



**INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN  
CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA, A.C.**

**POSGRADO EN CIENCIAS APLICADAS**

**“Evaluación de la fertilidad del suelo como servicio ambiental de soporte en un sistema Humano-Ambiental, utilizando como herramienta el paradigma para el desarrollo de las zonas áridas (DDP). Caso de estudio: La Amapola, México”.**

Tesis que presenta

**Mónica Ribeiro Palacios**

Para obtener el grado de

**Maestra en Ciencias Aplicadas**

En la opción de

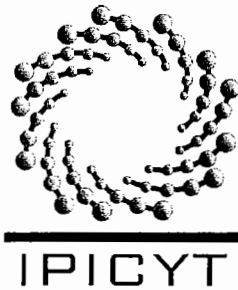
**Ciencias Ambientales**

**Directora de la Tesis: Dra. Elisabeth Huber-Sannwald**

**Asesor: Dr. José Tulio Arredondo Moreno**

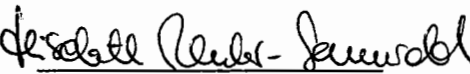
**Asesor: Dr. Humberto Reyes Hernández**

San Luís Potosí, S.L.P., Octubre del 2007




## Constancia de aprobación de la tesis

La tesis "Evaluación de la fertilidad del suelo como servicio ambiental de soporte en un sistema Humano-Ambiental, utilizando como herramienta el paradigma para el desarrollo de las zonas áridas (DDP). Caso de estudio: La Amapola, México" presentada para obtener el Grado de Maestra en Ciencias Aplicadas en la opción de Ciencias Ambientales fue elaborada por **Mónica Ribeiro Palacios** y aprobada el **08 de Octubre de 2007** por los suscritos, designados por el Colegio de Profesores de la División de Ciencias Ambientales del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.

  
Dra. Elisabeth Huber-Sannwald  
(Director de la tesis)

  
Dr. José Tulio Arredondo Moreno  
(Asesor de la tesis)

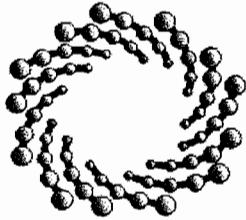
  
Dr. Humberto Reyes Hernández  
(Asesor de la tesis)



## **Créditos Institucionales**

Esta tesis fue elaborada en el Laboratorio de Ciencias Ambientales de la División de Ingeniería Ambiental y Manejo de Recursos Naturales Renovables del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., bajo la dirección de la Dra. Elisabeth Huber-Sannwald y la asesoría del Dr. José Tulio Arredondo Moreno y el Dr. Humberto Reyes Hernández.

Durante la realización del trabajo el autor recibió una beca académica del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (202424) y del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A. C.



**IPICYT**

# Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.

## Acta de Examen de Grado

El Secretario Académico del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., certifica que en el Acta 014 del Libro Primero de Actas de Exámenes de Grado del Programa de Maestría en Ciencias Aplicadas en la opción de Ciencias Ambientales está asentado lo siguiente:

En la ciudad de San Luis Potosí a los 12 días del mes de octubre del año 2007, se reunió a las 18:00 horas en las instalaciones del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., el Jurado integrado por:

<b>Dr. Humberto Reyes Hernández</b>	<b>Presidente</b>	<b>UASLP</b>
<b>Dr. José Tulio Arredondo Moreno</b>	<b>Secretario</b>	<b>IPICYT</b>
<b>Dra. Elisabeth Huber- Sannwald</b>	<b>Sinodal</b>	<b>IPICYT</b>
<b>Dr. Joel David Flores Rivas</b>	<b>Sinodal</b>	<b>IPICYT</b>

a fin de efectuar el examen, que para obtener el Grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS APLICADAS  
EN LA OPCIÓN DE CIENCIAS AMBIENTALES**

sustentó la C.

**Mónica Ribeiro Palacios**

sobre la Tesis intitulada:

*Evaluación de la fertilidad del suelo como servicio ambiental de soporte en un sistema Humano-Ambiental, utilizando como herramienta el paradigma para el desarrollo de las zonas áridas (DDP). Caso de estudio: La Amapola, México.*

que se desarrolló bajo la dirección de

**Dra. Elisabeth Huber- Sannwald**

El Jurado, después de deliberar, determinó

**APROBARLA**

Dándose por terminado el acto a las 20:05 horas, procediendo a la firma del Acta los integrantes del Jurado. Dando fé el Secretario Académico del Instituto.

A petición de la interesada y para los fines que a la misma convengan, se extiende el presente documento en la ciudad de San Luis Potosí, S.L.P., México, a los 12 días del mes octubre de 2007.

**L.C.C. Ivonne Lizette Cuevas Velez**  
Jefa del Departamento de Asuntos Escolares

**Dr. Marcial Borilla Borja**  
Secretario Académico



## **Dedicatoria**

Hay hombres que luchan un día y son buenos. Hay otros que luchan un año y son mejores. Hay quienes luchan muchos años y son muy buenos. Pero hay los que luchan toda la vida: esos son los imprescindibles.

Bertolt Brecht.

**Esta tesis la dedico a los campesinos mexicanos, que luchan cada día de su vida para sostener en pie este país, con su incesante esfuerzo, el trabajo de sus manos y la esperanza en su corazón.**

## Agradecimientos

A la Dra. Elisabeth Huber-Sannwald, por su dedicación y entusiasmo en este trabajo de tesis, pero sobre todo por contagiarme de su pasión por la ecología.

Al Dr. Tulio Arredondo Moreno, por sus valiosos comentarios a este trabajo, su disposición para ayudarme en todo momento y por el buen humor que lo caracteriza.

Al Dr. Humberto Reyes Hernández, por su ayuda en la elaboración de este documento.

A la M. en C. Griselda Chávez, por la ayuda y asesoría que siempre me brindó en el trabajo de laboratorio.

A la Dra. Berenice Celis por su valiosa ayuda en la determinación de Carbono y nitrógeno total disuelto.

A Margarita, Estelí, Esri, Zermeño, Memo y Gerardo Ramírez por brindarme una sonrisa, un hombro, una mano o un abrazo cada vez que lo necesite durante estos dos años. Pero sobre todo por construir conmigo una buena amistad.

A Napoleón, por su impaciente paciencia, su valiosa ayuda en campo y sobre todo por el inconmesurable amor que me demuestra cada día.

Muy en especial a mis padres, por ser mis cómplices en la vida y apoyarme desde la trinchera en cada proyecto que he emprendido.

A Dolores (Lola) por acompañarme, cuidarme, por ser mi amiga durante estos dos largos años y aguantar todas mis locuras.

A mi tía Marisela y mi prima Lupita con quienes la palabra familia se fortalece en mi vida.

# Contenido

Constancia de aprobación de la tesis	ii
Créditos institucionales	iii
Acta de examen	iv
Dedicatorias	v
Agradecimientos	vi
Lista de tablas	ix
Lista de figuras	x
Anexo 1	xii
Anexo 2	xiii
Resumen	xvi
Abstract	xvii
1. Introducción	1
1.1 Caracterización de las zonas áridas, semiáridas y secas subhúmedas	3
1.2 Desertificación, causas y consecuencias.	5
1.3 El paradigma para el desarrollo de las zonas áridas, un marco conceptual para el estudio de la desertificación.	7
1.4 Caso de estudio: La Amapola.	10
1.5 Objetivos	11
2. Materiales y métodos	12
2.1 Zona de estudio	12
2.2 Diseño de muestreo y análisis de muestras	15
2.3 Análisis estadístico	25
3. Resultados	27
3.1 Variables socioeconómicas	27
3.1.1 Organización económica	28
3.1.2 Dinámica del sistema agropecuario	30
3.1.3 Conocimiento y manejo del sistema	33
3.2 Variables Biofísicas	35

3.2.1 Cobertura vegetal	35
3.2.2 Características de la calidad del suelo	37
3.2.3 Contenido de Carbono y Nitrógeno total en las presas	49
4. Discusión	50
4.1 Principio 1: Los sistemas Humano-Ambientales son una pareja dinámica y coadaptada, cuya relación cambia con el tiempo.	50
4.2 Principio 2: Las variables lentas son determinantes de la dinámica de los sistemas Humano-Ambientales.	51
4.3 Principio 3: Si las variables lentas cruzan su umbral causan que el sistema Humano-Ambiental pase a un nuevo estado.	57
4.4 Principio 4: Los sistemas Humano – ambientales tienen múltiples niveles en una estructura jerárquica y anidada.	59
4.5 Principio 5: La clave para mantener el funcionamiento del sistema es implementar un sistema híbrido entre el conocimiento ambiental local, las políticas y el conocimiento científico.	60
4.6 Propuestas de manejo en la Amapola	61
5. Conclusión	63
6. Literatura citada	64
Anexo 1 Cuestionario aplicado en la comunidad la Amapola	71
Anexo 2 Tablas estadísticas	82



## Lista de tablas

Tabla 1. Estructura del suelo de La Amapola, San Luís Potosí en los diferentes tipos de vegetación y tierras de cultivo.	13
Tabla 2. Economía y complementos económicos de la comunidad, por actividades agropecuarias y programas gubernamentales	28
Tabla 3. Producción, destino y precios de los productos en La Amapola, San Luís Potosí en 2007.	29
Tabla 4. Tiempo en meses que dura el forraje otorgado por el municipio y el forraje producido en las parcelas como complemento alimenticio del ganado, y tiempo en meses que el ganado sale a pastar en el agostadero.	30
Tabla 5. Cambio de los insumos tecnológicos y económicos por la presencia del subsidio al campo.	32
Tabla 6. Prácticas de mantenimiento de la fertilidad del suelo que se realizan en la Amapola.	34
Tabla 7. Variables de la calidad del suelo en los tres parches de vegetación de La Amapola. Letras diferentes indican diferencias significativas. E S = Error estándar.	38
Tabla 8. Variables de la calidad del suelo en los distintos tipos de cultivo que hay en La Amapola. Letras diferentes significan diferencias significativas.	39
Tabla 9. Tasa neta de mineralización y nitrificación en los diferentes tipos de vegetación después de 2 meses (T1) y 4 meses (T2) de incubación in situ. Letras diferentes significan diferencias significativas.	45
Tabla 10. Tasa neta de mineralización y nitrificación en los distintos tipos de cultivos después de 2 meses (T1) y 4 meses (T2) de incubación in situ. Letras diferentes significan diferencias significativas.	46

## Lista de figuras

- Figura 1. Cobertura vegetal y uso de suelo presentes en la comunidad La Amapola, San Luís Potosí, México: modificado de Huber-Sannwald et al. 2006. 13
- Figura 2. Relación de la edad y el nivel escolar alcanzado por los miembros de la comunidad. PC = Primaria completa, PI = Primaria incompleta. 27
- Figura 3. Porcentaje de categorías de espacios abiertos en Pastizal durante la época de lluvia (PLL) y la época de sequía (PS) y en el Bosque durante la época de lluvias (BLL) y época de sequía (BS) respectivamente ( $P= 0.0262$ ). Letras diferentes significan diferencias significativas. 35
- Figura 4. Cambio en el porcentaje de rocas, costras biológicas, macollos, mantillo, roca madre, arena y suelo desnudo en el pastizal y el bosque durante las épocas de lluvia y sequía ( $P= 0.0094$ ). 36
- Figura 5. Variación del porcentaje de plantas anuales y perennes en el pastizal durante la época de lluvia PLL y la época de sequía PS, y el bosque durante las mismas épocas BLL y BS respectivamente. Letras diferentes significan diferencias significativas. 37
- Figura 6. Distribución del carbono orgánico (izquierda) y el nitrógeno total (derecho) en bosque, pastizal y tierras de cultivo, las barras indican el valor promedio de cinco sitios en cada parche de vegetación. 40
- Figura 7. Contenido de carbono en los diferentes tipos de cultivo (AS) avena con subsidio, (A) avena sin subsidio, (MS) maíz con subsidio, (M) maíz sin subsidio, (MYFS) maíz – frijol con subsidio, (MYF) maíz y frijol sin subsidio, a dos profundidades (0-15 y 15-30cm). 41
- Figura 8. Contenido de nitrógeno de suelo en los diferentes tipos de cultivo; (AS) avena con subsidio, (A) avena sin subsidio, (MS) maíz con subsidio, (M) maíz sin subsidio, (MYFS) maíz – frijol con subsidio, (MYF) maíz y frijol sin subsidio, a dos profundidades. Letras diferentes indican diferencias significativas. 42
- Figura 9. Concentraciones de N inorgánico amonio (arriba) y nitrato (abajo) extraído en el suelo de los diferentes tipos de vegetación. A una profundidad de 10cm durante tres tiempos, T0 = Tiempo inicial en época de sequía, T1 = lluvia aislada durante la época seca, T2 = época de lluvia. Letras diferentes significan diferencias significativas. 43

Figura 10. Concentraciones de amonio en el suelo de los diferentes tipos de cultivos A = Avena, AS = Avena con subsidio, M = Maíz, MS = Maíz con subsidio, MF = Maíz y frijol, MFS = Maíz y frijol con subsidio. A una profundidad de 10cm durante tres tiempos, T0 = Tiempo inicial en época de sequía, T1 = lluvia aislada durante la época seca, T2 = época de lluvia. Letras diferentes significan diferencias significativas

44

Figura 11. Concentraciones de nitrato extraído en el suelo de los diferentes tipos de cultivos A = Avena, AS = Avena con subsidio, M = Maíz, MS = Maíz con subsidio, MF = Maíz y frijol, MFS = Maíz y frijol con subsidio. A una profundidad de 10cm durante tres tiempos, T0 = Tiempo inicial en época de sequía, T1 = lluvia aislada durante la época seca, T2 = época de lluvia. Letras diferentes significan diferencias significativas.

45

Figura 12. Tasa neta potencial de nitrificación (arriba) y mineralización (abajo) para cada tipo de vegetación a una profundidad de 10cm después de 28 días de incubación en el laboratorio. Letras diferentes significan diferencias significativas.

47

Figura 13. Tasa neta potencia de mineralización (izquierda) y nitrificación (derecha) para cada tipo de cultivo A = Avena, AS = Avena con subsidio, M = Maíz, MS = Maíz con subsidio, MF = Maíz y frijol, MFS = Maíz y frijol con subsidio. A una profundidad de 10cm después de 28 días de incubación en el laboratorio. Letras diferentes significan diferencias significativas.

48

Figura 14. Contenido de carbono disuelto (gráfica izquierda) y de nitrógeno disuelto (gráfica derecha) en el agua de las ocho presas (A, B, C ,D, E, F, G Y H) que hay en La Amapola. La línea indica el valor promedio.

49

Figura 15. Contenido de carbono (gráfica izquierda) y de nitrógeno (gráfica derecha) en el sedimento de las ocho presas (A, B, C ,D, E, F, G Y H) que hay en La Amapola. La línea indica el valor promedio

49

Figura 16. Modelo conceptual de la integración e interacción de las variables biofísicas y socioeconómicas en la comunidad la Amapola. El color amarillo indica los conductores clave del sistema, el color verde indica las variables lentas del sistema y el rosa las variables rápidas del sistema, el color salmón identifica las actividades humanas que se realizan en la comunidad. Las flechas muestran la relación dependiente que existe entre estas variables.

52

## **Anexo 1**

### **Cuestionario aplicado en la comunidad la Amapola**

1. Datos Generales	71
2. Uso del agua	71
3. Producción agropecuaria	74
4. Economía	78
5. Salud, Migración y Organización social	79

## **Anexo 2**

### **Tablas Estadísticas**

Tabla 1. ANOVA del porcentaje de espacios, examinando el efecto parche de vegetación (bosque, pastizal, tierras de cultivo), época (lluvia y sequía) y categoría de apertura (20-50cm, 50-100cm, 100-200 y >200cm).	82
Tabla 2. ANOVA del porcentaje de la cobertura del suelo, examinando el efecto parche de vegetación (bosque, pastizal, tierras de cultivo), época (lluvia y sequía) y tipo de cobertura (rocas, costra biológica, macollo, mantillo, suelo desnudo, arena, roca madre)	82
Tabla 3. ANOVA del porcentaje de la cobertura del suelo, examinando el efecto parche de vegetación (bosque, pastizal, tierras de cultivo), época (lluvia y sequía) y tipo de especies (perennes y anuales)	82
Tabla 4. ANOVA de la cantidad de materia orgánica en el suelo, examinando el efecto parche de vegetación (bosque, pastizal, tierras de cultivo) con la profundidad del suelo anidada (0 – 15 y 15 – 30)	83
Tabla 5. ANOVA de la biomasa de raíces en el suelo, examinando el efecto parche de vegetación (bosque, pastizal, tierras de cultivo) con la profundidad del suelo anidada (0 – 15 y 15 – 30)	83
Tabla 6. ANOVA de la densidad aparente, examinando el efecto parche de vegetación (bosque, pastizal, tierras de cultivo) con la profundidad del suelo anidada (0 – 15 y 15 – 30)	83
Tabla 7. ANOVA de la humedad en el suelo, examinando el efecto parche de vegetación (bosque, pastizal, tierras de cultivo) con la profundidad del suelo anidada (0 – 15 y 15 – 30)	83
Tabla 8. ANOVA del contenido de carbono total en el suelo, examinando el efecto parche de vegetación (bosque, pastizal, tierras de cultivo) con la profundidad del suelo anidada (0 – 15 y 15 – 30)	83
Tabla 9. ANOVA del contenido de nitrógeno total en el suelo, examinando el efecto parche de vegetación (bosque, pastizal, tierras de cultivo) con la profundidad del suelo anidada (0 – 15 y 15 – 30)	84
Tabla 10. ANOVA de la cantidad de materia orgánica en el suelo, examinando el efecto tipo de cultivo (avena, maíz, maíz – frijol) con la profundidad del suelo anidada (0 – 15 y 15 – 30) y subsidio al campo (presencia y ausencia)	84

Tabla 11. ANOVA la biomasa de raíces en el suelo, examinando el efecto parche de vegetación (avena, maíz, maíz – frijol) con la profundidad del suelo anidada (0 – 15 y 15 – 30) y subsidio al campo (presencia y ausencia)	84
Tabla 12. ANOVA de la densidad aparente en el suelo, examinando el efecto tipo de cultivo (avena, maíz, maíz – frijol) con la profundidad del suelo anidada (0 – 15 y 15 – 30) y subsidio al campo (presencia y ausencia)	84
Tabla 13. ANOVA del porcentaje de humedad en el suelo examinando el efecto el tipo de cultivo (avena, maíz, maíz – frijol) con la profundidad del suelo anidada (0 – 15 y 15 – 30) y subsidio al campo (presencia y ausencia)	85
Tabla 14. ANOVA del contenido de carbono en el suelo examinando el efecto del tipo de cultivo (avena, maíz, maíz – frijol) con la profundidad del suelo anidada (0 – 15 y 15 – 30) y subsidio al campo (presencia y ausencia)	85
Tabla 15. ANOVA del contenido de nitrógeno en el suelo examinando el efecto del tipo de cultivos (avena, maíz, maíz – frijol) con la profundidad del suelo anidada (0 – 15 y 15 – 30) y subsidio al campo (presencia y ausencia)	85
Tabla 16. ANOVA de la concentración de amonio en el suelo examinando el efecto tipo de vegetación (bosque, pastizal, agricultura) y el tiempo (0, 1 y 2).	85
Tabla 17. ANOVA de la concentración de nitrato en el suelo examinando el efecto tipo de vegetación (bosque, pastizal, agricultura) y el tiempo (0, 1 y 2).	86
Tabla18. ANOVA de la concentración de amonio en el suelo examinando el efecto tipo de cultivo (avena, maíz, maíz – frijol), tiempo (0, 1 y 2) y subsidio (presencia y ausencia)	86
Tabla19. ANOVA de la concentración de nitrato en el suelo examinando el efecto tipo de cultivo (avena, maíz, maíz – frijol), tiempo (0, 1 y 2) y subsidio (presencia y ausencia)	86
Tabla 20. ANOVA de la tasa neta de mineralización en el suelo examinando el efecto tipo de vegetación (bosque, pastizal, agricultura) y el tiempo (1 y 2).	87

Tabla 21. ANOVA de la tasa neta de nitrificación en el suelo examinando el efecto tipo de vegetación (bosque, pastizal, agricultura) y el tiempo (1 y 2).	87
Tabla 22. ANOVA de la tasa neta de mineralización en el suelo examinando el efecto tipo de cultivo (avena, maíz, maíz – frijol), subsidio (presencia y ausencia) y tiempo (1 y 2)	87
Tabla 23. ANOVA de la tasa neta de nitrificación en el suelo examinando el efecto tipo de cultivo (avena, maíz, maíz – frijol), subsidio (presencia y ausencia) y tiempo (1 y 2)	87
Tabla 24. ANOVA de la tasa de nitrificación neta potencial en el suelo examinando el efecto tipo de vegetación (bosque, pastizal, agricultura).	88
Tabla 25. ANOVA de la tasa de mineralización neta potencial en el suelo examinando el efecto tipo de vegetación (bosque, pastizal, agricultura).	88
Tabla 26. ANOVA de la tasa de mineralización neta potencial en el suelo examinando el efecto tipo de cultivo (avena, maíz, maíz – frijol) y subsidio (presencia y ausencia)	88
Tabla 27. ANOVA de la tasa de nitrificación neta potencial en el suelo examinando el efecto tipo de cultivo (avena, maíz, maíz – frijol) y subsidio (presencia y ausencia)	88

## Resumen

### **Evaluación de la fertilidad del suelo como servicio ambiental de soporte en un sistema Humano-Ambiental, utilizando como herramienta el paradigma para el desarrollo de las zonas áridas (DDP). Caso de estudio: La Amapola, México.**

PALABRAS CLAVE: desertificación, servicios ambientales de soporte, fertilidad del suelo, DDP.

La desertificación es un problema ambiental que afecta los ecosistemas áridos, semiáridos y secos - subhúmedos de todo el mundo. En México el sobrepastoreo y la conversión a terreno agrícola aunado a los largos y más frecuentes periodos de sequía, han conducido a la degradación del suelo, afectando entre otros su capacidad de almacén de carbono y fertilidad, ambos considerados servicios ambientales de soporte para el funcionamiento del ecosistema y la subsistencia de los habitantes de zonas rurales en sistemas humano-ambientales. El DDP es un marco conceptual integral que explora simultáneamente las dimensiones ambientales y socioeconómicas de la desertificación. En este estudio de caso en la comunidad La Amapola, en San Luís Potosí, México, se aplicó el DDP para examinar simultáneamente los efectos de la deforestación, la producción ganadera, la agricultura de temporal, el clima, el régimen de tenencia de la tierra, y el acceso a subsidios, como un conjunto de factores complejos que afectan la calidad del suelo y así la productividad sustentable y el bienestar a nivel local. En este estudio se identificaron 1) los conductores externos, tales como mercado regional, tenencia de la tierra, subsidio al campo y educación (formal e informal), 2) las variables socioeconómicas lentas clave (conocimiento ambiental local) y biofísicas (cobertura vegetal, materia orgánica del suelo) y 3) las variables socioeconómicas rápidas (tamaño del hato, especies de cultivo) y biofísicas (variación temporal de la concentración de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$ ). El estudio se enfocó tanto en la escala de parche como de paisaje, para examinar las diferencias en la calidad del suelo en los distintos tipos de cobertura vegetal presentes en la comunidad (bosque de pino – encino, tierras de cultivo con/sin subsidio y pastizal), en los hogares y la comunidad para evaluar aspectos socioeconómicos. Los habitantes proporcionaron información de las actividades actuales e históricas en estos sitios y se complementó con bases de datos y documentos de archivos históricos. Se encontró que las actividades humanas que favorecen el sobrepastoreo y la agricultura intensiva se ven reflejadas en una reducción de la fertilidad del suelo. Los resultados también sugieren que estas actividades son directamente controladas por mercados internacionales y programas gubernamentales. El DDP permitió reconocer el estado actual de las variables lentas socioeconómicas y biofísicas que explican la dinámica del sistema, su resiliencia y vulnerabilidad a cambios abruptos en múltiples escalas temporales y espaciales, lo cual también permitió reconocer los niveles de interacción entre las variables. Se propone que las practicas de manejo para la restauración de los servicios ambientales de soporte en La Amapola, integren a todos los grupos interesados, para regular la localización y desarrollo de las actividades.



## Abstract

### **Applying the Drylad Development Paradigm (DDP) to assess key supporting ecosystem services in a coupled human – ecological system: A case study in La Amapola, Mexico.**

Key Words: desertification, ecosystem services supporting, soil fertility, DDP.

Desertification is a critical environmental problem in global drylands. In México, livestock production, land conversion to farming systems, and long periods of drought have led to severe land degradation in large areas of these areas. This in consequence has provoked a steadily decline in soil carbon stocks and fertility. Both are considered to be key ecosystem services supporting ecosystem functioning and sustainable livelihoods in coupled human-ecological systems. The DDP is an integrated framework to explore simultaneously the environmental, economic and social dimensions of desertification. We present a case study in the rural community of La Amapola in San Luis Potosi, Mexico. We applied the DDP in this regional landscape where the combined effects of deforestation, livestock production, rain-fed agriculture, land tenure, subsidies and decades of drought have led to a complex suite of factors affecting regional soil fertility, resulting in lower productivity and regional levels of well-being. In this research I identify 1) drivers including; regional markets, land tenure, subsidies and education; 2) slow socio-economic key variables (local environmental knowledge) and biophysical (vegetation cover, soil organic matter) and 3) fast socio-economic key variables (crops species, livestock size) and biophysical (temporal variation in  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{NO}_3^-$  concentration). We use landscape and patches scales to examine the differences in soil fertility for distinct vegetation cover patches in the community (pine-oak forest, rain-fed agriculture with and without subsidy and grassland), the household and the community to evaluate the socio-economic aspects. The inhabitants provided information about their activities. The information about past activities was complemented with archives of historical documents and databases. We found that overgrazing and intensification of agriculture reduced soil fertility in these patches. These activities were controlled by both regional and international markets as well as governmental agriculture subsidies. The DDP model recognized the current stage of socio-economical and biophysical slow variables that could explain the system dynamic, resilience and vulnerability to change at multiple spatio-temporal scales. I propose that the management practices for the restoration of supporting ecosystem services in La Amapola, integrates all the stakeholders, for the development of activities.

## 1. Introducción

La desertificación es un problema ambiental que afecta a las tierras y ecosistemas de las regiones áridas, semiáridas y subhúmedas de todos los continentes. Sus efectos son resentidos tanto a nivel local, como nacional, regional y global (Yang, et al., 2005), lo cual pone en riesgo las condiciones alimenticias y salubres de millones de personas que dependen de estos ecosistemas para satisfacer sus necesidades básicas (Verón, et al., 2006). El 34.7% de la población mundial habita en zonas secas, las cuales ocupan el 41% de la superficie terrestre del planeta (Millenium Ecosystem Assessment, 2005) y se ha registrado que aproximadamente el 70% del total de estas zonas se encuentra afectado por la desertificación (UNEP, 1992 en Reynolds y Stafford Smith, 2002).

De ahí que cobra importancia el estudio de estas zonas, principalmente en países como México que junto con E.U., Bolivia, Perú, Chile y Argentina se encuentran entre los países con mayor grado de desertificación, ocupando ésta el 76% del total de sus zonas áridas y semiáridas (Kassas, 1995). Prueba del interés es el hecho de que la desertificación, al igual que ocurre con el cambio global y la pérdida de biodiversidad, es objeto de una convención internacional auspiciada por la ONU, la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD). La CNULD fue establecida para facilitar el papel de los gobiernos nacionales en el establecimiento y aplicación de políticas para combatir la desertificación (UNCCD, 1994).

Sin embargo, a pesar de la relevancia del problema no existe un consenso sobre la manera adecuada de evaluar las causas, efectos y retroalimentaciones relacionados a la desertificación, debido a los problemas conceptuales y metodológicos para su estudio, ya que la conexión entre lo que se entiende por desertificación y como podemos medirlo todavía no es clara (Reynolds & Stafford Smith, 2002; Geist 2005; Verón, et al., 2006). Esto trae como consecuencia, la dificultad para entender los avances y limitaciones del estudio de la desertificación, así como para reconocer las causas. Esta necesidad de generar una herramienta conceptual, que permita abordar tanto

teórica como metodológicamente la desertificación llevó a proponer el Paradigma de la desertificación de Dahlem, en el 2002, conformado por nueve afirmaciones, que se presentaban como un marco conceptual, que permita estudiar la desertificación en distintos escenarios locales y su repercusión global, conjugando los aspectos biofísicos y socioeconómicos de manera sintética (Stafford Smith & Reynolds, 2002). Este paradigma dio lugar al Paradigma para el Desarrollo de las Zonas Áridas (“Drylands Development Paradigm”, DDP por sus siglas en inglés) (Reynolds, et al., 2007), durante este año, el cual mantiene la esencia del paradigma anterior de conjuntar los factores socioeconómicos y biofísicos. Sin embargo a diferencia del primero incorpora la idea de que las zonas áridas pueden desarrollarse (para conseguir el bienestar humano sin degradar la tierra) y no sólo deteriorarse como lo planteaba en paradigma anterior, es decir cambia la perspectiva del problema. Este nuevo paradigma plantea que el desarrollo sustentable de estas zonas esta determinado por cinco principios que conforman el síndrome de las tierras áridas y semiáridas, los cuales determinan la dinámica de los sistemas humano-ambientales (Reynolds, et al., 2007). Este síndrome plantea, que las tierras áridas y semiáridas son potencialmente más vulnerables a las perturbaciones dañinas que otros sistemas, ya que la relación entre el contexto biofísico y ecológico es muy estrecho, ejerciendo una fuerte presión en estas zonas, que son por definición sensibles a la degradación (Havstad, et al., 2007), debido a que en estos sistemas encontramos múltiples umbrales y escalas temporales y espaciales (Fernandez, et al. 2002; Reynolds, et al. 2005; Huber-Sannwald, et al. 2006).

El nuevo DDP propone que los sistemas humano - ambiental en las zonas áridas y semiáridas son un binomio que no podemos separar, dado que están estrechamente vinculados y se modifican uno a otro. Además, este binomio no es estático si no que cambia en el tiempo, lo cual indica que existe una serie de procesos históricos, sociales, económicos y ecológicos que se modifican a lo largo del tiempo. Pero con sólo identificar un conjunto reducido de estos procesos, que son clave en el sistema se puede explicar la desertificación (Reynolds y Stafford Smith, 2002), con sus múltiples matices y

complejidades en los casos locales, que finalmente se reflejan a escala regional o global.

A la par del primer paradigma, se creó una red de trabajo para la evaluación, investigación e integración de los trabajos sobre desertificación (ARIDnet, por sus siglas en inglés) basados en este paradigma, esta red esta conformada por un grupo de investigadores de varios programas de cambio global en sistemas humano – ambientales. Los objetivos de ARIDnet son: 1) promover la discusión internacional y el intercambio de ideas sobre la desertificación global, 2) Desarrollar casos de estudio en distintas regiones del mundo en zonas degradadas, atendiendo a la interacción de los factores socioeconómicos y biofísicos y 3) Facilitar la comunicación entre las partes interesadas del problema (científicos, políticos, campesinos) para poner en practica nuevas ideas de manejo sustentable (Reynolds *et al.*, 2005).

### **1.1 Caracterización de las zonas áridas, semiáridas y secas subhúmedas**

La desertificación es un término asociado a las zonas áridas, semiáridas y secas subhúmedas, las cuales ocupan casi 5.2 billones de hectáreas o el 40% de la superficie terrestre (Reynolds, et al., 2005). Estas zonas cuya vegetación predominante son pastizales y matorrales (Havstad, et al., 2007), se caracterizan por sus condiciones climáticas extremas, con precipitación escasa y muy variable (300-500 mm/año para regiones semiáridas y < 300 mm/año para regiones áridas), la temperatura es elevada y la demanda por evaporación es alta, casi el 95% de las lluvias anuales se pierden por esta causa (Nicholson, 1999). La mayoría de estas zonas presenta una alta limitación de nutrientes, principalmente en nitrógeno (N) con contenidos en el suelo de aproximadamente 0.1% en dichas zonas (Gallardo & Schlesinger, 1992). Además de las limitaciones por recursos, la producción en estos sistemas ecológicos, se ven afectados por la gran variabilidad temporal y espacial, así como también la heterogeneidad en el suelo, el clima y la topografía (Walker & Janssen, 2002).

Estas zonas constituyen el lugar donde se desarrolla la vida de unos dos billones de personas, por ello sus características biofísicas son clave para

determinar la economía, cultura y conformación social de muchos grupos, principalmente rurales, ya que son estos los que subsisten directamente de los servicios ambientales de estas regiones (Tschakert, 2005). Estos servicios incluyen alimento, agua, fibras, medicamentos, sitios religiosos y de habitación, entre otros (Torell, et al., 2005). La población rural mundial alcanza los 120 millones de personas, de las cuales 55% son pobres y 30% son indigentes; parte importante de ellas viven en zonas áridas y degradadas y constituyen una notable proporción de la población total de sus países (IDB, 2006).

Las principales actividades de subsistencia en estas regiones son la agricultura y el pastoreo (Walker & Janssen, 2002), consideradas como parte de la herencia cultural, social e histórica, además de constituir una forma de vida que conforma el conocimiento ambiental tradicional colectivo en las zonas rurales del mundo. Por ello la calidad del suelo (materia orgánica, C y N, tasa de mineralización, estructura del suelo, etc.) en las regiones áridas y semiáridas es considerada uno de los más importantes servicios ambientales de soporte, ya que sostiene la productividad biológica y económica, y contribuye al mantenimiento del sistema (Havstad, et al., 2007). Cuando esta producción se ve disminuida las comunidades rurales tienden a sobreexplotar el recurso del suelo o migrar a las zonas urbanas en busca de la seguridad alimenticia que han perdido en el campo (Alfaro, 2005).

En México, el 40% de la superficie terrestre está constituido por zonas áridas, semiáridas y subhúmedas - secas, de las cuales el 41% ha sido transformado en zonas de agostadero y tierras agrícolas, ya que de ellas subsiste el 59% de la población total del país (Informe de la situación del medio ambiente en México de la SEMARNAT, 2005)

La mayor parte de los agostaderos en México Central (Jalisco, Zacatecas y San Luis Potosí), están constituidos por pastizales naturales, secundarios, y matorrales desérticos que en su conjunto cubren aproximadamente 75,000.00 Km<sup>2</sup>, y sólo en San Luis Potosí los agostaderos cubren aproximadamente 50% del área total del estado (Palacio-Prieto *et al.*, 2000). Estos agostaderos se encuentran bajo un régimen ejidal, lo que implica

una mezcla de tierras de uso individual (la zona agrícola) y comunal (agostaderos) que favorece la ganadería extensiva sin regulación de la carga animal, la cual agrava el estado de degradación en estas áreas (Medina, 2006). Por otro lado las tierras de agrícolas de esta región del país y bajo este régimen de tenencia son en su mayoría de temporal, con escasa tecnología (Informe de la situación del medio ambiente en México de la SEMARNAT, 2005). Es decir los ejidos se encuentran en condiciones de pobreza y cuentan con tierras severamente degradadas (Barragan, 2005).

## **1.2 Desertificación, causas y consecuencias.**

La CNUCLD, define la desertificación como la “degradación de la tierra en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas resultante de varios factores, incluyendo las variaciones climáticas y las actividades humanas” (UNCCD, 1994). Esta definición permite entender que la desertificación es un fenómeno que tiene componentes biofísicos y socioeconómicos que afectan al bienestar de las personas, es decir comprende las dos dimensiones del problema (biofísico y socioeconómico). Si se deslinda la parte social del problema biofísico, se corre el riesgo de entender el proceso de desertificación de manera simplista y unidimensional desatendiendo la naturaleza compleja de los sistemas humano – ambientales (Stafford Smith & Reynolds, 2002).

Por lo anterior podemos decir que la desertificación es causada por varios factores que varían en función de la región, las costumbres y actividades de los habitantes, así como del contexto social, político, histórico y económico de cada grupo (Tschakert & Tappan, 2004). En una investigación basada en 132 estudios de caso Geist & Lambin (2004), reconocieron seis fuerzas conductoras de desertificación a nivel mundial, que son: 1) la demografía (migración y densidad poblacional), 2) la economía (tendencias del mercado, cambio en los precios, industrialización), 3) la introducción de tecnología (tecnología de riego, de arado, transporte), 4) las políticas institucionales (subsidios, créditos, tenencia de la tierra), 5) la cultura (percepción del entorno, valor de los bienes y servicios, comportamientos) y 6) los factores climáticos; los cuales promueven cuatro acciones (humanas o biofísicas) que aceleran de manera directa la desertificación en las zonas rurales, las cuales son: 1) las

actividades agropecuarias, 2) el aumento en la infraestructura para estas actividades agropecuarias, 3) la extracción de productos forestales y 4) el incremento de la aridez.

En las zonas áridas y semiáridas de América la deforestación por extracción de productos forestales, la sobreexplotación de pastizales por el sobrepastoreo y tierras destinadas para la agricultura de temporal y de riego, han ocasionado en el último siglo un severo cambio en la cobertura vegetal, composición y estructura de las comunidades de plantas, que provocan erosión y pérdida del suelo y del funcionamiento de los ecosistemas en general (Van Auken, 2000). En particular los suelos de zonas áridas y semiáridas son especialmente vulnerables a la erosión por agua y aire, cuando son sometidos a períodos prolongados de sobrepastoreo (Neff *et al.*, 2005). El continuo impacto por herbivoría de ganado doméstico es considerado el principal conductor del cambio en el uso del suelo en las zonas áridas y semiáridas del mundo (Ash, *et al.*, 2002), pero también repercute a nivel local en las propiedades bióticas y abióticas del suelo, la estructura de la vegetación y la descomposición y calidad de la materia orgánica (Wardle, *et al.*, 2002). Las zonas con sobrepastoreo tienden a disminuir su cobertura vegetal (Walker & Janssen, 2002) y por ello la cantidad de materia orgánica del suelo, así como presentar una mayor compactación del suelo por la sobrecarga animal (Alvarez, & Alvarez, 2000). También se ven reducidos los almacenes de C y N hasta en un 60 – 70% (Neff *et al.*, 2005), incluso las tasas de mineralización y nitrificación disminuyen en las regiones donde el sobrepastoreo se ha dado durante largos periodos de tiempo (Van Wijnem, 1999).

En el caso de las tierras de cultivo esta actividad también ha tenido un fuerte impacto en las propiedades del suelo, disminuyendo de manera paulatina la materia orgánica y los almacenes de C y N en el suelo (Tschakert & Tappan, 2004) que se ve reflejado en una baja producción de los cultivos, afectando la alimentación y la economía de las familias rurales (McNeill & Winiwarter, 2004). Actualmente la tercera parte de la superficie terrestre está compuesta por cultivos, y el 44% de ellas están distribuidas en zonas áridas, semiáridas y sub-húmedas (Millenium Ecosystem Assessment, 2005), y tan

sólo desde el año 1700 al año 1980 el área total de tierra cultivada en el mundo incrementó en un 466% (López, et al., 2002). Sin embargo algunos tipos de manejo intentan revertir estas condiciones. Los cultivos sin labranza, han logrado aumentar de manera considerable la cantidad de materia orgánica y la tasa de descomposición de esta (Lal, 2004), así como también los almacenes de carbono se han visto favorecidos (Bernacchi, et al., 2005). Otro tipo de manejo es el uso de leguminosas como la alfalfa que aumenta los almacenes de nitrógeno e incrementa la tasa de mineralización y nitrificación en las áreas agrícolas (Austin, et al., 2006).

### **1.3 El paradigma para el desarrollo de las zonas áridas, un marco conceptual para el estudio de la desertificación**

El paradigma para el desarrollo de las zonas áridas, DDP (Reynolds, et al., 2007) es un marco conceptual flexible y dinámico que permite reconocer de manera simultánea los procesos biofísicos y socioeconómicos que detonan la desertificación bajo una visión multiescalar tanto espacial como temporal (Reynolds y Stafford Smith, 2002) y esta constituido por cinco principios.

**Principio 1:** Los sistemas Humano-Ambientales son una pareja dinámica y coadaptada, cuya relación cambia con el tiempo. Es decir que considerar de manera integral y simultánea los factores biofísicos y socioeconómicos de las zonas áridas y semiáridas, es fundamental para comprender la desertificación como un proceso cuyas causas no sólo son antropogénicas o biofísicas, sino ambas, que repercute tanto en el ámbito ecológico como el socioeconómico. Es decir, que la desertificación se explica por la combinación de múltiples factores biofísicos y socioeconómicos que se entrelazan (Geist & Lambin, 2004).

**Principio 2:** Las variables lentas son determinantes de la dinámica de los sistemas Humano-Ambientales. Lo cual implica que es necesario reconocer las variables lentas y rápidas con el fin de identificar las causas de la desertificación y separarlas de sus consecuencias (Reynolds, et al., 2005). Las variables lentas, como cantidad de materia orgánica, almacenes de carbono y nitrógeno en suelo, tradiciones y cultura, son los procesos de cambio a largo



plazo, que influyen en la estructura del ecosistema, y cuyos cambios se reflejan en los servicios ambientales de soporte, los cuales son reconocidos por que mantienen la producción de bienes en el sistema, tales como la producción primaria, formación de suelo, y los ciclos de nutrientes (Millenium Ecosystem Assessment, 2005). Lo anterior hace que los cambios en estas variables sean difíciles de revertir y cuando es posible la reversión, necesariamente se involucra una ruta distinta a la del cambio original. Los cambios en estos procesos lentos, en consecuencia afectan las variables rápidas cuya variación se da en lapsos de tiempo corto (Carpenter & Turner, 2000), como son productividad anual, disponibilidad de nitrógeno inorgánico en el suelo, numero de animales por atado, tipos de cultivos, migración, lo cual se refleja directamente en los bienes y servicios de aprovisionamiento, los cuales son aprovechados directamente por el humano (Millenium Ecosystem Assessment, 2005). A su vez las variables lentas están dirigidas por conductores externos o internos del sistema, que determinan los cambios en estas y que regularmente son constantes a lo largo de un periodo prolongado de tiempo o bien son eventos muy intensos que detonan el cambio en las variables lentas (Chapin, et al., 2006).

**Principio 3:** Si las variables lentas cruzan su umbral causan que el sistema Humano-Ambiental pase a un nuevo estado. Una de las características de las variables lentas, es que responden a múltiples umbrales (Reynolds, et al., 2007), es decir, las variables lentas tienen puntos críticos, más allá de los cuales el sistema se mueve de su estado original a otro nuevo, sin posibilidad de retorno. Sin embargo, estos umbrales no son fijos, más bien dependen de la propia dinámica interna del sistema tanto de sus factores socioeconómicos como de los biofísicos (Stafford Smith & Reynolds, 2002). Precisamente la desertificación hace referencia a la cúspide de un proceso, donde la degradación de las variables lentas las lleva a cruzar su umbral y culminar en el paso a un nuevo estado inestable, que ya no puede regresar al estado original, es decir con esta inestabilidad nos referimos a que se pierde funciones del sistema y la capacidad de adaptarse (Fernandez, et al., 2002). Este proceso, cabe mencionar, no es simple sino que incluye la existencia de varios estados intermedios a lo largo del proceso (Prince, 2002). El paso de una condición a

otra se da en respuesta a la perturbación que sufre un sistema. La capacidad de este sistema para regresar al estado inicial o adaptarse a las nuevas condiciones conservando sus propiedades, se llama resiliencia (Holling, 1973). Este potencial de los sistemas, involucra la habilidad para reorganizarse después de un disturbio y de mantener la retroalimentación y funciones propias del estado inicial, es decir adaptarse a las nuevas condiciones (Walter et al, 2002). La resiliencia entonces es un concepto que denota elasticidad, en la que el sistema mantiene sus propiedades. Por tanto un sistema con baja o nula capacidad de resiliencia nunca retornará a su estado original, pasando a un nuevo estado cada vez que se someta a un disturbio o perturbación. El impacto que ejerza sobre los procesos del ecosistema dependerán de la severidad, frecuencia, tipo, tamaño e intensidad del disturbio (Holling, 1973). Con lo anterior, queda claro que cuando hay pérdida de la resiliencia se culmina en el cambio de estado del sistema a otro diferente, donde la producción y la función biológica y económica es distinta a la del estado inicial (Gunderson, 2000). Por esto la resiliencia es considerada como un servicio de soporte primario del ecosistema (Havstad, 2007). Sin embargo hablar del cambio en los sistemas de un estado a otro, no implica que el nuevo estado siempre es inestable, como propusieron en 1989 Westoby y Walker en su modelo de estado y transición, los ecosistemas pueden tener múltiples estados estables a pesar de ser distinto al original, en respuesta a los disturbios naturales o por el manejo del hombre (Stringham, et al., 2003).

**Principio 4:** Los sistemas Humano – ambientales tienen múltiples niveles en una estructura jerárquica y anidada. Como el proceso de la desertificación al ser una propiedad emergente tiene lugar a escala local pero las consecuencias repercuten a niveles mayores (nacionales o internacionales) o viceversa, es necesario abordarla para su estudio, bajo una estructura multiescalar y jerárquica. Por lo general los sistemas socioecológicos por naturaleza se encuentran organizados de manera jerárquica (Stafford Smith y Reynolds, 2002). Por lo cual es importante definir esta estructura multiescalar y jerárquica para evitar errores al extrapolar información a lo largo de un rango de escalas. Cabe resaltar, que esta estructura jerárquica, no reconoce un acomodo donde los niveles tengan mayor o menor valor entre si, sino una estructura donde

cada nivel es autónomo pero forma parte de un todo; con esto nos referimos a que entre los niveles de la estructura existen múltiples interacciones, que explican y dirigen los procesos de manera constante en los distintos niveles. Es decir que si se afectan los procesos de un nivel, el efecto repercute tanto a niveles más altos como más bajos (Stafford Smith & Reynolds, 2002). Sin embargo la influencia de un nivel a otro, no siempre se da entre niveles consecutivos, la interacción puede ser con niveles alejados entre si. De hecho trabajar con una estructura jerárquica implica buscar las explicaciones causales en niveles más allá de los inmediatos (Prince, 2002).

**Principio 5:** La clave para mantener el funcionamiento del sistema es implementar un sistema híbrido entre el conocimiento ambiental local, las políticas y el conocimiento científico. Por tanto se debe tomar en cuenta a la población y su diversidad social, así como también a los demás grupos interesados (gobiernos, comerciantes, científicos, etc.) cuando se pretende tomar decisiones adecuadas (Castillo, et al., 2005). Es necesario construir de manera participativa con todos los sectores antes mencionados, propuestas a nivel local, que repercutan en la formulación de políticas públicas (Barragán, 2005). Cabe remarcar aquí, que la Ley de Desarrollo Rural Sustentable (2001) establece en el artículo 14 que en los programas sectoriales para el desarrollo rural se debe garantizar a la población campesina el bienestar y su participación e incorporación al desarrollo nacional, dando prioridad a las zonas de alta y muy alta marginación y a las poblaciones económica y socialmente débiles. Reynolds y Smith (2002) señalan al respecto, que los pobladores de las zonas áridas y semiáridas, no deben considerarse como los causantes únicos, ni como las víctimas de la desertificación, tan sólo hay que pensarlos como una parte integral del sistemas para lograr construir consensos y planes de desarrollo participativos.

#### **1.4 Caso de estudio: La Amapola.**

En Junio de 2004 se reunió en San Luís Potosí, un grupo interdisciplinario de 30 científicos de las ciencias sociales y las ciencias naturales, para trabajar en un taller convocado por ARIDnet. El objetivo del taller fue aplicar el Paradigma de la Desertificación de Dahlem en una comunidad cuyas características

representaran los ejidos de México y además tuviera una población pequeña que permitiera abordar toda la comunidad en el estudio, por ello se eligió La Amapola un poblado ubicado en la mesa central del país, que cumple con estas características. En este taller se construyó un modelo conceptual sobre la retroalimentación del ciclo ecohidrológico y la degradación, tomando en cuenta la interacción entre el contexto socioeconómico y el biofísico (Huber-Sannwald, et al., 2006).

El presente trabajo se llevó a cabo en la Amapola, SLP. México con el objetivo de reconocer los procesos clave tanto sociales como ecológicos, que influyen en la fertilidad del suelo (incluyendo materia orgánica, C y N en el suelo, estructura del suelo, etc.) de un sistema humano – ecológico, desencadenando la desertificación. El estudio se hizo bajo el marco conceptual del paradigma para el desarrollo de las zonas áridas y semiáridas (DDP), para evaluar la fertilidad y calidad del suelo como un servicio de soporte fundamental en la comunidad.

Este trabajo representa una oportunidad no sólo para contribuir en el entendimiento de la desertificación y sus posibles soluciones, sino también para participar en la construcción de una nueva concepción metodológica y conceptual que permita abordar de manera sintética la desertificación como el problema complejo que es.

### **1.5 Objetivos.**

- ❖ Describir la dinámica del sistema Humano- Ambiental en torno a la calidad del suelo de la comunidad la Amapola.
- ❖ Reconocer las variables lentas del sistema Humano – Ambiental.
- ❖ Identificar tendencias en los umbrales de las variables lentas del sistema Humano – Ambiental.
- ❖ Definir los conductores externos clave en la dinámica del sistema Humano – Ambiental.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1 Zona de estudio.

#### Características biofísicas

El trabajo se llevó a cabo en la comunidad La Amapola del ejido Escalerillas, ubicada al Suroeste del estado de San Luís Potosí, México, cerca de la Sierra de San Miguelito (22° 01' 11" al Norte y 101° 06' 32" al Oeste, altitud de 2400 msnm). El clima predominante es semiárido, con lluvias en verano y el 10% en invierno. La precipitación anual promedio es de 395.1mm. La temperatura anual promedio es 16 – 18°C aunque en los meses más fríos puede alcanzar hasta -3°C (INEGI, 2002).

El paisaje de la cuenca de la Amapola exhibe un mosaico en la estructura y composición de los diferentes tipos de vegetación y de uso de suelo, entre los que destacan tres tipos de vegetación distribuidos a lo largo de una pendiente (fig. 3) 1) Las laderas rocosas y con pendiente que están cubiertas por un bosque semiárido de pino – encino conformado por *Pinus cembroides* Zucc., *Pinus discolor* Bailey y *Quercus potosina* Trel., vegetación dominante en las áreas conservadas y distribuidas a una altura de 2450 – 2500 msnm. 2) En la frontera de las laderas y el abanico aluvial se forma una franja de más o menos 300m de pastizal secundario, que originó a partir de la deforestación del bosque hace 80 años, y que se encuentra dominada por *Bouteloua scorpioides* Lag., una especie indicadora de sobrepastoreo y resistente a sequía y suelos degradados (Rzedowski, 1978), asociada con otras especies de gramíneas como *Bouteloua gracilis* H. B. K. Lag., *Aristida divaricata* Humb & Bonpl. y *Lycurus phleoides* Kunth y de arbustivas como *Isocoma veneta* (Kunth) separados por espacios abiertos. En el pastizales se observan grandes cárcavas, de hasta 50 m de largo, 10 m de ancho y 3 m de profundidad, cárcavas formadas por la pérdida de suelo debido a la erosión hídrica y eólica. Los pastizales se distribuyen a una altura de 2400 – 2440 m. 3) En la base del abanico aluvial se encuentran parcelas de tierras de agricultura de temporal activas y abandonadas, que se entre mezclan con el pastizal a una altura de 2300 – 2420 m. Otro elemento característico del paisaje son 17 presas creadas por los habitantes de la comunidad para captación de agua de

lluvia para riego o consumo de los animales, ubicadas entre las tierras de cultivo aprovechando las cárcavas como conductores del escurrimiento fluvial.

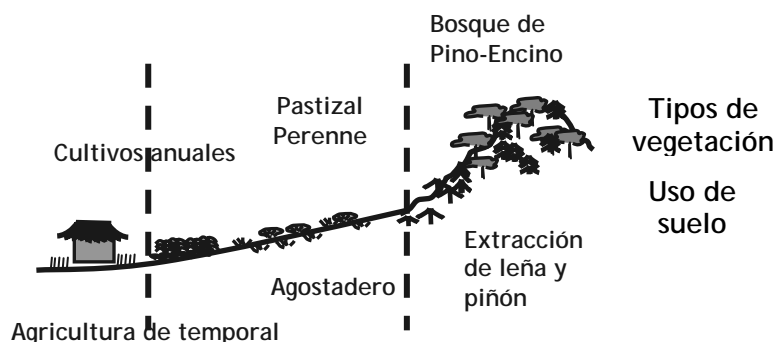


Figura 1. Cobertura vegetal y uso de suelo presentes en la comunidad La Amapola, San Luís Potosí, México: modificado de Huber-Sannwald et al. 2006.

Los suelos corresponden a litosoles en las laderas y xerosoles en el valle (INEGI, 2002). De acuerdo con la FAO el suelo se caracteriza por ser franco areno-arcilloso con textura media (INEGI, 2002), su estructura varía en cada tipo de vegetación (Tabla 1) confiriéndoles distintas características y niveles de degradación. En todos los tipos de vegetación la arena es el elemento más abundante, lo cual nos habla de un sistema con baja adsorción y retención de agua. En el bosque la diferencia en la estructura del suelo a distintas profundidades es muy notoria, a mayor profundidad aumenta la cantidad de arena y disminuyen los materiales finos como limos y arcillas, lo que no ocurre en el pastizal ni las tierras de cultivo donde es muy similar la composición en ambas profundidades. Lo último indica que en las zonas convertidas de bosque a pastizal y agricultura se perdió la estructura gruesa del horizonte o bien puede deberse a la erosión eólica e hídrica.

Tabla 1. Estructura del suelo de La Amapola, San Luís Potosí en los diferentes tipos de vegetación y tierras de cultivo.

	Profundidad del suelo	Bosque	Agostadero	Agricultura de temporal	Agricultura de temporal		
					Avena	maíz	maíz/frijol
Arena %	0 – 15 cm	57	48	52	57	52	46
	15 – 30 cm	60	48	52	56	51	50
Limos %	0 – 15 cm	15	16	15	11	17	17
	15 – 30 cm	14	15	15	13	18	14
Arcilla %	0 – 15 cm	28	36	33	31	31	36
	15 – 30 cm	25	36	32	31	31	35

## **Características socioeconómicas**

Las actividades productivas en La Amapola han cambiado a lo largo del tiempo. En 1920 se establece la comunidad, los fundadores llegaron para explotar el bosque en la extracción de madera y durmientes usados en la construcción de las vías del ferrocarril, junto con la extracción de estaño que en ese momento era la actividad económica más importante. La ganadería y la agricultura eran actividades de subsistencia para esta población. En 1960 la comunidad alcanza su población máxima (300 habitantes aproximadamente) cuando se agudiza la explotación del bosque con la producción de carbón, esto llevo a una alta deforestación del sitio. Cuando el precio del estaño declinó y el mercado del carbón disminuyó, a finales de los 70's, los pobladores de la comunidad se vieron obligados a migrar a la ciudad de San Luís Potosí o favorecer las actividades de subsistencia (Salazar, 2000)

En la actualidad la sobrevivencia de las familias depende casi exclusivamente de los servicios ambientales para ganadería y agricultura. Sólo el 20% de las familias obtienen ingresos de labores distintas como la albañilería. Los sistemas de producción que prevalecen son: la agricultura de temporal, el pastoreo extensivo y la colecta de leña y piñón. Los campesinos cultivan maíz, frijol y avena (algunos incluyen calabaza y chícharo en menor cantidad) en forma de monocultivos o intercalados (maíz con frijol). Siembran entre Junio y Julio y los cosechan en Septiembre y Octubre lo que implica que los campos agrícolas sólo están cubiertos por 4 – 5 meses. La producción de ganado constituye el mayor ingreso económico en la unidad doméstica. Como fuente de combustible la mayoría de la gente depende de la leña principalmente de encino, que se colecta regularmente dos veces por semana en el bosque. La colecta de piñón ocurre periódicamente (cada 4-5 años) en los años de alta producción de piña.

La propiedad de La Amapola se encuentra bajo un régimen ejidal, una forma de tenencia de la tierra que aparece en México el 6 de enero de 1915 y que implica un mosaico de tierras de uso individual y de uso comunal con distinto manejo en una misma comunidad. Por un lado el agostadero y el bosque son tierras comunales, lo que significa que no hay una reglamentación

clara sobre el uso del recurso y todos los miembros de la comunidad puede hacer uso de este (Medina, 2006). Por ello las presas que se construyen en esta zona son propiedad comunal y su construcción depende del gobierno municipal. Por otro lado las parcelas son de uso individual, el estado las otorgó a cada ejidatario durante el reparto agrario (entre 1920 y 1930), pero fue hasta 1991 con la reforma al artículo 27 que se volvieron propiedad de cada campesino (Medina, 2006), lo que implica que el manejo lo decide cada propietario. Al ser tierras privadas, cuando los dueños migran, las parcelas no pueden ser utilizadas por los otros miembros de la comunidad, por ellos estas tierras se quedan abandonadas (improductivas) hasta que los propietarios decidan venderlas o rentarlas, lo cual no ocurre en la Amapola por que estos las conservan como parte de su patrimonio.

Las tierras de cultivo pueden inscribirse al programa gubernamental de apoyo al campo PROCAMPO, con el fin de recibir un subsidio económico equivalente a \$1,600 pesos por hectárea cultivada al año para actividades agrícolas en general. Esta ayuda sólo se otorga si las parcelas pertenecen a un ejidatario. El título de ejidatario no puede ser heredado hasta que el jefe de familia muere y sólo un hijo puede acceder a ser ejidatario.

## **2.2 Diseño de muestreo y análisis de muestras**

Como herramienta conceptual para abordar el estudio holístico de la comunidad se utilizó el Paradigma para el Desarrollo de las Zonas Áridas (DDP, por sus siglas en inglés) (Reynolds, et al., 2007), porque permite identificar de manera simultánea los procesos socioeconómicos y biofísicos que favorecen la desertificación a lo largo de una escala espacio-temporal múltiple.

Se aplicó el DDP para combinar los efectos de la deforestación, la producción ganadera, la agricultura de temporal, el clima, la tenencia de la tierra (régimen de propiedad), y acceso a subsidios como un conjunto de factores complejos que afectan la calidad del suelo y así la productividad sustentable y el bienestar a nivel regional. Esta herramienta permitió reconocer



las variables lentas socioeconómicas y biofísicas que explican la dinámica del sistema, su resiliencia y vulnerabilidad a cambios abruptos en el contexto del tiempo constantemente cambiante, todo dentro de una estructura jerárquica y anida que permitió reconocer los niveles de interacción entre las variables.

### **a) Contexto socioeconómico**

Con el fin de identificar el conocimiento tradicional ambiental de la comunidad, reconstruir el cambio histórico del uso del suelo y determinar las variables rápidas y lentas socioeconómicas del sistema, se elaboró un cuestionario conformado por 116 reactivos, los cuales incluían 52 preguntas abiertas y 64 cerradas sobre historia de la comunidad, economía local, organización social, programas de gobierno, uso del agua, prácticas ganaderas y agrícolas, y la localización de las parcelas (anexo 1). Este cuestionario se aplicó a una familia (7 miembros) como prueba piloto y después a todos los integrantes de la comunidad, hombres y mujeres mayores de 15 años (26 miembros) durante Noviembre 2006. Esta edad se definió en base a las respuestas obtenidas en la prueba piloto, donde los menores de esta edad no respondieron la mayoría de las preguntas. La entrevista duró 90min/persona aproximadamente, por ello, se aplicó a los hombres antes de las 9:00 a.m. hora en que parten a trabajar a las tierras de cultivo y después de las 12:00 a.m. a las mujeres, cuando habían terminado sus actividades domésticas. Todas las respuestas fueron escritas por el entrevistador en los machotes de la entrevista y con ayuda de un mapa, cada ejidatario localizó sus parcelas. La entrevista fue la primera parte del trabajo por que a partir de la información obtenida se estableció el tipo y los sitios de muestreo. Se eligió esta metodología porque permite conocer de manera integral las prácticas de manejo de los usuarios directos del recurso, reconstruir la historia a través de los habitantes así como reconocer las diferentes perspectivas del entorno correspondientes a género y edad (Tschakert, 2005). Además de la entrevista se hicieron observaciones en el hogar, en el campo y por conversaciones abiertas con los miembros de la comunidad. Finalmente se recabó información sobre la comunidad en la Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable, San Luís Potosí,

de la SAGARPA, para complementar y sustentar la información obtenida de las entrevistas.

## **b) Cobertura del suelo**

La cobertura del suelo por vegetación, mantillo, costra biológica y sedimentos es una variable lenta muy importante relacionada a la resiliencia del suelo a la erosión hídrica y a la pérdida del suelo. Para determinar la dinámica en la estructura y composición de la cobertura vegetal en un ciclo anual, se establecieron cinco transectos de 50 m de longitud de manera paralela a la pendiente, durante la época de lluvia (Noviembre, 2006) y la época seca (Mayo, 2007), en el pastizal y el bosque. A lo largo de los transectos se determinó el porcentaje de la cobertura vegetal y los inter-espacios, midiendo la longitud de los espacios abiertos entre la base de un macollo y el siguiente, tomando como longitud mínima 20 cm para considerarse un espacio, siguiendo la metodología de intercepción de espacios basales. En estos mismos transectos, se determinó la estructura de la cobertura del suelo calculando el porcentaje de plantas perennes y anuales, mantillo, costras biológicas, rocas, arena, y suelo desnudo, implementando el método de puntos de intercepción en línea, el cual se hizo colocando cada metro una varilla de 1mm de diámetro sobre el transecto y registrando todo lo que tocaba la varilla tanto en la base como el dosel que interceptaba (Herrick, et al., 2005).

Para determinar la densidad de los árboles en el bosque se hicieron transectos circulares de 50m de diámetro, contando todos los individuos de pino y encino que estaban dentro de esa área, se reportó en árboles/ha.

## **c) Características de la calidad del suelo**

Para la caracterización de la calidad de suelo se tomaron dos tipos de muestras, unas para examinar las variables claves lentas relacionadas a la captura de los recursos a largo plazo y las otras para determinar las variables rápidas como la dinámica del contenido de nitrógeno inorgánico en los suelos a lo largo del periodo de crecimiento y al potencial de la mineralización. La determinación del porcentaje de humedad, densidad aparente como indicador

de compactación del suelo, biomasa de raíces, materia orgánica del suelo, y contenido de C y N orgánico total se llevo a cabo en Septiembre de 2006. Las otras muestras se colectaron en tres tiempos distintos; la primera en la época de sequía en Febrero 2007, la segunda después de un pulso de lluvia durante la época de sequía en Abril 2007, la tercera durante la época de lluvias en Junio 2007. La mineralización neta de nitrógeno se determino en el campo en un lapso de cada dos meses y en el laboratorio.

En Septiembre de 2006, se excavaron cinco muestras compuestas (cinco submuestras por sitio) de suelo con un nucleador (4 cm de diámetro y 15 cm de profundidad) en cada tipo de cobertura vegetal (bosque, pastizal y en las parcelas de agricultura) para la determinación de la distribución vertical de la biomasa de raíces, y de las características físicas y biogeoquímicas del suelo. Los núcleos se extrajeron en los interespacios tomando 15 cm de distancia a una planta. Para evaluar el efecto del subsidio PROCAMPO, que implica uso de tractor o labranza convencional, se muestrearon parcelas paralelas (con y sin subsidio) de maíz, avena y maíz y frijol intercalados. Las muestras colocadas en bolsas de plástico se conservaron a temperatura de 4°C hasta que fueron procesadas en el laboratorio.

### **Contenido gravimétrico de agua**

Se pesó cada muestra de suelo húmedo y posteriormente después de haber sido secado a 105°C durante 48hrs se determino el peso el suelo seco. Para el cálculo del contenido gravimétrico de agua se utilizó la siguiente ecuación:

$$g_{\text{agua}} / g_{\text{suelo}} = \frac{PSH - PSS}{PSS}$$

Donde:

PSH = Peso del suelo húmedo en g

PSS = Peso del suelo seco en g

### **Densidad aparente de suelo**

La densidad aparente de suelo se determinó a partir del peso seco del suelo total de la muestra incluyendo el peso de las raíces sin lavar y las piedras extraídas de cada muestra, y el volumen del nucleador, tomando en cuenta que eran muestras compuestas.

El cálculo se hizo con base en la siguiente ecuación:

$$DA(g \text{ _ suelo} / cm^3) = \frac{PS}{V}$$

Donde:

DA = Densidad aparente g suelo/ cm<sup>3</sup>

PS = Peso seco del suelo en g

V= Volumen del suelo cm<sup>3</sup>

### **Biomasa de raíces**

Se extrajeron todas las raíces de las muestras de suelo con ayuda de pinzas y tamiz de 2 mm. Después se lavaron las raíces cuidadosamente y se secaron durante 48 hrs a 70°C en un horno de secado. Posteriormente se determinó el peso seco y se calculó la biomasa de raíces por volumen de suelo, tomando en cuenta la muestra compuesta y la profundidad.

Para el cálculo de la biomasa de raíces se empleó la siguiente ecuación:

$$BR = \frac{PR}{P}$$

Donde:

BR = Biomasa de raíces en g por g de suelo

PR = Peso de raíces en g

P = Peso del suelo en g/cm<sup>3</sup>

### **Materia orgánica en suelo**

Para la determinación de materia orgánica en suelo, se tamizó el suelo (sin raíces) con un tamiz de malla de 1 mm, luego se secó a 70°C en un horno de secado durante 2 hrs y se colocaron 10 g de suelo en un crisol previamente secado a 150°C durante 2 hrs y pesado. Los crisoles con muestra se

introdujeron a la mufla a 500° C durante 2hrs para incinerar la materia orgánica presente y se volvieron a pesar.

Para el cálculo de la materia orgánica se emplearon las ecuaciones propuestas por Storer (1984):

1) Perdida por incineración (%)

$$PI(\%) = \frac{(PS - PC) - (PSI - PC)}{PS - PC} * 100$$

Donde:

PI = Porcentaje de peso perdido en la incineración

PS = Peso del crisol más el suelo

PC = Peso del crisol

PSI = Peso del crisol más el suelo incinerado

2) Materia Orgánica (%)

$$MO\% = (0.7 * PI) - 0.23$$

Donde:

MO = Porcentaje de materia orgánica

PI = Perdida de peso perdido en la incineración

### **Determinación de C y N orgánico en suelo**

Las muestras de suelo se tamizaron con malla de 1 mm para excluir piedras. El suelo seco (dejándole en la estufa a 70°C por 48hrs) se molió en un molino de bolas (Retsch, Modelo MM200) durante 1.5min a 30 frecuencias y se volvieron a secar a 70°C durante 2hrs. De estas muestras se tomaron alícuotas de 25 – 35mg de suelo y se prepararon las capsulas de estaño con las cuales se determinó el porcentaje de C y N orgánico por medio de un analizador elemental de combustión (Costech, modelo 1016).

Para el cálculo de la concentración de estos elementos en el suelo se empleó la ecuación mencionada por Robertson (1999):

$$\mu g \_ elemento / g \_ suelo = (C * V) / P$$

Donde:

C = concentración del ión en el extracto en mg/L

V = volumen del extracto (ml)

P = peso del suelo seco utilizado.

Para la conversión de la concentración del elemento a toneladas por hectárea se empleo la siguiente formula:

$$Ton\_elemento / Ha = \frac{(P * DA * PS)}{10000}$$

Donde:

P = µg elemento/g suelo

DA = densidad aparente del suelo en g suelo/m<sup>3</sup>

PS = profundidad de la muestra en m

### **Concentración de amonio, nitrato y mineralización neta de nitrógeno**

Para la determinación de la variabilidad temporal del contenido de amonio y nitrato en el suelo considerando la época de sequía, un pulso de agua durante la misma y durante la época de lluvias, se seleccionaron un total de 33 sitios, cinco con pino (*Pinus cembroides* Zucc.), cinco con encino (*Quercus potosina* Trel.), cinco en pastizal y 18 en agricultura repartidos en tres parcelas de cultivo de avena, tres de maíz y tres de maíz y frijol intercalado con y sin subsidio de PROCAMPO.

En Febrero 2007 se colocaron en cada sitio seis tubos de PVC de 10 cm de profundidad y 5.7 cm de diámetro a una distancia de 10 – 15 cm entre si, cada tubo se inserto totalmente para extraer un núcleo de suelo, la base se cubrió con plástico de alta densidad y posteriormente se reintrodujo en el lugar de la extracción, dejando el extremo superior e contacto con el exterior al nivel del suelo. Tres de estos tubos se dejaron incubar durante dos meses y los otros tres durante cuatro meses, su extracción fue el 30 de Abril y el 30 de Junio 2007 respectivamente. Ambas colectas se hicieron después de un evento de precipitación, el de abril (8.5 mm) se presento como un evento aislado

durante la época de sequía mientras el segundo en junio (11 mm) correspondió a varios eventos durante la época de lluvia.

Para determinar la concentración inicial de amonio y nitrato, se extrajeron a la misma distancia de las planta tres núcleos con ayuda de los mismos tubos en Febrero 2007. El suelo extraído, se tamizó en el campo con malla de 2mm y con ayuda de una cuchara se tomaron aproximadamente 10 – 12g de suelo y se colocaron en una solución de KCl 2M. Se agitó cada muestra por 30 segundos antes de guardarlas en una hielera hasta llegar al laboratorio, donde se colocaron en agitación durante 1 hr a 100 rpm. Después cada muestra fue filtrada con papel Watman #42 enjuagado con KCl 2M acidificados con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 0.5%. Los extractos obtenidos se mantuvieron a -5°C en un congelador. La misma técnica se siguió para las muestras obtenidas en los dos siguientes tiempos.

Para determinar la mineralización potencial de nitrógeno se extrajeron tres núcleos adicionales, con los cuales se determinó la capacidad de campo. Se colocaron 40 gr de suelo tamizado en frascos de 120ml con tapa de rosca, estas muestras se incubaron durante 28 días en un cuarto a temperatura constante de 20°C, sin luz y manteniendo una capacidad de campo de 60% recuperando el agua perdida cada 48hrs (Robertson, et al., 1999). Una vez concluido el lapso de tiempo, se siguió el mismo proceso de la extracción de la concentración inicial (ver arriba).

Para determinar NH<sub>4</sub><sup>+</sup> se aplicó la técnica de azul de indo fenol, modificada por Keeney y Nelson en 1982 (Black, 1965). En breve, se tomaron 1.5ml de extracto, al cual se le agregaron 0.5ml de ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), 2ml de nitroprusito-salicilato, 1ml de buffer de hipoclorito y agua destilada hasta completar 10ml. Al finalizar se calentó a baño María durante 30min. Una vez a temperatura ambiente se leyó en espectrofotómetro (marca Termo spectronic modelo Aqua Mate) a una longitud de 660nm y una curva estandar correspondiente entre 1µg y 10µg, usando (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> como fuente de amonio.

El cálculo se hizo siguiendo la siguiente ecuación:

$$\mu\text{NH}_4^+ / \text{g}_{\text{ suelo}} = \frac{(\text{CI} * \text{VE})}{\text{PSS}}$$

Donde:

CI = concentración de  $\text{NH}_4^+$  en el extracto en mg/L

VE = Volumen del extracto en ml

PSS = Peso del suelo seco utilizado en g

Para determinar  $\text{NO}_3^-$  se siguió el método para detección simultanea de nitratos y nitritos (Katrina et al., 2001) en el cual se utilizó 1500  $\mu\text{l}$  de extracto del suelo, al cual se le agrego 1500  $\mu\text{l}$  de solución de  $\text{VCl}_3$ , 750  $\mu\text{l}$  de N-(1-naphthyl)ethylenediamine dhydrochloride (NEDD) y 750  $\mu\text{l}$  de Sulfanilamida. Se incubó en un cuarto a temperatura de  $37^\circ$  por un lapso de 30 – 45 min. Posteriormente se leyó la absorción utilizando un espectrofotómetro (marca Termo spectronic modelo Aqua Mate) a una longitud de 540 nm y una curva estandar correspondiente entre 0.3 ppm y 10 ppm, usando  $\text{NaNO}_3$  como fuente de nitrato.

El cálculo se hizo siguiendo la siguiente ecuación:

$$\mu\text{NO}_3^- / \text{g}_{\text{ suelo}} = \frac{(\text{CI} * \text{VE})}{\text{PSS}}$$

Donde:

CI = concentración de  $\text{NO}_3^-$  en el extracto en mg/L

VE = Volumen del extracto en ml

PSS = Peso del suelo seco utilizado en g

Para calcular la mineralización neta se empleo la ecuación mencionada por Robertson (1999):

$$N_{\text{mineralizado}} = \frac{(\text{nitratos}_f + \text{amonio}_f) - (\text{nitratos}_0 + \text{amonio}_0)}{T_{\text{días}}}$$

Donde:

$N_{\text{mineralizado}}$  = Tasa de mineralización neta de N en  $\text{mgN} / \text{kg}^{-1} \text{d}^{-1}$  o  $\text{gN} / \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$

$\text{Nitratos}_f$  = Concentración final de  $\text{NO}_3^-$  en  $\text{mgNO}_3^- - \text{N} / \text{g}_{\text{ suelo}}$  ó  $\text{g NO}_3^- - \text{N} / \text{m}^2$



$Amonio_f$  = Concentración final de  $NH_4^+$  en mg  $NH_4^+$  -N/g suelo ó g  $NH_4^+$  -N/m<sup>2</sup>  
 $Nitratos_0$  = Concentración inicial de  $NO_3^-$  en mg $NO_3^-$  - N/g suelo ó g  $NO_3^-$  -N/m<sup>2</sup>  
 $Amonio_0$  = Concentración inicial de  $NH_4^+$  en mg  $NH_4^+$  -N/g suelo ó g  $NH_4^+$  -N/m<sup>2</sup>  
 T = Tiempo de incubación en días

La nitrificación neta se calculó empleando la siguiente ecuación mencionada por Robertson (1999):

$$N_{nitrificado} = \frac{(Nitratos_f - Nitratos_0)}{T_{días}}$$

Donde:

$N_{nitrificado}$  = tasa de nitrificación en mg $NO_3^-$  -N /kg<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup> o gN/m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>  
 $Nitratos_f$  = Concentración final de  $NO_3^-$  en mg $NO_3^-$  - N/g suelo ó g  $NO_3^-$  -N/m<sup>2</sup>  
 $Nitratos_0$  = Concentración inicial de  $NO_3^-$  en mg $NO_3^-$  - N/g suelo ó g  $NO_3^-$  -N/m<sup>2</sup>  
 T = Tiempo de incubación en días

La amonificación neta se calculo empleando la siguiente ecuación mencionada por Robertson (1999):

$$N_{amonificado} = \frac{(Amonio_f - Amonio_0)}{T_{días}}$$

Donde:

$N_{amonificado}$  = tasa de amonificación en mg  $NH_4^+$  -N/kg<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup> o gN/m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>  
 $Amonio_f$  = Concentración final de  $NH_4^+$  en mg  $NH_4^+$  -N/g suelo ó g  $NH_4^+$  -N/m<sup>2</sup>  
 $Amonio_0$  = Concentración inicial de  $NH_4^+$  en mg  $NH_4^+$  -N/g suelo ó g  $NH_4^+$  -N/m<sup>2</sup>  
 T = Tiempo de incubación en días

## Determinación de C y N total en las presas

### Agua

Para determinar el efecto de la pérdida de suelo por escurrimiento en la pérdida de materia orgánica del suelo por erosión hídrica, se cuantificó carbono y nitrógeno disuelto en las presas. Se tomaron muestras compuestas (cinco submuestras) del agua captada en ocho presas durante la época de lluvia, en tubos Falcon con tapa de rosca de 50ml a una distancia de 2m de la orilla. Estas muestras se trasladaron en una hielera hasta el laboratorio, donde se mantuvieron congeladas a -5°C en un congelador (marca Lab – line modelo

3767), hasta el análisis de carbono orgánico y nitrógeno total, en el que las muestras fueron descongeladas y filtradas con papel Whatman #42. Para la determinación se empleó un analizador de Carbono Orgánico Total (TOC-VCSN, SHIMADZU) con un detector de carbono y nitrógeno total en muestras líquidas. Se utilizaron viales de 24ml con tapa de rosca, mediante el empleo de un método de oxidación catalítica a 680°C, utilizando O<sub>2</sub> al 99.9% como gas portador. La concentración de C y N se obtuvo en mg/L, la cual se utilizó para reportar.

### **Sedimento**

Para el caso de C y N orgánico también se determinó en muestras compuestas (cinco submuestras) de suelo, correspondientes a las 8 presas, tomada durante la época de sequía cuando estas no tenían agua, con ayuda de un nucleador (4cm diámetro x 15cm profundidad) a lo largo de las presas y se siguió el mismo procedimiento utilizado para las muestras de bosque, agostadero y cultivos (ver determinación de C y N orgánico en suelo).

## **2.3 Análisis estadístico**

La cobertura del suelo se analizó con un modelo general lineal para ANOVA con tres factores, tipo de vegetación con tres niveles (bosque, agostadero y cultivos), época del año con dos niveles (lluvia y sequía) y categoría del los espacios abiertos con cuatro niveles (20 – 50, 50 – 100, 100 – 200 y >200). Cada combinación de factores se repitió 5 veces ( $N = 3 \times 2 \times 4 \times 5 = 120$ ).

En el caso de la cobertura de la superficie del suelo, también se utilizó un modelo de este tipo con tres factores, tipo de vegetación con tres niveles (bosque, agostadero y cultivos), época del año con dos niveles (lluvia y sequía) y tipo de cobertura con siete niveles (roca, costra biológica, roca madre, macollo, mantillo, suelo desnudo y arena). Cada combinación de factores se repitió 5 veces ( $N = 3 \times 2 \times 7 \times 5 = 210$ ). Para la frecuencia de plantas anuales y perennes se usó el mismo tipo de análisis con tres factores, tipo de vegetación con tres niveles (bosque, agostadero y cultivos), época del año con

dos niveles (lluvia y sequía) y especie con dos niveles (anuales y perennes). Cada combinación de factores se repitió 5 veces ( $N = 3 \times 2 \times 2 \times 5 = 60$ ).

Para las variables de respuesta materia orgánica en el suelo, biomasa de raíces, contenido de C orgánico y N total en el suelo, densidad aparente y contenido de humedad a nivel paisaje, se utilizó un modelo general lineal para ANOVA de arreglo anidado con dos factores, tipo de cobertura vegetal con tres niveles (bosque, pastizal, cultivos) y profundidad del suelo anidada al tipo de cobertura vegetal con dos niveles (0-15cm y 15-30cm), cada combinación se repitió 10 veces en bosque ( $N = 2 \times 10 = 20$ ), 5 veces en el pastizal ( $N = 2 \times 5 = 10$ ) y 30 veces en la agricultura ( $N = 2 \times 30$ ). Para el nivel de parche, en la agricultura se utilizaron tres factores, tipo de cultivo con tres niveles (maíz, avena y maíz – frijol), profundidad anidada a tipo de cultivo con dos niveles (0-15cm y 15-30cm) y subsidio con dos niveles (presencia y ausencia), cada combinación se repitió 5 veces ( $N = 3 \times 2 \times 2 \times 5 = 60$ ).

En el caso de las variables de respuesta contenido de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  en suelo, tasa de mineralización neta y mineralización potencial a nivel paisaje. Se utilizó un modelo general lineal para ANOVA con dos factores, tipo de cobertura vegetal con tres niveles (bosque, pastizal y cultivos) y tiempo con cuatro niveles (Sequía, Sequía + un pulso de lluvia, época de lluvia y potencial), cada combinación se repitió 30 veces en el bosque ( $N = 4 \times 30 = 120$ ), 15 veces en el pastizal ( $N = 4 \times 15 = 60$ ) y 54 veces en los cultivos ( $N = 4 \times 54 = 216$ ). Para el nivel de parche, en la agricultura se utilizaron tres factores tipo de cobertura vegetal con tres niveles (bosque, pastizal y cultivos), tiempo con cuatro niveles (Sequía, Sequía + un pulso de lluvia, época de lluvia y potencial) y subsidio con dos niveles (presencia y ausencia), cada combinación se repitió 9 veces ( $N = 3 \times 4 \times 2 \times 9 = 216$ )

Los datos se ajustaron a una distribución normal, por ello no se hizo ninguna transformación. Los análisis de ANOVA se hicieron con el programa estadístico, SAS para Windows versión 8.02

### 3. Resultados.

#### 3.1 Variables Socioeconómicas

La comunidad cuenta con una población pequeña de 40 miembros que conforman 13 familias, distribuidas en 10 viviendas. La mayoría de la población son adultos mayores de 60 años o jóvenes menores de 18 años. No cuentan con servicios de drenaje ni agua corriente, el agua la obtienen de nueve pozos naturales, cercanos a la comunidad. La red eléctrica se inauguró en diciembre de 2006 y entró en función el 25 de Julio de 2007, por lo que toda la población utilizaba leña para cocinar y celdas solares para alumbrado hasta esa fecha. El nivel educativo aumenta conforme disminuye la edad, la población de tercera edad no concluyó la primaria, sin embargo los más jóvenes si cuentan con educación primaria en su mayoría, esto debido a que antes debían empezar las labores productivas a temprana edad, según los habitantes de la comunidad (Figura 2). Cuentan con primaria multigrado y la secundaria se abrió este año, por que se reunió el número necesario de alumnos para asignar un maestro de este nivel a la comunidad, hasta entonces la secundaria más cercana estaba a 40Km aproximadamente, por lo que no hay ningún poblador que cuente con este grado.

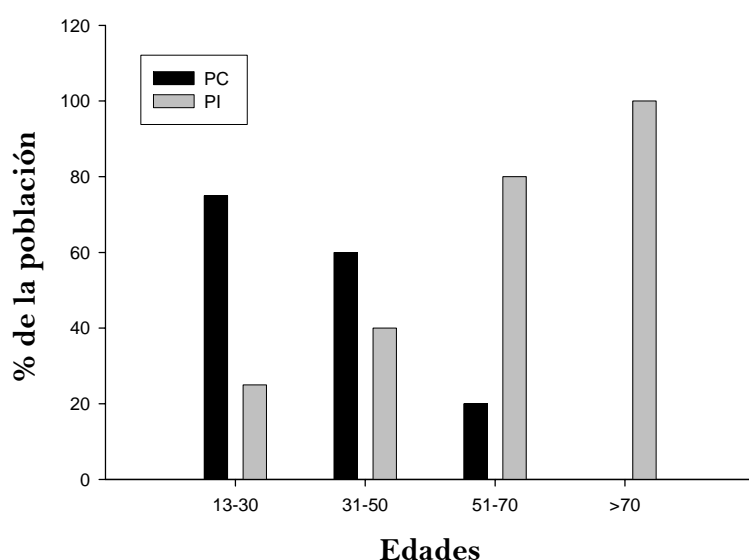


Figura 2. Relación de la edad y el nivel escolar alcanzado por los miembros de la comunidad. PC = Primaria completa, PI = Primaria incompleta. Se considero cada categoría como el 100% de la población de esa edad. Los menores a 13 años no se consideraron por que aún están cursando la primaria.

### 3.1.1 Organización económica

El ingreso de las familias esta constituido por actividades agropecuarias, sólo el 38% complementa su economía con labores como la albañilería o cargadores, las cuales realizan fuera de la comunidad durante pocos meses del año. Además reciben ayuda económica de los programas gubernamentales de apoyo al sector rural del país, un 40% de la población percibe \$360 bimestrales por el programa de apoyo a la tercera edad, el cual se otorga a los pobladores mayores de 60 años desde el 2000. Seis familias están inscritas al programa de apoyo al campo PROCAMPO, recibiendo \$1600 por Ha al año como subsidio para insumos agrícolas desde 1930, lo cual beneficia al 46% de la población (Tabla 2).

Tabla 2. Economía y complementos económicos de la comunidad, por actividades agropecuarias (ganadería y/o agricultura), programas gubernamentales como PROCAMPO (subsidio al campo), Oportunidades (ayuda a la tercera edad) y Labores extra (actividades redituables que se realizan fuera de la comunidad) - = no cuenta con este complemento o actividad y x = cuenta con este complemento o actividad.

Hogar	PROCAMPO	Oportunidades	Labores extra	Actividades agropecuarias
1	-	X	-	X
2	-	-	X	X
3	-	X	-	X
4	-	-	X	X
5	-	-	-	X
6	-	-	X	X
7	-	-	X	X
8	X	X	-	X
9	X	X	-	X
10	X	-	X	X
11	X	X	-	X
12	X	-	-	X
13	X	X	-	X

La venta de animales y forraje constituye una pequeña entrada monetaria a la unidad domestica, ya que la mayor parte de la producción es para consumo propio. A pesar de ello es el precio de los productos en el mercado regional quien determina las actividades de la población. Debido a que el producto de mayor precio es el que se favorece en la producción, por ello la cría de ganado caprino y ovino es la actividad más redituable en la comunidad, ya que el precio de venta es más alto que el de granos básicos como maíz y frijol, o el forraje de avena y maíz (Tabla 3). Además la disminución de la producción de los cultivos en los últimos años, que han

observado los mismos productores, reduce la cantidad de producto que sale al mercado de estos últimos. Esta baja producción también se ve afectada por la disminución de tierras útiles en la comunidad, debido a que las parcelas abandonadas son propiedad de miembros que vive fuera de la Amapola, y no las rentan, ni las venden, sólo las mantienen (improductivas) como parte de su patrimonio. Esta tendencia no siempre fue así, a finales de los años 50's y principios de los 60's se reporta que la Amapola producía maíz y frijol que se vendía en la ciudad de San Luís Potosí (SAGARPA, 2007). Se estima que habitaron un máximo de 70 familias en la comunidad durante esta época, lo cual sugiere que todas las parcelas eran útiles y la producción de granos básicos era más alta, lo cual repercutía en una mejor economía familiar, aunada con el ingreso proveniente de la minería y la venta de carbón, lo cual no ocurre ahora por que las fuentes de ingresos económicos se han reducido sólo a venta de animales y forraje.

Tabla 3. Producción, destino y precios de los productos en La Amapola, San Luis Potosí en 2007. Fuente: Entrevistas realizadas a la comunidad.

<b>Producto</b>	<b>Precio (pesos mexicanos) del producto en el mercado local/Kg</b>	<b>Producción al año/familia</b>	<b>Destino final del producto</b>
Frijol (semillas)	\$ 7.40	70 Kg	Consumo propio
Maíz (semilla)	\$ 1.44	90 Kg	Consumo propio
Forraje de maíz	\$ 0.96	375 Kg	Forraje para ganado
Forraje de avena	\$ 0.96	500 Kg	Forraje para ganado
Cabras	\$ 18	125 Kg	Venta y almacén
Borregos	\$ 24	140 Kg	Venta y almacén

La actual tendencia del mercado, que paga mejor el ganado que el forraje o los granos básicos, ha llevado al aumento en la cantidad de animales por familia principalmente de cabras, debido a que requieren menos cuidado y alimento que los borregos. Los hatos de ganado caprino y ovino cuentan con 203 y 119 animales que representan el 51% y 30% respectivamente del total de animales en la comunidad. El 19% restante de los animales son vacas, burros y caballos usados para el arado tradicional y el transporte de la leña. La producción de los cultivos es utilizada principalmente como forraje para su ganado. Tan sólo el 15% de la producción es consumida como alimento para

las familias y el 85% es usado como forraje. En este sentido se reconoce la introducción de cultivos nuevos (15 años) en la comunidad, como la avena exclusiva para forraje de los animales, que vino a sustituir cultivos de maíz y frijol. A pesar de producir cultivos forrajeros y recibir del municipio en mayo entre 15 y 20 pacas de forraje de alfalfa al año por familia a mitad de precio, esta cantidad alcanza para complementar la alimentación del ganado de cuatro a seis meses durante la época de sequía, cuando ellos notan que en el campo hay poco alimento para el ganado, por lo cual durante todo el año los animales deben salir a pastar en el agostadero (tabla 4).

Tabla 4. Tiempo en meses que dura el forraje otorgado por el municipio y el forraje producido en las parcelas como complemento alimenticio del ganado, y tiempo en meses que el ganado sale a pastar en el agostadero. Fuente: Entrevistas realizadas a la comunidad.

Hogar	Número de animales	Meses que dura el forraje comprado	Meses que dura el forraje producido en las parcelas	Meses que utilizan el agostadero
1	15	5	6	12
2	5	-	6	12
3	0	-	-	-
4	3	-	4	12
5	25	5	6	12
6	20	6	5	12
7	11	-	6	12
8	38	5	6	12
9	50	4	5	12
10	50	4	6	12
11	30	6	7	12
12	2	-	5	12
13	80	3	3	12

### 3.1.2 Dinámica del sistema agropecuario

La ganadería se lleva a cabo en el agostadero conformado por tierras ejidales de uso común, la escasa regulación de esa zona, a nivel institucional, a llevado a que no exista un sistema de manejo local permitiendo que el tamaño del rebaño sea limitado más por el ingreso familiar que por la capacidad de carga del pastizal, por ello el sistema se ha visto sometido al sobrepastoreo durante las últimas décadas. Los recorridos para el pastoreo de los animales, esta a cargo de los jóvenes de la familia (de los 8 a los 20 años), por ello tardan entre 8 y 9hrs al día ya que constituye la actividad diaria de estos. Los recorridos no siguen un patrón definido, las distancias y lugares varían de un día a otro, la decisión de esto le corresponde únicamente al pastor.

Las presas de agua constituyen parte de esta tierra comunal, por lo cual todos tienen acceso a estas para proporcionar agua a sus animales y en menor proporción el riego de los cultivos, pero ninguno se encarga del mantenimiento de estas, ni de su manejo, el municipio las desasolva cada dos años, tiempo que tardan en llenarse de sedimentos, el suelo que se extrae es colocado alrededor de la presa como borde, lo cual hace que por gravedad vuelva a caer dentro de las presas y no sea aprovechado como suelo fértil por la comunidad, ya que su calidad es mejor que la del pastizal, esto de acuerdo a los análisis realizados que demostraron una mayor cantidad de carbono en este sedimento.

La agricultura de temporal se lleva a cabo en parcelas privadas, por ello cada parcela recibe un manejo distinto, que corresponde a la configuración y economía particular de cada familia. El subsidio al campo es un ingreso económico que determina la introducción de tecnología en las actividades agrícolas. Todas las familias que reciben este apoyo utilizan tractor para el arado, y seis de las siete familias que no lo reciben practican la labranza tradicional (yunta), además se puede reconocer que el 50% de la población beneficiada con este subsidio cuenta con vehículo, lo cual facilita el acceso a semillas e insumos del exterior, así como también facilita el movimiento de los productos en el mercado. Esta transferencia de dinero en efectivo, también repercute en la compra de ganado. Los que cuentan con subsidio tienen 250 animales (cabras y borregos) en total, a diferencia de los 68 animales que tienen en total los que no reciben este apoyo, esto se debe a que no existen mecanismos de supervisión para saber el destino del dinero otorgado. La diferencia en el número de animales por familia influye de manera directa en el tipo de cultivo que se siembra. Las familias con un ganado numeroso prefieren sembrar maíz y avena en monocultivos, con el fin de obtener forraje para su ganado. El consumo para alimento pasa a segundo plano, porque su economía se ve mejorada con el incremento de los animales y pueden comprar alimento. Por otro lado, las familias con ganado reducido, tienden a diversificar los cultivos, el 85% de las familias sin subsidio intercalan frijol, calabaza y chícharo, ya que su seguridad alimenticia depende de los cultivos, aunque en



algunos casos también siembran avena para venderla a los que si tienen animales, asegurando un ingreso (Tabla 5).

Tabla 5. Cambio de los insumos tecnológicos y económicos por la presencia del subsidio al campo. - = sin subsidio y no acceso a tecnología, S = cuentan con subsidio, M = maíz, MF = maíz y frijol, C = calabaza, A= avena, CH = chícharo, B = betabel, D = durazno, T = tractor, V = vehículo. Fuente: Entrevistas realizadas a la comunidad.

Hogar	Subsidio	Número de animales	Diversidad de cultivos	Tecnología
1	-	15	M, MF, C, CH	T
2	-	5	M, MF, C, CH	-
3	-	0	MF, A, C, CH, B	-
4	-	3	MF, A, C, CH	-
5	-	25	MF, A	-
6	-	20	M, MF, A	-
7	-	11	MF, A, D	-
8	S	38	M, MF	T
9	S	50	M, A	T, V
10	S	50	M, MF, A	T, V
11	S	30	M, A	T
12	S	2	M	T
13	S	80	M, A	T, V

Con lo anterior se puede decir que la mayor parte de los recursos económicos se canalizan en la compra de ganado, y no en insumos agrícolas. Por ello todas las familias utilizan únicamente el estiércol de sus animales (cabras, borregos y burros, dado que son los que se mantienen en el corral durante la noche) como fertilizante, favoreciendo en su aplicación los cultivos forrajeros principalmente la avena. Las semillas que se usan para la siembra son guardadas del año anterior (no compran), las ponen a secar durante varios días antes de almacenarlas para evitar que la humedad las pudra. Prefieren sembrar frijol bayo por que es el que se consume en la localidad y el maíz tres meses, que crece en tres meses lo cual les permite cosecharlo antes de que empiecen las heladas y se queme la cosecha. La siembra es en los meses de Junio y Julio, aunque puede retrasarse hasta agosto en años secos (como en el 2006), por que el indicador que usan para iniciar la siembra es que la tierra este húmeda unos 30cm de profundidad, esto lo saben porque remueven el suelo con una vara y ven si esta húmedo a esa profundidad. En los cultivos de maíz la cosecha implica sacar toda la planta (incluyendo las raíces) y dejar el suelo desnudo. En el caso de la avena, el suelo queda cubierto por los

segmentos del cultivo de difícil recolección, por lo cual el ganado es introducido en estas parcelas, los meses siguientes a la cosecha para que consuman el forraje que ha quedado en la superficie. El frijol que se intercala en algunos cultivos, por lo regular, no se utiliza como forraje, debido a que la planta es de baja estatura lo cual dificulta su extracción, además la cosecha se hace un mes antes que la del maíz, por lo que se queda en el suelo durante un lapso de tiempo más prolongado.

### **3.1.3 Conocimiento y manejo del sistema**

Los miembros de la comunidad reconoce el cambio en los indicadores de degradación del suelo al lo largo del tiempo; las percepciones de cómo el entorno ha cambiado con respecto a un periodo de 70 años (que corresponde a la memoria de los habitantes) son: a) la pérdida del suelo por erosión, 69% la atribuye a las lluvias y 31% al viento; b) la pérdida de suelo a disminuido la profundidad de las parcelas y han aumentado el tamaño de las cárcavas; c) ha disminuido la vegetación, se percatan de ello por que en el bosque ya no encuentran leña de encino, tienen que optar por utilizar la de pino, en el pastizal ya no encuentran sitios con vegetación para pastorea al ganado teniendo que recorrer mayores distancias, y los cultivos no alcanzan la altura de antes; d) La precipitación ha disminuido, lo cual se ve reflejado en la disminución del nivel de los pozos naturales y en la siembra, ya que se retrasa hasta dos meses por que el suelo no alcanza la humedad necesaria, en el pastizal la vegetación dura menos meses que antes.

A pesar de percatarse de estos cambios que no favorecen sus actividades productivas son pocas familias las que realizan prácticas que contribuyan al mantenimiento de la fertilidad del suelo (Tabla 6). Algunas de las prácticas que se reconocen son: 1) uso de estiércol como fertilizante, la basura orgánica que se genera en el hogar no es utilizada como fertilizante en los cultivos, 2) barreras para retener el suelo perdido por escurrimiento, huertos familiares los cuales son muy pocos a pesar de que el DIF regala semillas para este fin cada año a todas las mujeres de la comunidad, 3) cultivos que alternan leguminosas y 4) rotación del sitio de pastoreo, en este último caso, algunos

pastores dicen que no vuelven a pasar por el mismo sitio durante al menos tres días, pero esto no impide que otro pastor pase por ese lugar.

Tabla 6. Prácticas de mantenimiento de la fertilidad del suelo que se realizan en la Amapola. - = no realizan esta práctica, X = llevan a cabo esta práctica. Fuente: Entrevistas realizadas a la comunidad.

Hogar	Uso de estiércol como fertilizante	Barreras para sedimentos	Huertos familiares	Cultivos con leguminosas	Rotación del sitio de pastoreo
1	X	-	-	X	-
2	X	X	-	X	-
3	-	-	X	X	-
4	-	-	-	X	-
5	X	-	-	X	X
6	X	-	-	X	X
7	X	X	-	X	-
8	X	-	-	X	X
9	X	-	-	-	X
10	X	-	-	X	X
11	X	X	X	-	X
12	-	-	-	-	-
13	X	-	-	-	X

## 3.2 Variables Biofísicas

### 3.2.1 Cobertura vegetal.

En el pastizal durante la época de lluvia, los espacios de 20 – 50cm fueron los más frecuentes seguidos de los de 50 – 100cm, 100 – 200cm y > 200cm, a comparación de la época seca donde los espacios más frecuentes fueron los de 50 – 100cm seguidos de los espacios de 20 – 50cm, 100 – 200cm y > 200cm. En el bosque el cambio en el tamaño de los espacios fue menos notorio; durante la época de lluvia los espacios más frecuentes fueron los de 20 – 50cm después los de 50 – 100cm y no se encontraron espacios mayores a esa distancia. En la época de sequía las frecuencias se mantuvieron en ese orden, el rango con mayor porcentaje fue de 20 – 50cm seguido por el de 50 – 100 y 100 – 200cm (Figura 4; interacción vegetación x época x categoría de espacios; Anexo 2-Tabla 1;  $P=0.0262$ ). El porcentaje de espacios abiertos fue mayor en el pastizal tanto en la época de lluvia como en la de sequía (vegetación como factor principal; Fig. 3, Anexo 2-Tabla 1,  $P < 0.0001$ ). En ambos sitios el porcentaje de espacios abiertos era mas alto en la época de sequía que en la época de lluvias (Bosque como factor principal; Anexo2-Tabla 1  $P=0.0252$ ).

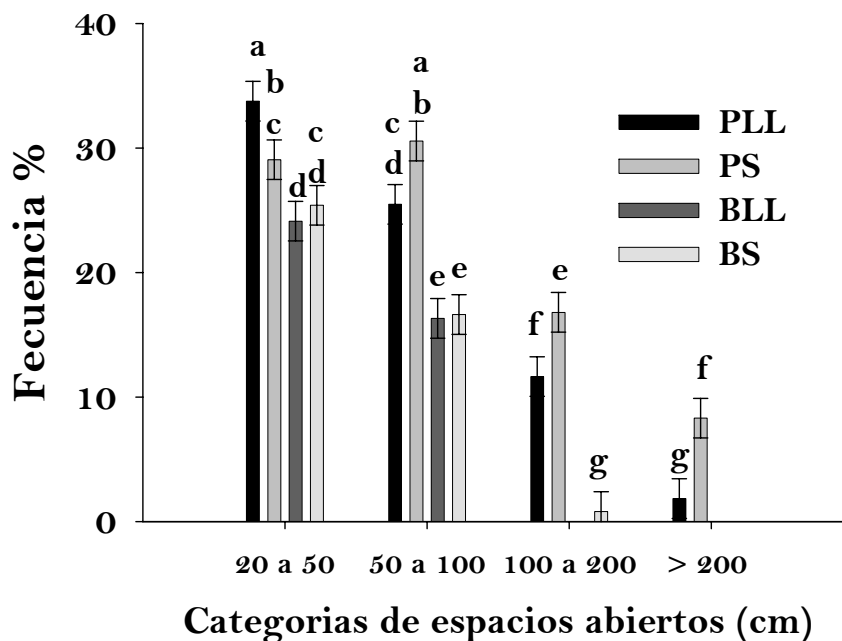


Figura 3. Porcentaje de categorías de espacios abiertos en Pastizal durante la época de lluvia (PLL) y la época de sequía (PS) y en el Bosque durante la época de lluvias (BLL) y época de sequía (BS) respectivamente ( $P= 0.0262$ ). Letras diferentes significan diferencias significativas.

En la superficie del suelo en el pastizal durante la época de sequía la frecuencia de suelo desnudo y de las costras biológicas fue mayor en relación a la cantidad de roca, arena, macollos, mantillo y roca madre, sin embargo esta diferencia cambió en la época de lluvia cuando la frecuencia del suelo desnudo, las costras biológicas, rocas y roca madre disminuyeron a comparación de la arena, el mantillo y la cobertura de anuales que aumentó. En el bosque durante la época seca y de lluvia, la frecuencia del mantillo fue mayor en relación a las demás categorías como macollos, rocas, suelo desnudo y arena. En ninguna de las dos épocas se registraron costras biológicas ni roca madre (Figura 4; interacción Parche de vegetación x época x cobertura; Anexo 2-Tabla 2,  $P=0.0094$ ).

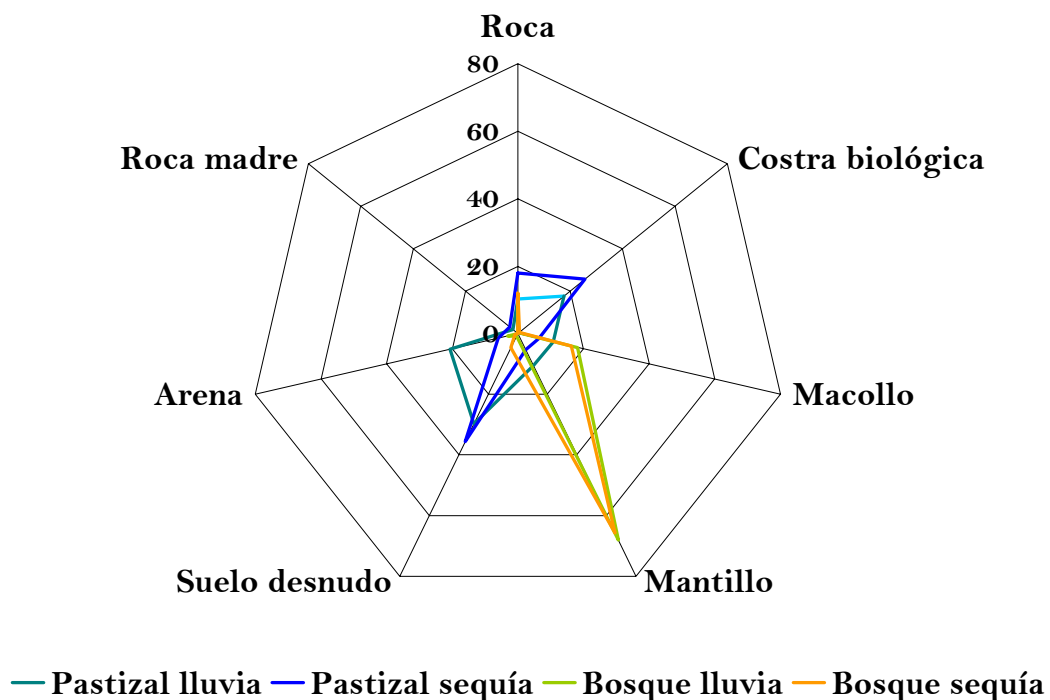


Figura 4. Cambio en el porcentaje de rocas, costras biológicas, macollos, mantillo, roca madre, arena y suelo desnudo en el pastizal y el bosque durante las épocas de lluvia y sequía ( $P=0.0094$ ).

En el pastizal, la cobertura de las plantas anuales fue mayor durante la época de lluvia que en la época de sequía, a comparación del bosque que presento una densidad de 1242.12 árboles/Ha y cuya relación entre perennes y anuales se mantuvo en ambas épocas (Figura 5; interacción entre parche x época x especie como factores principales; Anexo 2-Tabla 3  $P= <.0001$ ).

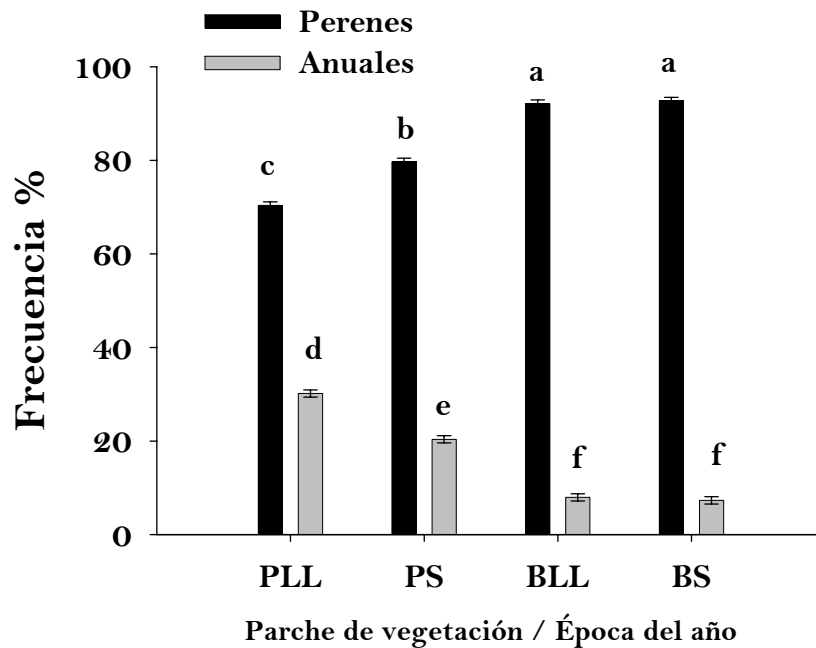


Figura 5. Variación del porcentaje de plantas anuales y perennes en el pastizal durante la época de lluvia PLL y la época de sequía PS, y el bosque durante las mismas épocas BLL y BS respectivamente. Letras diferentes significan diferencias significativas ( $P = <.0001$ ).

### 3.2.2 Características de la calidad del suelo

#### Materia orgánica, biomasa de raíces, densidad aparente

La materia orgánica del suelo (MOS) fue más alta en la zona del bosque que en el pastizal y en el área de agricultura. La MOS en los tres sitios era más alta en la profundidad de 0 – 15cm que en la profundidad de 15 – 30cm (Tabla 7; Profundidad (parque) como factor principal; Anexo 2 – Tabla 4  $P = 0.0018$ ). Lo anterior corresponde a la distribución de la biomasa de raíces, ya que los bosques la cantidad de las raíces era diez veces más alto que en el pastizal y los campos agrícolas en la profundidad de 0 -15cm. En 15 – 30cm, la cantidad de las raíces disminuyó significativamente solamente en el bosque (Tabla 7; Profundidad(parque) como factor principal; Anexo 2 – Tabla 5  $P = 0.0014$ ). Los valores más altos de densidad aparente se encontraron en el pastizal y no cambiaron en las dos profundidades de suelo. En la zona agrícola en la profundidad de 0 – 15cm, la densidad aparente fue más alta que en el bosque, mientras en 15 – 30cm fue similar (Tabla 7; Profundidad (parque) como factor principal, Anexo 2 – Tabla 6  $P = 0.0562$ ). El contenido gravimétrico de agua fue más alto en la profundidad de 15 – 30cm en los tres tipos de vegetación, siendo el mayor el bosque, seguido del cultivo y el pastizal, repitiendo esta tendencia

en la profundidad de 0 -15cm (Tabla 7; Profundidad (parche) como factor principal, Anexo 2 – Tabla 7 P= 0.0383).

Tabla 7. Variables de la calidad del suelo en los tres parches de vegetación de La Amapola. Letras diferentes indican diferencias significativas. E S = Error estandar.

<b>Variables</b>	<b>Profundidad del suelo (cm)</b>	<b>Bosque</b>	<b>E S</b>	<b>Pastizal</b>	<b>E S</b>	<b>Cultivos</b>	<b>E S</b>
<b>Materia Orgánica en el suelo (Ton/Ha)</b>	0 – 15	<b>92.35 a</b>	<b>4.6</b>	<b>68.19 b c</b>	<b>6.6</b>	<b>61.64 c</b>	<b>2.7</b>
	15 – 30	<b>80.65 b</b>	<b>4.6</b>	<b>46.46 d</b>	<b>6.6</b>	<b>51.34 d</b>	<b>2.7</b>
<b>Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	0 – 15	<b>0.801 d</b>	<b>0.06</b>	<b>1.49 a</b>	<b>0.08</b>	<b>1.13 b</b>	<b>0.03</b>
	15 – 30	<b>0.964 c d</b>	<b>0.06</b>	<b>1.33 a</b>	<b>0.08</b>	<b>1.05 b c</b>	<b>0.03</b>
<b>Biomasa de Raíces (g/Kgsuelo)</b>	0 – 15	<b>5.08 a</b>	<b>0.28</b>	<b>0.5621 c</b>	<b>0.40</b>	<b>0.543 c</b>	<b>0.16</b>
	15 – 30	<b>3.44 b</b>	<b>0.28</b>	<b>0.2074 c</b>	<b>0.40</b>	<b>0.380 c</b>	<b>0.16</b>
<b>Contenido gravimétrico de agua</b>	0 – 15	<b>0.126 b c</b>	<b>0.009</b>	<b>0.106 c</b>	<b>0.013</b>	<b>0.119 c</b>	<b>0.005</b>
	15 – 30	<b>0.150 a</b>	<b>0.009</b>	<b>0.130 b c</b>	<b>0.013</b>	<b>0.134 b</b>	<b>0.005</b>

En la zona de agricultura se encontraron diferencias en las variables de la calidad del suelo dependiendo del tipo de cultivo y de la presencia o ausencia del subsidio al campo. En los cultivos de avena el contenido de MOS fue más alto, seguido de los cultivos de maíz y frijol y los de maíz (con y sin subsidio en los tres casos). Todos los cultivos presentaron una mayor cantidad de MOS en 0 – 15 cm, esta secuencia se mantuvo en los valores encontrados para la zona profunda de 15 – 30 cm (Tabla 8; tipo de cultivo como factor principal P= 0.0024 y profundidad (tipo de cultivo); Anexo 2 – Tabla 10 P= 0.0178). La distribución de la biomasa de raíces también se acumulo en los primeros centímetros del suelo, la mayor cantidad la encontramos en los cultivos de maíz y frijol en 0 – 15 cm seguido de los de avena en esa misma profundidad, la diferencia en la cantidad de raíces respondió al tipo de cultivo y la profundidad, así como a la presencia o ausencia del subsidio económico pero no a la interacción de ambas (Tabla 8; profundidad (tipo de cultivo); P= <.0001, tipo de cultivo como factor principal P= <.0001 y subsidio como factor principal; Anexo 2 – Tabla 11 P= <0.0001).

Los cultivos bajo régimen de subsidios presentaron una densidad aparente mayor en ambas profundidades en relación a las que no la reciben. El cultivo con menor densidad aparente fue el de maíz y frijol seguido de los de avena, y los mayores valores se encontraron en los cultivos de maíz en monocultivo. Esto permite ver que la densidad aparente del suelo esta dada por la presencia del subsidio y el tipo de cultivo, pero no por la interacción de ambas, ni por la profundidad (Tabla 8; subsidio como factor principal;  $P < 0.0001$ , tipo de cultivo como factor principal; Anexo 2 –Tabla 12  $P = < 0.0001$ ). Esta misma tendencia se repitió para el contenido gravimétrico de agua del suelo, donde los cultivos que cuentan con subsidio en ambas profundidades tuvieron un menor porcentaje que los que no reciben, la profundidad con valores mas altos fue la de 15 – 30cm en los tres tipos de cultivo, los cultivos de maíz y frijol presentaron los valores más altos, seguidos de los de avena y finalmente los de maíz. La diferencia se debió al subsidio y al tipo de cultivo con la profundidad anidada, pero no a la interacción de ambos (Tabla 8; profundidad (tipo de cultivo);  $P = 0.0075$ , subsidio como factor principal;  $P = 0.0001$ , tipo de cultivo como factor principal; Anexo 2 – Tabla 13  $P = < 0.0001$ ).

Tabla 8. Variables de la calidad del suelo en los distintos tipos de cultivo que hay en La Amapola. Letras diferentes significan diferencias significativas.

Tipo de cultivo	Profundidad	Contenido gravimétrico de agua	Densidad aparente $g/cm^3$	Materia Orgánica Ton/Ha	Biomasa de raíces g/Kg suelo
Avena	0 – 15cm	0.133	0.971	69.3	0.606
	15 – 30cm	0.158	0.862	65.7	0.427
Avena / Subsidio	0 – 15cm	0.107	1.264	64.3	0.445
	15 – 30cm	0.117	1.198	51.5	0.293
Maíz	0 – 15cm	0.110	1.170	51.7	0.484
	15 – 30cm	0.123	1.119	45.0	0.364
Maíz / Subsidio	0 – 15cm	0.095	1.384	55.3	0.362
	15 – 30cm	0.111	1.221	42.6	0.290
Maíz - Frijol	0 – 15cm	0.150	0.872	64.9	0.804
	15 – 30cm	0.165	0.859	53.3	0.528
Maíz – Frijol / Subsidio	0 – 15cm	0.117	1.140	64.0	0.556
	15 – 30cm	0.132	1.048	49.6	0.379



## Carbono orgánico y Nitrógeno total de suelo

El bosque representó un almacén de carbono más grande, en relación a las tierras agrícolas y del pastizal (Figura 6; tipo de vegetación como factor principal; Anexo 2 – Tabla 8  $P=0.0001$ ). No hubo diferencias en la profundidad con respecto a los tipos de vegetación (Figura 6; profundidad (tipo de vegetación) como factor principal; Anexo 2 – Tabla 8  $P= 0.2267$ ). En el caso del almacén de nitrógeno también se puede reconocer que el contenido más alto estuvo en el bosque, seguido de las tierras de cultivo, mientras que el pastizal, al igual que el almacén de carbono, fue el más bajo en nitrógeno (Figura 6; tipo de vegetación como factor principal;  $P=0.0001$ ). No hubo diferencias en el contenido de nitrógeno en las dos profundidades (Figura 6; profundidad (parche de vegetación) como factor principal; Anexo 2 – Tabla 9  $P= 0.7158$ ).

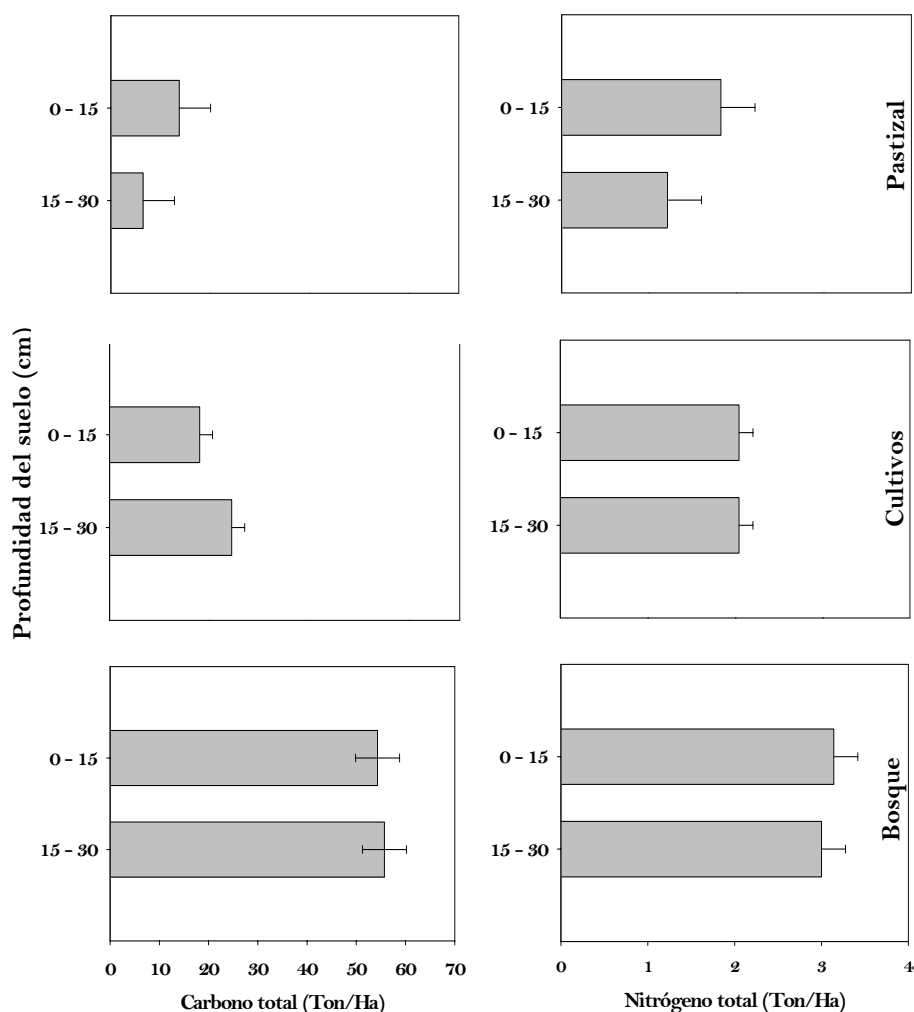


Figura 6. Distribución del carbono orgánico (izquierda) y el nitrógeno total (derecho) en bosque, pastizal y tierras de cultivo, las barras indican el valor promedio de cinco sitios en cada parche de vegetación.

En la zona de agricultura el contenido de carbono en suelo fue más alto en los cultivos que no reciben subsidio en comparación a los que si cuentan con ese apoyo económico. Las concentraciones fueron mayores en la profundidad de 15 – 30cm con respecto a las de 0 – 15cm en todos los cultivos (Figura 7; interacción subsidio x profundidad (tipo de cultivo); Anexo 2 - Tabla 14 P= 0.0001). Para el nitrógeno total del suelo también se encontró que los cultivos con subsidio tienen un almacén menor que los cultivos sin esta ayuda, aunado a ello los cultivos con subsidio presentaron el mayor contenido de nitrógeno en la profundidad de 15 – 30cm, caso contrario a los cultivos sin subsidio en los que se aprecia una mayor cantidad de nitrógeno en los primeros 15cm del suelo, a excepción del cultivo de maíz y frijol donde los valores fueron similares en ambas profundidades (Figura 8; interacción subsidio x profundidad(tipo de cultivo); Anexo 2 – Tabla 15 P = 0.0002).

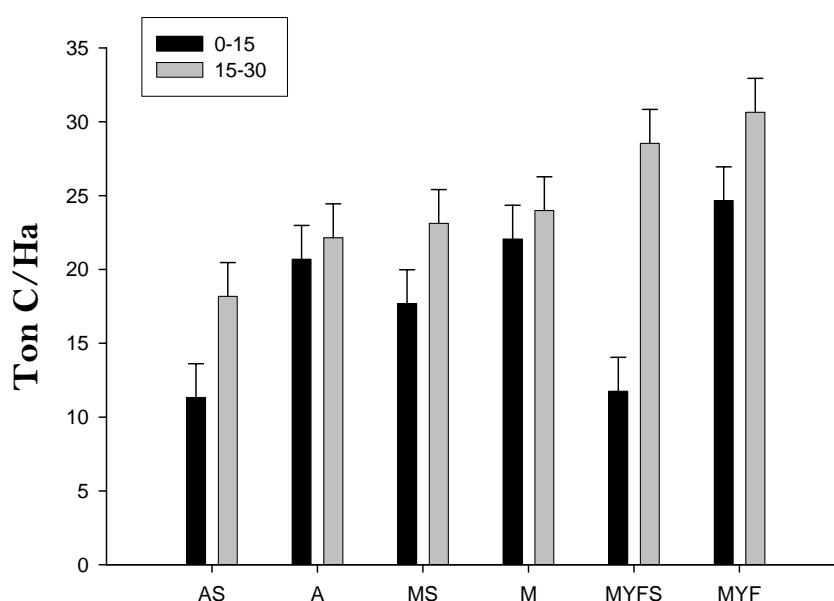


Figura 7. Contenido de carbono en los diferentes tipos de cultivo (AS) avena con subsidio, (A) avena sin subsidio, (MS) maíz con subsidio, (M) maíz sin subsidio, (MYFS) maíz – frijol con subsidio, (MYF) maíz y frijol sin subsidio, a dos profundidades (0-15 y 15-30cm). Las barras indican el valor promedio de cinco sitios en cada tipo de cultivo (P=0.0001).

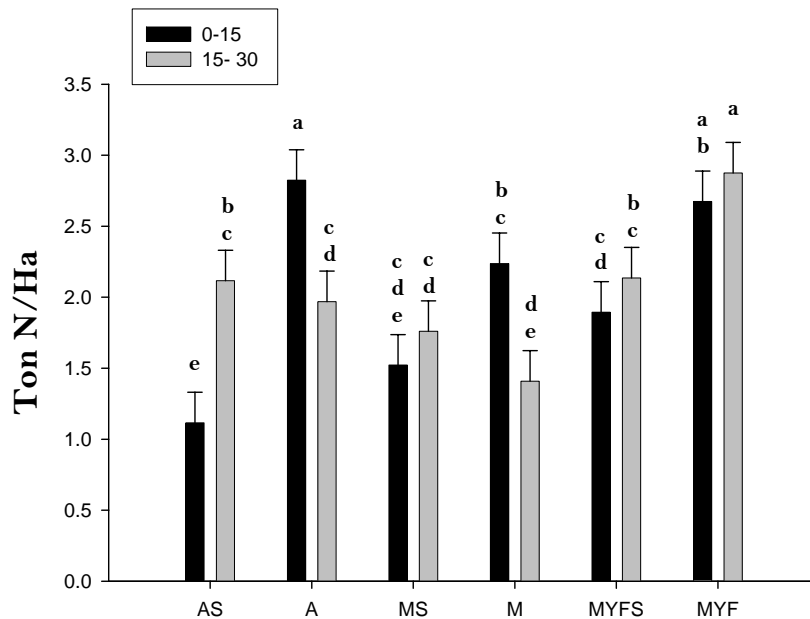


Figura 8. Contenido de nitrógeno de suelo en los diferentes tipos de cultivo; (AS) avena con subsidio, (A) avena sin subsidio, (MS) maíz con subsidio, (M) maíz sin subsidio, (MYFS) maíz – frijol con subsidio, (MYF) maíz y frijol sin subsidio, a diferentes profundidades. Las barras indican el valor promedio de cinco sitios en cada tipo de cultivo. Letras diferentes indican diferencias significativas (P=0.0002).

### Concentración de amonio y nitrato en el suelo

La concentración de N inorgánico (amonio y nitrato) presentó variaciones correspondientes al tipo de vegetación y la época. El contenido  $\text{NH}_4^+$  extraído en el bosque fue más alto en las tres fechas, seguido de la zona de agricultura y finalmente el pastizal. Se observa un cambio en la concentración dependiendo de la época, con valores más altos en la época de lluvia, seguidos de los que corresponden a una lluvia aislada, los valores más bajos son los iniciales, que pertenecen a la época de sequía (Figura 9 arriba; interacción tipo de vegetación x tiempo; Anexo 2 – Tabla 16 P=0.0001). El contenido de  $\text{NO}_3^-$  también presenta cambios correspondientes a la época, siendo en los meses lluviosos los de mayor concentración, seguido de la lluvia aislada durante la época seca y la época de sequía, en estos dos últimos periodos, el bosque fue el único que no presentó diferencias. El bosque presentó el contenido más alto, con respecto a la agricultura y el pastizal, los cuales tuvieron concentraciones muy similares entre si (Figura 9 abajo; interacción tipo de vegetación x tiempo P= 0.9783 y tiempo como factor principal; Anexo 2 –Tabla 17, P= 0.0001).

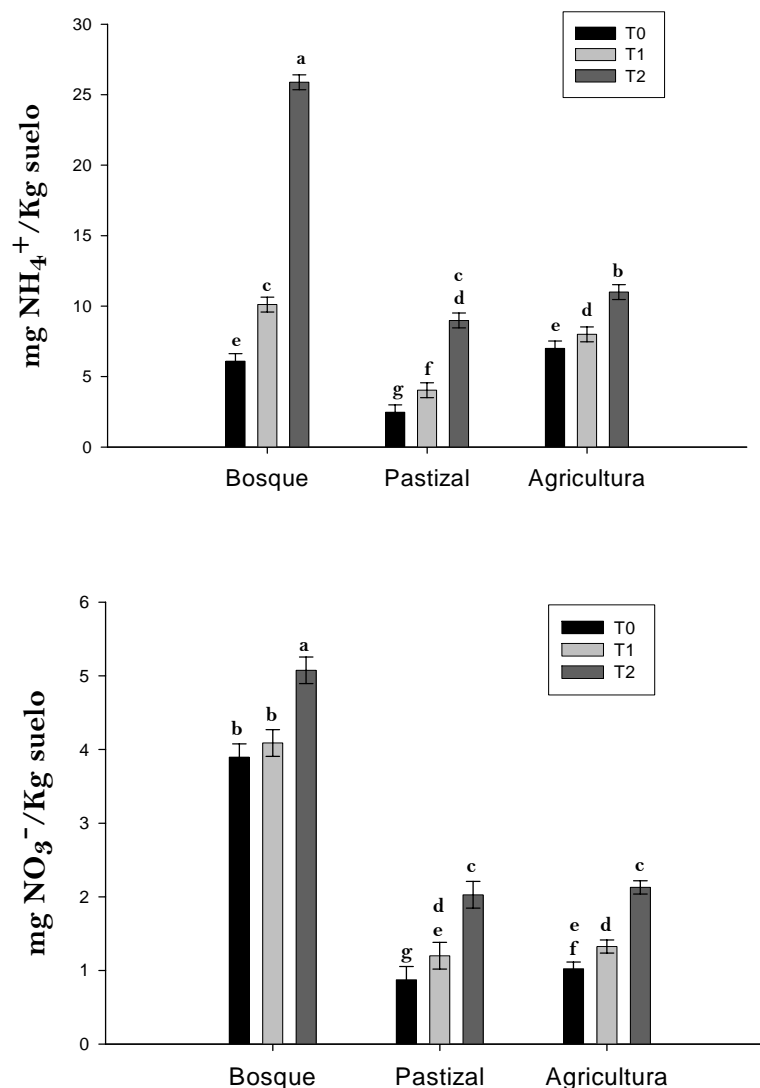


Figura 9. Concentraciones de N inorgánico amonio (arriba) ( $P= 0.0001$ ) y nitrato (abajo) ( $P= 0.0001$ ) extraído en el suelo de los diferentes tipos de vegetación. A una profundidad de 10cm durante tres tiempos, T0 = Tiempo inicial en época de sequía, T1 = lluvia aislada durante la época seca, T2 = época de lluvia. Letras diferentes significan diferencias significativas.

En los diferentes tipos de cultivo se puede apreciar la misma tendencia en la concentración de N inorgánico. En el caso del  $\text{NH}_4^+$  encontramos que existe una diferencia entre las tierras de cultivo, presentando una mayor cantidad, las que no tienen subsidio a comparación de los que si tienen. Además el tipo de cultivo es determinante, las parcelas con maíz y frijol fueron las que presentaron una mayor concentración, seguidas de las de avena y finalmente las de maíz en monocultivo. El tiempo cuando mayor cantidad se acumuló fue la época de lluvia, seguida del evento aislado de lluvia durante la

época de sequía, y el tiempo inicial en la época de sequía fue el más bajo (Figura 10; Tipo de cultivo x subsidio x tiempo; Anexo 2 – Tabla 18,  $P=0.0144$ ). En el caso del  $\text{NO}_3^-$ , la época con mayor cantidad fue la de lluvia, seguida del evento aislado de lluvia y la época de sequía, para el caso del maíz y la avena, las época de sequía y el evento de lluvia aislado no presentaron cambios notorios y la concentración fue similar en ambos tiempos (interacción tipo de cultivo x tiempo; Anexo 2 – Tabla 19,  $P= <.0001$ ). El tipo de cultivo y el subsidio influyó en la cantidad de  $\text{NO}_3^-$  del suelo, siendo mayor en los cultivos sin subsidio, excepto en los cultivos de maíz donde, con y sin subsidio fueron similares, el tipo de cultivo con concentraciones más altas fue el de maíz y frijol, seguido de los de avena y los de maíz en ese orden (Figura 11; interacción tipo de cultivo x subsidio; Anexo 2 – Tabla 19,  $P= <.0001$ ).

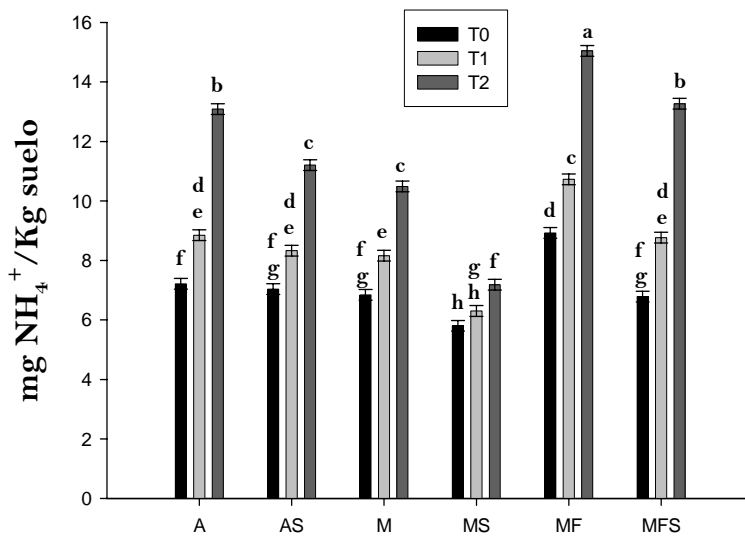


Figura 10. Concentraciones de amonio en el suelo de los diferentes tipos de cultivos A = Avena, AS = Avena con subsidio, M = Maíz, MS = Maíz con subsidio, MF = Maíz y frijol, MFS = Maíz y frijol con subsidio. A una profundidad de 10cm durante tres tiempos, T0 = Tiempo inicial en época de sequía, T1 = lluvia aislada durante la época seca, T2 = época de lluvia. Letras diferentes significan diferencias significativas.

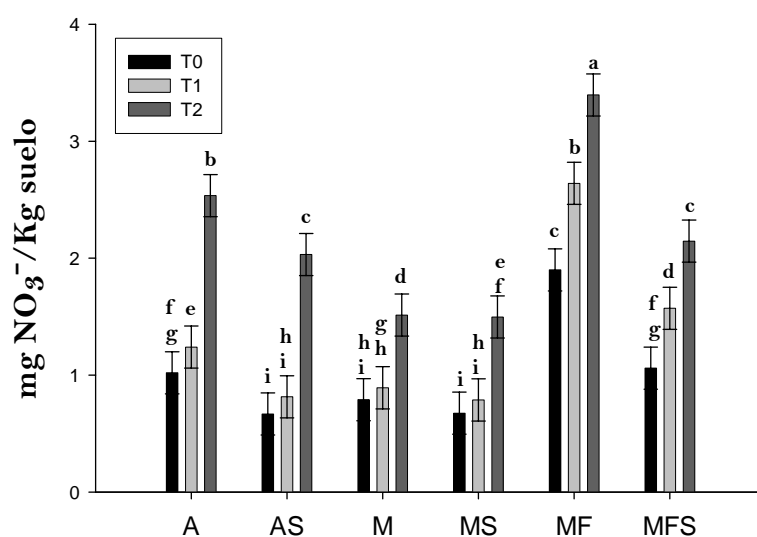


Figura 11. Concentraciones de nitrato extraído en el suelo de los diferentes tipos de cultivos A = Avena, AS = Avena con subsidio, M = Maíz, MS = Maíz con subsidio, MF = Maíz y frijol, MFS = Maíz y frijol con subsidio. A una profundidad de 10cm durante tres tiempos, T0 = Tiempo inicial en época de sequía, T1 = lluvia aislada durante la época seca, T2 = época de lluvia. Letras diferentes significan diferencias significativas.

### Mineralización neta

La tasa neta de mineralización posterior al periodo de incubación del suelo in situ después del tiempo inicial, fue mayor en la época de lluvia que en la de sequía con un evento de lluvia aislado, siendo una tasa más alta en el bosque, seguido del pastizal y de la agricultura en ese orden (Tabla 9; interacción tipo de vegetación x tiempo; Anexo 2 – Tabla 20, P= 0.0001). La tasa neta de nitrificación también fue más alta en el segundo periodo, durante la época de lluvia (tiempo como factor principal; Anexo 2 – Tabla 20, P=0.0001), sin embargo no se encontró diferencia entre los diferentes tipos de vegetación (Tabla 9; interacción parche x tiempo; Anexo 2 – Tabla 21, P= 0.9498).

Tabla 9. Tasa neta de mineralización y nitrificación en los diferentes tipos de vegetación después de 2 meses (T1) y 4 meses (T2) de incubación in situ. Letras diferentes significan diferencias significativas.

Tipo de vegetación	Bosque		Pastizal		Agricultura	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Nitrificación Neta						
µgNO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /Kg suelo/día	6.3 a b	9.8 a	5.4 b	9.6 a	5.2 b	9.4 a
Mineralización Neta						
µgNH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /Kg suelo/día	65.3 b	164.1 a	26.1 d	54.2 b	25.1 d	38.4 c

En los cultivos encontramos que la tasa neta de mineralización es más alta en los cultivos que no reciben subsidio en contraste con los que si tienen este apoyo (interacción tipo de cultivo x subsidio; Anexo 2 – Tabla 22, P= 0.0049). más alta después de la época de lluvia, que en el evento aislado de lluvia durante la época de sequía, el cultivo con una mayor tasa de mineralización fue el de maíz y frijol con y sin subsidio, seguido del cultivo de avena y finalmente el de maíz (Tabla 10; interacción tipo de cultivo x tiempo; Anexo 2 – Tabla 22, P= 0.0246). La tasa neta de nitrificación también fue mayor en la época de lluvia (interacción tipo de cultivo x tiempo; Anexo 2 – Tabla 23, P= <.0001), el cultivo con la mayor tasa neta de nitrificación fue la avena, seguido de los de maíz y frijol, y los de maíz fueron los que menor tasa neta presentaron, los valores fueron muy semejantes entre los cultivos con y sin subsidio (Tabla 10; interacción tipo de cultivo x subsidio x tiempo; Anexo 2 – Tabla 23, P= 0.1301).

Tabla 10. Tasa neta de mineralización y nitrificación en los distintos tipos de cultivos después de 2 meses (T1) y 4 meses (T2) de incubación in situ. Letras diferentes significan diferencias significativas.

Tipo de cultivo	Tiempo	Mineralización Neta μgNH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /Kg suelo/día	Nitrificación Neta μgNO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /Kg suelo/día
Avena	T1	33.4 b c	5.11 d e
	T2	48.9 a	12.5 a
Avena subsidio	T1	21.5 d e	2.45 f g
	T2	34.8 b	11.36 a b
Maíz	T1	22.3 c d e	1.68 g
	T2	30.4 b c d	6.2 d
Maíz con subsidio	T1	12.5 e	1.89 g
	T2	11.6 e	3.95 e f
Maíz y frijol	T1	30 b c d	11.9 a b
	T2	510.5 a	12.2 a b
Maíz y frijol con subsidio	T1	33 b c	8.5 c
	T2	54.1 a	10.4 b c

La tasa neta de mineralización y nitrificación potencial fue más alta en el bosque seguida de la agricultura y del pastizal. En el caso de la nitrificación existe una diferencia marcada entre los tres tipos de suelo (Figura 12 arriba;

tipo de vegetación como factor principal; Anexo 2 – Tabla 24,  $P=0.0001$ ), en cambio en el caso de amonificación los suelos del pastizal y de la agricultura presentaron tasas similares (Figura 12 abajo; tipo de vegetación como factor principal; Anexo 2 – Tabla 25,  $P=0.0001$ )

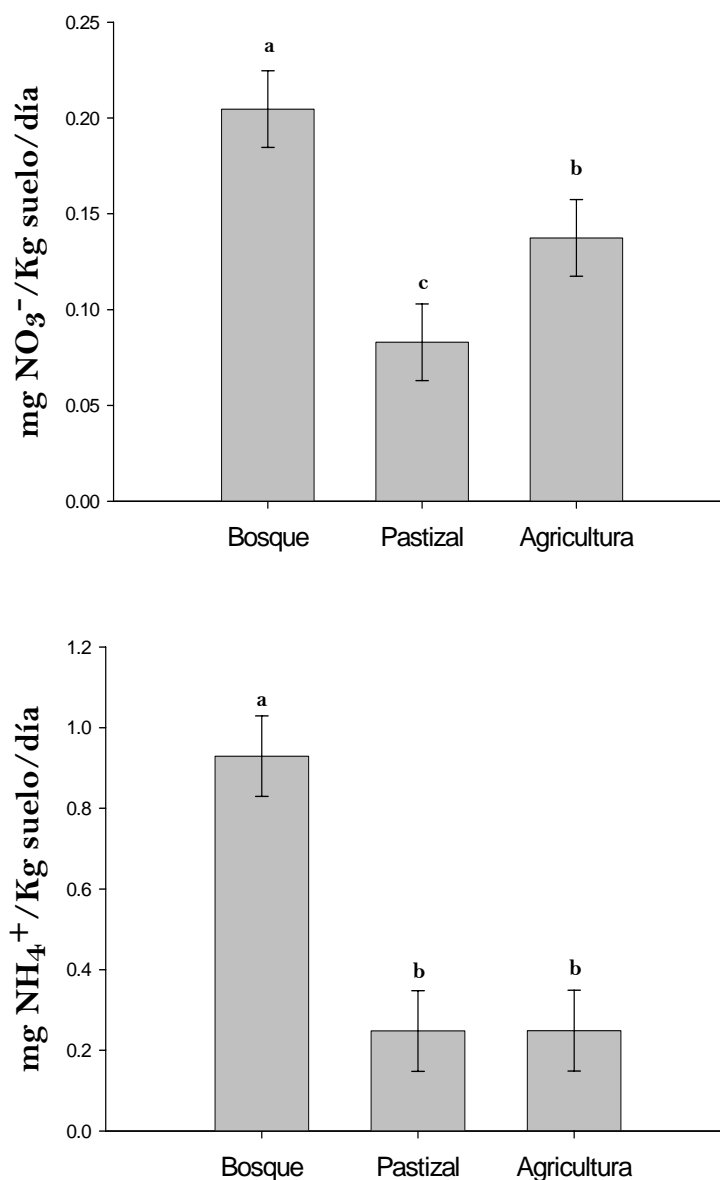


Figura 12. Tasa neta potencial de nitrificación (arriba) y mineralización (abajo) para cada tipo de vegetación a una profundidad de 10cm después de 28 días de incubación en el laboratorio. Letras diferentes significan diferencias significativas.

En el caso de la tasa neta de mineralización potencial en las tierras de cultivo se observa que los maíz y maíz y frijol sin influencia de subsidio presentan una tasa más alta que los que tienen influencia del apoyo económico, para avena el subsidio no afectó la amonificación. El cultivo de



maíz y frijol fue el mas alto con respecto a los de avena y maíz (Figura 13 izquierda; interacción tipo de cultivo x subsidio; Anexo 2 – Tabla 26 P=0.0008). Para la tasa neta de nitrificación encontramos que la tasa entre cultivos con y sin subsidio no presenta diferencias, pero si se puede ver que los cultivos de avena tienen las tasas de nitrificación potencial más altas, seguidas de los de maíz y frijol, siendo los de maíz los mas bajos (Figura 13 derecha; interacción tipo de cultivos x subsidio; P= 0.9033 y tipo de cultivo como factor principal; Anexo 2 – Tabla 27, P= 0.0001).

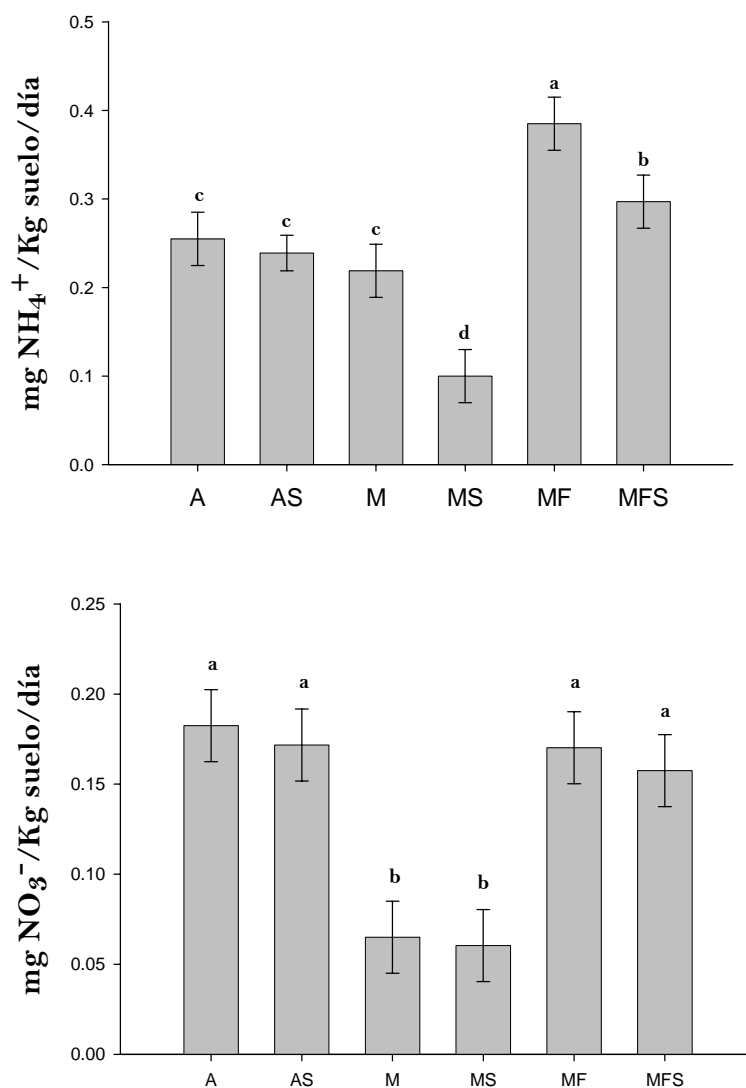


Figura 13. Tasa neta potencia de mineralización (izquierda) y nitrificación (derecha) para cada tipo de cultivo A = Avena, AS = Avena con subsidio, M = Maíz, MS = Maíz con subsidio, MF = Maíz y frijol, MFS = Maíz y frijol con subsidio. A una profundidad de 10cm después de 28 días de incubación en el laboratorio. Letras diferentes significan diferencias significativas.

### 3.2.3 Contenido de Carbono y Nitrógeno total en las presas

El contenido de carbono y nitrógeno disuelto en el agua de las presas presentó en promedio 9.18 mg/L y 1.43 mg/L, respectivamente (Figura 14). En el sedimento de las presas se encontró un promedio de 14.7 Ton/Ha de carbono cantidad que es mayor comparada con el valor más alto del pastizal (13.74 Ton C/Ha), correspondiente a la profundidad de 0 - 15cm. Para el contenido de nitrógeno, el valor promedio fue de 1.06 Ton N/Ha, cantidad que también oscila en el rango encontrado en el pastizal (1.82 Ton N/Ha de 0 – 15cm y 1.20 Ton N/Ha de 15 – 30) (Figura 15).

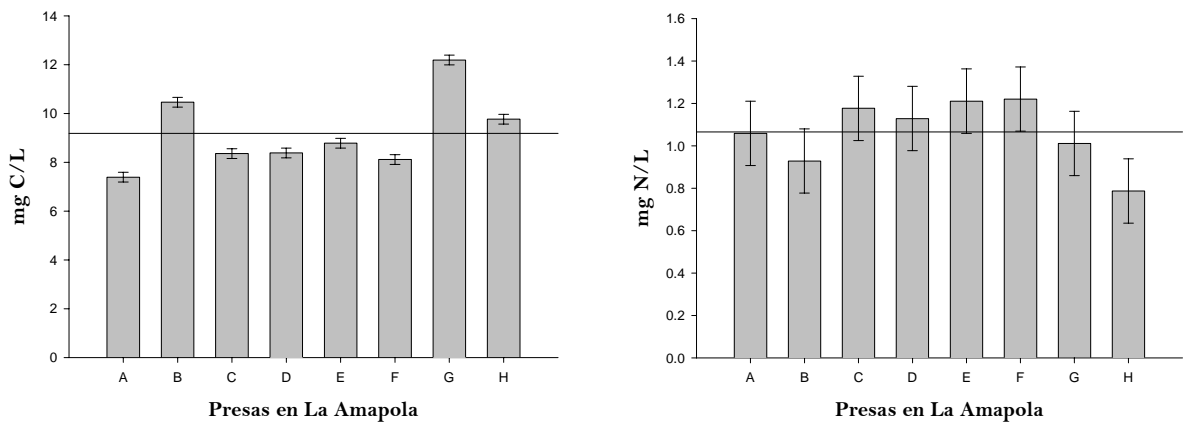


Figura 14. Contenido de carbono disuelto (gráfica izquierda) y de nitrógeno disuelto (gráfica derecha) en el agua de las ocho presas (A, B, C, D, E, F, G Y H) que hay en La Amapola. La línea indica el valor promedio.

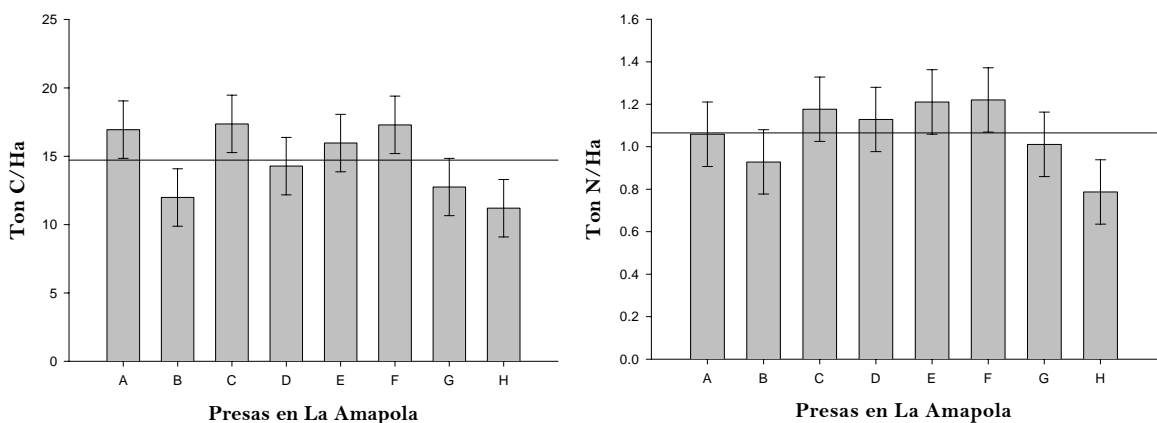


Figura 15. Contenido de carbono (gráfica izquierda) y de nitrógeno (gráfica derecha) en el sedimento de las ocho presas (A, B, C, D, E, F, G Y H) que hay en La Amapola. La línea indica el valor promedio.

## **4. Discusión.**

La desertificación como problema de cambio ambiental global, afecta gran parte del territorio y de los sistemas humano-ambientales en México. En este estudio se examinaron las interrelaciones biofísicos y socio-económicos que contribuyen al deterioro del funcionamiento del suelo en la comunidad La Amapola, utilizando el paradigma para el desarrollo de zonas áridas (Reynolds et al 2007). La meta fue identificar las variables, procesos y conductores claves de este sistema complejo, para entender el proceso y la dinámica de la desertificación en esta comunidad. A continuación se discuten los resultados de las variables biofísicas y socioeconómicas utilizando los cinco principios del DDP y al final se abordan algunas implicaciones para el manejo y restauración del este sistema, perspectivas para investigaciones a futuro, así como propuestas para políticas públicas, que encaminen a la sustentabilidad de este sistema humano-ambiental que es representativo de muchas comunidades ejidales en el Altiplano y Norte de México.

### **4.1 Principio 1: Los sistemas Humano-Ambientales son una pareja dinámica y coadaptada, cuya relación cambia con el tiempo.**

Los resultados obtenidos muestran que los procesos que determinan la fertilidad del suelo son parte de un sistema en que los procesos biofísico y socioeconómico interactúan de manera simultánea, interdependiente y que cambian con el tiempo, modificando la condición actual de la calidad del suelo, dejando claro que los sistemas Humano – Ambientales son un binomio coadaptado y dinámico como propone Reynolds, et al., (2007). El contexto biofísico y socioeconómico están ligados y se modifican entre si, explicando que la causa de la degradación del suelo en la Amapola es multicausal y responde a varios factores. Estos factores Chapin, et al. (2006) propone que se agrupen en tres categorías, conductores, variables lentas y variables rápidas, en la Amapola nosotros reconocimos cuatro conductores externos, 1) el mercado regional (precios de los productos agropecuarios), 2) los subsidio al campo que implica la introducción de tecnología para el uso de la tierra, como el uso de tractor, así como también favorecen la elección de monocultivos

forrajeros para el ganado, 3) la tenencia de la tierra que divide el paisaje en tierras de uso privado y uso público lo cual implica como muestra Garin et al., (1990) un manejo distinto que responde al tipo de tenencia y que implica una perturbación distinta al sistema y 4) el bajo nivel o falta de educación (formal e informal), que repercute en el baja capacidad de análisis para la toma de decisiones sobre las actividades productivas de su entorno, como dice Tschakert (2001) la educación formal e informa, permite a los pobladores decidir de manera informada sobre lo que les conviene y como aplicar los apoyos externos que reciben. Los conductores que se reconocieron reflejan al igual que el estudio de Geist & Lambin (2004), que los detonantes de la desertificación son factores humanos económicos, políticos institucionales y culturales, entre otros que ellos proponen y su interacción entre si.

Estos cuatro conductores han cambiado a lo largo del contexto histórico de la comunidad, el mercado sin duda, es el más variable, por que responde a los factores externos y a la percepción de los consumidores, el subsidio al campo se recibe hace apenas 15 años, la tenencia de la tierra era comunal en su totalidad durante hasta 1991, cuando la reforma al artículo 27 decreto que las tierras agrícolas serían privadas y responsabilidad de un dueño (Medina, 2006)

#### **4.2 Principio 2: Las variables lentas son determinantes de la dinámica de los sistemas Humano-Ambientales.**

Se reconocieron variables lentas y rápidas tanto biofísicas como socioeconómicas en la comunidad (figura 16). Las variables lentas fueron determinadas por ser parámetros que soportan y controlan el funcionamiento del ecosistema y que son relativamente constantes a lo largo de varias décadas (Chapin, et al., 2006), es decir que el cambio en estas variables refleja la dinámica del sistema humano – ambiental de la Amapola. Se reconocieron cinco variables lentas que se considera como los prerequisites para una condición sustentable en la Amapola, 1) conocimiento ambiental local, 2) cobertura vegetal perenne, 3) contenido de MOS, 4) almacenes de C y N en el

suelo y 5) densidad aparente. La dinámica del sistema responde a los distintos tipos de actividades y manejos que se realizan en esta comunidad (los cuales responden como ya se menciona a los conductores externos). También definimos las variables rápidas más importantes del sistema por que nos permiten reconocer las consecuencias de la desertificación en el bienestar humano (Carpenter & Turner, 2000). Se identificaron 7 variables rápidas, 1) estructura demográfica, 2) tamaños del atado, 3) tipo de cultivos, 4) humedad en el suelo, 5) tasa de mineralización y nitrificación, 6) biomasa de raíces y 7) C y N disueltos en el agua de las presas, 7) variabilidad en precipitación.

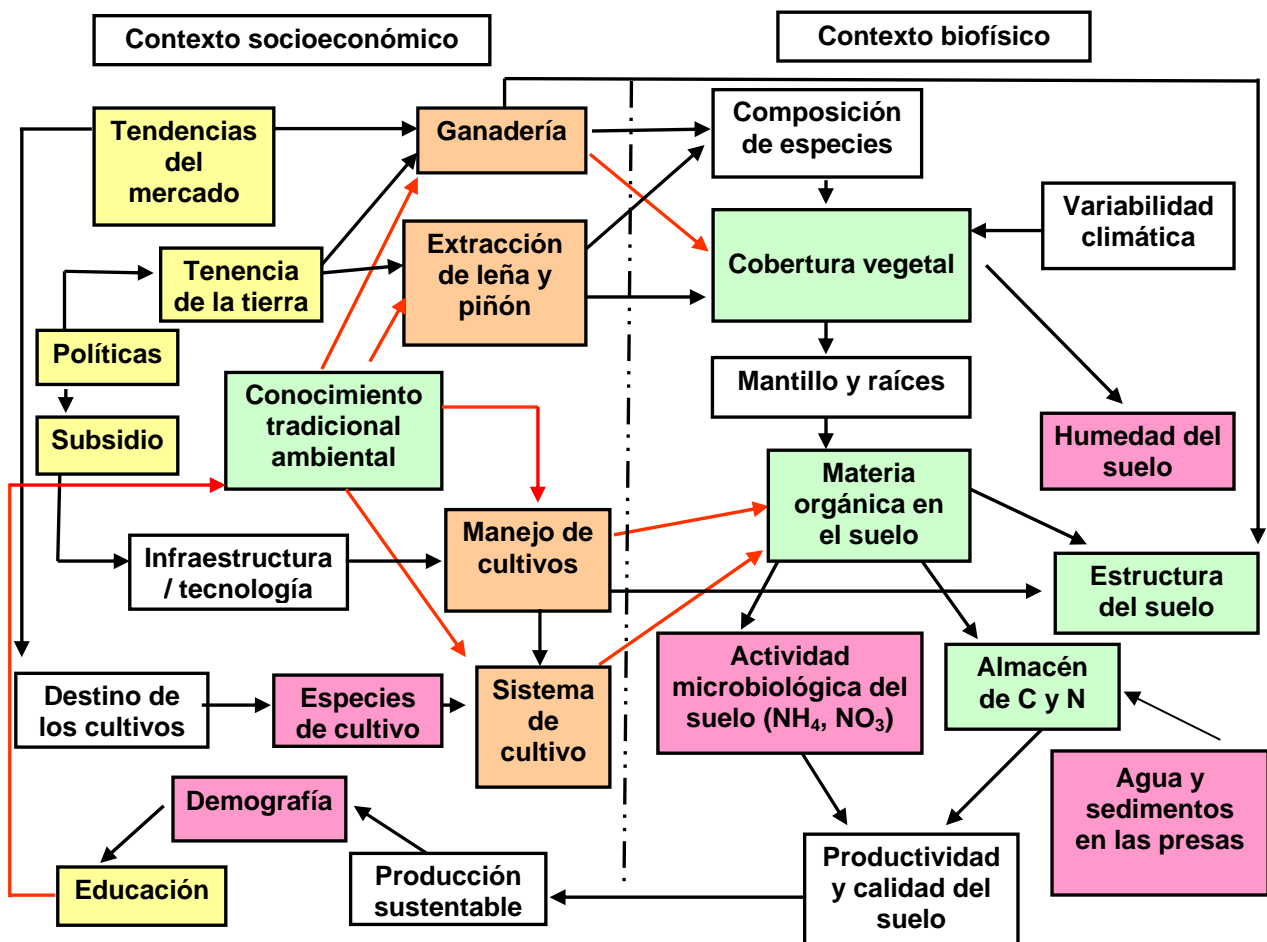


Figura 16. Modelo conceptual de la integración e interacción de las variables biofísicas y socioeconómicas en la comunidad la Amapola. El color amarillo indica los conductores clave del sistema, el color verde indica las variables lentas del sistema y el rosa las variables rápidas del sistema, el color salmón identifica las actividades humanas que se realizan en la comunidad. Las flechas muestran la relación dependiente que existe entre estas variables.

El sobrepastoreo y los prolongados periodos de sequía en la comunidad la Amapola han ocasionado una perdida mayor al 60% de la cobertura de gramíneas perennes en el pastizal. Esto se ve reflejado en cantidad y tamaño de espacios abiertos presentes, los cuales son mayores durante la época de sequía permitiendo la colonización de costras biológicas que en comparación con las gramíneas cubren una mayor área del pastizal junto con el suelo desnudo como plantea Jiménez (2005) en un estudio de un pastizal similar en San Sebastián, una zona cercana a la Amapola. En la época de lluvia la cobertura vegetal aumenta por las plantas anuales que se establecen en esta zona. Como el crecimiento de estas es sobre el suelo, probablemente reducen la pérdida de suelo por erosión hídrica durante la época de lluvias, ya que la erosión es alta en esta época porque como indica Ludwig, et al., (2000) una mayor cantidad de arena indica movimiento en sedimentos por erosión. En el bosque los espacios abiertos fueron menores debido a la cantidad de mantillo que se encuentra sobre el suelo por los árboles de pino y encino.

En general los suelos en la Amapola son bastante someros, y la MOS se aglutina en los primeros 15cm del suelo. Esta distribución vertical corresponde al patrón de la distribución vertical de la biomasa de raíces. La mayoría de las raíces se encontró en los primeros 15cm del suelo, siendo hasta 10 veces más alto en el bosque. Esto podría indicar que los nutrientes se acumulan en los primeros centímetros y que las raíces muertas están conformando una gran parte de la MOS en estos sitios (Chapin, et al., 2002; Medina et al 2007). El bosque tiene más entradas de MOS debido a la presencia de hasta 60% más mantillo que el resto de los sitios, los cuales son pobres en mantillo por el sobrepastoreo y la cosecha de cultivos que deja la superficie desnuda, reduciendo la MOS que se reincorpora al suelo ya que como dice Owen, et al. 2002, los bosques tienden a almacenar una gran cantidad de MOS, en contraste Walker & Janssen (2002), indican que los sitios con sobrepastoreo tienden a presentar una baja cantidad de MOS, por otro lado Lal (2004) muestra que las tierras de cultivo, disminuyen sus entradas de materia orgánica cuando se mantiene el suelo desnudo por largos periodos de tiempo

La cantidad de MOS se ve reflejada en los almacenes de C y N en el suelo de los diferentes tipos de vegetación y uso en la Amapola. En el bosque son 65% más altos a diferencia de la agricultura y el pastizal, esto debido a que los bosques tienen una mayor entrada de MOS y los pastizales y zonas agrícolas presentan una baja cantidad de MOS la cual es el reservorio de carbono más importante en estos sistema. En otros estudios de este tipo como el de Etchevers, et al. (2001), se reconoce que los bosques tienen un almacén de C y N más altos por que cuentan con diversas fuentes de carbono, en comparación con los almacenes de los pastizales, que según Neff et al., (2005) pueden disminuir hasta 60 – 70% bajo condiciones de sobrepastoreo.

En el caso de la agricultura, la cantidad de MOS corresponde al manejo que se aplica a los cultivos. Fue más alta en los cultivos de avena que en los de maíz y frijol y finalmente en los de maíz. En este caso no corresponde a la distribución de la biomasa de raíces que fue mayor en los cultivos de maíz y frijol que en avena y maíz. Sin embargo esto se debe probablemente a que sobre los cultivos de avena dejan restos de rastrojo que son difíciles de recoger durante un lapso después de la cosecha. Parte de estos fragmentos se mezclan con el suelo y conforman MOS difícil de degradar por que la avena es rica en lignina y compuestos recalcitrantes (Kocheva, et al., 2005). Otra parte de este rastrojo consumen los animales, esto implica que los animales dejan estiércol en estas parcelas, aunado a esto los campesinos favorecen avena para fertilizar con el estiércol de los corrales. Esto indica que dejando rastrojo en las parcelas podría contribuir considerablemente a la MOS.

La MOS en el cultivo mixto de maíz y frijol corresponde a la alta cantidad de las raíces y en particular a las plantas de frijol que se quedan en las parcelas por que son difíciles de cosechar por su tamaño y no sirven para forraje. El tejido senescente se incorpora en el suelo y se descompone rápidamente por el bajo contenido de componentes estructurales. Los monocultivos de maíz son los más pobres en MOS y biomasa de raíces porque durante la cosecha se extraen la planta completa incluyendo la mayor parte de las raíces, para forraje de los animales. En los tres cultivos la MOS y la biomasa de raíces se distribuyeron en los primeros 15 cm del suelo esto

probablemente por que el tiempo de residencia de la MOS es corto como sugiere Tschakert & Tappan (2004).

Como se esperaba, los almacenes de C y N en el suelo fueron más altos en los cultivos con mayor cantidad de MOS (Lavelle & Spain, 2001). Sin embargo fueron más ricos aquellos donde el arado se hizo de manera tradicional con yunta a comparación de aquellos donde se usa el tractor para el arado, esto como beneficio obtenido del subsidio económico al campo. Según Lal (2004) el uso de tecnología promueve a la remoción de los sedimentos y la mineralización de MOS que libera el carbono en forma de  $\text{CO}_2$  a la atmósfera disminuyendo la relación C:N en el suelo. Una labranza reducida como implica la yunta permite un aumento en los almacenes de C y N en el suelo, así como de MOS (Bernacchi, et al., 2005). Lo anterior comprueba lo propuesto por Tschakert, et al. (2004), que los almacenes de C responden al tipo de manejo que se da a la tierra. La densidad aparente fue mayor en los cultivos que reciben subsidio, esto se debe probablemente al peso del tractor que es utilizado en las parcelas con este apoyo económico y el paso de animales dentro de estos cultivos, cuyo tamaño de hatos es mayor para quienes reciben este subsidio provocando una mayor compactación en estos cultivos (Van Wijnem, 1999). Esta compactación disminuye la infiltración de agua en el suelo, y favorece la erosión hídrica que a largo plazo disminuirá la cantidad de materia orgánica y la profundidad del suelo (Etchevers, et al., 2001).

La mineralización y la nitrificación son procesos clave que afectan la cantidad de amonio y nitrato y la disponibilidad del nitrógeno inorgánico para las plantas (Owen, et al., 2003). En todos los sitios de estudio la concentración de  $\text{NH}_4^+$  fue más alta que la de  $\text{NO}_3^-$ , esto puede deberse a que en la rizosfera no son abundantes los microorganismos nitrificadores. Alternativamente, puede deberse a que el amonio se mantiene estable en el suelo, sólo puede perderse al convertirse en  $\text{NH}_3^+$ , en cambio los nitratos generan con mayor facilidad otras formas de N inorgánico que son liberadas a la atmósfera como  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$  y  $\text{NO}_x$  (Robertson, et al., 1999).



En los tres sitios la concentración de nitrógeno inorgánico aumentó conforme aumentaron los pulsos de humedad, esto se debe a que la mineralización y la nitrificación son procesos que se aceleran con la humedad y la temperatura (Owen, et al., 2003). Sin embargo durante los tres tiempos la cantidad siempre fue mayor en el bosque seguida de la agricultura y el pastizal en ese orden, esto responde directamente a la cantidad de Nitrógeno y MOS que esta disponible para los microorganismos en el suelo de cada sitio (Chapin, et al., 2006), ya que la amonificación y la nitrificación son el resultado de la descomposición de las fuentes de carbono presentes (Van Wijnem, 1999). La disponibilidad de los nutrientes depende de varios factores, los tres más importantes son: las propiedades del suelo (como contenido de N, densidad aparente, contenido de agua y oxígeno), la disponibilidad de carbono (cantidad de MOS) y la degradabilidad de esta (calidad de la MOS) (Van Wijnem, 1999). Estos tres factores son distintos en cada sitio, por ello la mineralización y nitrificación fueron más altas en el bosque que en el pastizal y la agricultura. En los bosques los suelos tiene una mayor cantidad de N, de MO y capacidad de retención de agua, además son menos compactados que aumenta la concentración de oxígeno en el suelo y así promueve la mineralización y nitrificación de nitrógeno. En cambio en el pastizal el sobrepastoreo causó que se disminuyó el nitrógeno disponible y la MOS así como también la compactación redujo la infiltración de agua y la concentración de oxígeno, haciendo que los pastizales con sobrepastoreo disminuyan sus tasas de mineralización y nitrificación. En la mineralización y nitrificación potencial se observó una tendencia similar, a pesar de estar bajo condiciones óptimas de temperatura y humedad en el laboratorio. La tasa de mineralización y nitrificación más altas alcanzadas fueron en el bosque esto debido a lo anterior, una mayor cantidad de MOS y N en este sitio a comparación de los otros dos sitios.

En el caso particular de los cultivos, la mayor concentración de amonio y nitrato lo encontramos en los suelos con cultivos mixtos de maíz y frijol seguidos de los de avena y los de maíz, porque los cultivos de leguminosas (fijadoras de nitrógeno) aumentan la cantidad de nitrógeno en el suelo, y activan los procesos de mineralización y la nitrificación (Austin, et al., 2006). La

concentración de amonio y nitrato también estuvo alta en los cultivos de avena debido a la introducción de animales en estos cultivos para su alimentación, lo cual implica que el orín de las cabras fertiliza el suelo y es rico en amonio (Van Wijnem, 1999). La tasa de mineralización y nitrificación in situ y potencial también fue más alta en estos cultivos.

La cantidad de C y N disuelto en el agua de las presas se mantuvo dentro de los valores que se presentan en otros estudios como el de Riggsbee, et al., (2007) para presas hechas directamente en el suelo en comunidades rurales dedicadas a las actividades agropecuarias. Sin embargo la cantidad de carbono orgánico y nitrógeno total encontrada en el sedimento de estas presas es mayor al encontrado en la zona de pastizal. Si a esto le sumamos que las presas se tienen que desasolar cada dos años por que se acumulan sedimentos, esto indica que durante la época de lluvia se arrastran por las cárcavas sedimentos que van directo al piso de las presas, esto resulta en un almacén de C y N que no se esta utilizando en la comunidad. Este sedimento que pertenece a la comunidad por que esta en tierras comunales, bien podría ser utilizado para colocarlo sobre las tierras de pastizal para recuperar este almacén de C y N.

#### **4.3 Principio 3: Si las variables lentas cruzan su umbral causan que el sistema Humano-Ambiental pase a un nuevo estado.**

Los resultado obtenidos en las variables lentas de los distintos tipos de vegetación y uso de la tierra, y tomando el bosque como tipo de vegetación de referencia ecológica corroboran que existe un cambio en estas a través del tiempo, llevando al sistema a cambiar del estado original a un nuevo estado potencial, esto debido a que han cruzado algunos umbrales como sugiere el principio 3 del DDP (Reynolds, et al., 2007).

Tomando en cuenta que el bosque es la vegetación potencial del sistema, debido a que la zona era boscosa hasta 1920 cuando se acento la comunidad La Amapola, iniciando las actividades de deforestación para

pastoreo y agricultura, podemos decir que los factores biofísicos como la cobertura vegetal y las características y calidad del suelo como la densidad aparente, el contenido de materia orgánica del suelo, carbono y nitrógeno del suelo en el bosque, están en condiciones similares a las iniciales. Por ello si comparamos estos factores entre las zonas con actividades humanas que cambiaron de uso de suelo hace 87 años, encontramos una reducción importante en la calidad del suelo, en este lapso de tiempo, la zona de pastizal ha perdido 24.26 Ton/Ha de materia orgánica, 45 Ton/Ha de carbono, 1.55 Ton/Ha de nitrógeno y el suelo se ha compactado 0.52 g/cm<sup>3</sup>. En las tierras de agricultura tradicional como se practica desde 1920 la pérdida ha sido de 35.38 Ton/Ha de MOS, 30.99 Ton/Ha de carbono, 0.734 Ton/Ha de nitrógeno y la compactación del suelo fue de 0.093 g/cm<sup>3</sup>. Sin embargo, las técnicas en la agricultura se han modificado por el subsidio que reciben desde 1993 hasta la actualidad. En esos 14 años la MOS se redujo en comparación con la agricultura tradicional por 5.6 Ton/Ha, el carbono 0.96 Ton/Ha, el nitrógeno 0.57 Ton/Ha y el suelo se compactó 0.23 g/m<sup>3</sup>.

Lo anterior no nos permite reconocer los valores de los umbrales, sin embargo nos permite reconocer tendencias, sobre el cambio del sistema podemos sugerir que el sistema ha cambiado de estado en dos momentos históricos, el inicio de las prácticas ganaderas y agrícolas y la introducción del subsidio económico al campo. En la figura 17 se puede apreciar la tendencia de cambio y la reducción en las variables biofísicas lentas de los tres sistemas que se presentan en la Amapola como resultado de las actividades humanas, el pastizal utilizado como agostadero, la agricultura que se trabaja de manera tradicional, y las tierras de cultivo que han introducido tecnología para su arado, entendiendo que el sistema es complejo, no lineal y responde a múltiples variables, por lo cual el deterioro de la fertilidad puede acelerarse o disminuir por otros factores. Además, el cambio de estado del sistema, podría sugerir un nuevo estado estable en el que se mantienen las funciones del sistema y permiten la producción biológica y económica. Posteriormente, con estos resultados, podríamos buscar analogías con otros trabajos que se han hecho en zonas áridas – semiáridas similares, como los que se encuentran en la base de datos establecida por The Resilience Alliance y Santa Fe Institute, donde

muestran posibles umbrales para sistemas humano – ambientales. Lo anterior, permitiría definir umbrales en estos tipos de sistemas. Es decir, este trabajo puede servir como base para futuras investigaciones sobre umbrales en estos sistemas.

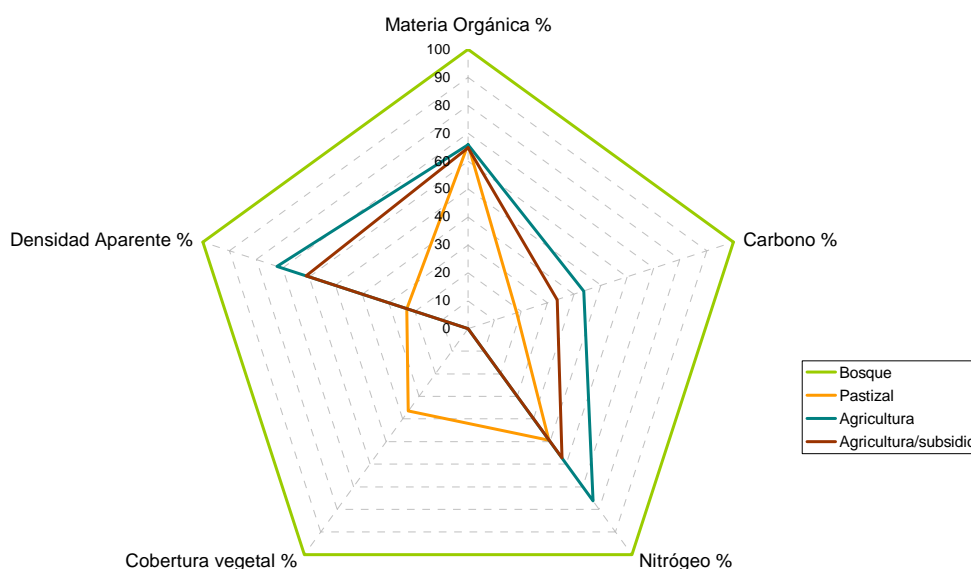


Figura 17. Las áreas marcadas, representan el estado actual de cada parche de vegetación, respondiendo a cinco variables lentas (materia orgánica, contenido de carbono y nitrógeno, cobertura vegetal y densidad aparente), mostrando el grado de deterioro del sistema en relación al bosque por el cambio de uso de suelo. En todas las variables el bosque represento el 100%. La menor densidad aparente se tomo como el 100% por que indica una mejor calidad del suelo. La vegetación en las tierras de cultivo se considero como 0 por mantenerse sin cultivos durante 8 meses al año.

#### **4.4 Principio 4: Los sistemas Humano – ambientales tienen múltiples niveles en una estructura jerárquica y anidada.**

Los resultados obtenidos permiten identificar una estructura jerárquica y anidada del sistema humano – ambiental, como plantea el principio 4 del DDP (Reynolds, et al., 2007). En la Amapola, se reconoció una estructura conformada por seis niveles de influencia distribuidos en escalas local, regional, nacional e internacional que interactúan entre si, supeditándose a los niveles superiores e influyendo a los niveles inferiores, determinando la dinámica del sistema agropecuario en el ejido y la unidad domestica (figura 18). En esta estructura se reconocen los tres conductores de la desertificación en la comunidad, los cuales influyen a diferente nivel, el mercado es una influencia

tanto regional como internacional (debido a que las tendencias son determinadas por el mercado global) las políticas gubernamentales son influencias nacionales y la educación es una influencia regional, sin embargo todas repercuten a nivel local en la comunidad.

Esta estructura permite conocer los procesos que ocurren en cada nivel y definir un contexto a partir de los niveles más altos y explicar los efectos de los procesos en los niveles inferiores (Allen & Hoekstra, 1992). Esta estructura no es unidireccional, sino que todos los niveles a pesar de seguir un acomodo jerárquico se modifican entre si.

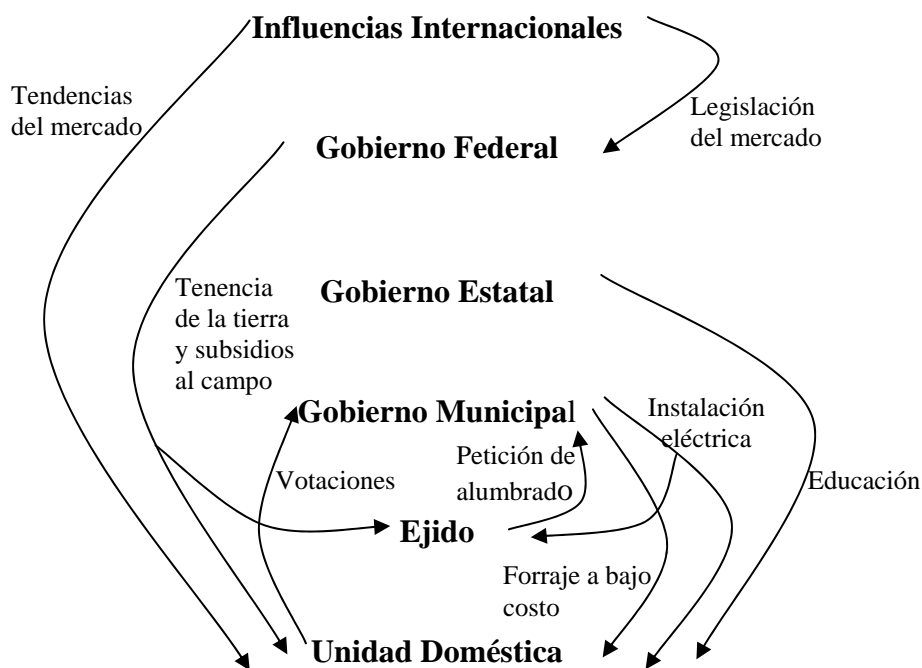


Figura 18. Estructura jerárquica, anidada y la interacción entre los niveles de influencia en la comunidad la Amapola

**4.5 Principio 5: La clave para mantener el funcionamiento del sistema es implementar un sistema híbrido entre el conocimiento ambiental local, las políticas y el conocimiento científico.**

El principio 5 del DDP, plantea la necesidad de implementar un sistema híbrido entre el conocimiento ambiental local, las políticas públicas y el conocimiento científico, si se quiere mantener en equilibrio el funcionamiento del sistema

(Reynolds, et al., 2007). En la Amapola se observa un insipiente conocimiento local tradicional para la conservación de la fertilidad del suelo. Las generaciones adoptan los tipos de manejo de las generaciones anteriores, sin embargo es tangible que estas actividades de manejo no estén enfocadas a mantener la sustentabilidad del sistema humano – ambiental, si no a explotar el sistema. Esto puede deberse a que las actividades de los primeros habitantes de la Amapola estaban orientadas a la producción de carbón, extracción de madera y minería, en segundo plano se encontraba la agricultura y la ganadería como menciona Salazar (2000), esto lleva a pensar que estas actividades no son parte de su tradición y han cobrado reciente importancia en la comunidad, por ello estas actividades están más controladas por el mercado y las políticas institucionales que por el conocimiento ambiental tradicional, similar a lo que ocurre en algunas comunidades de Senegal estudiadas por Tschakert (2001). Por lo cual se propone que es importante generar este conocimiento en las comunidades con metodologías participativas, de tal manera que lo construyen en conjunto los habitantes de la comunidad y los tomadores de decisiones a nivel institucional y los científicos.

#### **4.6 Propuestas de manejo en la Amapola**

La mayoría de los migrantes en México, reconocen como una de las causas principales, la degradación de la tierra, sin embargo muchos de ellos, plantean la posibilidad de regresar si las condiciones del campo mexicano fueran distintas. Por ello es importante plantear la posibilidad de restaurar y manejar las tierras en las comunidades rurales del país, principalmente en las zonas áridas – semiáridas, ya que estas se han convertido en uno de los mayores generadores de migrantes a nivel nacional como plantea Barragán (2005). De ahí que cobren importancia las prácticas de manejo encaminadas a la restauración de los sistemas agropecuarios.

Para la restauración es primordial tomar en cuenta que el sistema es complejo y que su dinámica responde a la interacción entre factores socioeconómicos y biofísicos, los cuales no podemos deslindar. Por ello, proponemos que se genere un sistema de conocimiento híbrido entre la

comunidad científica, los habitantes de la comunidad y los sectores gubernamentales que influyen en la región. Esto puede lograrse, como muestra Tschakert (2001) en África junto con otras experiencias exitosas en países subdesarrollados principalmente de latinoamérica como asegura Schutter (1987) con talleres y conformando grupos de trabajo que mediante la metodología participativa permita producir cambios en la comunidad, para lograr una mejor toma de decisiones de los campesinos sobre el manejo de sus tierras agrícolas y comunales, así como el uso de los subsidios y otras políticas gubernamentales que influyen en las actividades y la conformación de la comunidad, así como también vislumbrar soluciones organizativas, ambientales y tecnológicas que influyan en el mantenimiento de los servicios ambientales. Esta metodología tiene la ventaja de reconocer que los cambios en el sistema ambiental y su uso, tienen sentido dentro de un contexto histórico- social concreto (formas de producción, organización social, actividades productivas, etc.) y que el desarrollo de nuevos manejos integrales, son un proceso endógeno de la comunidad, por lo que le corresponde a los propios habitantes conducirlo. Por lo anterior consideramos que este tipo de metodología posibilita la integración verdadera de la comunidad y de los investigadores, funcionando como un instrumento viable para conocer y transformar su realidad junto conjuntamente con todos los actores involucrados en esta realidad.

## 5. Conclusión

En este trabajo queda clara la influencia de las actividades humanas en la degradación del suelo en las zonas áridas – semiáridas de esta región, es decir que algunas de estas actividades impactan de manera negativa la productividad biológica y ecológica del suelo. Este problema lo podemos extrapolar a las áridas – semiáridas de México y América latina en general, dado que tienen una conformación social y gubernamental similar, sin embargo cabe destacar que cada sitio presenta sus propias particularidades que deben tomarse en cuenta.

Usando como estudio de caso la Amapola, presentamos un modelo conceptual basado en el DDP, se reconoció que la desertificación en esta comunidad es el resultado de un proceso histórico y económico de sobreexplotación extensiva de los recursos naturales, donde los factores clave que explican la dinámica del sistema se agrupan en conductores externos y variables lentas las cuales responde a umbrales de distinta magnitud que han cambiado a lo largo del tiempo. Lo cual nos permite decir que al reconocer estas variables lentas y conductores externos tanto socioeconómicos como biofísicos, podemos explicar la dinámica de los sistemas humano – ambientales y reconocer todas las relaciones importantes entre la conformación social de la comunidad y la degradación del suelo. Lo anterior permite enfocarse en la parte medular del sistema para los esfuerzos de manejo y restauración de los bienes y servicios ambientales, los cuales regularmente se pierden por que sólo influyen en los fenómenos a corto tiempo como las variables rápidas, que reflejan únicamente la variabilidad a corto tiempo del sistema.

La aplicación del DDP en la comunidad de la Amapola, es una oportunidad para iniciar una propuesta de restauración y manejo de la región, que ataquen los puntos clave que controlan el sistema. Así como también mostrar la utilidad de esta herramienta conceptual y metodológica para el estudio de la desertificación en investigaciones futuras, permitiendo una unificación en la evaluación y comprensión de este fenómeno a nivel mundial.



## 6. Literatura Citada.

Alvarez, R., Alvarez, C. 2000. Soil Organic Matter Pools and Their Associations with Carbon Mineralization Kinetics. Soil Science Society of America. Vol. 64.

Allen, T., Hoekstra, T. 1992. Toward a unified ecology. Complexity in ecological systems. Columbia.

Ash, A., Stafford – Smith, T. Abel, N. 2002. Land degradation and secondary production in semi-arid and arid grazing systems what is the evidence? En Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?, J. F. Reynolds, K. M. Stafford Smith, Eds. Dahlem Univ. Press, Berlin.

Austin, A., Piñeiro, G., Gonzales-Polo, M. 2006. More is less: agricultural impacts on the N cycle in Argentina. Biogeochemistry. Vol 79 pp. 45 – 60

Barragán, L. 2005. Gente de campo. Patrimonios y dinámicas rurales en México. Vol. 1. El colegio de Michoacán.

Bernacchi, C., Hollinger, S., Meyers, T. 2005. The conversion of the corn/soybean ecosystem to no-till agricultura may result in a carbon sink. Global Change Biology. Vol. 11 pp 1867 – 1872.

Black, C., Evans, D., White, J., Ensminger, L., Clark, F. 1965. Methods of Soil Análisis part. 3 Chemical Methods. Editor D. L. Speaks. American Society of Agronomy. Pag. 906 – 908.

Carpenter, S., Turner, M. 2000. Hares and Tortoises: Interactions of Fast and Slow Variables in Ecosystems. Ecosystems. Vol. 3 pp 495 – 497.

Castillo, A., Torres, A., Velásquez, A., Bocco, G., 2005. The Use of Ecological Science by Rural Producers: A Case Study in Mexico. Ecological Applications, 15(2).

Chapin, F., Matson, P., Mooney, H. 2002. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. Springer – Verlag.

Chapin, F., Lovcraft, A., Zavaleta, E., Nelson, J., Robards, M., Kofinas, G., Traidor, S., Peterson, G., Huntington, H., Naylor, R. 2006. Policy strategies to address sustainability of Alaskan boreal forests in response to a directionally changing climate. PNAS. Vol. 103. No. 45, pp 16637 – 16643.

De Schutter, A. 1987. Método y proceso de la investigación participativa en la capacitación rural. Michoacán, Mexico, CREFAL. Cuaderno No. 19.

Etchevers, J., Acosta, M., Monreal, C., Quednow, K., Jiménez, L. 2001. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura del Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia – Chile.

Fernandez, R. Archer, E., Ash, A., Dowlatabadi, H., Hiernaux, P., Reynolds, J., Vogel, C., Walker, B., Wiegand, T. 2002. En Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?, J. F. Reynolds, K. M. Stafford Smith, Eds. Dahlem Univ. Press, Berlin.

Gallardo, A., Schlesinger, W. 1992. Carbon and nitrogen limitations of soil microbial biomass in desert ecosystems. Biogeochemistry 18, pp 1-17.

Garin, P., Faye, A., Lericollais, A., Sissokho, M. 1990. Evolution du Role du Betail Dans la Gestion de la Fertilité des Terroirs Sereer au Senegal. Les Cahiers de la Recherche Développement n° 26.

Geist, H., Lambin, F. 2004. Dynamic Causal Patterns of Desertification. BioScience 817. September 2004/Vol. 54 No. 9.

Gunderson, L. 2000. Ecological Resilience – In Theory and Application. Ammu. Tev. Ecol. Syst. Vol. 31 pp 425 – 439.

Havstad, K., Peters, D., Skaggs, R., Brown, J., Bestelmeyer, B., Fredrickson, E., Herrick, J., Wright, J. 2007. Ecological services to and from rangelands of the United States. *Ecological Economics*.

Helmut, J., Lambin, F. 2004. Dynamic Causal Patterns of Desertification. *BioScience* 817. September 2004/Vol. 54 No. 9.

Herrick J. E., J. W. Van Zee, K. M. Havstad, L. M. Burkett & W. G. Whitford. 2005. Monitoring Manual for Grassland Shrubland and Savanna Ecosystem. Vol. 1: Quick Start. USDA-ARS Jornada Experimental Range.

Holling, C. 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Reviews Ecological Systems*. Vol. 4 pp 1-23

Huber-Sannwald E., Maestre, F., Herrick, J., Reynolds, J. 2006. Applying a new desertification paradigm linking biophysical and socioeconomic elements: the Amapola, Mexico case study. *HYDROLOGICAL PROCESSES*. Vol. 20 pp, 3395-3411

IDB, Inter-American Development Bank. 2006. Internet Link: <http://www.iadb.org>

INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2002. Internet Link: <http://www.inegi.gob.mx>

Informe de la situación del medio Ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. SEMARNAT. UNDP. 2005.

Jiménez, A. 2005. Caracterización funcional de costras biológicas de suelo en un pastizal semiárido de San Luis Potosí. Tesis de Maestría. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica. SLP.

Kassas, M. 1995. Desertificación: A general review. *Journal of Arid Environments* 30:115-128.

Kocheva, L., Borisenkov, M., Karmanov, A., Mishurov, V., Spirikhin, L., Monakov, Y. 2005. Structure and Antioxidant Characteristics of Wheat and Oat Lignins. *Russian Journal of Applied Chemistry*. Vol. 78. No. 8. pp. 1343 – 1350.

Lal, R. 2004. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science*. Vol. 304.

Lavelle, P., Spain, A. 2001. *Soil Ecology*. Kluwer Academia Publishers. Pp, 84 – 91.

López, E., Mendoza, M., Acosta, A. 2002. Cambio de cobertura vegetal y uso de la tierra. El caso de la cuenca endorreica del lago de Cuitzeo, Michoacán. *Gaceta Ecológica*. 64: 19 – 34.

Ludwig, J., Muldavin, E., Blanche, R. 2000. Vegetation Change and Surface Erosion in Desert Grasslands of Otero Mesa, Southern New Mexico: 1982 to 1995. *American Midland Naturalist*, Vol. 144. No. 2, pp. 273-285.

McNeill, J., Winiwarter, V. 2004. Breaking the Sod: Humankind, History, and Soil. *Science* Vol. 304

Medina, S. 2006. La Reforma al Artículo 27 Constitucional y el Fin de la Propiedad Social de la Tierra en México. El Colegio Mexiquense. Colección Documentos de Investigación.

Medina, E., Arredondo, T., Huber-Sannwald, E., Chapa, L., Olalde V. Grazing effects on fungal root symbionts and carbon and nitrogen storage in a shortgrass steppe in Central Mexico. *Journal of arid environments*. 2007. doi:10.1016/j.jaridenv.2007.07.005

Millennium Ecosystem Assessment- Ecosystems and Human Well-Being: Desertification Synthesis (World Resources Institute, Washington, DC, 2005).

Neff, J., Reynold, R., Belnap, J. Lamothe, P. 2005. Multi-decadal impacts of grazing on soil physical and biogeochemical properties in southeast Utah. *Ecological Applications*. 15(1): 87-95.

Nicholson, S. 1999. The physical-biotic interface in arid and semi-arid systems: a climatologist's viewpoint. In Havstad, K., Peters, D., Skaggs, R., Brown, J., Bestelmeyer, B., Fredrickson, E., Wright, J. 2006. Ecological services to and from rangelands of the United States. *Ecological Economics*. Vol.12.

Owen, J., Kuang, M., Lin, H., Biau, H., Ho, C., Fang, C. 2003. Comparison of soil nitrogen mineralization and nitrification in a mixed grassland and forested ecosystem in central Taiwan. *Plant and Soil*. No. 251, pp, 163 – 174.

Palacio Prieto, J. L., G. Bocco, A. Velázquez, J. F. Mas, F. Takaki, A. Victoria, L. Luna González, G. Gómez Rodríguez, J. López García, M. Palma, I. Trejo Vázquez, A. Peralta, J. Prado Molina, A. Rodríguez Aguilar, R. Mayorga Saucedo y F. González Medrano. 2000. La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del Inventario Forestal Nacional 2000. *Investigaciones Geográficas, Boletín*, 43, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 183-203.

Prince, S. 2002. En *Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?*, J. F. Reynolds, K. M. Stafford Smith, Eds. Dahlem Univ. Press, Berlin.

Resilience Alliance and Santa Fe Institute, 2004. Thresholds and alternate states in ecological and social-ecological systems. Resilience Alliance, internet link: <http://resalliance.org/even.php?IDD2497201&ID2DDOTOPIC>

Reynolds, J., Stafford Smith, D. 2002. *Global desertification Do Humans Cause Deserts?* Dahlem Workshop Report 88. Dahlem University Press.

Reynolds, J., Maestre, F., Huber-Sannwald, E., Herrick, J., Kemp, P. 2005. Aspectos socioeconómicos y biofísicos de la desertificación. *Ecosistemas*.

Reynolds, J., Stafford Smith, M., Lambin, E., Turner, B., Mortimore, M., Batterbury, S., Downing, T., Dowlatabadi, H., Fernández, R., Herrick, J., Huber-Sannwald, E., Jian, H., Leemans, R., Lynam, T., Maestre, F., Ayarza, M., Walker, B. 2007. Global Desertification: Building a Science for Dryland Development. *Science*. Vol 316. pp 847 – 851.

Riggsbee, J., Julian, J., Doyle, M., Wetzel, R. 2007. Suspended sediment, dissolved organic carbon, and dissolved nitrogen export during the dam removal process. *Water resources research*. Vol. 43.

Robertson, G., Coleman, D., Bledsoe, C., Sollins, P. 1999. *Standard Soil Methods for Long-Term Ecological Research*. LTER.

Salazar, G. 2000. Las haciendas en el siglo XVII en la región minera de San Luís Potosí. Universidad Autónoma de San Luís Potosí. Facultad del Habitat.

Stafford Smith, D., Reynolds, J. 2002. En *Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?*, J. F. Reynolds, K. M. Stafford Smith, Eds. Dahlem Univ. Press, Berlin.

Storer, D. 1984. A simple high sample volume ashing procedure for determination of soil organic matter. *Commun. In Soil Sci. Plant Anal.* Vol. 15(7), 759 – 772.

Stringham, T. Krueger, W. Shaver, P. 2003. State and transition modeling: An ecological process approach. Vol. 56, pp 106 - 113

Torell, L., Rimbey, N., Ramirez, O., McCollum, D. 2005. Income earning potential versus consumptive amenities in determining rangeland values. *Journal of Agricultural and Resource Economics* Vol. 30, pp 537-560.

Tschakert, P. 2001. Human dimensions of carbon sequestration: A political ecology approach to soil fertility management and desertification control in the Old Peanut Basin of Senegal. *Aridlands*. No. 49. pp 1-12.

Tschakert, P., Tappan, G. 2004. The social context of carbon sequestration: considerations from a multi – scale environmental history of the Old Peanut Basin of Senegal. *Journal of Arid Environments*.

Tschakert, P. 2005. Our carbon is gone; we have to bring it back. Soil fertility management and social learning in Senegal's drylands. *Journal of Arid Environments*.

United Nations Convention to Combat Desertification. 1994. Internet Link: <http://www.unccd.int/>

Van Wijnen, H., Van der Wal, R., Bakker, J. 1999. The impact of herbivores on nitrogen mineralization rate: consequences for salt-marsh succession. *Oecología*. 118: 225 – 231.

Verón, S., Paruelo, J., Oesterheld, M. 2006. Assessing desertification. *Journal of Arid Environments*. Vol.66 751 – 763.

Walker, B., Janssen, M. 2002. Rangelands, pastoralists and governments: interlinked systems of people and nature. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*. 357, 719 – 725.

Walter, B., Carpenter, S., Anderies, J., Abel, N., Cumming, G., Janssen, M., Lebel, L., Norberg, J., Peterson, G., Pritchard, R. 2002. Resilience Management in Social – ecological Systems: a Working Hypothesis for a Participatory Approach. *Conservation Ecology*. 6(1):14

Wardle, D., Bonner, K., Barker, G. 2002. Linkages between plant litter decomposition, litter quality and vegetation responses to herbivores. *Functional Ecology*. Vol. 16, pp, 585 – 595.

Yang, X., Zhang, K., Jia, B., Ci, L. 2005. Desertification assessment in China: An overview.

# ANEXO 1

## Cuestionario aplicado en la comunidad la Amapola

### **1. Datos Generales**

1. Sexo: a) Masculino b) Femenino
2. Nombre: \_\_\_\_\_.
3. Edad: a) 10 a 17 b) 18 a 29 c) 30 a 39 d) 40 a 49 e) 50 a 59 f) 60 a 69 g) 70 a 79 h) 80 a 89 i) >90
4. ¿Cuántos años tiene viviendo en La Amapola? \_\_\_\_\_.
5. ¿En dónde te juntas con las demás personas de La Amapola?  
a) en mi casa b) en el molino c) en la iglesia d) en la escuela e) en el río f) en juntas
6. (Si es en juntas) ¿Qué tipo de juntas y donde son?  
\_\_\_\_\_.
7. ¿Quiénes viven en la casa? \_\_\_\_\_.
8. ¿Cuenta con luz eléctrica, de qué tipo?  
a) Celdas solares b) planta de gasolina c) otro d) na
9. ¿Para qué usas esa luz? \_\_\_\_\_.
10. ¿Si contara con red eléctrica, para que la usaría?  
\_\_\_\_\_.
11. ¿De que manera pagarías esa luz? \_\_\_\_\_.
12. ¿Qué tipo de baño tiene? a) letrina b) letrina con taza c) taza y agua corriente
13. ¿Con qué grado escolar cuenta? a) primaria incompleta b) primaria completa c) secundaria d) preparatoria e) carrera técnica
14. ¿Le gustaría tener un mayor nivel escolar? ¿Por qué?  
\_\_\_\_\_.

### **2. Uso del agua**

15. ¿Quiénes son los que toman las decisiones de donde tomar agua, en tu familia?  
a) hombre b) mujer c) abuelos d) hijos e) todos



16. ¿Quiénes son los que toman las decisiones de donde usar el agua, en tu comunidad? a) la junta de mejoras b) toda la comunidad c) cada familia d) otros \_\_\_\_\_.

17. ¿Para qué utilizas el agua?

Usos	si	Cuándo	Fuente	Cantidad	Tiempo invertido
Beber					
Limpieza de la casa					
Disfrute					
Baño					
Cocinar					
Religioso					
Lavar ropa					
Animales					
Otros					

18. ¿A qué pozos vas?

Pozo	Cuándo	¿Por qué va a ese pozo?
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
Río		
Tinaco de la comunidad		

19. ¿Qué agua utiliza para los cultivos?

	si	¿Cuándo?	Cantidad en hrs	Tipo de cultivo
Pozos				
Río				
Lluvia				
Presas				
Otros				

20. ¿De dónde tomaban agua cuando vivían más personas en la Amapola?

a) pozos b) río c) lluvia d) presas e) otros\_\_\_\_\_.

21. ¿En dónde captan el agua de lluvia?  
a) presas    b) baldes    c) otros \_\_\_\_\_.
22. ¿Para que utilizan el agua de lluvia que captan?  
a) regar cultivos    b) animales    c) beber    d) limpieza    e) otros \_\_\_\_\_.
23. ¿De qué otra manera captarías el agua de lluvia? \_\_\_\_\_.
24. ¿Para qué? \_\_\_\_\_.
25. ¿Qué has hecho para coleccionar más agua durante la época de lluvias?  
\_\_\_\_\_.
26. ¿El agua que captas en las presas para qué se usa?  
a) cultivos    b) animales    c) beber    d) limpieza    e) otros \_\_\_\_\_.
27. ¿Quién construye las presas?  
a) gobierno    b) la comunidad    c) otros \_\_\_\_\_.
28. ¿Quién pide que las construyan?  
a) cada familia    b) el municipio    c) el consejo del pueblo    d) otros \_\_\_\_\_.
29. ¿Quién decide donde se hacen?  
a) cada familia    b) el municipio    c) el consejo del pueblo    d) otros \_\_\_\_\_.
30. ¿Se hacen en propiedad privada o comunitaria?  
a) privada    b) comunitaria
31. ¿Quiénes tienen acceso al agua de esas presas?  
a) una familia    b) toda la comunidad    c) otros \_\_\_\_\_.
32. ¿Se han roto las presas?                    a) si                    b) no
33. ¿Cada cuando las limpian?  
a) < año            b) cada año            b) cada 2 años            d) >2 años
34. ¿Qué hacen con la tierra que sacan de las presas?  
\_\_\_\_\_.
35. ¿Cuántas presas serían lo mejor para tu familia? \_\_\_\_\_.
36. ¿Cuánto tiempo dura en el año, el agua que guarda las presas?  
a) 1 a 2 meses    b) 2 a 4 meses    c) 4 a 6 meses    d) 6 a 8 meses    e) > 8 meses
37. ¿Cada cuándo llenan el tinaco municipal?  
a) cada mes    b) cada 2 meses    c) cada 3 meses    d) cada 6 meses  
e) otros \_\_\_\_\_.
38. ¿Cómo han cambiado los lugares de donde tomas el agua con el tiempo?  
\_\_\_\_\_.

39. ¿Ha crecido el número de carcavas en las montañas con el tiempo y a qué se debe?

\_\_\_\_\_.

40. ¿Las carcavas son buenas o malas para la comunidad? ¿por qué?

\_\_\_\_\_.

41. ¿Hay más carcavas en los lugares donde van a pastar los animales? ¿por qué?

\_\_\_\_\_.

42. ¿Estas carcavas impiden el paso del ganado? a) si b) no

43. ¿Han aumentado o disminuido las lluvias a lo largo del tiempo y cómo se ve reflejado? a) aumentado b) disminuido

Se ve reflejado en: \_\_\_\_\_.

44. ¿Crees que se acabará el agua en La Amapola? ¿por qué?

a) si b) no

\_\_\_\_\_.

45. ¿En Aldana alguna vez hubo problemas con el agua? En caso de que si ¿por qué?

\_\_\_\_\_.

### **3. Producción agropecuaria**

46. Cultivos

# de parcela	Cultivo	Tiempo de cultivar mismo	de lo	Producción Kg/Ha o costales	Monocultivo o compuesto	¿Por qué?
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

47. ¿Qué señales del clima utilizan para saber que es el momento de sembrar?

\_\_\_\_\_.

48. ¿Han cambiado estas señales con el tiempo? \_\_\_\_\_.

49. ¿Se ha perdido suelo en las zonas de cultivo? ¿por qué?

\_\_\_\_\_.

50. ¿Qué se cultivaba en La Amapola antes que ahora ya no se cultiva, o viceversa? ¿Porqué? \_\_\_\_\_.

51. ¿Qué se cultivaba en Aldana? \_\_\_\_\_.

52. ¿Qué se hacía antes con el rastrojo en Aldana y La Amapola?

\_\_\_\_\_.

53. ¿Las milpas producen más, menos o lo mismo que antes y a qué se debe?

a) más

b) menos

c) igual

factores: \_\_\_\_\_.

#### 54. Manejo de los cultivos

Cuenta con PROCAMPO	
Alguien viene a supervisar en que se invierte el subsidio otorgado	
El programa PROCAMPO prefiere algún tipo de cultivo	
Qué hacen con el rastrojo	
Tipo de labrado	
Utilizan algún tipo de riego ¿cuál?	
Utilizan algún fertilizante químico	
Las semillas para sembrar las compran o las guardan	
Qué variedad utilizan	
La producción es para consumo humano, para forraje de animales o venta	
Los cultivos tienen plagas	
Cuándo aparecen estas plagas.	
Cómo las controlan	

56. Ganadería

Tipo de ganado	# de cabezas	Uso	Cuántos vendes/año	Uso del estiércol	Cuántas veces pastan/semana
Chivas					
Borregos					
Vacas					
Cerdos					
Caballos					
Gallinas					

57. ¿Si alguna de las presas que usan para el ganado se acaba a dónde los llevan?

\_\_\_\_\_.

58. ¿Cuándo compran forraje? \_\_\_\_\_.

59. ¿Dónde lo compran? \_\_\_\_\_.

60. ¿Qué tipo de forraje? \_\_\_\_\_.

61. ¿Qué apoyos reciben de gobierno para forraje? \_\_\_\_\_.

62. ¿Cuánto les dan? \_\_\_\_\_.

63. ¿Cuándo se los dan? \_\_\_\_\_.

64. ¿Los apoyos prefieren algún tipo de animales? \_\_\_\_\_.

65. ¿Cuándo compran más animales? \_\_\_\_\_.

66. ¿Quién los lleva a pastar? \_\_\_\_\_.

67. ¿El recorrido es igual o cambia? ¿Por qué? \_\_\_\_\_.

68. ¿Cuanto dura? \_\_\_\_\_.

69. ¿Por qué dura ese tiempo? \_\_\_\_\_.

70. ¿Durante el recorrido, los animales sólo comen o hacen otras actividades?

\_\_\_\_\_.

71. ¿En qué época hay más alimento para el ganado? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_.

72. ¿Dejan zonas sin pastoreo? ¿Para qué? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_.

73. ¿Cada cuándo vuelven a pasar por el mismo sitio? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.

74. ¿Has visto que si hay más pasto en donde no pasan los animales?  
a) si b) no

75. ¿También se dedicaban a la ganadería antes en La Amapola, qué tipo de animales tenían? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.

76. ¿Qué tamaño eran en promedio los rebaños? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.

77. ¿En Aldana, también tenían ganado, qué tipo de animales? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.

78. ¿Utilizas productos del bosque?  
a) si b) no

79. Productos del bosque

Producto	Cuándo se colecta	Cuánto colectan	Quién colecta lo	Para qué	En cuanto lo venden y donde

80. ¿Quién te enseñó que se podían utilizar estos productos?  
\_\_\_\_\_.

81. ¿La gente de Aldana también utilizaba estos productos del bosque?  
\_\_\_\_\_.

82. ¿En La Amapola siempre se ha vendido leña y piñón?  
\_\_\_\_\_.

83. ¿Cuándo se producía carbón, en que cantidades y dónde se vendía?  
\_\_\_\_\_.

#### 4. Economía

84. ¿En cuanto vendes un animal maduro de tu ganado?

a) cabra \_\_\_\_\_ . b) vaca \_\_\_\_\_ . c) borrego \_\_\_\_\_ . d) outro \_\_\_\_\_ .

85. ¿En caso de emergencia como obtienes dinero?

\_\_\_\_\_ .

86. ¿En cuanto vendes la tonelada de cada cultivo?

Producto	Cuánto vende	Cuándo lo venden	Quién lo compra
Maíz			
Frijol			
Avena			
Calabaza			
Chícharo			
Otros			

87. ¿Por qué le vende a esa persona? ¿Existen otros mercados para vender sus productos? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ .

88. ¿Qué otros trabajos haces a parte de agricultura y ganadería?

\_\_\_\_\_ .

89. ¿Qué otros apoyos recibes del gobierno a parte del PROCAMPO?

	Nombre del programa	Cada cuánto	Cuánto	En dónde lo reciben
Salud				
Educación				
Construcción				
Vejes				
Otros				

90. ¿Has vendido alguna tierra o propiedad? ¿Por qué?

\_\_\_\_\_ .

91. ¿Cuánto gastas en transporte para salir de La Amapola, cada cuándo?

\_\_\_\_\_ .

92. ¿Recibes dinero de algún familiar que no viva en La Amapola, cuánto?

\_\_\_\_\_ .

93. ¿Qué compra la familia a la semana y al mes?

A la semana: \_\_\_\_\_.

Al mes: \_\_\_\_\_.

94. ¿Dónde lo compran?

a) en otra comunidad b) en la ciudad de San Luís Potosí c) otro \_\_\_\_\_.

95. ¿Ahorras dinero? \_\_\_\_\_.

96. ¿Para qué utilizas el ahorro? \_\_\_\_\_.

97. ¿Cómo ha cambiado con el tiempo tu trabajo y a qué se debe?

\_\_\_\_\_.

98. ¿Ahora ganas más o menos que antes? ¿Por qué?

\_\_\_\_\_.

99. ¿Para qué le gustaría que el gobierno le apoyara económicamente?

\_\_\_\_\_.

100. ¿Cómo era el trabajo en la mina de estaño?

\_\_\_\_\_.

## **5. Salud, Migración y Organización social**

101. ¿Recuerdas cuánta gente vivió como máximo en La Amapola y cuándo fue?

\_\_\_\_\_.

102.

De dónde venían sus padres	Por que vinieron a La Amapola	A dónde se fueron	Por qué se fueron



103. ¿Cuántos se han ido de tu familia?

	Cuántos	Por qué se fueron	A dónde se fueron
Hermanos			
Hijos			
Padres			
Otros			

104. ¿De qué se enferman en tu casa con mayor frecuencia y quiénes?

\_\_\_\_\_.

105. ¿Cada cuándo viene el doctor, el cura y el maestro a la comunidad?

a) el doctor \_\_\_\_\_. b) el cura \_\_\_\_\_. c) el maestro \_\_\_\_\_.

106. Dame un ejemplo de lo que comes en un día normal.

Desayuno: \_\_\_\_\_.

Comida: \_\_\_\_\_.

Cena: \_\_\_\_\_.

107. ¿Dónde consigues cada alimento? \_\_\_\_\_.

108. ¿Quién toma las decisiones en tu comunidad?

\_\_\_\_\_.

109. ¿Participas en algún comité o asamblea?

a) junta de mejoras b) escuela d) apoyos e) otros \_\_\_\_\_.

Puesto y función: \_\_\_\_\_.

110. ¿Crees que tus hijos van a tener una buena vida en La Amapola?

¿por qué?

\_\_\_\_\_.

111. ¿Si dejaras de tener ganado, a que te dedicarías?

\_\_\_\_\_.

112. ¿Crees que La Amapola esta en buen estado? ¿Por qué?

\_\_\_\_\_.

113. ¿Cuáles son las fiestas que se celebran en La Amapola?

\_\_\_\_\_.

114. ¿Por qué este lugar se llama La Amapola? ¿Desde cuándo?

\_\_\_\_\_.

115. ¿Qué te gustaría que los jóvenes siguieran haciendo aquí en La Amapola?

---

116. ¿Crees que aquí se podría hacer turismo? ¿Por qué?

---

## ANEXO 2

### Tablas Estadísticas

Tabla 1. ANOVA del porcentaje de espacios, examinando el efecto parche de vegetación (bosque, pastizal, tierras de cultivo), época (lluvia y sequía) y categoría de apertura (20-50cm, 50-100cm, 100-200 y >200cm).

<b>Prueba de efectos fijos</b>	<b>GL</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Fuente de variación</b>			
Parche	1	136.09	.0001
Categoría	3	231.20	.0001
Parche x Categoría	3	6.65	.0003
Época	1	5.11	.0252
Época x Parche	1	2.29	.1325
Época x Categoría	3	2.18	.0926
Época x Parche x Categoría	3	3.17	.0262

Tabla 2. ANOVA del porcentaje de la cobertura del suelo, examinando el efecto parche de vegetación (bosque, pastizal, tierras de cultivo), época (lluvia y sequía) y tipo de cobertura (rocas, costra biológica, macollo, mantillo, suelo desnudo, arena, roca madre)

<b>Prueba de efectos fijos</b>	<b>GL</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Fuente de variación</b>			
Parche	1	0.03	0.8704
Época	1	0.03	0.8704
Cobertura	6	135.76	<.0001
Parche x Época	1	0.03	0.8704
Parche x Cobertura	6	224.12	<.0001
Época x Cobertura	6	7.60	<.0001
Época x Parche x Cobertura	6	3.00	0.0094

Tabla 3. ANOVA del porcentaje de la cobertura del suelo, examinando el efecto parche de vegetación (bosque, pastizal, tierras de cultivo), época (lluvia y sequía) y tipo de especies (perennes y anuales)

<b>Prueba de efectos fijos</b>	<b>GL</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Fuente de variación</b>			
Parche	1	0.04	0.8422
Época	1	0.07	0.7989
Tipo de especies	1	14904.9	<.0001
Parche x Época	1	0.04	.8522
Parche x Tipo de especies	1	1016.48	<.0001
Época x Tipo de especies	1	85.04	<.0001
Época x Parche x Tipo de especies	1	65.96	<.0001

Tabla 4. ANOVA de la cantidad de materia orgánica en el suelo, examinando el efecto parche de vegetación (bosque, pastizal, tierras de cultivo) con la profundidad del suelo anidada (0 – 15 y 15 – 30)

<b>Prueba de efectos fijos</b>	<b>GL</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Fuente de variación</b>			
Parche	2	136.33	<.0001
Profundidad (parche)	3	5.67	0.0014

Tabla 5. ANOVA de la biomasa de raíces en el suelo, examinando el efecto parche de vegetación (bosque, pastizal, tierras de cultivo) con la profundidad del suelo anidada (0 – 15 y 15 – 30)

<b>Prueba de efectos fijos</b>	<b>GL</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Fuente de variación</b>			
Parche	2	142.80	<.0001
Profundidad (parche)	3	2.79	0.0457

Tabla 6. ANOVA de la densidad aparente, examinando el efecto parche de vegetación (bosque, pastizal, tierras de cultivo) con la profundidad del suelo anidada (0 – 15 y 15 – 30)

<b>Prueba de efectos fijos</b>	<b>GL</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Fuente de variación</b>			
Parche	2	24.89	<.0001
Profundidad (parche)	3	2.62	0.0562

Tabla 7. ANOVA de la humedad en el suelo, examinando el efecto parche de vegetación (bosque, pastizal, tierras de cultivo) con la profundidad del suelo anidada (0 – 15 y 15 – 30)

<b>Prueba de efectos fijos</b>	<b>GL</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Fuente de variación</b>			
Parche	2	1.77	1.760
Profundidad (parche)	3	2.93	0.0383

Tabla 8. ANOVA del contenido de carbono total en el suelo, examinando el efecto parche de vegetación (bosque, pastizal, tierras de cultivo) con la profundidad del suelo anidada (0 – 15 y 15 – 30)

<b>Prueba de efectos fijos</b>	<b>GL</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Fuente de variación</b>			
Parche	2	60.00	<.0001
Profundidad (parche)	3	1.48	0.2267

Tabla 9. ANOVA del contenido de nitrógeno total en el suelo, examinando el efecto parche de vegetación (bosque, pastizal, tierras de cultivo) con la profundidad del suelo anidada (0 – 15 y 15 – 30)

<b>Prueba de efectos fijos</b>	<b>GL</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Fuente de variación</b>			
Parche	2	13.92	<.0001
Profundidad (parche)	3	0.45	0.7158

Tabla 10. ANOVA de la cantidad de materia orgánica en el suelo, examinando el efecto tipo de cultivo (avena, maíz, maíz – frijol) con la profundidad del suelo anidada (0 – 15 y 15 – 30) y subsidio al campo (presencia y ausencia)

<b>Prueba de efectos fijos</b>	<b>GL</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Fuente de variación</b>			
Subsidio	1	0.09	0.7614
Tipo de cultivo	2	6.87	0.0024
Profundidad (tipo de cultivo)	3	3.70	0.0178
Subsidio x profundidad (tipo de cultivo)	5	0.85	0.5187

Tabla 11. ANOVA la biomasa de raíces en el suelo, examinando el efecto parche de vegetación (avena, maíz, maíz – frijol) con la profundidad del suelo anidada (0 – 15 y 15 – 30) y subsidio al campo (presencia y ausencia)

<b>Prueba de efectos fijos</b>	<b>GL</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Fuente de variación</b>			
Subsidio	1	29.25	<.0001
Tipo de cultivo	2	16.85	<.0001
Profundidad (tipo de cultivo)	3	13.09	<.0001
Subsidio x profundidad (tipo de cultivo)	5	0.74	0.6006

Tabla 12. ANOVA de la densidad aparente en el suelo, examinando el efecto tipo de cultivo (avena, maíz, maíz – frijol) con la profundidad del suelo anidada (0 – 15 y 15 – 30) y subsidio al campo (presencia y ausencia)

<b>Prueba de efectos fijos</b>	<b>GL</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Fuente de variación</b>			
Subsidio	1	34.48	<.0001
Tipo de cultivo	2	12.71	<.0001
Profundidad (tipo de cultivo)	3	1.54	0.2158
Subsidio x profundidad (tipo de cultivo)	5	0.73	.6040

Tabla 13. ANOVA del porcentaje de humedad en el suelo examinando el efecto el tipo de cultivo (avena, maíz, maíz – frijol) con la profundidad del suelo anidada (0 – 15 y 15 – 30) y subsidio al campo (presencia y ausencia)

<b>Prueba de efectos fijos</b>	<b>GL</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Fuente de variación</b>			
Subsidio	1	39.63	<.0001
Tipo de cultivo	2	17.74	<.0001
Profundidad (tipo de cultivo)	3	4.48	0.0075
Subsidio x profundidad (tipo de cultivo)	5	1.17	0.3370

Tabla 14. ANOVA del contenido de carbono en el suelo examinando el efecto del tipo de cultivo (avena, maíz, maíz – frijol) con la profundidad del suelo anidada (0 – 15 y 15 – 30) y subsidio al campo (presencia y ausencia)

<b>Prueba de efectos fijos</b>	<b>GL</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Fuente de variación</b>			
Subsidio	1	36.45	<.0001
Tipo de cultivo	2	0.43	0.6562
Profundidad (tipo de cultivo)	3	18.01	<.0001
Subsidio x profundidad (tipo de cultivo)	5	10.94	<.0001

Tabla 15. ANOVA del contenido de nitrógeno en el suelo examinando el efecto del tipo de cultivos (avena, maíz, maíz – frijol) con la profundidad del suelo anidada (0 – 15 y 15 – 30) y subsidio al campo (presencia y ausencia)

<b>Prueba de efectos fijos</b>	<b>GL</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Fuente de variación</b>			
Subsidio	1	21.47	<.0001
Tipo de cultivo	2	9.64	0.0003
Profundidad (tipo de cultivo)	3	1.02	0.3922
Subsidio x profundidad (tipo de cultivo)	5	5.98	0.0002

Tabla 16. ANOVA de la concentración de amonio en el suelo examinando el efecto tipo de vegetación (bosque, pastizal, agricultura) y el tiempo (0, 1 y 2).

<b>Prueba de efectos fijos</b>	<b>GL</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Fuente de variación</b>			
Tipo de vegetación	2	214.24	<.0001
Tiempo	2	322.67	<.0001
Tipo de vegetación x tiempo	4	94.06	<.0001

Tabla 17. ANOVA de la concentración de nitrato en el suelo examinando el efecto tipo de vegetación (bosque, pastizal, agricultura) y el tiempo (0, 1 y 2).

<b>Prueba de efectos fijos</b>	<b>GL</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Fuente de variación</b>			
Tipo de vegetación	2	317.49	<.0001
Tiempo	2	62.46	<.0001
Tipo de vegetación x tiempo	4	0.11	0.9783

Tabla18. ANOVA de la concentración de amonio en el suelo examinando el efecto tipo de cultivo (avena, maíz, maíz – frijol), tiempo (0, 1 y 2) y subsidio (presencia y ausencia)

<b>Prueba de efectos fijos</b>	<b>GL</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Fuente de variación</b>			
Tipo de cultivo	2	195.51	<.0001
Subsidio	1	157.94	<.0001
Tiempo	2	444.64	<.0001
Tipo de cultivo x subsidio	2	8.94	0.0003
Tipo de cultivo x tiempo	4	26.60	<.0001
Subsidio x tiempo	2	7.60	0.0009
Tipo de cultivo x subsidio x tiempo	4	3.29	0.0144

Tabla19. ANOVA de la concentración de nitrato en el suelo examinando el efecto tipo de cultivo (avena, maíz, maíz – frijol), tiempo (0, 1 y 2) y subsidio (presencia y ausencia)

<b>Prueba de efectos fijos</b>	<b>GL</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Fuente de variación</b>			
Tipo de cultivo	2	456.25	<.0001
Subsidio	1	325.84	<.0001
Tiempo	2	434.06	<.0001
Tipo de cultivo x subsidio	2	67.18	<.0001
Tipo de cultivo x tiempo	4	32.05	<.0001
Subsidio x tiempo	2	5.80	0.0043
Tipo de cultivo x subsidio x tiempo	4	0.66	0.6238

Tabla 20. ANOVA de la tasa neta de mineralización en el suelo examinando el efecto tipo de vegetación (bosque, pastizal, agricultura) y el tiempo (1 y 2).

<b>Prueba de efectos fijos</b>	<b>GL</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Fuente de variación</b>			
Tipo de vegetación	2	258.33	<.0001
Tiempo	1	127.19	<.0001
Tipo de vegetación x tiempo	2	68.08	<.0001

Tabla 21. ANOVA de la tasa neta de nitrificación en el suelo examinando el efecto tipo de vegetación (bosque, pastizal, agricultura) y el tiempo (1 y 2).

<b>Prueba de efectos fijos</b>	<b>GL</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Fuente de variación</b>			
Tipo de vegetación	2	0.68	0.5069
Tiempo	1	33.01	<.0001
Tipo de vegetación x tiempo	2	0.05	0.9498

Tabla 22. ANOVA de la tasa neta de mineralización en el suelo examinando el efecto tipo de cultivo (avena, maíz, maíz – frijol), subsidio (presencia y ausencia) y tiempo (1 y 2)

<b>Prueba de efectos fijos</b>	<b>GL</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Fuente de variación</b>			
Tipo de cultivo	2	28.87	<.0001
Subsidio	1	10.94	0.0016
Tiempo	1	30.00	<.0001
Tipo de cultivo x subsidio	2	5.84	0.0049
Tipo de cultivo x tiempo	2	3.96	0.0246
Subsidio x tiempo	1	0.56	0.4585
Tipo de cultivo x subsidio x tiempo	2	0.32	0.7292

Tabla 23. ANOVA de la tasa neta de nitrificación en el suelo examinando el efecto tipo de cultivo (avena, maíz, maíz – frijol), subsidio (presencia y ausencia) y tiempo (1 y 2)

<b>Prueba de efectos fijos</b>	<b>GL</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Fuente de variación</b>			
Tipo de cultivo	2	98.75	<.0001
Subsidio	1	19.79	<.0001
Tiempo	1	88.22	<.0001
Tipo de cultivo x subsidio	2	1.36	0.2655
Tipo de cultivo x tiempo	2	23.14	<.0001
Subsidio x tiempo	1	0.07	0.7895
Tipo de cultivo x subsidio x tiempo	2	2.11	0.1301



Tabla 24. ANOVA de la tasa de nitrificación neta potencial en el suelo examinando el efecto tipo de vegetación (bosque, pastizal, agricultura).

<b>Prueba de efectos fijos</b>	<b>GL</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Fuente de variación</b>			
Tipo de vegetación	2	14.21	<.0001

Tabla 25. ANOVA de la tasa de mineralización neta potencial en el suelo examinando el efecto tipo de vegetación (bosque, pastizal, agricultura).

<b>Prueba de efectos fijos</b>	<b>GL</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Fuente de variación</b>			
Tipo de vegetación	2	216.64	<.0001

Tabla 26. ANOVA de la tasa de mineralización neta potencial en el suelo examinando el efecto tipo de cultivo (avena, maíz, maíz – frijol) y subsidio (presencia y ausencia)

<b>Prueba de efectos fijos</b>	<b>GL</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Fuente de variación</b>			
Tipo de cultivo	2	95.30	<.0001
Subsidio	1	46.14	<.0001
Tipo de cultivo x subsidio	2	8.88	0.0008

Tabla 27. ANOVA de la tasa de nitrificación neta potencial en el suelo examinando el efecto tipo de cultivo (avena, maíz, maíz – frijol) y subsidio (presencia y ausencia)

<b>Prueba de efectos fijos</b>	<b>GL</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Fuente de variación</b>			
Tipo de cultivo	2	95.79	<.0001
Subsidio	1	1.71	0.2062
Tipo de cultivo x subsidio	2	0.10	0.9033