima y del Impacto Humano en los Paisajes Históricos de Oaxaca*. El estudio de campo del 2008 aumenta los previos estudios geológicos hechos en el Valle de Nochixtlán (Joyce and Mueller 1997; Mueller and Pou 2008) y provee información antecedente crucial para los estudios de isótopos de suelo (Capítulo 4) y fitolitos (Capítulo 5).

El Valle de Nochixtlán de Oaxaca yace a una elevación de 2000 a 2600 metros con áreas menores a elevaciones más altas. La más alta elevación es Cerro Negro a 3250 metros. Las precipitaciones varían de 400 a 1000+ mm y son grandemente influenciadas por la altitud. La precipitación depende altamente en las estaciones con la gran mayoría cayendo a finales de Abril a través de Septiembre y típicamente en forma de intensas tormentas eléctricas. Lluvias que duran por más de unas pocas horas son por lo usual asociadas con ciclones tropicales.

Las temperaturas de Enero son de un promedio de 15 grados centígrados, mientras que las temperaturas de Julio son de un promedio aproximado a los 18 grados centígrados (Alvarez, 2003; Kirkby, 1972). Las temperaturas de verano no son lo esperado a causa del aumento en lo nublado y caída de lluvias. El potencial del índice de evapotranspiración excede grandemente (por un 2 a 3 veces) el nivel de precipitación.

La aridez del área es controlada por dos cadenas de montañas. El valle de Nochixtlán yace en la sombra orográfica de las montañas ambas en el norte y sur. Yaciendo en la temporada de alto-sol de los vientos alisios del noroeste, humedad del Golfo de México es apartada en los lados este y norte de la Sierra de Oaxaca. En la costa tormentas eléctricas y ciclones tropicales en el Pacífico pierden su humedad mientras suben las empinadas en el sur de la Sierra Madre del Sur. Durante los meses de invierno los sistemas de alta presión (no precipitación) que se encuentran en el norte de México se dispersan hacia el sur y muy pocas lluvias caen durante estos meses.

La geología influencia el grado y amplitud de la erosión en el valle (INEGI, 1988). De particular importancia son las diferencias en litología desde el piso del valle hasta el divorcio de aguas. En términos generales, sólo hay tres unidades. La más baja es Aluvión Cuaternario. Arroyos incisos revelan un piso de valle dinámico con múltiples capas de paleosuelos, representando períodos de estabilidad en el paisaje y formación de suelos, separados por estratos con un bajo contenido de material orgánico lo cual indica inestabilidad, erosión en las partes más inclinadas de las pendientes, y re-deposición en el piso del valle. La Formación Yanhuítlán se encuentra en las partes más bajas de las pendientes del valle y su edad es del Paleoceno al Eoceno (65 a 40 millones AAP). Consiste de depósitos continentales entrelaminados, posiblemente depositados en lagos poco profundos. Mientras la mayoría de la formación consiste de lutitas rojizas, también

hay lechos de yeso, caliza, y arenisca. Los lechos de Yanhuitlán están débilmente consolidados, son fácilmente desgastados, y están sujetos a seria erosión – especialmente si la vegetación es despejada. Una vez expuestos, un proceso de retroalimentación positiva es establecido en donde la precipitación rápidamente corre sobre la superficie, exponiendo más de la formación, y formando una topografía parecida a la de tierras malas. Es esta formación la que da al Valle de Nochixtlán su reputación por su severa erosión. En la cima de las más altas elevaciones hay lechos más resistentes de lava andesita extrusiva de las épocas del Oligoceno-Mioceno (aproximadamente 20 millones AAP).

Depósitos sedimentarios en la parte baja de la cuenca de drenaje consisten de muchos suelos de arcilla cienosa, ricos en material orgánico, formados en depósitos de inundación o retro-pantanos de textura fina. Estos paleosuelos son separados los unos de los otros por material bajo en orgánicos, depósitos de inundación de alta energía y/o depósitos de cauces. Como es indicado por Stein (1987) debe hacerse una distinción entre sedimentos y suelos. En el Valle de Nochixtlán suelos ricos en material orgánico son distinguidos de estratos deposicionales ricos en material orgánico. Los suelos son importantes porque representan períodos de estabilidad en el paisaje y son diferentes a los sedimentos formados por eventos de deposición. Evidencia de la formación de suelos fue típicamente mostrada por un fuerte desarrollo estructural y la presencia de argilita (piel de arcilla) formados por la translocación de arcilla. Las formas típicas de ped eran prismáticas, en varios tamaños y etapas de desarrollo. Suelos con estructuras de cuña estaban presentes en los paleosuelos más profundos lo cuales son típicamente los más antiguos y más intensamente erosionados.

Las características de los suelos en el Valle de Nochixtlán ponen en duda algunos de los previos modelos del paleo-medioambiente del Holoceno-medio en Oaxaca. Estos paleo-medioambientes fueron reconstruidos proyectando las características de la vegetación actual hacia el pasado. Estos modelos arguyeron por la presencia de comunidades forestadas en el Valle de Nochixtlán, especialmente a lo largo de los drenajes mayores. En contraste, el Holoceno-medio, y paleosuelos más recientes del Valle de Nochixtlán muestran fuertes estructuras prismáticas, translocación de arcilla con desarrollo de argilita, y un alto contenido de material orgánico sobre una profundidad considerable. El alto contenido de material orgánico está asociado con la estructura prismática – una típica estructura de horizonte-B. Las características de horizontes-B-ricos en material orgánico y fuertes estructuras prismáticas son más cercanamente asociadas con suelos de praderas. Por lo tanto, medioambientes de planicies de inundación en las tierras altas de Oaxaca parecen haber sido dominados por praderas, tal vez por sabanas en vez de la cubierta de bosque. Otras posibilidades son cubiertas de bosques en los sitios más elevados, como es visto hoy en día, y/o bosques de galería a lo largo de los cauces. La presencia de vegetación de praderas, quizás en un escenario de sabana, es consistente con los eventos de erosión y deposición vistos en los sedimentos del valle.

Este estudio se enfoca en la evaluación de la hipótesis de que el uso prehispánico de la tierra, en especial la cambios en la población y agricultura, causaron erosión en el Valle de Nochixtlán. El despeje de tierra y otras prácticas agrícolas han de haber disminuido la cubierta de vegetación y reducido la evapotranspiración, los pasajes de escurrimiento vertical y escurrimiento de base de los ciclos hidrológicos; mientras que el

escurrimiento terrestre ha de haber aumentado. Estos cambios han de haber reducido el nivel freático y afectando aún más los patrones de vegetación. Al mismo tiempo, el aumento de la escorrentía y de la erosión en las tierras altas resultaría a causa de esta desviación. El aumento del escurrimiento de la superficie aumentaría el transporte de sedimento hacia elevaciones más bajas. Estos cambios también aumentarían el alcance entre las corrientes altas y bajas de los arroyos.

Nuestro estudio a lo largo de, ambos, Río Yanhuitlán y Yucuita en el Valle de Nochixtlán contradice previos argumentos concernientes al comienzo de la erosión en gran escala en la región de la Mixteca Alta en las tierras altas de Oaxaca. Los estudios anteriores han sugerido que la erosión en gran escala en el Valle de Nochixtlán data a los periodos Posclásico y Colonial y resultó a causa del uso del sistema de lama-bordo y la introducción de animales del pasto Europeos (Kirkby 1972; Spores 1969). Sin embargo, nuestras observaciones en el Valle de Nochixtlán sugieren que la erosión en las tierras altas y la aluviación eran mayores durante el período Formativo Temprano hasta el período Clásico, pero también estuvo presente durante el Posclásico.

Pensamos que los cambios ambientales y geomórficos fueron producidos por causa del cambio en las prácticas del uso de las tierras asociadas con sedentismo temprano y un aumento en la agricultura previo a la aparición de gobiernos urbanos en las tierras altas. En el Valle de Nochixtlán, cambios demográficos durante el Formativo Temprano (1500 – 800 a.C.) incluyeron crecimiento de la población y expansión agrícola. Mientras las poblaciones crecían durante los finales de los periodos Formativo y Clásico, el uso intensivo de laderas más empinadas aumentó con la demanda de madera y campos de cultivo.

Estudio – 2008

Durante el curso de 8 semanas desde Mayo hasta Julio del 2008, estudios de suelos, sedimentos, y geomorfológicos fueron conducidos en el sistema de drenaje del Río Verde. En la mayoría de la cuenca, esto consistió en proveer información acerca de los suelos y sedimentos a miembros de otros equipos trabajando en el sondeo de lagunas y recolectando fitolitos, y muestras de suelos para isótopos estables. Explicaciones de cómo los procesos geomórficos influyen las áreas de muestreo también fueron provistas.

La mayoría del estudio específicamente relacionado con los suelos y la geomorfología fue conducida en el Valle de Nochixtlán de Oaxaca. En el Valle de Nochixtlán el tema central fue el obtener un mayor entendimiento de la ecología humana de la región y expandir los estudios previos (Goman et al. 2005; Joyce and Mueller 1992, 1997; Mueller and Pou 2008). El estudio fue conducido para comprender mejor como los seres humanos interactuaron con el medio ambiente y como lo modificaron.

En el Valle de Nochixtlán múltiples paleosuelos enterrados han sido expuestos en los cortes de las orillas de los arroyos incisos. Los paleosuelos enterrados representan tiempos de estabilidad en el paisaje separados por depósitos de sedimentos de más alta energía depositados durante periodos de inestabilidad y erosión. Características de estos suelos enterrados revelan información acerca del medioambiente del pasado. Fechas de radiocarbono de los suelos enterrados proveen una manera de determinar los tiempos de estabilidad e inestabilidad del paisaje y también atar los eventos a la documentación arqueológica.

Nuestros estudios previos en la región sirvieron de soporte para el equipo recolectando fitolitos y muestras de isótopos. Esto aseguró que el muestreo fuese hecho en lugares de donde ya teníamos información recolectada, e.g., propiedades físicas y químicas de suelos así como fechas de suelos enterrados.

Métodos

Extensos reconocimientos del Valle de Nochixtlán han sido conducidos durante años anteriores. Sobre 100 kilómetros de arroyos han sido caminados con el propósito de encontrar los paleosuelos más expuestos. El objetivo primario durante este año fue el asegurar que las muestras recolectadas por los nuevos colaboradores (fitolitos e isótopos estables) fuesen recolectadas en las mismas ubicaciones de los años anteriores. Esto les permitirá tomar ventaja de la información ya existente (especialmente el control cronológico provisto por muchas fechas de radiocarbono). Al mismo tiempo notas tomadas en el campo anteriormente serán confirmadas y refinadas basado en el aporte de otros colegas, especialmente Dr. Naomi Levin. El área de estudio se extendió sobre varios kilómetros cuesta debajo de la cuenca de drenaje y pequeñas áreas de los drenajes más altos también fueron añadidas.

Los sitios muestreados fueron localizados usando una unidad Trimble Juno ST. Puntos de muestreo anteriores (antes de la tecnología GPS) han sido marcados en un mapa y algunas muestras fueron recolectadas desde la base del corte expuesto. En el 2008 todos los punto de muestreo fueron revisitados y localizados, usando GPS, desde un punto en la superficie encima del corte expuesto. Las profundidades de los paleosuelos podían entonces ser sustraídas de la elevación para determinar la elevación de los varios paleosuelos. Apéndice #1 da las coordenadas UTM y las elevaciones de todos los puntos de muestreo.

Después de limpiar el corte, el perfil fue descrito usando los procedimientos del Libro de Campo USDA-NRCS (Schoeneberger, et al., 1998). Dos tipos de muestras fueron recolectadas. Muestras para fechamiento de radiocarbono fueron recolectadas con herramientas de metal y envueltas en papel de aluminio. Muestras de suelos para análisis físico y químico fueron recolectadas en bolsas regulares de plástico y puestas a secar. Análisis de tamaño de partículas fue hecho usando las técnicas descritas en Gee y Or (2002), y Folk (1974). El contenido de material orgánico fue hecho por pérdida durante ignición (Heiri et al. 2001). Los análisis químicos, como pH, fueron hechos de acuerdo a los protocolos de la Soil Science Society of America (Sparks 1996).

Resultados

Un total de 41 sitios de muestreo fueron examinados (Figura 3.1). En cada ubicación se tomo un punto GPS. Una descripción completa fue hecha de la estratigrafía de todos los horizontes de los paleosuelos y de las capas sedimentarias de más alta energía con bajo material orgánico intermedio. Imágenes fueron tomadas de, ambos, los cortes expuestos y el paisaje circundante. Para las imágenes del paisaje, atención particular fue dada a áreas que contribuyen sedimento al sitio de muestreo. Muestras para análisis de radiocarbono fueron recolectadas de todos los paleosuelos que estaban, por lo menos moderadamente, bien desarrollados. En varios lugares muestras de suelos fueron recolectadas en frecuentes intervalos verticales para análisis químicos y físicos. Una presentación completa de las descripciones de todos los sitios de muestreo está más

allá del campo de este documento. Un ejemplo de la información de uno de los puntos de muestreo es dado en el Apéndice #2.

Algunas de las propiedades típicas de suelos son las siguientes. El contenido de material orgánico de los suelos varió de un mínimo de 5.4 por ciento a un máximo de 15.5 por ciento con un valor promedio de 10.4 por ciento. Los estratos entre los paleosuelos poseían un bastante menor contenido de material orgánico con un valor promedio de 1.9 por ciento.

La roca madre de los suelos (Formación Yanhuitlán) es primeramente lutita calcárea con estratos de caliza finos e interestratificados. Esto, combinado con el clima semi-árido, produce un suelo con un pH alto. Los valores variaron entre los 7.2 y 8.2, con un valor promedio de 7.8. Ya que se derivan de la misma roca madre, los estratos entre los paleosuelos tienen valores similares de pH. Los paleosuelos se diferenciaron primeramente en su contenido de material orgánico, desarrollo estructural, y textura.

El análisis del tamaño de partículas mostró que los paleosuelos estaban dominados por cieno y arcilla con un considerable bajo porcentaje de arenas finas. Una típica serie de valores para los paleosuelos fue 6.2 por ciento arena, 41.1 por ciento cieno 52.7 por ciento arcilla. Esto produce una textura de arcilla cienosa. Las texturas de los paleosuelos variaron desde arcilla a arcilla cienosa a arcilla de marga cienosa, pero el promedio estuvo en la categoría de arcilla cienosa. Todos estos valores representan una deposición en un ambiente de baja energía, lo más seguro en una planicie de inundación o un retro-pantano localizado en el margen distal de la planicie de inundación. Los sedimentos con bajo material orgánico entre los paleosuelos tuvieron una mayor variedad en las texturas. Las texturas variaron entre levemente más gruesa que la textura de los paleosuelos a depósitos de alta energía de arenas gruesas y gravas. Usualmente el estrato entre los paleosuelos encontrado en las áreas más bajas examinadas tenía texturas más cercanas a los paleosuelos mismos. En ubicaciones altas en el paisaje, y más cerca de las pendientes inclinadas, el estrato entre los paleosuelos tenía partículas de tamaño mucho más grande. Estos representan depósitos de muchos más alta energía, lo más seguro proveniente del canal durante inundaciones o algún tipo de flujo de escombros proveniente de las pendientes del valle.

Se prestó especial atención a un área al este de San Miguel Tecamatlán en las cercanías de nuestro punto de muestreo RG-6 (ver Figura 3.2). En esta ubicación un paleo-canal es mostrado en un corte transecto por la reciente incisión de un arroyo. Fechas de radiocarbono de un suelo de la base del canal cedió una edad de 3980 cal a.C. El canal fue subsecuentemente rellenado y enterrado por sedimentación adicional. Dentro de estos sedimentos un paleosuelos bien desarrollado, fechado al 450 cal a.C., se formó y también fue enterrado por sedimentos adicionales en los que la superficie del suelo moderno se formó. A una fecha más tardía incisiones ocurrieron en el arroyo. Lo que fue especialmente importante fue que el paleosuelo pudo ser trazado sobre una gran área. Éste fue mapeado sobre una distancia de 3 kilómetros a lo largo del arroyo moderno y cuesta arriba a lo largo de un tributario por unos 500 metros. Este paleosuelo era casi exactamente paralelo a la superficie moderna. Esto indica que los procesos en acción en la superficie moderna son similares a aquellos en acción hace casi 2500 años atrás, claro está, con la excepción de la incisión.

Otra área importante de investigación en el 2008 fue la descripción y muestreo de paleosuelos más altos en las secciones más profundas de los drenajes incisos. En años

previos la falta de tiempo y de equipo de alpinismo nos impidió examinar las partes más altas de estos paleosuelos expuestos. Este año nos fue posible tomar muestras de estos paleosuelos más altos. Los paleosuelos más altos son importantes porque están localizados cerca de la superficie moderna. Fechas de radiocarbono de estos suelos enterrados nos permitirá determinar la fecha de cuando el valle se llenó de sedimentos, los cuales fueron más tarde incisos. Basado en exámenes preliminares de las fechas parece ser que la porción más alta del Valle de Nochixtlán fue rellenada en una fecha mucho más temprana (10,000 a 12,000 AAP), mientras que la sedimentación en la porción más baja del valle es más reciente. Esto puede que represente el re-trabajo de los sedimentos en el valle superior y luego su re-deposición en las elevaciones más bajas. Otra posible explicación es que los sedimentos más antiguos están enterrados a profundidades aún mayores. Dada la presencia de lechos rocosos en sitios a lo largo del arroyo principal más bajo, esta explicación es inverosímil. El relleno más reciente del valle superior fue probablemente causado por cambios climáticos durante la transición del Pleistoceno-Holoceno. Relleno más reciente del suelo del valle durante el Holoceno Medio a Tardío fue primeramente causado por cambios en la demografía humana y el uso del terreno.

Esta temporada del 2008 nos proveyó de información adicional y muestras necesarias para desarrollar un mejor modelo de los cambios paleoambientales en el Valle de Nochixtlán, y también de un mejor entendimiento de la ecología humana en la región.

El Valle de Nochixtlán

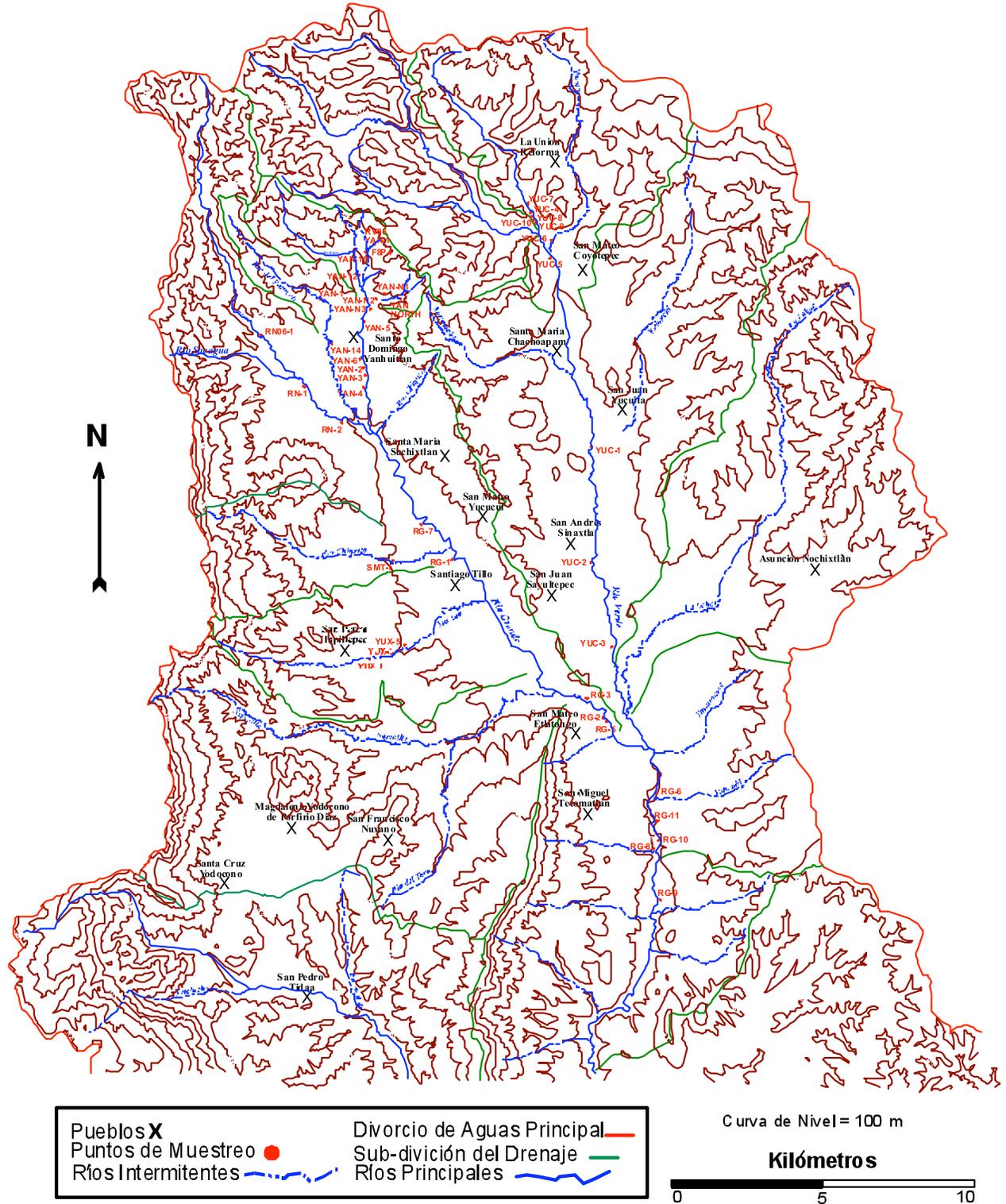


Figura 3.1. Ubicaciones de Muestreo Geológico en el Valle de Nochixtlán.



Figura 3.2. Punto de Muestra RG-6

Apéndice #1 – Ubicaciones GPS de Puntos de Muestras

Valle de Nochixtlán		Ubicaciones GPS de Puntos de Muestras			
		Coordenadas UTM		Elevación	
Todas las elevaciones son de la cima de la exposición		Este	Norte		
Valores en Metros			Zona 14		
Área de Yanhuitlán	RN06-1	673157	1938512	2162	
	RN-1	674491	1937612	2133	
	RN-2	675299	1935940	2105	
	YAN-1	675043	1939758	2168	
	YAN-14	675404	1938343	2142	
	RV06-				
	YAN1	676643	1941410	2219	
	RV06-F8P4	676534	1941373	2220	
	YAN10	676512	1941299	2216	
	YAN12	676230	1940531	2187	
	YAN-North	677458	1939783	2173	
	YAN-N2	676780	1939742	2170	
	YAN-N3	676560	1939537	2155	
	YAN-5	676445	1939001	2156	
	YAN-6	676375	1937823	2121	
	YAN-2	676483	1937487	2125	
	YAN-3	676451	1936887	2116	
	YAN-4	676448	1936888	2109	
	RG-7	678342	1932815	2076	
	SMT-1	677436	1931613	2093	
	RG-1	679258	1931643	2064	
	YUX-1	676634	1928482	2122	
	YUX-3	676998	1928472	2099	
	YUX-5	677809	1928802	2086	
	Área Yucuita	YUC-7	681420	1942906	2146
		YUC-4	681563	1942728	2144
		YUC-8	681787	1942317	2129
YUC-10		681797	1942279	2129	
YUC-9		681806	1942207	2125	
YUC-6		682305	1941808	2129	
YUC-5		682272	1941228	2114	
YUC-1		683733	1935581	2059	
YUC-2		683750	1931598	2036	
YUC-3		684418	1928919	2023	

Área Etlatongo & Sur	RG-3	683655	1927064	2025
	RG-2	684143	1926519	2019
	RG-5	684166	1926522	2011
	RG-6	685727	1924182	2007
	RG-11	685630	1923434	1995
	RG-10	685835	1922712	1992
	RG-8	685677	1922417	1991
	RG-9	685793	1921328	1988

Apéndice #2 – Ejemplos de la Información de las Ubicaciones de Muestreo

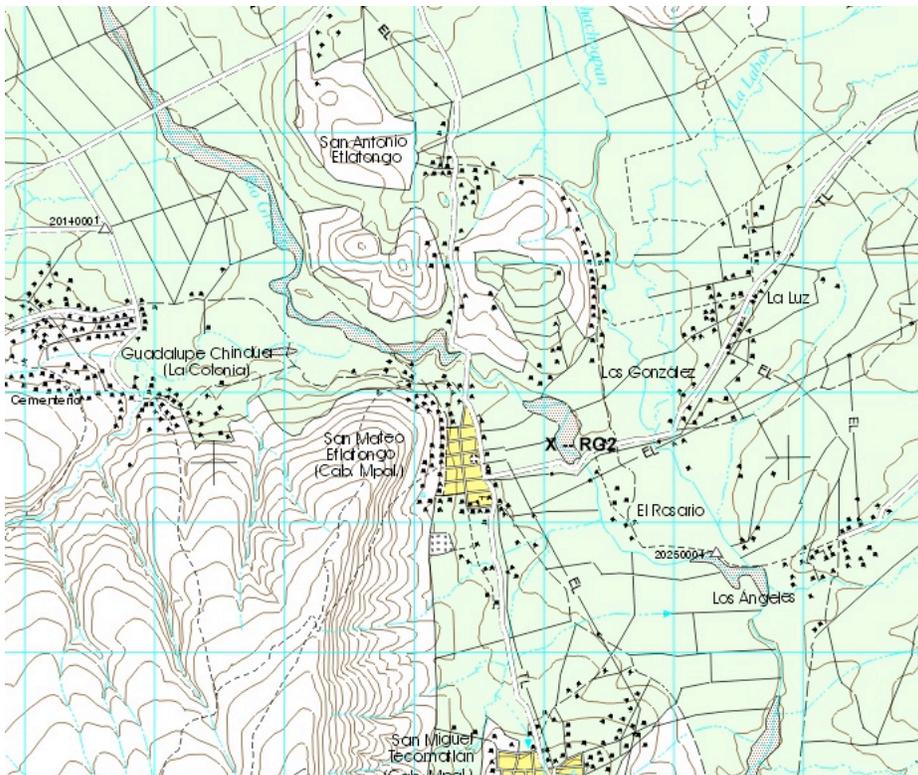
Ubicación de Muestreo: Río Grande, RG-2 (Etlatongo)

Coordenadas UTM: E684143, N1926519
Elevación: 2019 meters
Mapa Topográfico: E14D36, Asunción Nochixtlán

Esta ubicación se encuentra en una de las márgenes de truncamiento del Río Grande, a 1 kilómetro al este del pueblo de San Mateo Etlatongo. Se encuentra en el lado opuesto del arroyo en el importante sitio arqueológico de Etlatongo. El Río Grande se une al Río Yucuita (o Verde, o Chachoapan) a 2 kilómetros río abajo. La superficie superior está siendo actualmente usada para la agricultura.

Las contribuciones de sedimento en esta ubicación se derivan del área río arriba de la cuenca de drenaje. El divorcio de aguas se localiza aproximadamente a 25 Km hacia el norte-nordeste. Es posible que menores contribuciones de sedimento hayan venido de la cadena de colinas ubicadas al oeste del pueblo. Esta ubicación es parte del ciclo de corte y relleno encontrado adyacente a, y río abajo de RG-5. En RG-5 los paleosuelos encontrados están truncados por una de las curvas de serpenteo del Río Grande.

Ubicación RG-2



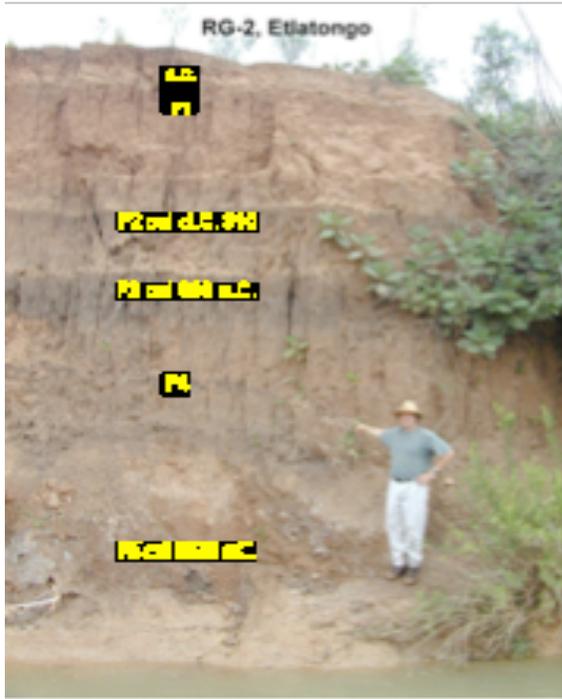
Estratigrafía de RG-2:

Esta ubicación se encuentra lo suficientemente lejos de las pendientes empinadas del valle en el drenaje superior de manera que la exposición consiste primariamente de cieno y arcilla del margen de truncamiento. Hay algo de sedimentos gruesos en esta exposición. Los paleosuelos son indicados por el contenido de material orgánico más alto y/o la estructura del suelo.

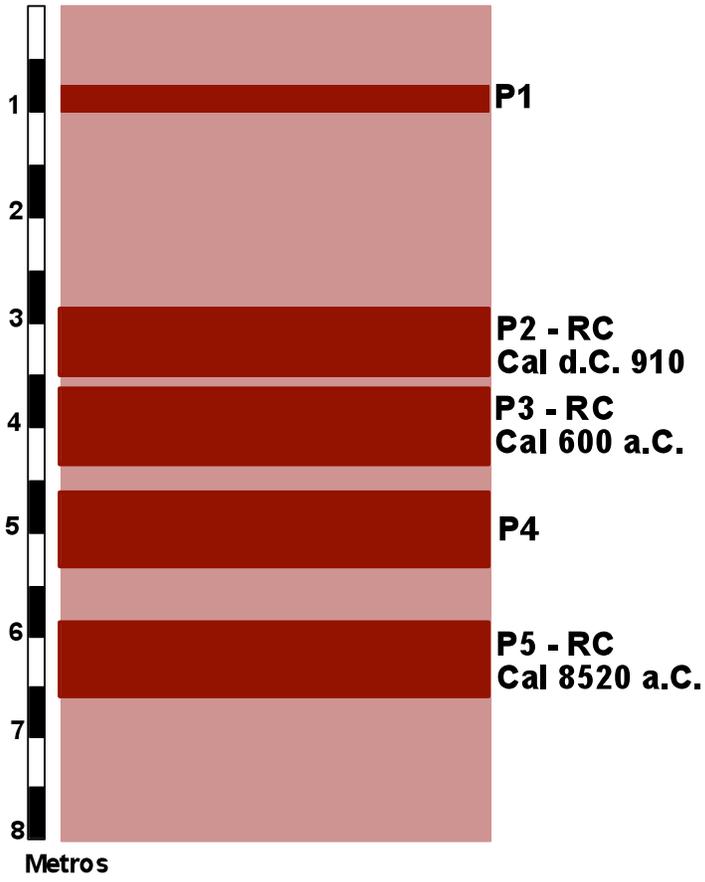
0 – 65	Superficie del suelo moderno con un perfil A-C en aluvión/coluvión reciente; bajo contenido de material orgánico con una estructura débil de migas en el horizonte-A;
65 – 100	P1, paleosuelo muy débil basado fundamentalmente en una estructura prismática de débil a media, con poco material orgánico; color levemente rojizo;
100 – 230	Cieno aluvial y arcillas con poco material orgánico;
230 – 280	Algo de material orgánico y poca estructura; transición a;
280 – 360	P2, leve enriquecimiento de material orgánico con una débil y gran estructura prismática;
360 – 430	P3, paleosuelos bien desarrollado con un alto contenido de material orgánico (10YR2/1); capa fina de grava discontinua en la base; estructura prismática de media a gruesa;
430 – 460	Cieno y arcilla de bajo contenido de material orgánico;
460 – 530	P4, paleosuelos con un contenido moderado de material orgánico; estructura prismática moderada, media;
530 – 580	Cieno y arcilla de bajo contenido de material orgánico;
580 – 650+	P5, paleosuelo bien desarrollado con un alto contenido de material orgánico (10YR 1/1 a 2/1); el horizonte-A es aproximadamente de 1.0 metro de grosor con una estructura prismática de fuerte a media, cerca de moderada media con bloques angulares; argilita bien desarrollada. El P5 parece ser equivalente al P7 localizado en RG-1.

Fechas de Radiocarbono:	P2 – Cal d.C. 910
	P3 – Cal 600 a.C.
	P5 – Cal 8520 a.C.

Estratigrafía



RG-2



Marco Regional



Capítulo 4

Isótopos Estables de los Suelos

Naomi Levin

Introducción

Hoy en día la erosión en el valle del Río Verde ha expuesto un área de terreno de corte y relleno de secuencias sedimentarias que archivan la historia del medio ambiente de la región y los efectos de la intensificación del uso del terreno. En la parte superior del Valle del Río Verde estos sedimentos fluviales varían en edades desde 12,150 a.C. a d.C. 1284. La mayoría de las secuencias contienen suelos enterrados que representan intervalos de estabilidad en el paisaje. Estos suelos por su lado están limitados por depósitos de riberas o canales, los cuales representan intervalos de actividad fluvial y erosión río arriba. Los suelos enterrados proveen una foto instantánea del medioambiente durante la formación del suelo cuando la superficie del terreno era relativamente estable. Las características de los suelos, los cuales han sido discutidos en otras partes de este reporte, son indicadores prácticos de las condiciones ambientales durante el desarrollo del suelo ya que estos dependen de factores como la duración de la formación del suelo, el re-crecimiento de plantas en el suelo, roca madre, y clima.

Estudios de isótopos estables de materiales del suelo proveen información adicional en la distribución de la vegetación y balance de agua durante la formación del suelo. Aquí, hago un reporte de los resultados preliminares de la composición isotópica estable de material orgánico y carbonatos de las secuencias de los suelos enterrados en la región de la cuenca de drenaje de Nochixtlán en el Río Verde.

Información de Antecedentes de la Composición Isotópica de Materiales de los Suelos

La composición isotópica de carbono del material orgánico de los suelos es influenciada por la composición isotópica de las plantas creciendo en el suelo. Las proporciones de isótopos son comúnmente reportadas relativas a los estándares de Vienna Pee Dee Belemnite (VPDB) y son representadas como valores de δ en unidades per mil (‰), donde $\delta^{13}\text{C} = [({}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C})_{\text{muestras}}/({}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C})_{\text{estándares}} - 1] * 1000\text{‰}$. La composición isotópica de carbono, o $\delta^{13}\text{C}$, de una planta es fundamentalmente influenciada por las vías fotosintéticas de las plantas. La mayoría de los árboles, arbustos, y pasto de la temporada fría usan vías fotosintéticas C_3 mientras que la mayoría de los pastos de la temporada de crecimiento cálida, incluyendo el maíz, usan vías fotosintéticas C_4 . Los valores $\delta^{13}\text{C}$ de plantas que usan estas diferentes vías son bien definidas, de manera tal que valores de $\delta^{13}\text{C}$ de plantas C_3 tienen un promedio de -26‰ , mientras que valores de $\delta^{13}\text{C}$ de plantas C_4 tienen un promedio -13‰ globalmente (Farquhar et al., 1989). Dadas las diferencias isotópicas entre plantas C_3 y C_4 los valores de $\delta^{13}\text{C}$ del material orgánico de los suelos documentan la proporción de plantas C_3 (e.g., árboles, arbustos, siembras como el trigo) a plantas C_4 (e.g. pastos y maíz) creciendo en el suelo. Por otro lado, esta información puede ser usada para reconstruir la distribución de la vegetación en el Valle del Río Verde durante los intervalos de formación del suelo a lo largo del Holoceno.

A parte del material orgánico de los suelos, los cuales documentan directamente la composición isotópica del material de la vegetación, la composición isotópica de

suelos de carbonato también documentan las condiciones ambientales durante la formación de suelos. Los horizontes de carbonatos en suelos se forman en ambientes con temporadas de sequía los cuales reciben menos de un metro de lluvia anual (Birkeland et al., 1991; Jenny, 1980). La formación de carbonatos ocurre cuando un suelo pierde su humedad a causa de evaporación o de la absorción de agua por la vegetación (Birkeland et al., 1991). Durante estos procesos, la composición isotópica de carbono y oxígeno de la vegetación y del agua del suelo influyen la composición isotópica de carbonatos del suelo. La composición isotópica de suelos de carbonato puede, por el otro lado, ser usada para generar estimados cuantitativos de la vegetación local y de las condiciones hidrológicas.

Las proporciones de isótopos de carbono de los suelos de carbonato pueden ser usadas para determinar las proporciones de plantas C₃ y C₄ creciendo en el suelo ya que (1) plantas C₃ y C₄ tienen firmas isotópicas específicas de carbono, (2) el CO₂ del suelo refleja la composición isotópica del carbono de las plantas creciendo en el suelo, y (3) la composición isotópica de los carbonatos que forman el equilibrio con el CO₂ en el suelo incorpora las proporciones isotópicas del CO₂ del suelo. El factor de enriquecimiento de isótopos de carbono entre CO₂ derivado de plantas y carbonato de suelos es aproximadamente +13‰ (Cerling et al., 1989) de manera tal que suelos de carbonato a suelos con vegetaciones de puro C₃ y puro C₄ deben ceder valores aproximados de δ¹³C de -13‰ y 0‰, respectivamente.

La composición isotópica de oxígeno (valor δ¹⁸O) de suelos de carbonato es determinada por la composición isotópica del oxígeno de la caída de lluvia, el grado de evaporación del agua del suelo, y la temperatura del suelo. Los valores de δ¹⁸O de la caída de lluvia son indicativos del clima y éstos disminuyen con la cantidad de lluvia, elevación, distancia de la costa, y la condensación de la temperatura (Dansgaard, 1964; Rozanski et al. 1993). La lluvia penetra los suelos, convirtiéndose en agua de suelos, por medio de infiltración o el escurrimiento de la superficie. Agua del suelo es entonces sujeta a evaporación, la cual aumenta los valores de δ¹⁸O del agua del suelo con relación a los valores de δ¹⁸O del agua de lluvia de la cual se originó (Craig and Gordon 1965). En los perfiles de suelo, los valores de δ¹⁸O de los carbonatos de suelo son mayores en la superficie, en donde el potencial para la evaporación del agua es mayor (Barnes and Turner 1998; Hsieh et al. 1998; Quade et al. 1989). Finalmente, los valores de suelos de carbonato δ¹⁸O también reflejan la temperatura ya que el fraccionamiento de isótopos de oxígeno (i.e., compensación) entre el agua y el carbonato depende de la temperatura (Kim and O'Neil 1997). Cuando los carbonatos son muestreados a profundidades en los suelos, los valores de δ¹⁸O de los suelos de carbonato deberían de documentar ambos, el promedio de la temperatura anual y la composición isotópica del oxígeno del agua del suelo, ya que las temperaturas del suelo se acercan al promedio anual de la temperatura con el aumento de la profundidad del suelo (Hillel 1982).

Materiales de Estudio y Métodos

Este aspecto del proyecto del 2008 tiene como objetivo usar la composición de los isótopos estables del material orgánico y del carbonato en los suelos para complementar los demás modelos paleoambientales del Holoceno del Valle del Río Verde. En el 2008, muestras de material orgánico y de carbonato fueron recolectadas de los suelos enterrados los cuales han sido previamente descritos y mapeados. Las secciones estratigráficas con

los horizontes de carbonato específicos fueron el objetivo y fueron apareados con muestras de material orgánico de los mismos suelos en donde fue posible. Horizontes orgánicos de varios suelos han sido fechados usando radiocarbono (ver Capítulo 3). En resumen 1-5 muestras de suelo con material orgánico y 49 muestras de carbonato pedogénico fueron recolectados de los 99 afloramientos de suelos enterrados en 29 secciones sedimentarias. Fechas de radiocarbono de 32 de las 99 muestras de suelo están disponibles y éstas indican que los suelos varían en edades desde 12,150 a.C. a d.C. 1284. Unos 29 suelos adicionales han sido muestreados para fechamiento de radiocarbono, pero éstos aún no han sido analizados.

Muestras de material orgánico fueron recolectadas de la cima de suelos enterrados expuestos, en donde marcadas diferencias en ambos el color y textura indican un horizonte orgánico; en algunos casos carbón fue también recolectado. Duplicados de las muestras de material orgánico fueron recolectados para el análisis de fitolitos (ver Capítulo 5). Suelos de carbonatos fueron recolectados de horizontes de carbonatos por lo menos a unos 40 cm debajo de la frontera superior del suelo enterrado. Suelos de carbonato fueron recolectados a estas profundidades para evitar la influencia del CO₂ atmosférico en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ en los suelos de carbonato, y para minimizar los efectos de evaporación en los valores de $\delta^{18}\text{O}$ en los suelos de carbonato. Antes del análisis, nódulos de suelos de carbonatos fueron partidos e inspeccionados visualmente con un microscopio óptico (10x magnificación), para asegurar que éstos estuviesen compuestos de calcita de micrita, y no de calcita espática. Los nódulos fueron perforados con una broca de carburo o de diamante, evitando detritos y escalas secundarias de mm de venas de calcita.

Previo a los análisis isotópicos, suelos de carbonato en polvo eran calentados bajo aspiradora a unos 350–400°C por 3 horas. Los suelos de carbonato eran entonces analizados usando un aparato de carbonato en línea, el Finnigan Carboflo, reaccionaban con cápsulas de plata en 100% ácido fosfórico a 90°C, y entonces analizados en un espectrómetro de masas Finnigan MAT 252 en la Universidad de Utah. Las correcciones de los resultados isotópicos eran basadas en una referencia de material de mármol Carrara el cual había sido calibrado al estándar de calcita NBS-19. La precisión (1σ) del material de mármol Carrara era $\pm 0.07\text{‰}$ y $\pm 0.09\text{‰}$ para medidas de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$, respectivamente. Todos los valores de isótopos eran reportados en referencia al estándar isotópico de VPDB, usando notación- δ estándar. Las muestras de material orgánico aún no han sido analizadas, aunque algunos valores de $\delta^{13}\text{C}$ de material orgánico están disponibles como parte de los resultados de radiocarbono producidos por Beta Analytic.

Muestras de agua de ríos, manantiales, y de grifos fueron recolectadas ($n = 9$) en viales de Qorpak® con tapas con sellos de policono durante Junio-Julio del 2008. Proporciones de oxígeno e hidrógeno de las aguas fueron medidos en la Stable Isotope Ratio Facility para el Estudio Ambiental, Universidad de Utah. Los análisis de agua fueron hechos usando una sola alícuota de 0.5 μl de agua eyectado en una columna de carbono de vidrio la cual fue sostenida a unos 1400°C para producir gases de H₂ y CO₂ (Sharp et al., 2001). Después de la separación por un cromatógrafo de gas en un portador de gas de helio, las proporciones de estos gases fueron analizadas con un espectrómetro de masas ThermoFinnigan Delta +XL. Las muestras fueron medidas en duplicados con un promedio de precisión (1σ) de 0.2‰ y 1.3‰ para $\delta^{18}\text{O}$ y δD , respectivamente.

Valores- δ son reportados relativos a la referencia isotópica, Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW).

Resultados Preliminares

Los promedios de isótopos de Carbono y oxígeno de 13 muestras de suelos de carbonato fueron medidos. Estas muestras son de suelos los cuales varían en edad desde 10,790 a.C. a 450 a.C., e incluyen carbonatos de un suelo el cual está activo en la actualidad. Cinco de estos suelos son fechados directamente con radiocarbono y otros dos pueden ser limitados basado en las fechas de radiocarbono y otros dos suelos debajo y encima (Tabla 4.1, y Figura 4.1). Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ de suelos de carbonato tienen un promedio de $-4.0 \pm 1.6\%$ y varían desde -7.2 a -1.0% . Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ de los suelos de carbonato tienen un promedio de $-9.2 \pm 0.8\%$ y varían desde -10.3 a -7.9% . De estos datos iniciales, no se ve un patrón temporal claro en los resultados de los suelos de carbonato $\delta^{13}\text{C}$ o $\delta^{18}\text{O}$. No hay una correlación entre los valores $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ ($R^2 = 0.07$).

Valores de material orgánico $\delta^{13}\text{C}$ de 27 de los análisis de radiocarbono de los suelos en el Valle de Nochixtlán están disponibles. Estos valores de $\delta^{13}\text{C}$ ($\delta^{13}\text{C}_{\text{om}}$) de material orgánico tienen un promedio de $-20.4 \pm 2.7\%$ y varían desde -25.0 a -15.7% . No hay un patrón temporal claro en los valores de $\delta^{13}\text{C}_{\text{om}}$ (Figura 4.2).

El oxígeno e hidrógeno isotópico de las aguas modernas muestreadas en el Valle de Nochixtlán indican pocas variaciones entre las aguas de lluvia, manantiales, y grifos que fueron recolectadas (Tabla 4.2, Figura 4.3). Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ tienen un promedio de $-9.0 \pm 0.8\%$ y valores de δD con un promedio de $-66.4 \pm 9.3\%$ (VSMOW). La mayoría de las muestras de agua yacen debajo de la línea del agua meteórica global como es definido por Dansgaard (1964) excepto por una sola muestra de lluvia la cual es trazada sobre la línea.

Carbono

Los resultados isotópicos de carbono para ambos el suelo de carbonato y material orgánico sugiere que, ambos, plantas de C_3 y C_4 han existido en el valle de Nochixtlán por más de 14,000 años. Las variaciones en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ (-7.2 a -1.0%) de los suelos de carbonato se correlacionaron aproximadamente con los suelos que contuvieron vegetaciones de 45% a 92% de C_4 , asumiendo un factor de fraccionamiento de planta-carbonato de 13‰ y valores de miembro-fin de plantas C_3 y C_4 de -26% y -13% , respectivamente. De manera similar, las variaciones en los valores de material orgánico de $\delta^{13}\text{C}$ del análisis de radiocarbono, indican suelos que han variado en sus proporciones de plantas C_3 y C_4 . El trazado de los valores $\delta^{13}\text{C}$ de material orgánico (Figura 4.2) indica que puede ser que hayan habido cortos intervalos de tiempo en los que las proporciones de plantas C_4 crecieron en el paisaje. El análisis de los suelos de carbonato restantes y de material orgánico recolectado específicamente para el trabajo de isótopos estables ayudará a caracterizar estos intervalos de aumento de vegetación C_4 en más detalle.

Oxígeno

Las limitadas variaciones en los valores de $\delta^{18}\text{O}$ de los suelos de carbonato de Nochixtlán indican pocos cambios en las condiciones hidrológicas sobre los últimos 14,000 años. Asumiendo que el promedio de temperatura anual ($16\text{-}20^\circ\text{C}$) se aproxima a

la temperatura de los suelos durante la formación de carbonato, los factores de fraccionamiento dependientes de la temperatura entre el agua y la calcita subrayados por Kim y O'Neil (1997) predicen que los valores de $\delta^{18}\text{O}$ de los suelos de carbonato de Nochixtlán ($-9.2 \pm 0.8\text{‰}$) se formaron de aguas con valores de $\delta^{18}\text{O}$ de $-8.3 \pm 0.9\text{‰}$. Estos valores no son distinguibles de los valores de $\delta^{18}\text{O}$ de las aguas modernas de hoy en día de la región, la cual tiene un promedio de $-9.0 \pm 0.8\text{‰}$ (VSMOW). Las semejanzas en los valores de $\delta^{18}\text{O}$ de agua sugieren que el régimen climático que afecta la composición isotópica del oxígeno del agua hoy no ha variado de ninguna manera fundamental a lo largo del Holoceno.

El factor de fraccionamientos de dependiente en la temperatura entre el agua y la calcita también puede ser usado para calcular las temperaturas de los suelos modernos ya que sabemos ambos valores de $\delta^{18}\text{O}$ de las aguas modernas y de los carbonatos de Nochixtlán. Tales cálculos ceden una temperatura de 16.7°C , la cual yace dentro de los límites del promedio de temperatura anual de la región. Si los suelos de carbonato se formaron por medio de la evaporación del agua de los suelos la cual estaba enriquecida en ^{18}O relativo al agua de lluvia, entonces este estimado de la temperatura sería el mínimo.

La falta de correlación entre los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ de los suelos de carbonato sugiere que la variación en la vegetación como se refleja en los límites de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ no es una función de cambios en las condiciones hidrológicas. Como es mencionado arriba, más análisis son necesarios para caracterizar completamente y explicar la variación en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ de ambos los carbonatos y el material orgánico en Nochixtlán.

Trabajos Futuros

Hemos de continuar la porción isotópica del estudio, completando los análisis de las muestras de los suelos de carbonato y material orgánico que fueron recolectados en Junio-Julio del 2008. Los resultados de estos análisis isotópicos serán compilados para evaluar los patrones a largo plazo en ambos el carbono y el oxígeno de estos sistemas isotópicos. Cualquier patrón en los datos isotópicos serán apareados con la documentación geomórfica, de polen, y fitolitos de la cuenca del Río Verde para producir una imagen más completa del cambio ambiental en la región. La integración de múltiple información ambiental nos ayudará a construir un entendimiento de las reacciones entre el cambio cultural, el uso del terreno y el ambiente en la cuenca del Río Verde durante el Holoceno.

Archivos auxiliares:

Tabla 4.1: Resultados Isotópicos Preliminares de los Suelos de Carbonatos

ID_Muestra	$\delta^{13}\text{C}_{\text{pc}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{pc}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{om}}^*$	Edad [†]	Limitación de Edad	# Estimado
	VPDB	VPDB	VPDB			% C ₄
MX08 RG2-P2.1A	-5.6	-7.9	-17.9	910	radiocarbono	57
MX08 RG6-P1C.A	-4.7	-9.0	-15.7	-450	radiocarbono	64
MX08 RG7-P3.1A	-4.0	-8.2		-8275	-8275 +/- 2515 años (a mitad de 5760 y 10790)	70
MX08 RG7-P2.1A	-2.8	-10.3		-8275	-8275 +/- 2515 años (a mitad de 5760 y 10790)	78
MX08 RG7-P6.1A	-2.7	-7.9	-25	-10790	radiocarbono	80
MX08 RG10-O1A	-4.0	-9.3		1950	moderno	69
MX08 RN1-M1A	-3.9	-9.9		--	ninguno	70
MX08 YAN2-P5.1A	-4.3	-9.9		-4230	radiocarbono	67
MX08 YAN2-P6.1A	-1.8	-9.3		-4785	radiocarbono	86
MX08 YAN3-P5.1A	-7.2	-9.1		--	ninguno	45
MX08 YUC3-M1A	-4.4	-9.3		1950	moderno	66
MX08 YUC3-P1.1A	-1.0	-10.2		--	ninguno	92
MX08 YUC3-P2.1A	-5.1	-10.0		--	ninguno	61
Notas:						
* $\delta^{13}\text{C}$ valores de material orgánico muestreado de los mismos horizontes disponibles como consecuencia de las fechas de radiocarbono.						
† Calendario calibrado primario de fechas de radiocarbono; '-' indica años a.C.; 1950 d.C. es asignado para suelos modernos; marcas de picaduras son listadas si no hay limitaciones de edad disponibles						
# Estimados aproximados del porcentaje de plantas C ₄ representado por valores $\delta^{13}\text{C}_{\text{pc}}$, usando suposiciones listadas en el texto						

Figura 4.1. Resultados preliminares de carbono y oxígeno de los suelos en la región de Nochixtlán trazados versus la edad del suelo. Notar que no todas las 13 muestras para las cuales hay valores de $\delta^{13}\text{C}_{\text{pc}}$ y $\delta^{18}\text{O}_{\text{pc}}$ han sido trazadas aquí ya que edades fiables no están disponibles para todas. La barra de errores representa el error en la edad de la muestra. Barras de errores mayores están asociadas con suelos los cuales han sido fechados solo por su posición relativa con respecto a los suelos cuyas edades son conocidas. Ver Tabla 4.1 para datos.

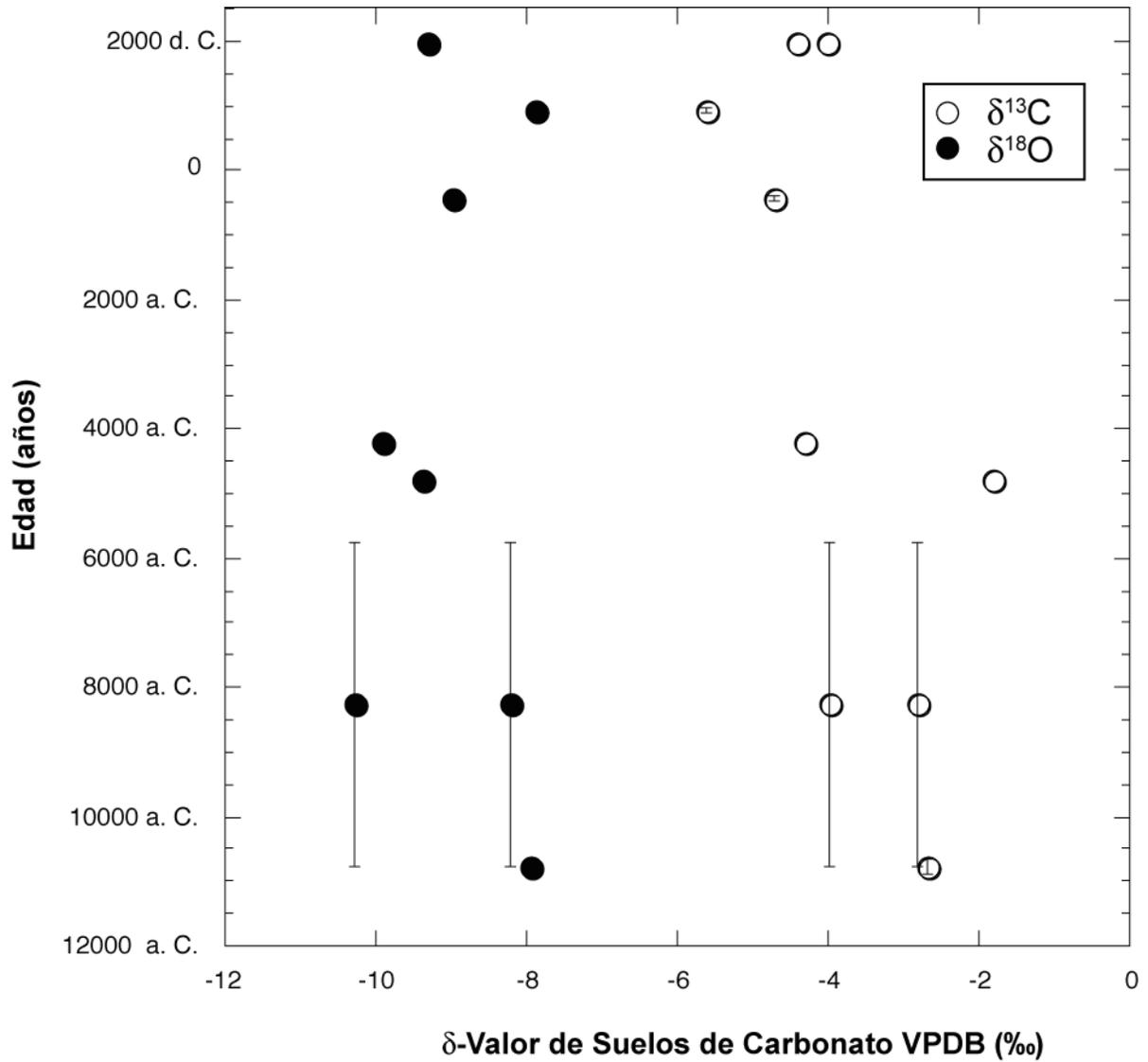


Tabla 4.2: Composición Isotópica de las Aguas de la Región de Oaxaca

Muestra ID	Tipo	Lat NAD83	Long NAD83	Elev. m	Fecha de Recolección aaaa.mm.dd	$\delta^{18}\text{O}$ VSMOW	$\delta^{18}\text{O}$ 1σ	δD VSMOW	δD 1σ	Lugar
MX08W-100	lluvia	17.2500	-96.8500	1750	2008.06.22	-9.36	0.02	-67.1	0.82	Huitza, en la carretera de Oax. a Nochixtlán
MX08W-101	río	17.3960	-97.2515	2001	2008.06.23	-9.01	0.13	-68.5	0.15	Río Grande, Valle de Nochixtlán.
MX08W-102	arroyo	17.4629	-97.2696	2046	2008.06.25	-9.76	0.04	-74.9	0.20	Valle de Yucuita; en YUC2
MX08W-103	río	17.5126	-97.3562	2136	2008.06.27	-9.02	0.01	-69.3	0.21	Río Negro
MX08W-104	manantial	17.4736	-97.3162	2079	2008.06.30	-9.19	0.01	-72.9	0.02	Ribera del Río Grande
MX08W-105	río	17.4740	-97.3200	2078	2008.06.30	-9.07	0.02	-70.0	0.11	Río Grande, entre el manantial y RG7
MX08W-106	lluvia	17.4700	-97.2800	2080	2008.06.30	-7.20	0.02	-43.9	0.41	Nochixtlán, Hotel Santillán
MX08W-107	río	17.5689	-97.3074	2186	2008.07.02	-8.43	0.17	-60.8	0.63	Río Yutzatoto, en Sayaltapec
MX08W-108	grifo	17.0674	-96.7158	1578	2008.07.06	-9.74	0.12	-70.6	0.63	Casa Arnel

Figura 4.2. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ de material orgánico presentado para los análisis de radiocarbono trazados versus el calendario calibrado de edades de radiocarbono.

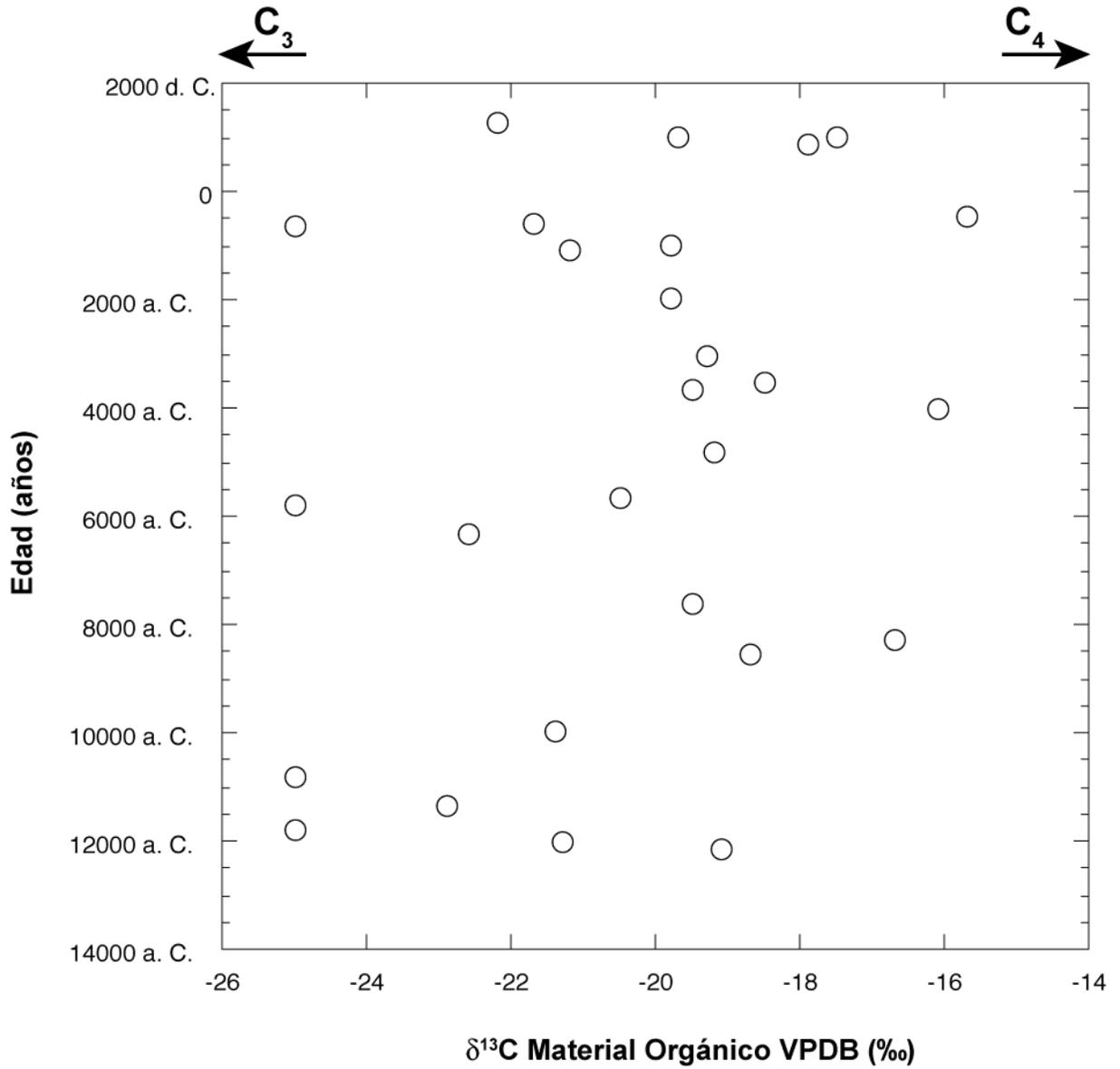
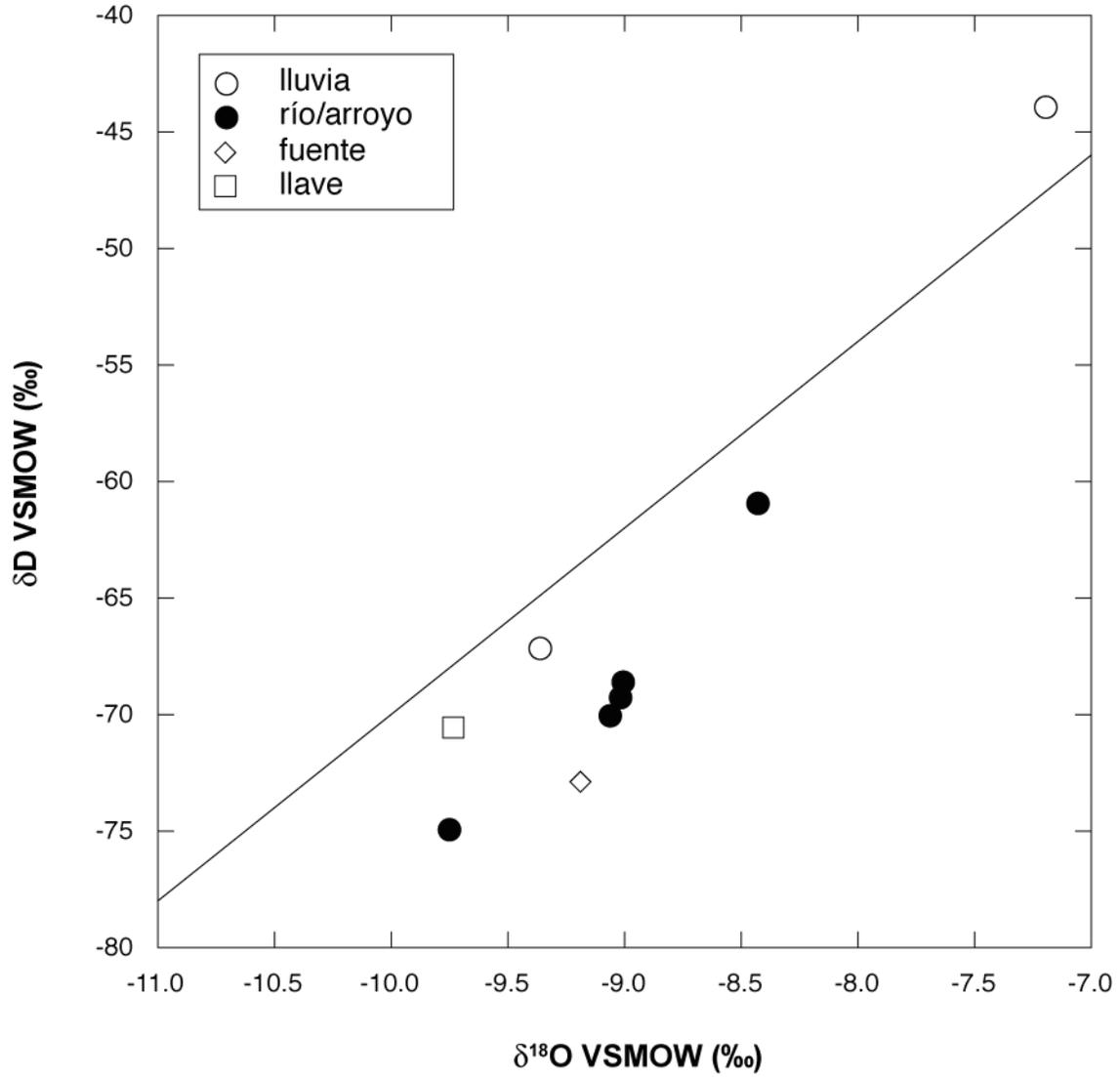


Figura 4.3. Trazado de los resultados isotópicos de las muestras de las aguas de la región de Oaxaca, Junio-Julio del 2008. La línea global de aguas meteóricas (Dansgaard, 1964) es trazada como referencia. Ver Tabla 4.2 para datos.



Capítulo 5

Análisis de Fitólitos de Ópalo

William Middleton

Fitólitos de ópalo son concreciones microscópicas de silicio amorfo (ópalo) depositados dentro y alrededor de las células de muchas, aunque no todas, las especies de plantas (Piperno 2006). Típicamente éstos toman la forma del interior o exterior de la célula de la planta dentro o alrededor de las que se forman, y como tal, pueden ser identificados con varios grados de especificación taxonómica; algunos de manera muy general, por ejemplo plantas de hojas anchas o pastos, otros al nivel de las especies. Cuando la planta en la que los ópalos se forman muere, estos son incorporados en los sedimentos en los que el material de la planta es depositado junto a los componentes orgánicos del tejido de la planta. Porque los fitólitos de ópalo son inorgánicos, estos son muy duraderos y son preservados en una amplia gama de contextos. Ya que se originan en tejido de plantas, estos tienden a ser incorporados en los sedimentos donde el tejido de las plantas muertas es depositado y deteriorado, y por lo tanto son buenos indicadores locales de la vegetación. Sin embargo, son sujetos a fuerzas mecánicas de erosión y sedimentación, y pueden ser erosionados de sus sitios de depósito primario y re-depositados en un sitio secundario.

Porque son duraderos y generalmente reflejan su contexto deposicional primario, los ópalos de fitólitos han sido ampliamente usados como indicadores paleoecológicos. Son extraídos de los sedimentos, montados en portaobjetos de microscopios, y visualmente identificados. Por su durabilidad y especificación especial, el análisis de fitólitos puede presentar una imagen bastante certera de la distribución de las especies de las plantas a lo largo de paisajes antiguos. Sus mayores desventajas son que no todas las plantas producen ópalos de fitólitos, y muchas de las especies que los producen, producen fitólitos que no pueden ser identificados al nivel de especies. Por esta razón, ambos, identificaciones de especies individuales y perfiles comunitarios (un perfil estadístico de los fitólitos producidos por comunidades de plantas conocidas) son usados para interpretar los ensamblajes de fitólitos.

Materiales y Métodos

Comenzando durante la temporada del otoño del 2008, muestras recolectadas durante la temporada de campo del 2008 en el Valle de Nochixtlán fueron analizadas en el Laboratory for Material Culture Sciences en el Rochester Institute of Technology (RIT), bajo la dirección del Dr. William D. Middleton. El trabajo fue llevado a cabo por el Dr. Middleton y varios estudiantes de RIT (Brian Todt, Stefanie Carey, Richard Odlum, Emily Sanders, Jeremy Simms, y Ashlee Farkas). Porque el análisis de los fitólitos es un proceso que se toma tiempo, este trabajo está aún siendo llevado a cabo y el reporte presente debe ser visto como preliminar.

Tres diferentes tipos de muestras fueron recolectadas durante la temporada de campo: muestras paleoecológicas de paleosuelos enterrados a lo largo del drenaje del Río Verde para ser usadas en la reconstrucción de comunidades antiguas de plantas (estas muestras también estuvieron sujetas a análisis químicos); muestras de tejidos tomadas de plantas modernas para determinar cuales especies de plantas producen fitólitos de ópalo y que tan certeramente pueden ser identificados por los fitólitos que producen (i.e., para

establecer una colección de referencia de fitolitos de ópalos de especies de plantas); y muestras de superficie/suelo modernos de áreas que tenían diferentes comunidades de plantas para así poder identificar comunidades de plantas antiguas (i.e., para establecer una colección de perfiles de referencia de una comunidad).

Ambas muestras de sedimentos antiguos y modernos fueron analizadas siguiendo un rápido protocolo desarrollado por el Dr. Middleton y los estudiantes de RIT Brian Todt and Stefanie Carey. El protocolo rápido es una modificación del protocolo estándar desarrollado por Deborah Pearsall (1989:368-371). Procesamiento de las muestras de plantas modernas es mucho más simple, ya que no hay sedimento que separar de los fitolitos.

Hasta la fecha, las muestras que han sido procesadas y recorridas visualmente consisten de aproximadamente 70 muestras de paleosuelos de los drenajes de Yanhuitlán, Río Grande, Río Verde, Yuxano, y Yucuita; 12 muestras de suelos modernos (superficie/suelos) de los sitios a lo largo del Valle de Nochixtlán; y 24 muestras de plantas modernas. Análisis cuantitativo completo de los datos de las muestras aún no han sido completados. Algunas muestras requieren procesamiento a causa de que estas fueron inicialmente procesadas durante el desarrollo del protocolo modificado, y no están lo suficientemente “limpias” como para ser recorridas claramente para la identificación de fitolitos.

Conclusiones Preliminares

Porque un cierto número de las muestras fueron procesadas durante el desarrollo del protocolo modificado, como consecuencia necesitan ser reprocesadas, el procesamiento de las muestras y análisis está aún en proceso, y el análisis cuantitativo necesita aún ser completado, nos enfocaremos solo en una pequeña sub-colección de las muestras que han sido procesadas hasta hoy. Estas muestras son todas de los tres sitios de recolección de los drenajes de Yanhuitlán, Río Grande, y Yuxano. Cada sitio de recolección presenta una secuencia de dos a cuatro paleosuelos. Ópalos de fitolitos fueron recuperados de todos estos paleosuelos (de hecho, ópalos de fitolitos fueron encontrados en las todas 70 muestras de paleosuelo procesadas hasta hoy). Todos los datos de los sitios son presentados abajo por Mueller y Pou (2008).

Yanhuitlán-5:

Sitio de Muestra: Yanhuitlán, YAN-5 (Rivera grande al NE del pueblo)

Coordenadas UTM: E676383, N1938979

Elevación: 2143 metros

Mapa Topográfico: E14D25, Villa de Tamazulapan del Progreso

Este sitio está localizado a lo largo de una alta ribera del Yusatiagua, el cual drena el área alrededor de La Cantera. Esta ribera se encuentra en las proximidades inmediatas del pueblo. La parte superior representa la superficie sobre la cual se localiza el pueblo de Yanhuitlán. Hay un total de ocho paleosuelos con el más profundo formado encima de roca madre rojiza (posiblemente un lecho de roca). Muestras de radiocarbono fueron colectadas de los suelos P2, P3, y P8, pero estas aún no han sido fechadas. A causa de la

pendiente y la altura de la ribera, detallada descripción de la estratigrafía no fue documentada. La estratigrafía puede ser vista en la imagen debajo.

Los paleosuelos procesados para los ópalos de fitolitos en este sitio son:

- Paleosuelo 1
- Paleosuelo 5
- Paleosuelo 7
- Paleosuelo 8

Los únicos paleosuelos fechados son: P1 fechado a unos 3020 cal a.C.

Conclusiones Preliminares:

Yan5-P1	Mezcla de hojas anchas y pastos, con pastos panicoides dominando el ensamblaje de pasto.
Yan5-P5	Mezcla de hojas anchas y pastos, con pastos cloridoideos dominando el ensamblaje de pasto.
Yan5-P7	Mezcla de hojas anchas y pastos, con pastos cloridoideos y panicoides.
Yan5-P8	Pastos dominantes, con ambos pastos panicoides y cloridoideos, pastos panicoides algo dominantes.

Río Grande-7:

Sitio de Muestra: Río Grande, RG-7 (Río arriba de RG-1)

Coordenadas UTM: E678346, N1932821

Elevación: 2078 metros

Mapa Topográfico: E14D36, Asunción Nochixtlán

Este sitio está localizado en una curva brusca de la ribera, como a unos 3 km al sur de Yanhuitlán. Esta exposición está localizada en una parte del valle lateral y amplia, pero ésta pudo haber recibido sedimentos de las colinas cuesta arriba (Cerro Jazmín) a solo 2 km al oeste.

Estratigrafía:

Profundidad (cm)	Descripción de los Sedimentos
0 – 180	Perfil del suelo moderno. La ribera está siendo erosionada en un campo de agricultura activo.
180 – 220	P1, estructura prismática de fuerte a media; alto contenido de material orgánico; argilitas a lo largo de las caras de peds.
220 – 250	Depósitos de arcilla cienosa de la ribera.
250 – 290	P2, estructura prismática de fuerte a moderada; alto contenido de material orgánico; argilitas a lo largo de las caras de los peds.
290 – 340	Depósitos de arcilla cienosa de la ribera.

340 – 380	P3, estructura prismática de fuerte a moderada; moderado contenido de material orgánico; argilitas a lo largo de las caras de los pedrs.
380 – 440	Depósitos de arcilla cienosa de la ribera; capas finas de gravilla pequeña debajo de P3.
440 – 460	P4, paleosuelo muy fino, y pobremente desarrollado.
460 – 470	Depósitos de arcilla cienosa de la ribera.
470—490	P5, paleosuelo muy fino y pobremente desarrollado.
490 – 500	Depósitos de arcilla cienosa de la ribera.
500 – 560	P6, contenido orgánico moderado; prismas grandes y Fuertes cambiando a moderados, bloques medianos y sub-angulares.
560 – 700	Depósitos de arcilla cienosa de ribera.
700 – 780	P7, desarrollo más fuerte de paleosuelo; estructura prismática grande y muy fuerte; alto contenido de material orgánico (10 YR 2/1).
780 – 940+	Depósitos de arcilla cienosa de ribera río abajo al manantial moderno.

Los paleosuelos procesados en este sitio para los ópalos de fitolitos fueron:

- Paleosuelo 1
- Paleosuelo 2
- Paleosuelo 3

Los únicos paleosuelos fechados son RG7-P1, fechado al 5760 cal a.C., y RG7-P6, fechado al 10790 a.C.

Conclusiones Preliminares:

RG7-P1	Mezcla de hojas anchas y arborícola.
RG7-P2	Arborícola dominante.
RG7-P3	Pastos dominantes, mayormente panicoides.

Yuxano-3:

Sitio de Muestra: Río Yuxano, YUX-3
 Coordenadas UTM: E676634, N1928482
 Elevación: 2122 metros
 Mapa Topográfico: E14D35, Santiago Yolomécatl

Este sitio fue seleccionado porque proveyó una buena exposición de múltiples paleosuelos y era representante de una gran área. Los paleosuelos están expuestos en una ribera incisa dentro del piso plano del valle. El valle encima de la ribera es tierra de pastoreo pero puede que haya sido plantada en el pasado. Esta área fue seleccionada para examinar la posible presencia de paleosuelos fuera del valle principal a lo largo del Río Yuxano, un gran tributario del Río Grande. Se esperó que estos paleosuelos pudiesen ser

trazados con aquellos a lo largo del Río Grande, pero éstos desaparecieron después de un afloramiento de roca debajo del cual el manantial se convirtió pantanoso.

Estratigrafía:

Profundidad (cm)	Descripción de los Sedimentos
0 – 100	Superficie del suelo moderno con muy bajo contenido orgánico.
100 – 160	P1 – Bajo contenido de material orgánico, pero estructura prismática media, moderada.
160 – 180	Depósito de arcilla cienosa de ribera.
180 – 200	P2 – Bajo contenido de material orgánico, pero estructura prismática media, moderada.
200 – 320	Depósito de arcilla cienosa de ribera.
320 – 340	P3 – Muy fino con una moderada cantidad de material orgánico y pequeña cantidad de material orgánico, con una moderada estructura prismática.
340 – 460	Depósito de arcilla cienosa de ribera.
460 – 600	P4 – Contenido orgánico de medio a alto, con una fuerte a media estructura prismática. Este es el paleosuelo más fuertemente desarrollado.
600 – 730	Depósito de arcilla cienosa de ribera.
730 – 800+	P5 – Muy alto contenido de material orgánico, pero sólo una estructura prismática de media a moderada.

Los únicos paleosuelos que han sido procesados para los ópalos de fitolitos son:

Paleosuelo 3

Paleosuelo 5

Los únicos paleosuelos fechados son YUX-3-P1, fechados a d.C. 1020.

Conclusiones Preliminares:

Yux3-P3	Mezcla de pastos y hojas anchas.
Yux3-P5	Pastos dominantes.

Discusión y Conclusiones

Aunque estos resultados son solo preliminares y parciales, hay una fuerte concordancia entre los tres sitios. Por lo general, los ensamblajes de los fitolitos de los tres sitios indican una transición de una dominación de pastos en los paleosuelos tempranos (más profundos), a una mezcla de un ensamblaje de pastos y plantas de hojas anchas en los paleosuelos más recientes (superiores). Mientras que fechas aún no han sido aseguradas para todos los paleosuelos, de manera que sus concordancias aún no pueden ser determinadas, el patrón es muy fuerte. Pastos panicoides, los cuales requieren algo más de humedad que los pastos cloroides, tienden a dominar las muestras más

tempranas. En general este patrón sugiere una sequía gradual del ambiente del Valle de Nochixtlán.

Mientras es necesario refinar la clasificación de ópalos individuales de tipos de fitolitos para la identificación de la taxa específica en las muestras de los paleosuelos, y mejorar la comunidad de los perfiles establecidos por medio del muestreo de especies de plantas modernas y comunidades de plantas, el patrón de cambio en las comunidades de plantas es claramente evidente en estos resultados preliminares.

Una de las preguntas más importantes que entablamos en este estudio es la introducción del maíz en el complejo agrícola de Mesoamérica. A este punto, los datos no nos permiten responder esta pregunta directamente. El maíz es un pasto panicoides. Pastos panicoides aparecen en algunas de las muestras más tempranas, pero por ahora, ningún ópalo de fitolito que pueda ser considerado como diagnóstico de maíz ha sido identificado. Sin embargo, cambios en la abundancia de los ópalos de fitolitos de los pastos panicoides pueden sugerir cambios en la composición de las comunidades de las plantas. Su abundancia temprana en alguno de los paleosuelos puede que indique la abundancia de pastos panicoides silvestres. Su declive en abundancia en muestras posteriores puede que indique un cambio en la comunidad de plantas silvestres. Su posterior resurgimiento en frecuencia puede que indique la introducción de un sistema de agricultura basado en maíz. Estas posibilidades continuarán siendo contestadas por medio del estudio en curso de la facultad y de los estudiantes investigadores en el Rochester Institute of Technology.

Capítulo 6 Conclusiones

Arthur A. Joyce

Las conclusiones preliminares del proyecto *Los Efectos del Cambio de Clima y del Impacto Humano en los Paisajes Históricos de Oaxaca* muestran que las nuevas técnicas usadas durante la temporada de campo del 2008 prometen el avance de los estudios de la ecología del Holoceno en Oaxaca. Los resultados iniciales de los núcleos de los sedimentos de los lagos, isótopos de suelos, y estudios de fitolitos muestran que estas técnicas cederán evidencias válidas para los patrones de clima y vegetación del Holoceno en las tierras altas y bajas del sur de México. El trabajo geomorfológico realza nuestro entendimiento de los cambios del paisaje del Holoceno basado en previas temporadas de campo (Joyce and Mueller 1992, 1997; Mueller 1991; Mueller and Pou 2008).

Los análisis de laboratorio de las muestras recolectadas durante la temporada de campo del 2008 son solo el principio, de modo que no podemos sacar conclusiones definitivas aún de la información. Basado en los resultados preliminares, sin embargo, un número de patrones provisorios son discernibles.

El estudio geomorfológico en el Valle de Nochixtlán es consistente con estudios posteriores del cambio del paisaje del Holoceno (Joyce and Mueller 1992, 1997). La evidencia de Nochixtlán muestra un período inicial de erosión durante la transición del Pleistoceno-Holoceno (ca. 12,000-10,000 cal AAP). En estos momentos, la porción superior del drenaje fue rellenada por sedimentos movilizados de elevaciones más altas. Supuestamente, cambios climáticos del Pleistoceno Terminal/Holoceno Temprano causaron este período de erosión en Nochixtlán, aunque los datos iniciales de isótopos de oxígeno de los suelos de carbonatos no indican cambios climáticos mayores. En contraste, la evidencia de los fitolitos, en especial la preponderancia de pastos panicoides asociados con los suelos más tempranos, puede que sugiera que los climas del Pleistoceno Terminal/Holoceno Temprano eran más húmedos que aquellos más tarde en el Holoceno posterior, lo cual puede que explique la erosión observada durante este tiempo. Al análisis de los fitolitos restantes y muestras de isótopos de suelos, se tiene la esperanza de que resuelva esta potencial contradicción y de que aclare la naturaleza de los cambios de clima y vegetación durante la transición del Pleistoceno-Holoceno.

El estudio geomorfológico muestra que la erosión en Nochixtlán continuó durante el Holoceno Medio/Tardío, lo cual resultó en el relleno de porciones más bajas del valle. Estudios previos indican varios episodios influyentes de erosión en Nochixtlán durante la parte posterior del Holoceno. Grandes episodios de erosión datan al Holoceno-medio (ca. 5760-4785 cal a.C.) y Holoceno Tardío (1950-1620 cal a.C.; 600-450 cal a.C.; cal d.C. 910-1040). Los episodios erosionales del Holoceno Tardío fueron casi por seguro causados por el impacto humano en el medioambiente (Joyce and Mueller 1997; Mueller and Pou 2008). El suelo regional observado en el sitio de muestreo RG-6 y rastreado por 3 kilómetros a lo largo del drenaje, indica que hubo una considerable estabilidad en la superficie del terreno seguido por aluviación causada por erosión en las tierras altas. Este fue un tiempo de rápida población en el Valle de Nochixtlán y del movimiento de habitantes a las elevaciones más altas, lo cual ha de haber causado erosión (Spores 1972).

Las fechas de las incisiones en el drenaje datan al período siguiendo inmediatamente al período de erosión final (ca. d.C. 1000-1200).

Estos resultados del estudio geomorfológico son sorprendentes ya que contradicen previos estudios (Kirkby 1972; Spores 1969) los cuales sugieren que la mayoría de la erosión en el Valle de Nochixtlán ocurrió durante los períodos Prehispánico Tardío y Colonial. En vez, nuestros datos indican que la mayoría de la erosión ocurrió antes del período de corte en ca. d.C. 1200. Es posible que las nuevas técnicas de conservación de suelo o una expansión de tales tecnologías, hayan estabilizado las pendientes de las colinas después del d.C. 1200. Alternativamente, para ca. d.C. 1200 previa erosión puede que haya removido mucho del sedimento disponible para transporte en el Valle de Nochixtlán.

La evidencia de la investigación geomorfológica en el Valle de Nochixtlán es consistente con las conclusiones preliminares de los núcleos de sedimentos de la laguna Minicua en el sur. Basado en las fechas de radiocarbono y una cuenta inicial de las cintas apareadas en el núcleo de Minicua, los datos de la susceptibilidad magnética indican el comienzo de la erosión para el período Formativo Medio (800-400 a.C.) con proporciones de erosión disminuyendo después del colapso del período Clásico en d.C. 800. No es muy claro por qué la erosión antropogénica no aumentó una vez más durante el Posclásico Tardío (d.C. 1200-1522) ya que la Mixteca Alta era una región con una alta población y una agricultura intensiva durante estos tiempos. Tal vez, como es sugerido por la evidencia geológica de Nochixtlán, para el Posclásico Tardío tecnologías de control de la erosión, como el sistema de terraza de lama bordo, fueron particularmente efectivas limitando la erosión. La dramática caída del nivel del lago Minucua sobre las últimas décadas sugiere un cambio ambiental mayor, aunque aún no es muy claro si la causa es antropogénica, geológica, o climática. En la Laguna Ojo de Mar, los datos de la susceptibilidad magnética también sugieren un declive en los impactos agrícolas siguiendo la Conquista Española.

La evidencia de fitolitos e isótopos de suelo hasta ahora no proveen mucha información en el impacto humano sobre la vegetación, en especial la creación de agroecosistemas, en el Holoceno Tardío. La mayoría de la evidencia de los fitolitos e isótopos de suelos analizados hasta la fecha datan al Pleistoceno Terminal y Holoceno Temprano. Se tiene la esperanza de que la finalización de los estudios de laboratorio provea mejores datos en los cambios de la vegetación del Holoceno Tardío.

Los resultados presentados aquí son preliminares y serán revisados en base a estudios de laboratorio en curso. El resultado más importante del estudio hasta la fecha, sin embargo, es la conclusión de que la suite de modelos paleoecológicos investigados cederá resultados válidos y futuros estudios tienen el potencial de revolucionar el entendimiento de la paleoecología del Holoceno.

Bibliografía

Alvarez, L.R. 2003. *Geografía General del Estado de Oaxaca*, 4^a ed. Carteles Editores. Oaxaca, Oaxaca, Mexico.

Barnes, C.J. y Turner, J.V. 1998. Isotopic exchange in soil water. En *Isotope Tracers in Catchment Hydrology*, editado por C. Kendall and J.J. McDonnell, pp. 137-163. Elsevier, Amsterdam.

Birkeland, P.W., Machette, M.N. y Haller, K.M., 1991. *Soils as a Tool for Applied Quaternary Geology*. Utah Geological and Mineral Survey, Salt Lake City.

Cook, E. R. y L. A. Kairiukstis (eds.). 1990. *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*. Kluwer Academic Publishers and International Institute for Applied Systems Analysis, Dordrecht, Netherlands.

Craig, H. and Gordon, L.I., 1965. Deuterium and oxygen-18 variations in the ocean and the marine atmosphere. En *Stable Isotopes in Oceanographic Studies and Paleotemperatures*, editado por E. Tongiorgi, pp. 9-130. V. Lischi, Spoleto.

Curtis, J. H., D. A. Hodell, y M. Brenner. 1996. Climate variability on the Yucatan Peninsula (Mexico) during the past 3500 years, and implications for Maya cultural evolution. *Quaternary Research* 46:37-47.

Dansgaard, W. 1964. Stable isotopes in precipitation. *Tellus* 16: 436-468.

Diamond, J. M. 2004. *Collapse: How Societies Choose to Fail or Succeed*. Viking, New York.

Dunning, N. P. y T. Beach. 1994. Soil erosion, slope management, and ancient terracing in the Maya Lowlands. *Latin American Antiquity* 5(1):51-69.

Faegri, K., y Iversen, J. 1989: *Textbook of Pollen Analysis*. John Wiley and Sons, New York.

Farquhar, G.D., Ehleringer, J.R. y Hubick, K.T. 1989. Carbon isotope discrimination and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 40:503-537.

Fisher, C. T., H. P. Pollard, I. Israde-Alcántara, V. H. Garduño-Monroy, y S. K. Banerjee. 2003. A reexamination of human-induced environmental change within the Lake Pátzcuaro Basin, Michoacán, Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100(8):4957-4962.

Folk, R.L. 1974. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill Publishing Company. Austin, Texas.

Gee, G.W. y D. Or. 2002. Particle-Size Analysis. En *Methods of Soil Analysis, Part 4, Physical Methods*, editado por J.H. Dane y G.C. Topp, pp. 255-293. Soil Science Society of America Book Series #5 Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.

- Goman, M., A. Joyce, y R. Mueller. 2005. Stratigraphic evidence for anthropogenically induced coastal environmental change from Oaxaca, Mexico. *Quaternary Research* 63:250-260.
- Heiri, O., A.F. Lotter, y G. Lemcke. 2001. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology* 25:101-110.
- Hillel, D., 1982. *Introduction to Soil Physics*. Academic Press, London.
- Hodell, D.A., M. Brenner, J. H. Curtis, y T. Guilderson. 2001. Solar forcing of drought frequency in the Maya Lowlands. *Science* 292:1367-1370.
- Hsieh, J.C.C., Chadwick, O.A., Kelly, E., F. y Savin, S.M., 1998. Oxygen isotopic composition of soil water: quantifying evaporation and transpiration. *Geoderma* 82:269-293.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1988. Carta Geológica, 1:250,000. Mexico City.
- Ito, E. 2001. Application of stable isotope techniques to inorganic and biogenic carbonates. En *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments: Physical and Geochemical Methods*, editado por J.P. Smol, H.J. Birks, y W.M. Last, pp. 351-372. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Jenny, H. 1980. *The Soil Resource: Origin and Behavior*. Springer Verlag, New York.
- Joyce, A. A. 2009. Tarascan land degradation and alternative traditions in Americanist landscape archaeology. En *States and Landscapes*, editado por S. E. Falconer y C. Redman. University of Arizona Press, Tuscon (en prensa).
- Joyce, A. A. y R. G. Mueller. 1992. The social impact of anthropogenic landscape modification in the Río Verde drainage basin, Oaxaca, Mexico. *Geoarchaeology* 7(6):503-526.
- Joyce, A. A. y R. G. Mueller. 1997. Prehispanic human ecology of the Río Verde drainage basin. *World Archaeology* 29(1):75-94.
- Joyce, A. A., M. Winter, y R. G. Mueller. 1998. *Arqueología de la costa de Oaxaca: Asentamientos del periodo Formativo en el valle del Río Verde inferior*. Estudios de Antropología e Historia No. 10. Centro INAH Oaxaca. Oaxaca, México.
- Kim, S.-T. y O'Neil, J.R., 1997. Equilibrium and nonequilibrium oxygen isotope effects in synthetic carbonates. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 61(16):3461-3475.
- Kirkby, M. 1972. *The Physical Environment of the Nochixtlán Valley, Oaxaca*. Vanderbilt University Publications in Anthropology, Number 2. Nashville, Tennessee.

Lane, C.S., S.P. Horn, y C. I. Mora. 2004. Stable carbon isotope ratios in lake and swamp sediments as a proxy for prehistoric forest clearance and crop cultivation in the Neotropics. *Journal of Paleolimnology* 32: 375-381.

Levin, N. E., J. Quade, S. W. Simpson, S. Semaw, y M. Rogers. 2004. Isotopic evidence for Plio-Pleistocene environmental change at Gona. *Ethiopia. Earth and Planetary Science Letters* 219:93-110.

Mueller, R.G. 1991. Appendix 2: Technical Report of the Geomorphological Research of the Río Verde Formative Project. En *Formative Period Occupation in the Lower Río Verde Valley, Oaxaca, Mexico: Interregional Interaction and Social Change*, por A.A. Joyce, pp. 788-839. Tesis doctoral, Rutgers University, New Brunswick, NJ.

Mueller, R.G. y L. Pou. 2008. The Nochixtlán Valley: A Report of Background Information and results of Fieldwork. Manuscrito en posesión de los autores.

Pearsall, D. 1989. *Paleoethnobotany: A Handbook of Procedures*. Academic Ppress, San Diego.

Piperno, D. R. 2006. *Phytoliths: A Comprehensive Guide for Archaeologists and Paleoecologists*. AltaMira Press, Lanham, MD.

Quade, J., Cerling, T.E. y Bowman, J.R. 1989. Systematic variations in the carbon and oxygen isotopic composition of pedogenic carbonate along elevation transects in the southern Great Basin, United States. *Geological Society of America Bulletin* 101:464-475.

Redman, C. L. 1999. *Human Impact on Ancient Environments*. University of Arizona Press, Tucson.

Rozanski, K., Araguas-Araguas, L. y Gonfiantini, R., 1993. Isotopic patterns in modern global precipitation. En *Climate Change in Continental Isotopic Records*, editado por P.K. Swart, K.C. Lohmann, J. McKenzie y S. Savin, pp. 1-36. American Geophysical Union, Washington D.C.

Schoeneberger, P.J., D.A. Wysocki, E.C. Benham, y W.D. Broderson. 1998. *Field book for describing and sampling soils*. Natural Resources Conservation Service, USDA National Soil Survey Center, Lincoln, NE.

Sharp, Z.D., Atudorei, V. y Durakiewicz, T., 2001. A rapid method for determination of hydrogen and oxygen isotope ratios from water and hydrous minerals. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 178:197-210.

Sparks, D.L. (editor). 1996. *Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods*. SSSA Book Series No. 5. Soil Science Society of America, American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.

Spores, R. 1969. Settlement, Farming Technology, and Environment in the Nochixtlán Valley. *Science* 166:557-69.

Spores, R. 1972. *An Archaeological Settlement Survey of the Nochixtlán Valley, Oaxaca*. Vanderbilt University Publications in Anthropology 1. Nashville, TN.

Stein, J.K. 1987. Deposits for Archaeologists. En *Advances in Archaeological Method and Theory*, Vol 11, editado por M.B. Schiffer, pp. 337-395. Academic Press, San Diego.

Therrell, M.D., D. W. Stahle, M. K. Cleaveland, y J. Villanueva-Diaz. 2002. Warm season tree growth and precipitation over Mexico. *Journal of Geophysical Research* 107 (D14): ACL6-1 to 6-8.

Whitlock, C. y C. Larsen. 2001. Charcoal as a fire Proxy. En *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments: Terrestrial, Algal and Siliceous Indicators*, editado por J. P. Smol, H.J. Birks, y W.M. Last, pp. 75-97. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.