

Programa de Estudios de Posgrado

**DESERTIFICACIÓN DE CUENCAS AGRÍCOLAS EN
BAJA CALIFORNIA SUR**

T E S I S

Que para obtener el grado de

Doctor en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales
(Orientación en Agricultura Sustentable)

p r e s e n t a

Gustavo Mercado Mancera

La Paz, B.C.S., Junio del 2011

ACTA DE LIBERACION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 12 horas del día 12 del Mes de Mayo del 2011, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

" DESERTIFICACIÓN DE CUENCAS AGRÍCOLAS EN BAJA CALIFORNIA SUR"

Presentada por el alumno:

GUSTAVO MERCADO MANCERA

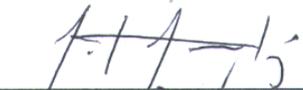
Aspirante al Grado de DOCTOR EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACION DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACION EN AGRICULTURA SUSTENTABLE

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA



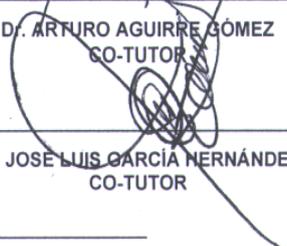
Dr. ENRIQUE TROYO DIÉGUEZ
DIRECTOR DE TESIS



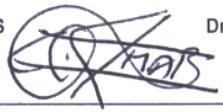
Dr. ARTURO AGUIRRE GÓMEZ
CO-TUTOR



Dr. LUIS FELIPE BELTRÁN MORALES
CO-TUTOR



Dr. JOSÉ LUIS GARCÍA HERNÁNDEZ
CO-TUTOR



Dr. BERNARDO MURILLO AMADOR
CO-TUTOR



DRA. ELISA SERRIERE ZARAGOZA,
DIRECTORA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Comité Tutorial

Dr. Enrique Troyo Diéguez – Director de tesis
Programa de Agricultura de Zonas Áridas.
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.

Dr. Arturo Aguirre Gómez – Cotutor
Departamento de Ciencias Agrícolas y de Ciencias Químicas
Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM.

Dr. Luis Felipe Beltrán Morales - Cotutor
Programa de Planeación Ambiental y Conservación.
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste

Dr. José Luíz García Hernández – Cotutor
Facultad de Agricultura y Zootecnia
Universidad Juárez del Estado de Durango

Dr. Bernardo Murillo Amador – Cotutor
Programa de Agricultura de Zonas Áridas.
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.

Jurado de Examen

Dr. Enrique Troyo Diéguez
Dr. Arturo Aguirre Gómez
Dr. Luis Felipe Beltrán Morales
Dr. José Luíz García Hernández
Dr. Bernardo Murillo Amador
Dr. Félix Alfredo Beltrán Morales (Suplente)

Resumen

La desertificación es el proceso de degradación de las tierras en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, debido a múltiples factores, naturales o de origen antropogénico. Estos últimos han sido a través del inadecuado manejo del suelo, a la deforestación, al sobrepastoreo, al excesivo uso del recurso hídrico y al proceso de cambio de uso del suelo. El objetivo del presente trabajo fue estudiar las variables edafo-hidro-climáticas que inciden en el deterioro ambiental y su impacto en las condiciones socioeconómicas, en las cuencas agrícolas de La Paz y Comondú, B.C.S. Se adaptó y calibró el modelo de aridez hidroclimática de De Martonne mediante una modificación del mismo, para adecuarlo al estudio del balance hídrico en zonas áridas y semiáridas. Se efectuó un análisis numérico del Índice de Aridez [$A = 12pp/(t+10)$] para detectar su sensibilidad a gradientes de precipitación y temperatura, donde A es el Índice de Aridez de De Martonne, pp es la precipitación mensual y t es la temperatura media mensual. La ecuación modificada fue ensayada y correlacionada empleando datos de estaciones climatológicas de 1978 a 2008 de las cuencas de La Paz y Comondú, B.C.S. Se tomaron 142 muestras de suelo en diferentes condiciones (*suelo presumiblemente afectado vs suelo natural inalterado vs suelo agrícola en aparente estabilidad*). Se determinaron del suelo el pH, la conductividad eléctrica, nutrimentos mayores y menores, sodio, materia orgánica, textura, salinidad, entre otros. Se tomaron 3 muestras de agua de 24 pozos diferentes, de Octubre de 2007 a Octubre de 2008, determinándose el pH, conductividad eléctrica, sulfatos, cloruros, salinidad, alcalinidad, oxígeno disuelto y dureza. Los resultados indicaron que los suelos son de textura media franco arenoso, de color claro, pH entre 7.8 y 7.5. Pobres en materia orgánica, con tendencia a la salinidad con valores que oscilan de 45 hasta 8,070 μScm^{-1} . Los elementos químicos son bajos excepto el sodio. La temperatura media anual es de 24.3 °C; precipitación de 170.2 mm anuales y ETP de 1,898.4 mm. El agua presenta salinidad baja-media (1,500-4,000 $\mu\text{S cm}^{-1}$), con incremento en la cantidad de sólidos totales disueltos (1,000 a 1,900 mg L^{-1}), cloruros y sulfatos (400 a 1,500 mg L^{-1} and 50 a 100 mg L^{-1} , respectivamente). El pH tiende a disminuir (7.8 - 7.4) así como el oxígeno disuelto (7.2 - 4.8 mg L^{-1}). Para la cuenca de La Paz se determinó un índice de aridez promedio mensual de 4.96, mientras que para Comondú fue 5.16. A partir de la calibración realizada se propone la función: $IDHA = 0.176012 + 0.101391 \cdot pp$, donde IDHA es el índice de disponibilidad hidro-ambiental y pp es la precipitación mensual, reflejando estrecha relación entre pp e IDHA ($R^2 = 94.8\%$ y $r = 0.97$). La modificación al Índice de De Martonne fue numéricamente funcional, con alto potencial de aplicación en estudios hidrológicos de zonas áridas y semiáridas. Las interacciones humanas con el suelo y agua deterioran las condiciones ambientales y favorecen el proceso de desertificación en las dos cuencas estudiadas; la salinización del agua y del suelo son factores que la favorecen en la cuenca de Comondú, mientras que el cambio de uso del suelo, la deforestación y la intrusión salina, ponen en riesgo a la cuenca de La Paz. Por tanto, el nivel socioeconómico de los productores catalogado como medio, está disminuyendo ante la baja de la productividad de los campos agrícolas.

Palabras clave: Suelo, agua de riego, clima, índice hidro-ambiental, desertificación.

Vo.Bo. Dr. Enrique Troyo Diéguez.

Abstract

The desertification is degradation process of earth in arid and semiarid areas and sub humid droughts, due for many factors, natural of anthropogenic origin. These last ones have been through inadequate handling of the ground, to the deforestation, overgrazing, and inadequate use of water and to the process of change of use of the ground. The aim of the work was to study the edaphic-hydro-climatic variables that affect the environmental deterioration and its impact in the socio-economic conditions, of the producers of the agricultural watersheds of La Paz and Comondu, B.C.S. To adapt and calibrate the hydroclimatic aridity model of De Martonne, modifying it to make it adequate for the study of the water balance in arid and semi-arid areas. A numerical analysis of the Aridity Index [$A = 12pp=(t + 10)$] was carried out in order to detect its sensitivity to rainfall and temperature gradients, where A is the Aridity Index of De Martonne, pp is the monthly rainfall, and t is the average monthly temperature. The modified equation was assayed and correlated using data of 1978 to 2008 from weather stations located in the watersheds of La Paz and Comondu, B.C.S. 142 samples were taken from soli in different conditions (*presumably affected soil vs inalterable natural soil vs agricultural soil in apparent stability*). The soil like pH, electrical conductivity, majors and minors nutrients, sodium, organic matter, texture, salinity were determined, among others. 3 water samples from 24 different wells were taken between October 2007 and to October 2008, determining the pH, electrical conductivity, sulfates, chlorides, salinity, alkalinity, dissolved oxygen and hardness. The results indicated that the floors are clear sandy, clear color, pH between 7.8 and 7.5. Poor in matter organic, they tend the salinity with values that oscillate of 45 to 8,070 μScm^{-1} . The others chemicals elements are low except the sodium. The average annual temperature of 24.3 °C, 170.2 mm of rain and 1,898.4 mm of ETP. The water salinity is low-medium (1,500 – 4,000 $\mu\text{S cm}^{-1}$), with an increment in the quantity of total dissolved solid (1,100 to 1,900 mg L^{-1}), same as in chlorides and sulfates (400 to 1,500 mg L^{-1} and 50 to 100 mg L^{-1} , respectively). The pH tends to diminish (7.8 to 7.4) as well as dissolved oxygen (7.2 to 4.8 mg L^{-1}). La Paz presented a monthly average index of 4.96, and Comondu recorded a value of 5.16. The equation of the fitted model was $IDHA = 0.176012 + 0.101391\text{-pp}$, where IDHA is the hydro-environmental availability index and pp is the monthly rainfall, with $R^2 = 94.8\%$ and $r = 0.97$ indicating a close relationship between pp and IDHA. The modification applied to the De Martonne Index was numerically functional, with a high potential of application to hydrological studies of arid and semi-arid areas. Human interactions with land and water, cause deterioration in the environmental conditions and favor the process of desertification in the two studied watersheds; the salinity of water and soil is factors favors that it in watersheds of Comondu, whereas the change of use of soil, the deforestation and saline intrusion, put in risk to the watersheds of La Paz. Therefore, the socioeconomic level of the producers catalogued like means, is falling before the loss of the productivity of the agricultural fields.

Key words: Soil, irrigation water, climate, hydro-environmental index, desertification.

Vo.Bo. Dr. Enrique Troyo Diéguez.

Agradecimientos

A mis padres, hermanos y familiares por la oportunidad de compartir la vida con ellos.

A mi Universidad Nacional Autónoma de México y sus maestros, los cuales me han forjado el espíritu de seguir adelante como profesionista.

Al CONACYT, por la beca 166473 que me permitió realizar mis estudios de doctorado aquí, en el CIBNOR.

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste por todas las facilidades que me ha brindado para llevar a cabo los estudios de doctorado, gracias.

A los proyectos, CONACYT: Determinación y Construcción de Indicadores de la Huella Hídrica y Desertificación (CB-2009-01-134460); al proyecto Manejo Integrado de las Aguas Subterráneas en el Acuífero La Paz, Baja California Sur (SGT-OCPBC-BCS-10-GAS-001-CONV-CIBNOR), financiado por CONAGUA. La Tesis se desarrolló dentro de la Línea Institucional "Agua, Suelo y Clima en Zonas Áridas".

A mis directores de tesis el Dr. Enrique Troyo Diéguez y el Dr. Arturo Aguirre Gómez, por su amistad y apoyo académico brindado, invaluable para completar esta etapa de mi vida profesional y académica, gracias.

A mis sinodales, Dr. José Luis García Hernández, Dr. Bernardo Murillo Amador, Dr. Luis Felipe Beltrán Morales y a la Dr. Félix Alfredo Beltrán Morales, por sus valiosas aportaciones para el desarrollo del trabajo de tesis que representaron parte de su tiempo, esfuerzo y dedicación.

Asimismo, a los Técnicos del Laboratorio de Análisis Químico del Agua: Iban Murillo Murillo y Celina Beltrán Camacho; del Laboratorio de Análisis Químico Proximal: Sonia Guadalupe Rocha Meza y Dolores Rondero Astorga; del Laboratorio de Espectrofotometría de Absorción Atómica: Baudilio Acosta Vargas y F. Griselda Peña Armenta, a todo ellos gracias por su apoyo técnico incondicional para los análisis de las muestras de agua y suelo, reportado en este documento.

Con gran admiración y respeto para el Técnico Salvador Manuel Trasviña Castro, por todo su invaluable apoyo técnico y amistad brindada, durante mi estancia en el Laboratorio de Edafología del CIBNOR, ¡Uf, terminamos!, gracias.

Al Técnico Juan Ernesto Vega Mayagoitia, del Laboratorio de Hidrología e Irrigación, por su amistad y tenaz e incondicional empeño para apoyar los trabajos de campo, en los muestreos de suelo y agua, así como las entrevistas a los productores de las cuencas de La Paz y Comondú, ¡Qué asoleadas nos dimos!, gracias.

La presente tesis forma parte de la red de conocimiento que sobre el recurso agua fomenta y consolida la Red Latinoamericana del Agua WATERLAT (<http://www.waterlat.org/postgrads.html#mexico>), bajo la guía y coordinación del Prof. José Esteban Castro (Sociology – WATERLAT Coordinator), de la Universidad de Newcastle University (<http://www.ncl.ac.uk/gps/>), Reino Unido.

A mis profesores del Posgrado los Doctores: Yolanda, Aurora, Ramón Jaime, Héctor Cirilo, Rosalía, Alejandra, Diana, Sara Cecilia, Juan Angel, Thelma Rosa, Leonardo, Salvador Emilio, a todos ellos gracias por sus valiosas aportaciones para el cumplimiento de mis estudios. Me llevo algo de ustedes, deseando haberles dejado algo de mí.

Al personal de Posgrado, Dra. Elisa, Lic. Osvelia, Lic. Leticia, Tania, Lupita, Claudia, por su incondicional apoyo en mi estancia en el CIBNOR.

Especial reconocimiento a Horacio y Manuel por su incondicional apoyo y amistad, en el centro de cómputo, siempre atentos para lo que uno necesitara.

A Ana María y todo su personal de la biblioteca, que su apoyo ha sido grandioso y muy importante para el cumplimiento de las tareas diarias.

A mis compañeros de trabajo, Suemi, Adolfo, Cynthia, Alfredo, Eduardo, Manuel Armando, Edvino, Celia Elena, Ernesto, Juan, Margarita, Alejandro, Marcos, Oscar, Lorena, Maribel, Mateo, por su apoyo y confianza para llevar a cabo este reto profesional, estoy en deuda con ustedes.

A mis compañeros de estudio, Alejandro, Vanessa, Laura, Alejandra, Rodolfo, Miguel, Fernando, Erika, Ignacio, Jorge, Antonio, Jesús, Liborio (*in memoriam*), gracias por su amistad y por los gratos momentos vividos en nuestra estancia en el CIBNOR, deseando vaya todo bien en sus vidas futuras.

A la M.C. Sandra Robles Gil Mestre, Jefa del Observatorio La Paz de la CONAGUA, por su valiosa asesoría y apoyo al proporcionarme los datos climáticos del Observatorio.

A la Gerencia Estatal en Baja California Sur, de la Comisión Nacional del Agua, por el apoyo brindado con la información climática de la estaciones de La Paz y Comondú.

A la Dirección del SENEAM y al personal de la estación climática del Aeropuerto de La Paz, por permitirme acceder a la base de datos climáticos de esta estación.

A todos los agricultores de las cuencas de La Paz y Comondú, por su gentil participación y colaboración para la consecución de los objetivos y resultados de esta investigación.

A los funcionarios responsables de las oficinas de gobierno: SAGARPA, SEMARNAT, CONAFOR, FUNDACION PRODUCE B.C.S., INIFAP-Sitio Experimental Valle de Santo Domingo, CONAZA, Asociaciones de Productores Agrícolas del Valle de Santo Domingo, a la Asociación de Citricultores del Valle de Santo Domingo, a la Asociación Ganadera Llanos de Magdalena, al Comité Estatal de Sanidad Vegetal, a la Finca “Los Chileritos” de La Paz, a los Sres. Pérez Cárdenas de Cd. Insurgentes, entre otros, a todos ellos gracias por su apoyo y facilidades para la obtención de la información necesaria de este proyecto.

Finalmente, a toda la gente que de una u otra manera me han permitido caminar por el sendero académico y alcanzar este objetivo, mil gracias.

Contenido

	Pág.
Resumen.	
Abstract.	
Agradecimientos.	
Contenido.	
Lista de Tablas	iii
Lista de Gráficas	iv
Lista de Figuras	vi
Lista de Anexos	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	3
1.1.1. El clima en las zonas áridas	3
1.1.2. Aspectos generales de la desertificación	7
1.1.3. Avances en la investigación científica sobre desertificación	24
1.2. Objetivos	56
1.3. Hipótesis	57
1.4. Localización y características generales del área de estudio	57
1.4.1. Cuenca de Comondú	61
1.4.2. Cuenca de La Paz	63
1.4.3. Producción agropecuaria en el estado de Baja California Sur	64
II. MATERIALES Y MÉTODOS	68
2.1. Materiales	68
2.2. Métodos	69
2.2.1. Variables climáticas	69
2.2.2. Análisis de agua de riego	70
2.2.3. Análisis de suelo	71
2.2.4. Análisis socioeconómico	72
2.3. Técnicas de análisis estadístico	72
2.4. Actividades estratégicas para cubrir los objetivos específicos	77

	Pág.
III. RESULTADOS	81
3.1. Aspectos climáticos	81
3.2. Análisis de agua de riego	93
3.3. Análisis de suelo	98
3.4. Análisis socioeconómico	111
IV. DISCUSIÓN	117
4.1. Aspectos climáticos	117
4.2. Análisis de agua de riego	122
4.3. Análisis de suelo	130
4.4. Análisis socioeconómico	139
4.5. Grado de desertificación de las cuencas estudiadas	143
4.6. Estrategias para disminuir y mitigar el efecto de la desertificación en las cuencas estudiadas	144
V. CONCLUSIONES	147
VI. LITERATURA CITADA	151
ANEXOS	168

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla I. Superficie nacional con degradación del suelo	15
Tabla II. Indicadores y formas de medida de la desertificación	53
Tabla III. Formas de medición de los costos de la desertificación	53
Tabla IV. Población ganadera, avícola y apícola. 2001-2008. Número de cabezas	65
Tabla V. Superficie de cultivo (hectáreas) del 2005-2009. Comondú, B.C.S.	66
Tabla VI. Superficie de cultivo (hectáreas) del 2005-2009. La Paz, B.C.S.	67
Tabla VII. Coordenadas geográficas de las estaciones climáticas en La Paz y Comondú, B.C.S.	68
Tabla VIII. Análisis de Regresión - Modelo Lineal $Y = a + b \cdot X$. La Paz-Comondú, B.C.S.	88
Tabla IX. ANOVA para la relación numérica precipitación-IDHA. La Paz- Comondú, B.C.S.	89
Tabla X. Índice de Disponibilidad y Déficit Hidro-Ambiental, sin ajuste y ajustado al modelo propuesto, considerando el promedio anual por estación climática	92
Tabla XI. Resultados del primer muestreo de agua de riego	93
Tabla XII. Resultados del segundo muestreo de agua de riego	94
Tabla XIII. Resultados del tercer muestreo de agua de riego	95
Tabla XIV. Promedios de cada elemento analizado por cuenca de estudio	97
Tabla XV. Resultados promedio del análisis químico de suelo por ambiente considerado, para la cuenca de Comondú y La Paz, B.C.S.	98
Tabla XVI. Resultados promedio del análisis químico de suelo por ambiente analizado, de manera general de las dos cuencas estudiadas	102
Tabla XVII. Análisis de Regresión Múltiple 13 variables fisicoquímicas–materia orgánica. Modelo $Y = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_p X_{ip} + \epsilon_i \quad i = 1, \dots, n$	103
Tabla XVIII. ANOVA para la relación numérica variables fisicoquímicas–materia orgánica	104
Tabla XIX. Matriz de correlación de los coeficientes de Pearson, del análisis de suelo de las cuencas de Comondú y La Paz, B.C.S.	107

Continuación Lista de Tablas

	Pág.
Tabla XX. Análisis de componentes principales, de las variables de suelo determinadas para las cuencas de Comondú y La Paz, B.C.S.	108
Tabla XXI. Estructura de los cuatro componentes principales obtenidos en el ACP con las variables originales. Cuencas de Comondú y La Paz, B.C.S.	109
Tabla XXII. Variables y resultados de las respuestas obtenidas de las encuestas en las cuencas de Comondú y La Paz, B.C.S.	111
Tabla XXIII. Valores promedio del análisis químico del agua obtenida de dos muestreos en la cuenca de La Paz, B.C.S.	128
Tabla XXIV. Porcentaje de suelo con la categoría de desertificación, según Li <i>et al.</i> (2006), en las cuencas de Comondú y La Paz, B.C.S.	143

Lista de Gráficas

Gráfica 1. Tendencia de la temperatura media mensual (°C)	81
Gráfica 2. Tendencia de la precipitación media mensual (mm)	82
Gráfica 3. Tendencia de la evaporación media mensual (mm)	83
Gráfica 4. Tendencia de la evapotranspiración media mensual, método del Tanque de evaporación (mm)	84
Gráfica 5. Tendencia de la evapotranspiración media mensual, método de Thornthwaite (mm)	84
Gráfica 6. Tendencia de la precipitación y de la ETP (mm) por varios métodos, Observatorio de La Paz, B.C.S.	85
Gráfica 7. Tendencia de la precipitación y temperatura media en la cuenca de La Paz y Comondú, B.C.S. (Pp= precipitación (mm); Temp= temperatura (°C))	86
Gráfica 8. Promedios mensuales de <i>IDHA</i> e <i>IDDH</i> , para las estaciones de la cuenca de La Paz, B.C.S. (a): Estación Observatorio La Paz. (b): Estación climática La Paz. (c): Estación climática Alfredo V. Bonfil	87

Continuación Lista de Gráficas

	Pág.
Gráfica 9. Promedios mensuales de <i>IDHA</i> e <i>IDDH</i> , para las estaciones de la cuenca de Comondú, B.C.S. (a): Estación climática Cd. Constitución. (b): Estación climática Cd. Insurgentes. (c): Estación climática Villa Morelos (d): Estación climática Ley Federal de Aguas #5	88
Gráfica 10. Modelo ajustado para la relación precipitación- <i>IDHA</i> , para La Paz y Comondú, B.C.S. $IDHA = 0.176012 + 0.101391 * pp$	90
Gráfica 11. Promedio mensual de <i>IDHA</i> e <i>IDDH</i> ajustados, para las estaciones de la cuenca de La Paz, B.C.S. (a): Estación Observatorio La Paz. (b): Estación climática La Paz. (c): Estación climática Alfredo V. Bonfil	90
Gráfica 12. Promedio mensual de <i>IDHA</i> e <i>IDDH</i> ajustados, para las estaciones de la cuenca de Comondú, B.C.S. (a): Estación climática Cd. Constitución. (b): Estación climática Cd. Insurgentes. (c): Estación climática Villa Morelos. (d): Estación climática Ley Federal de Aguas #5	91
Gráfica 13. Valores del índice de aridez de acuerdo al índice original de De Martonne. La Paz-Comondú, B.C.S.	92
Gráfica 14. Tendencias de a: conductividad eléctrica. b: salinidad. c: pH. d: sólidos totales disueltos, por pozo de agua muestreado, a través del año 2007-2008	96
Gráfica 15. Tendencias de la concentración de a: cloruros. b: sulfatos. c: oxígeno disuelto. d: dureza, por pozo de agua muestreado, a través del año 2007-2008	96
Gráfica 16. Tendencia de la concentración de la alcalinidad, por pozo de agua muestreado, a través del año 2007-2008	97
Gráfica 17. Frecuencia de la clase textural, por ambiente y cuenca considerada	99
Gráfica 18. Valores de pH, conductividad eléctrica, bicarbonatos y calcio, por ambiente y cuenca considerada	100
Gráfica 19. Valores de magnesio, fósforo, azufre y hierro, por ambiente y cuenca considerada	100
Gráfica 20. Valores de potasio, nitrógeno, sodio y materia orgánica, por ambiente y cuenca considerada	102
Gráfica 21. Componente (Densidad, pH, CE, Bicarbonatos, Ca, Mg) + Residuo para Materia orgánica	105

Continuación Lista de Gráficas

	Pág.
Gráfica 22. Componente (% de Arena, % de Limo, % de Arcilla, P, K, N, S, Fe, Na) + Residuo para Materia orgánica	106
Gráfica 23. Pesos de los componentes principales de las variables de suelo analizadas en las cuencas de Comondú y La Paz, B.C.S.	110
Gráfica 24. Tendencias del crecimiento poblacional estatal y municipal en B.C.S. (INEGI, 2010)	116

Lista de Figuras

Figura 1. Conceptualización de los cambios hidrológicos y la vegetación que se han producido en los llanos bajos de Texas desde 1870	19
Figura 2. Ubicación de las áreas de estudio en B.C.S.	59
Figura 3. Zona de Trabajo: Cuenca de Comondú	60
Figura 4. Zona de Trabajo: Cuenca de La Paz, B.C.S.	60
Figura 5. Mapa general del Valle de Santo Domingo, Comondú, B.C.S.	62
Figura 6. Panorámica general de los ambientes de suelo muestreados	78
Figura 7. Panorámica general de los pozos de agua muestreados	79
Figura 8. Daños del Huracán Jimena en el año de 2009. Cd. Constitución, B.C.S.	119
Figura 9. Tendencias de la precipitación media anual para las cuencas de estudio	120
Figura 10. Extracciones históricas y su diferencia con la recarga media anual	124
Figura 11. Empobrecimiento de la calidad del agua, Cuenca de Comondú, B.C.S.	124
Figura 12. Deterioro del suelo, Ejido El Centenario, La Paz, B.C.S.	129
Figura 13. Tolvanera y remolino observado en Cd. Constitución, B.C.S.	132
Figura 14. Costra biológica sobre suelo areno-arcilloso, cuenca de Comondú	134
Figura 15. Carrera de autos “off-road”, Comondú, 2008	135
Figura 16. Hatos de ganado pastando en los campos de Comondú y La Paz	136
Figura 17. Quema de residuos de cosecha. Comondú, 2009	138
Figura 18. Cambio de uso del suelo en la cuenca de La Paz, B.C.S.	142

Lista de Anexos

	Pág.
Anexo 1. Sitios de muestreo de agua	169
Anexo 2. Sitios de muestreo de suelo	170
Anexo 3. Medidas adoptadas para ajustar o reforzar el marco institucional	172
Anexo 4. Doce enfermedades del suelo	175
Anexo 5. Encuesta aplicada a los productores agropecuarios de las cuencas de Comondú y La Paz	176
Anexo 6. Nombre de los productores encuestados en Comondú y La Paz, B.C.S.	177
Anexo 7. Artículo publicado en Universidad y Ciencia	181
Anexo 8. Artículo publicado en Tropical and Subtropical Agroecosystems	195

I. INTRODUCCIÓN.

La desertificación es el proceso de degradación de las tierras en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas¹, donde las tierras son sumamente vulnerables, la vegetación es escasa y el clima es particularmente hostil. Estas áreas están habitadas por una quinta parte de la población mundial. Así, la desertificación es uno de los procesos de degradación ambiental más alarmantes del mundo.

El término "desertificación" fue acuñado en 1949 por el silvicultor francés Aubreville. Quien la describió como un proceso general de degradación que inicia con la deforestación -no necesariamente en las tierras secas- y termina en la tierra que se convierte en desierto (Aubreville, 1949, citado por Darkoh, 1998). Es un problema mundial que afecta de forma directa a un mil 900 millones de hectáreas y a 250 millones de personas, particularmente aquellas que viven en países en desarrollo. La desertificación también pone en peligro a dos mil millones de personas en todo el mundo, que dependen de la tierra para satisfacer sus necesidades básicas (Senado de la República, 2005; Falkenmark y Rockström, 2008).

La sequía inducida por el ser humano y la desertificación, constituyen uno de los desafíos ambientales más grandes de nuestro tiempo. Recientemente, la Organización de las Naciones Unidas, basada en las opiniones de 200 expertos de 25 países (UNCCD, 2006), advirtió que la tercera parte de la población global, cerca de dos mil millones de personas se encuentran en riesgo por la desertificación. Cada año desaparecen 24,000 millones toneladas de tierra fértil. Entre 1991 y 2000, solamente las sequías fueron responsables de más de 280,000 muertes, y representaron el 11 % del total de desastres relacionados con el agua. El Banco Mundial estima que a nivel global, el ingreso anual que se pierde en zonas afectadas por la desertificación es de 42,000 millones de dólares cada año, mientras que el costo anual para luchar contra la degradación de la tierra costaría sólo 2,400 millones al año. Debido a la gran magnitud y urgencia de este problema, **la Asamblea General de las Naciones Unidas proclamó al año 2006 como el Año Internacional de los Desiertos y la Desertificación, y cada 17 de junio se**

¹ Definición establecida en la Convención de los Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (UNCCD) en 1994.

celebra el Día Mundial de la Lucha contra la Desertificación y la Sequía. Este proceso de degradación de los terrenos, consiste en la pérdida de productividad y de la estructura biológica del suelo original, causado por la combinación del sobrepastoreo, la erosión del suelo, las sequías prolongadas y el cambio climático². La degradación antrópica de las tierras es un proceso dinámico que puede ser reversible, dentro de límites marcados por la posibilidad de recuperación del suelo, sustrato fundamental no renovable dada la longitud del periodo de tiempo necesario para esa recuperación. Se podría aceptar que, prácticamente, todos los problemas ambientales son teóricamente reversibles, a excepción de la pérdida de los recursos genéticos y del suelo. Cuando la degradación de la tierra alcanza un estado irreversible, se dice que se ha desertificado, evidenciando la falsa impresión de un proceso abrupto, cuando más bien es gradual y puede ocurrir en cualquier condición climática, donde son aplicables todos los conceptos y acciones relativos a la desertificación, como lo establece para México la Ley de Desarrollo Rural Sustentable aprobada por el Congreso de la Unión en 2001 (Congreso de la Unión, 2001).

La lucha contra la desertificación es para México un objetivo prioritario, jurídicamente obligatorio, con aplicación en todo el territorio nacional, puesto que, cerca del 80 % del territorio nacional presenta diferentes grados de degradación o deterioro³. Es necesario contar con un esfuerzo de ordenamiento territorial, con una mayor coordinación interinstitucional, para guiar el uso sostenible de los recursos naturales, y revisar las estrategias económicas que rigen el país, para que estas incidan positivamente en la erradicación de la pobreza. El avance de la desertificación es un desafío internacional, en el que deben de comprometerse e involucrarse organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, así como también las instituciones competentes en el tema de cada uno de los países en cuestión, pues se ha demostrado que la prevención es más eficaz y menos costosa que la rehabilitación de las tierras afectadas por la desertificación⁴.

² www.fao.org. Consultado el 26 de enero de 2007.

³ www.unccd.int. Consultado el 16 de febrero de 2007.

⁴ www.rumbosdelperu.com/ecologia_articulos1_desertificacion.htm. Consulta el 22 de febrero de 2007.

Con la información obtenida en este proyecto, se estudia y evalúa el estatus que guarda el proceso de la desertificación, y la tendencia de la aridez en las cuencas agrícolas de los municipios de La Paz y Comondú, Baja California Sur.

1.1. Antecedentes

Se presentan los aspectos relacionados a las características climáticas de las zonas áridas, las definiciones y las características de la desertificación, así como, el estatus de la investigación científica en la evaluación y remediación de este proceso de degradación del suelo. Asimismo los Objetivos, Hipótesis y la descripción general de la zona de estudio.

1.1.1. El clima en las zonas áridas.

El clima en las zonas áridas es de los más extremos en el planeta y presentan características particulares, que en otros rincones del planeta no se encuentran. A continuación se presentan algunas características generales del clima en las zonas áridas.

Se consideran zonas áridas, a aquellas áreas que reciben una precipitación pluvial media anual menor a 350 mm, y semiáridas a las que reciben entre 350-600 mm anuales. En ambos casos, la precipitación promedio anual es menor a la evaporación potencial anual, evidenciando un déficit hídrico. Estas regiones se caracterizan por una escasez de agua, con una distribución de la precipitación altamente errática, que ocurre en pocos eventos y de manera torrencial. Dicha condición limita sustancialmente el desarrollo de las actividades agropecuarias (Tarango, 2005).

Pauw *et al.* (2000) señalaron que las zonas áridas del mundo están caracterizadas por un déficit de precipitación en relación a la evapotranspiración potencial. Su distribución a través del mundo está regulada por la interacción de los patrones de la circulación atmosférica global, la distribución de tierra y mar, y la topografía local. Evenari *et al.* (1985) apuntaron que las zonas áridas están caracterizadas en forma general por un

elevado número de factores comunes, climáticos, geomorfológicos, hidrológicos, edáficos, de vegetación y vida animal. Son regiones de baja precipitación, baja humedad, alta temperatura del aire, vientos fuertes, suelos con bajo contenido orgánico y alto contenido de sales minerales, alta erosión hídrica y eólica. Asimismo, señalaron que *“son áreas donde la evaporación del suelo y de la vegetación excede a la precipitación, donde la flora y fauna muestran adaptación a las altas temperaturas y escasez de agua”*.

Ayllón (1996) señaló que los desiertos presentan climas secos, divididos en dos grados de escasez de lluvia: los climas desérticos (BW) casi sin lluvia, en los que no crece vegetación, o bien, es de tipo xerófita; y los esteparios (BS), en que los períodos de lluvia son muy cortos, pero permiten el desarrollo de una vegetación de gramíneas o de matorral.

Según Köppen, citado por García (1988), son regiones donde la evaporación es por lo menos dos veces superior a la precipitación. De acuerdo con su Sistema de Clasificación Climática, el tipo climático B designa los climas en los cuales el factor determinante de la vegetación es la sequedad (más que las bajas temperaturas). La aridez no es un asunto sólo de precipitaciones sino que está definida por la relación entre las precipitaciones que penetran en el suelo donde las plantas crecen y la evaporación que hace que se pierda esa humedad. La evapotranspiración es difícil de evaluar y no es una medida convencional en las estaciones meteorológicas; Köppen se vio forzado a sustituir la fórmula que identifica la aridez en términos del índice de temperatura-precipitaciones. Los climas secos se subdividen a su vez en áridos (BW) y semiáridos (BS), y cada uno puede diferenciarse aún más añadiéndole un tercer código, *h* para cálido y *k* para frío.

Una zona árida es una región seca y cálida donde el suelo desnudo es el rasgo más característico del paisaje. En las zonas áridas y semiáridas la temperatura, producto de la alta radiación solar, tiene un efecto temporal que establece la fisiología y el ritmo de vida de los organismos que ahí habitan. Durante el día y la noche ocurren oscilaciones muy marcadas, existiendo lugares en el mundo en que estas fluctuaciones van más allá

de 20 °C, en tanto que en otros más templados la variación es menor. Durante el día se pueden alcanzar temperaturas de 40 °C o más, mientras que durante la noche pueden obtenerse valores cercanos o menores de 0 °C, esto último ocasionado por la falta de nubosidad que detenga la radiación infrarroja de onda larga emitida por el suelo con la consecuente pérdida de calor de la superficie terrestre (Evenari *et al.*, 1985).

El ambiente de estas regiones se caracteriza por un nivel alto de radiación y una diferencia importante entre la temperatura diurna y nocturna. La radiación infrarroja nocturna del suelo es un factor muy relevante por su efecto de disminuir la temperatura superficial del suelo que llega a sus valores mínimos muy cerca de la mañana. Durante el día la intensa insolación provee un relativo incremento en la radiación global entrante, pero la radiación infrarroja saliente de la superficie del suelo puede generar una disminución en la energía almacenada en el suelo, con el consecuente incremento en la radiación neta (Brunel *et al.*, 2006).

La precipitación en las zonas áridas y semiáridas presenta dos aspectos de suma importancia para la vida de los organismos: su tendencia espacial y temporal. El régimen de lluvias en las zonas áridas y semiáridas puede ser de lluvias en verano, lluvias en invierno y en algunos lugares se presenta en dos épocas del año. Lo errático de las lluvias puede variar de varios milímetros hasta casi 400 mm al año; sin embargo, se han observado precipitaciones de alta magnitud, mayores de 100 mm en un solo evento, incluso en una hora o menos. Este patrón de lluvias marca profundamente la vida en dichas zonas. En México la zona más seca es Altar, Sonora, con no más de 50 mm al año, mientras que en el desierto Hidalguense o en el Valle Tehuacán-Cuicatlán, la lluvia presenta valores no mayores de 400 mm (García, 1988).

Es importante subrayar que el dato de precipitación total anual no es suficiente para analizar su influencia sobre los organismos, sino que también se debe considerar su estacionalidad, porque se ha visto que de un año a otro la precipitación varía notablemente, tanto en su forma como en la cantidad precipitada. Se han tenido años con valores superiores a la media, como también años en que la precipitación es menor

a la misma, lo cual puede ocurrir de un año a otro. Asimismo, su incidencia durante el año también es variable respecto a lo normal (Evenari *et al.*, 1985).

El carácter de la precipitación en las zonas áridas está marcado por su irregular distribución tanto espacial como temporal. Normalmente en el verano se presenta en forma torrencial, de alta intensidad y corta duración, debido a celdas convectivas muy localizadas en radios de 10-50 km, mientras que en el invierno, las lluvias ocurren en forma intermitente, a manera de lloviznas ligeras de mayor duración, que pueden ser localizadas o bien abarcar una zona más amplia. Este carácter intermitente de la lluvia, hace que las lluvias de invierno sean más efectivas para el crecimiento de las plantas en el desierto (Nicholson, 1999). Las zonas determinadas por la sombra orográfica o bien por la latitud, experimentan valores menores de humedad atmosférica, que aquellos que están determinados por corrientes marinas frías. En estos últimos, la entrada de humedad de la costa favorece la formación de rocío y niebla, los cuales proveen a las plantas una forma de allegarse de humedad y con ello soportar la inclemencia del tiempo atmosférico. La falta de agua en las zonas áridas también se debe a una alta evapotranspiración, la cual está influenciada por las altas temperaturas que se registran durante el día, baja precipitación, alta radiación solar, baja humedad atmosférica, y a la acción de los vientos, que son secos y fuertes (Ayllón, 1996; Ruiz y Febles, 2004).

La variabilidad climática extrema y las subsecuentes fluctuaciones hidrológicas son típicas en estas regiones. La variabilidad climática se produce estacionalmente en ciclos interanuales y también en plazos más largos. En consecuencia, las zonas áridas o semiáridas están sujetas a frecuentes y severas sequías y asimismo a infrecuentes pero importantes inundaciones. La variabilidad del clima y la posterior fluctuación hidrológica, son factores clave en la ecología de los ambientes áridos o semiáridos (Jolly *et al.*, 2008).

Por otro lado, en las zonas áridas ó semiáridas las concentraciones de sales almacenadas en el suelo y las aguas subterráneas son naturalmente elevadas, debido a factores como el bajo relieve, poco o ningún drenaje superficial, el depósito de la brisa marina en zonas costeras y las altas tasas de evapotranspiración (Herczeg *et al.*, 2001). Las sales pueden provenir de la erosión de las rocas, aerosoles oceánicos transportados por la

lluvia (sales cíclicas), y del agua atrapada en los sedimentos, los cuales fueron depositados en los primeros tiempos geológicos (es decir, del agua de mar), entre otras fuentes. Este almacenamiento natural de la sal en los suelos y las aguas subterráneas se refiere a la salinidad primaria. El uso del suelo, cambios de uso del mismo en las tierras altas, en las zonas ribereñas y/o los cambios en el manejo de los ríos, pueden conducir a modificaciones en el flujo de las aguas subterráneas. Esto, a su vez, puede conducir a la movilización de las sales almacenadas conduciendo a su vez a un aumento de la salinización de los suelos y cuerpos de agua superficiales como ríos, lagos y humedales. Dicho movimiento de la sal a través del paisaje, inducido por el hombre, es referido como salinidad secundaria y ocurre en numerosas zonas áridas o países semiáridos (Tarango, 2005; Jolly *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2008). Por lo anterior, la escasa precipitación, la elevada evapotranspiración y la alta temperatura, juegan un papel importante en el aumento en la concentración de sales en la zona radicular de los vegetales en estas zonas climáticas (Abdel, 2009).

1.1.2. Aspectos generales de la desertificación.

La población se relaciona con el ambiente al menos mediante tres procesos: (1) el consumo directo de los recursos naturales renovables y no renovables (el recurso agua, las plantas y animales, el petróleo y los minerales); (2) la generación de desechos sólidos, líquidos y gaseosos producto de diferentes actividades que afectan el estado de los suelos, el agua, el aire y los ecosistemas naturales y (3) la transformación directa de los ecosistemas para usos diversos, incluyendo la creación de zonas urbanas y sistemas agropecuarios. Por lo tanto, el impacto o presión que el hombre ejerce sobre el ambiente depende tanto del tamaño de la población, y asimismo de la manera en la que se utilizan los recursos y se generan los desechos que se vierten al ambiente (SEMARNAT, 2005).

Sin duda, la capacidad de nuestro planeta para sostener la vida humana está disminuyendo gradualmente. Los problemas son sobradamente conocidos: la degradación de los suelos y de las tierras agrícolas, la disminución de la cubierta vegetal y de los bosques, la disminución del abastecimiento de agua limpia, la reducción de las pesquerías y la consiguiente amenaza de una mayor vulnerabilidad social y ecológica.

Tales peligros son de orden mundial; sus repercusiones, sin embargo, se hacen sentir más en el mundo en desarrollo, especialmente entre los pueblos que enfrentan la pobreza (Holtz, 2003).

La desertificación es un fenómeno reconocido desde la década de 1960-1970, a raíz de las hambrunas que tuvieron lugar en los países coloniales o recientemente independizados al sur del desierto de Sahara (PNUMA, 2000). Se reconoce como uno de los grandes problemas ecológicos a nivel mundial. La importancia se deriva tanto de su magnitud (en término de la extensión de tierra y número de personas afectadas), y de la velocidad con que se presenta, así como de sus implicaciones para el futuro bienestar de la población, lo que hace evidente la necesidad de poner en práctica medidas de conservación (López, 2006).

A consecuencia de los cambios políticos y del régimen de tenencia de la tierra, se han suscitado desequilibrios en los usos de las tierras, causando la reducción de la productividad y el incremento de la vulnerabilidad de los sistemas agroalimentarios de la región. Las sequías recurrentes provocan graves consecuencias en los países afectados por la degradación de los recursos naturales y de su capital humano y social, con efectos desastrosos en términos de mortalidad, migraciones, pérdida de suficiencia alimentaria y de estabilidad social (Drummond, 1992).

Con una historia de dificultades y retrocesos, en 1992 los participantes en la Cumbre de la Tierra, en Río de Janeiro, aprobaron la formación de un Comité de Negociaciones para la redacción de una Convención de Lucha Contra la Desertificación, que fue concluida el 17 de junio de 1994. Con México en primer lugar, la mayoría de los países ratificaron la Convención Contra la Desertificación (CCD), la cual entró en vigencia en septiembre de 1996. La primera Conferencia de las Partes, es decir, su asamblea general, se realizó en Roma en 1997; a la fecha han celebrado ya su séptima Conferencia (Roma, Italia, 1997; Dakar, Senegal, 1998; Recife, Brasil, 1999; Bonn, Alemania, 2000; Ginebra, Suiza, 2001; La Habana, Cuba, 2003; y Nairobi, Kenia, 2005). Para México, que ha tenido un papel muy activo en la CCD, la ratificación de la

Convención por el Senado de la República convierte a este instrumento jurídico en un Tratado, con jerarquía constitucional (PNUMA, 2000).

Más de 179 países son Partes de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación. Esto quiere decir que más del 93 % de los países del mundo, han aceptado la gravedad de la amenaza de la desertificación y la necesidad de actuar urgentemente para aminorar sus avances. Todos los países son bienvenidos a participar en el plan común de acción en contra de la desertificación. Los objetivos de la Convención son:

a) luchar contra la desertificación y mitigar los efectos de la sequía en los países afectados por sequía grave o desertificación, en particular en África, mediante la adopción de medidas eficaces en todos los niveles, apoyadas por acuerdos de cooperación y asociación internacionales, en el marco de un enfoque integrado acorde con el Programa 21, para contribuir al logro del desarrollo sostenible en las zonas afectadas;

b) la consecución de este objetivo exigirá la aplicación en las zonas afectadas de estrategias integradas a largo plazo que se centren simultáneamente en el aumento de la productividad de las tierras, la rehabilitación, la conservación y el aprovechamiento sostenible de los recursos de tierras y recursos hídricos, todo ello con miras a mejorar las condiciones de vida, especialmente a nivel comunitario (UNCCD, 2006a).

La desertificación ha sido asociada, aunque de manera limitada, con condiciones de aridez, motivo de una reflexión sistematizada sobre sus características, causas y consecuencias, lo que proporciona un marco conceptual de carácter integral, que permite construir propuestas programáticas completas y radicales (UN, 1994). De acuerdo con el Programa Ambiental de Naciones Unidas UNEP (1992), todas las regiones en donde la tasa anual de la relación Precipitación/Evapotranspiración es de 0.05 a 0.65, pueden considerarse vulnerables a la desertificación.

Los diversos puntos de vista establecen muchas asociaciones entre los conceptos de desertificación y sequía. Algunos piensan que la sequía y la desertificación son un único

y mismo fenómeno y que, por tanto, si se consigue eliminar los efectos de la sequía (proveyendo agua) se terminará también con la desertificación. Otros aseveran que la desertificación es un proceso que puede conducir a un aumento o intensificación de las sequías y a cambios climáticos, por lo cual, entonces, la única finalidad de combatir la desertificación es evitar el cambio climático. También hay quienes creen que la sequía es causa de la desertificación y, en consecuencia, si “se administran o gestionan” correctamente las sequías se estará impidiendo la desertificación (Matallo, 2001).

De la misma manera, se utiliza un concepto restringido sobre la naturaleza de las tierras objeto de la lucha contra la desertificación, que incluye solamente el suelo. Una comprensión más útil sobre las tierras debe abarcar una mayor riqueza de conceptos y definiciones. La tierra, como recurso natural; esto es, sin la acción constructiva humana, incluye variables relativamente estables, como el relieve, la exposición, o la localización en latitud, longitud o altitud, lo que determina los principales climas y asimismo los atributos de fragilidad de las tierras. A la vez, incluye también la constitución geológica y el tipo de suelo generado mediante largos procesos, así como el acervo genético de microorganismos y organismos superiores, entre los que destacan las plantas (Chapela, 2000). Sobre este sustrato natural ocurren acciones humanas que acondicionan las tierras o les proveen características que facilitan la producción y el acceso al abastecimiento de medios de trabajo o a los mercados. En el primer grupo se destacan las obras de mejoramiento, como terrazas, los abonados o las prácticas de pastoreo mejoradoras de la condición de los potreros. En el segundo grupo, pueden mencionarse las vías de comunicación o infraestructura productiva como las obras hidráulicas, los almacenamientos y la electrificación, que tienen un efecto sustancial sobre la producción, sin ser parte de la dotación natural de recursos.

No menos importante que lo anterior es la definición de las tierras como objeto de las relaciones humanas, tanto económicas como sociales y culturales. Las diversas formas de derechos de propiedad rebasan la estricta definición de lo jurídico; a su vez los aspectos que tiene que ver con las instituciones locales de regulación de la gestión de recursos de propiedad común, el carácter territorial y patrimonial de la tierra, son complejas determinaciones sin las cuales no es posible entender la dinámica de la

gestión de las tierras. Sólo desde una perspectiva inclusiva que considere estas complejas interrelaciones, es posible abordar con éxito la lucha por el mejoramiento de los recursos naturales y de la calidad de vida de poblaciones que dependen directamente de su producción e, indirectamente, de servicios ambientales tales como, la captura y almacenamiento de dióxido de carbono (Chapela, 2000).

Mainguet (1994) caracterizó a la desertificación como el "último paso de degradación e irreversible de la tierra a la tierra estéril". Esta definición ignora el conjunto complejo de procesos que gradualmente se desarrollan (todavía hasta determinado período, reversible) en tasas diferentes. Más bien, limita el término a la condición final que es la culminación extrema de esos procesos. Un enfoque alternativo sería definir los procesos por sí mismos y caracterizar el grado de degradación, en que sus efectos separados o combinados pueden ser considerados como las causas irreversibles del fenómeno.

Además, debe hacerse notar que la desertificación ocurre en tres planos de diagnóstico: el más inmediato es el de los datos de daños sobre las tierras; el segundo observa la relación inmediata entre los sistemas de manejo de las tierras y su condición; el tercero indaga sobre las causas que determinan la selección de técnicas y de sistemas de aprovechamiento de las tierras (SEMARNAP, 1995). El carácter integral de la percepción y programa de lucha contra la desertificación, obliga a enfatizar la necesidad de armonizar las decisiones dentro de las acciones sustanciales de la sociedad (UN, 1996; Chapela, 2003).

López (2006) consideró que los impactos de la desertificación se manifiestan en el deterioro de los suelos, de la flora y de la fauna, en el desequilibrio del ciclo hidrológico, en la invasión de especies menos deseables, así como en la disminución de la diversidad vegetal y animal. Entre los factores que originan el mal uso de la tierra se encuentran: la pobreza, las tradiciones culturales, el desconocimiento de las consecuencias de prácticas inadecuadas, la búsqueda de altas tasas de rentabilidad, la insuficiencia y/o ineficiencia de normas que protejan la tierra. La preocupación por la desertificación considera sus consecuencias: migración, pobreza, discriminación de género, o la pérdida de biodiversidad y, servicios ambientales. Con dichas definiciones,

la lucha contra la desertificación se convierte en un programa muy cercano a las acciones de desarrollo regional, que busca interactuar, de manera privilegiada, con las grandes iniciativas de transformación cultural y económica de la sociedad rural (UN, 1996; Darkoh, 1998).

En virtud de que la desertificación es la degradación de la tierra que ocurre principalmente en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas, (como producto de varios factores que incluyen variaciones climáticas y actividades humanas), esta definición incluye tres elementos distintos y con requerimientos diferentes: las sequías en periodos cortos, las fluctuaciones climáticas a largo plazo y la degradación de la tierra por actividades humanas. Un aspecto de mayor importancia en esta definición es el concepto “degradación de la tierra”, que es conceptualmente diferente a “degradación del suelo” ya que en la primera no sólo se contempla la degradación del suelo, sino de cualquier otro de los elementos biológicos y físicos del terreno, como son la cubierta vegetal, la biota animal y los recursos hídricos. Esta es la base conceptual que determina que el problema de la desertificación sea integral y comprenda los diversos componentes físicos, químicos y biológicos, interactuando con las variables sociales, económicas de un área o región específica. La vulnerabilidad de un suelo a la desertificación depende, entre otros factores, del clima, de la topografía, de la condición (textura, estructura e índice de fertilidad) y de la vegetación, sea natural o inducida. Entre los factores antropogénicos que desencadenan un proceso de desertificación destacan: el cultivo en suelos frágiles, la reducción del tiempo de descanso de la tierra, el sobrepastoreo, y el mal manejo del agua de riego y uso inapropiado de la maquinaria agrícola (UN, 1996).

Sin embargo, según Hillel y Rosenzweig (2002), la "degradación de la tierra" es un término ambiguo, dado que la tierra puede ser degradada con respecto a una función y no necesariamente con respecto a otra. Por ejemplo, un lote de tierra puede continuar con la función hidrológica (regular infiltración, generar escurrimientos y recargar el acuífero) si su cobertura vegetal es cambiada artificialmente, de una comunidad con diversidad de especies a un monocultivo, pero sus otras funciones ecológicas pueden ser interrumpidas. Antes que "degradación de tierra," prefirieren el término "degradación

del ecosistema semiárido”. Consideran que la tierra puede funcionar como un sistema sustentable. Por ejemplo, un agroecosistema que es una porción del paisaje manejado con fines económicos para la producción agrícola, implica la transformación del ecosistema natural de una forma no necesariamente destructiva. Si el agroecosistema es manejado de manera sostenible y si coexiste con el ecosistema natural, este espera que continúe manteniendo su biodiversidad, realizando funciones ecológicas esenciales.

De acuerdo con la FAO (1980), la desertificación ocurre y se manifiesta a través de los procesos siguientes:

1. Degradación de la cubierta vegetal.
2. Erosión hídrica.
3. Erosión eólica.
4. Salinización y sodificación.
5. Degradación física.
6. Degradación biológica.
7. Degradación química.

De los anteriores procesos, la FAO considera a los cuatro primeros como los de mayor impacto en las características de los ecosistemas y la productividad (CONAZA, 1994).

En México, aproximadamente el 72 % de la tierra es vulnerable a la desertificación, a consecuencia de que el territorio es predominantemente árido o semiárido. De hecho, el 64 % del suelo ya ha sido afectado por el citado proceso: "la cifra oficial sobre los suelos degradados en el país asciende a cerca de 935,700.79 km² (UNCCD, 2006). La desertificación afecta a varios estados, incluyendo Sonora, Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León y San Luis Potosí en el Norte; Querétaro en el Centro; y los estados de Guerrero, Oaxaca, Michoacán y Chiapas en el Occidente y Sureste. Según la SEMARNAT el país pierde anualmente alrededor de 460 millones de toneladas de suelo. En el caso de Chihuahua, la desertificación ha operado durante siglo y medio, fundamentalmente por efectos del sobrepastoreo (Schoijet, 2005); situación semejante vive el estado de Sonora, donde el proceso de erosión del suelo es motivado por el uso inadecuado de los recursos naturales con fines agropecuarios (López, 2006).

Aun cuando en la región norte del país se localiza la mayor extensión de las zonas desérticas, la parte más afectada por la desertificación es la región Centro, debido a la presión que la excesiva densidad de población ejerce sobre el suelo. En consecuencia, anualmente entre 700,000 y 900,000 mexicanos abandonan sus hogares en búsqueda de un porvenir más próspero en el Norte del continente, porque la tierra que los sostenía ya no es productiva. El principal proceso que ocasiona la desertificación en México es la erosión hídrica, que afecta al 37 % de los suelos, particularmente aquellos de las zonas montañosas, le sigue el proceso de erosión eólica, que afecta al 14.9 % de los suelos. En cuanto a las causas antropogénicas de la desertificación en el país, se ha identificado que alrededor del 50 % de la degradación es originada por la deforestación asociada a cambios de uso de suelo y el 25 % tiene su origen en el sobrepastoreo. La proporción restante tiene diversas causas, la mayoría inducidas por el hombre, entre las que destacan: la labranza, poscosecha, la sobreexplotación de cultivos intensivos anuales, el inadecuado manejo del agua, la sobreexplotación de la vegetación para consumo doméstico y la disposición de desechos industriales (SEMARNAT, 2006).

Las causas anteriores se invierten para el caso de los suelos de las zonas áridas, semiáridas, y subhúmedas, donde el 42 % de la degradación del suelo es causada por el sobrepastoreo, seguida en 19 % por la deforestación. De continuar con las tasas de deforestación que se registran, se estará contribuyendo a magnificar el problema de la desertificación (SEMARNAT, 2006).

De acuerdo con el Tercer Informe Nacional México 2002-2005 en materia de implementación de la UNCCD (UNCCD, 2006), el proceso de degradación de la tierra presentó los siguientes valores (Tabla I).

Tabla I. Superficie nacional con degradación del suelo.

Proceso de degradación	Km ²	%
Terrenos degradados por influencia humana.	935,234	47.7
• Química (pérdida de fertilidad de suelos, salinización).	320.4	16.4
• Erosión eólica (superficial y en dunas).	293.6	15.0
• Erosión hídrica (superficial y en cárcavas).	235,9	12.0
• Física (compactación, encostramiento, aridificación).	85.2	4.3
Degradación natural en terrenos sin uso (dunas costeras, desiertos, regiones áridas, montañosas, afloramientos rocosos y planicies salinas).	466.8	23.8
Total degradado por el hombre y de forma natural.	935,700.8	71.5

Fuente: UNCCD (2006).

Algunos factores asociados al deterioro de los suelos en el territorio nacional, así como su grado de afectación, son: a) las actividades agrícolas (labranza, agroquímicos, abonos, riegos) 42 %; b) la deforestación (cambios de uso, tala, incendios) 14 %; c) la sobreexplotación de la vegetación para consumo (carbón, leña) 2 %; d) sobre pastoreo 41 %; e) las actividades industriales (minas abandonadas, canteras, extracción de materiales, desfogue de industrias, derrames petroleros, basureros) 0.2 %; y f) la urbanización 1.2 % (SEMARNAT, 2000).

Entre las causas del deterioro de las tierras secas en América Latina y el Caribe debido a la acción humana figuran la deforestación, la degradación de los bosques (recolección de leña para combustible, construcciones y otros usos domésticos e industriales); el aumento de la presión del pastoreo debido al incremento de la ganadería; la expansión de la agricultura con métodos inadecuados, el uso excesivo e intensivo de la tierra; los incendios forestales, y el manejo deficiente de los suelos. En cuanto a las causas de origen climático, las sequías recurrentes y prolongadas son fenómenos que afectan a algunos países de la región y exacerban las causas antrópicas. La agudización de fenómenos climáticos como “El Niño” y “La Niña” han intensificado la desertificación (Pérez y Tomasini, 2002).

En países mega diversos como México, en las zonas áridas, semiáridas, y subhúmedas se encuentra un importante capital biológico. De acuerdo con un estudio de la

Asociación Americana para el Avance de la Ciencia, en estas zonas han tenido su origen los principales granos que hoy se consumen en el mundo, además de plantas medicinales, resinas, aceites, y una amplia variedad de especies vegetales y animales que las habitan. En dichas zonas del territorio, la vegetación afectada por la desertificación consiste en matorrales y pastizales. Los matorrales conforman el tipo de vegetación más extensa en el país, y también son uno de los más degradados. Los pastizales se encuentran casi en cualquier tipo de clima, pero al igual que el matorral, están sumamente degradados (SEMARNAT, 2006).

En México, al profundizarse los problemas ecológicos, se multiplica la importancia del aspecto ambiental en los esfuerzos de la planeación económica, dado que una de las principales fuentes de riqueza de un país es el adecuado aprovechamiento de los recursos naturales. Por ello resulta paradójico que México, con enormes riquezas naturales, tenga índices de desarrollo humano, marginación y pobreza dispares (Ceja, 2008).

En la agricultura, los problemas se agudizan en numerosas áreas de riego, donde la extracción es superior a la infiltración, provocando la salinización de superficies considerables. El 70 % de los suelos de México presentan menos del 1 % de materia orgánica; además, las condiciones de salinidad y sodicidad existen en el 3 % de la superficie y el suelo que posee menos del 50 % de saturación de bases se ubica en el 20% del área. El uso inadecuado de la tierra ha ocasionado la disminución de la fertilidad del suelo hasta en un 80 % del territorio nacional (Ruiz y Febles, 2004).

El riesgo de la erosión hídrica puede ocurrir en más del 70 % del territorio, llegando a ser extremo en 9 % del país. Las pérdidas del suelo por erosión eólica pueden llegar hasta $300 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ tal y como sucede en el Altiplano Potosino-Zacatecano. Por otro lado, la superficie con problemas graves de ensalitramiento en los distritos de riego, asciende al 10 % de la superficie total de riego del país. La degradación física afecta al 20 % de la superficie total del país. En tanto, la degradación biológica se considera como el segundo proceso que afecta los suelos mexicanos ocurriendo en el 80 % del territorio nacional y consiste en el aumento de la velocidad de mineralización de la

materia orgánica. La degradación química por pérdida de nutrientes (lixiviación de las bases) afecta al 15 % del territorio. La expansión urbana implica uno de los más fuertes impactos por el cambio en el uso del suelo, dado que es irreversible; la cobertura vegetal es desplazada por la cubierta asfáltica (Ruiz y Febles, 2004).

Como parte de la Convención Mundial de las Naciones Unidas contra la Desertificación, México ha registrado los siguientes avances: el Plan Nacional para combatir la desertificación; el establecimiento de acuerdos sobre el manejo de zonas áridas y semiáridas; la designación de áreas piloto para combatir la desertificación; la creación de la Comisión Nacional para las Zonas Áridas, y la instrumentación del Sistema Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Degradación de los Recursos Naturales (UNCCD, 2006), entre otros.

Las dificultades conceptuales que obstaculizan una mejor comprensión del proceso de la desertificación derivan de diferentes factores y entre ellos, se pueden citar:

- a) la sequía es un fenómeno más reconocido y más “visible” que la desertificación,
- b) la desertificación es un proceso que ocurre durante lapsos de tiempo relativamente extensos (10 o más años), mientras que la sequía es un evento marcado claramente en el tiempo,
- c) esto hace que las pérdidas de productividad y de la producción sean atribuidas a la sequía, que es mucho más visible, y no a la desertificación,
- d) el proceso de desertificación no alcanza necesariamente la “condición de desierto”, lo que dificulta su visualización,
- e) la falta de seguimiento de las tendencias de los indicadores de productividad, erosión, y otros en las zonas áridas y semiáridas.

Las razones expuestas convergen para acentuar las dificultades de comprensión y visualización de la desertificación, así como de su dimensionamiento como un problema realmente importante que debe ser enfrentado (Matallo y Vasconcelos, 1999).

Herrmann y Hutchinson (2005) consideraron cuatro contextos que conforman el debate sobre el tema y son: 1) la falta de entendimiento sobre la variabilidad climática; 2) los

cambios en el entendimiento de la respuesta de la vegetación a la perturbación; 3) la falta de entendimiento de los procesos sociales, incluyendo las respuestas locales a perturbaciones económicas, y 4) la falta de entendimiento de la desertificación como un artefacto o proceso político.

Queda claro que sobre un periodo de tiempo largo (siglos), y en ausencia de actividad humana, un suelo erosionado puede recuperarse gradualmente. Sin embargo, en la escala de tiempo de años a pocas décadas, especialmente si continúa la actividad humana de sobrepastoreo y sobrecultivo de la tierra, la erosión del suelo puede ser irreversible. Se distinguen dos problemas: uno de medición de la productividad de un área y el cambio gradual de un año a otro o de una década a otra, y el otro, el valorar la recuperación (resiliencia) de un área que continúa con una pérdida parcial de la productividad, y de la tasa de recuperación potencial, es decir, el tiempo de restauración gradual de la productividad y el período necesario para su terminación (Hillel y Rosenzweig, 2002).

Al respecto, Seifan (2009) señaló que a pesar de la visión pesimista sobre el proceso de degradación del ecosistema árido ó semiárido, existe evidencia de que la vegetación puede mostrar un gran potencial para resistir las perturbaciones antropogénicas a través del tiempo, el proceso de resiliencia puede darse, al grado de tener un ecosistema natural, considerando que los suelos, después de ser perturbados o abandonados, no fueron sometidos a cultivo ni pastoreo nuevamente; Wilcox *et al.*, (2008) informaron sobre la recuperación del ecosistema árido en Texas, USA, en un estudio de 100 años, donde evaluaron el proceso de regeneración de la vegetación primaria, en suelos perturbados por el hombre, encontrando además la mejoría en las condiciones de infiltración y escurrimiento de agua en el suelo (Figura 1).

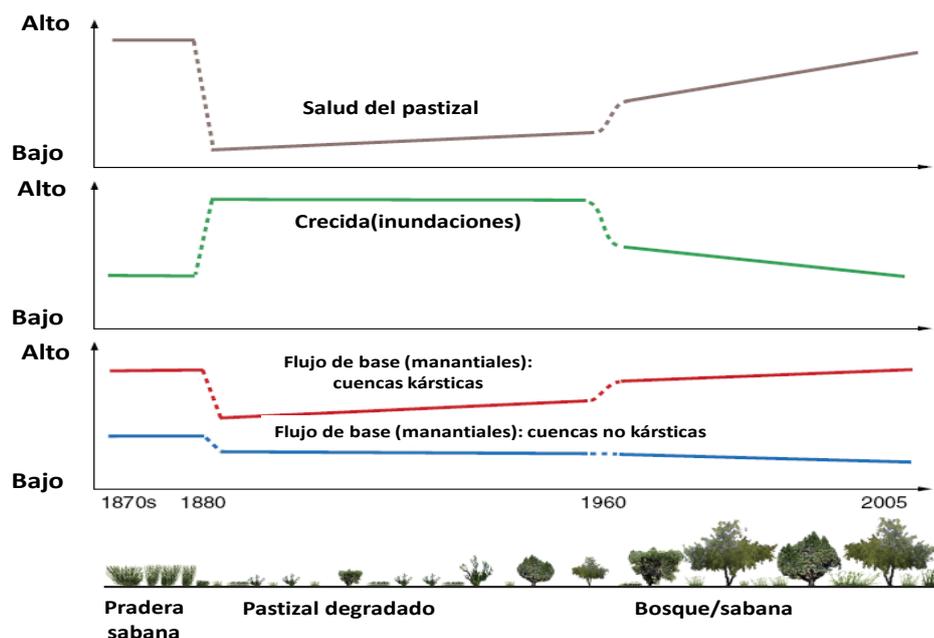


Figura 1. Conceptualización de los cambios hidrológicos y la vegetación que se han producido en los llanos bajos de Texas desde 1870, (Adaptado de Wilcox *et al.*, 2008).

Lesschen *et al.* (2008) evidenciaron que la recuperación de la vegetación y que los cambios en las propiedades del suelo después de abandonar la tierra de actividades agropecuarias es lento, alrededor de 40 años en ambientes semiáridos. Compararon las condiciones de dichos predios con terrenos con parches de vegetación, encontrando en estos parches mayor contenido de materia orgánica, estabilidad de agregados y conductividad eléctrica menor, de manera significativa. Además señalaron que los predios abandonados son más vulnerables a la erosión, a la pérdida de las propiedades y estructura del suelo, así como al mantenimiento del agua en él. Durante los primeros años de abandonados, la vegetación es dominada por hierbas, pero más tarde el matorral se hace presente.

Sin embargo, las propiedades del suelo pueden cambiar después de ser abandonados. La recuperación progresiva de la cubierta vegetal, la producción de hojarasca, la materia orgánica, la capacidad de retención de agua y la estabilidad de agregados, toma lugar en los terrenos abandonados (Bonet, 2004).

En este proceso de recuperación, los animales revisten un servicio ecosistémico esencial, por sus efectos sobre el suelo (bioperturbación); ya que inciden sobre las propiedades del mismo, como la textura, la densidad aparente, la macroporosidad, y la heterogeneidad de nutrimentos (Whitford, 2000).

Por lo tanto, la bioperturbación es importante para el mantenimiento de la heterogeneidad temporal y espacial en los ecosistemas áridos y semiáridos. Los disturbios generados pueden ser resultado de un simple evento y otros por el uso continuo. En el desierto de Chihuahua hay un número importante de animales que generan perturbación. En este sentido, la relación entre el área total bioperturbada y los indicadores de desertificación ó degradación de un ecosistema soportan la hipótesis de que la degradación del pastizal desértico impacta negativamente los procesos en el suelo (Jackson *et al.*, 2003).

En México, como en el resto del mundo, en los últimos dos siglos, pero sobre todo en las últimas cuatro o cinco décadas, la actividad humana se ha convertido en un factor de modificación profunda de la naturaleza y de los procesos ecológicos. Podría decirse que existe una era especial, el “Antropoceno”, caracterizada por la intensa huella ambiental que la actividad humana imprime a los ecosistemas que albergan la biodiversidad (CONABIO, 2006).

La restauración de ecosistemas degradados es una tarea muy rezagada en el país y se ha limitado principalmente a la reforestación y a la recuperación de algunas especies prioritarias. Desde la década de los años treinta, los programas de gobierno han fomentado la reforestación; no obstante, ha faltado la precisión técnica, una selección adecuada de especies, los recursos económicos para su mantenimiento y el involucramiento social efectivo, por lo que el éxito ha sido pobre. A partir de la década de los noventa, las políticas públicas empezaron a ampliar el enfoque de la restauración más allá de la reforestación. Así, de 1994 a la fecha, las dependencias responsables se han planteado entre sus objetivos prioritarios la conservación y la reversión de los procesos de deterioro, es decir la restauración. Para ello se han implementado varios proyectos, como son el Programa de Conservación y Restauración Forestal (Procoref)

que incluye acciones de conservación de suelos, la sanidad forestal y la reforestación; se ha utilizado la figura de zonas de restauración ecológica para rescatar sitios siniestrados de gran interés ambiental; programas que contribuyen a la recuperación de áreas forestales con un sesgo productivo, como el de Plantaciones Forestales (Prodeplan); el de la Recuperación de Especies Prioritarias (PREP), y la eliminación de especies exóticas invasoras (Carabias y Arriaga, s/a).

En el Anexo 3 se enuncian las medidas que se han adoptado en el Gobierno Federal a partir del 2002, para ajustar o reforzar el marco institucional relacionado con el medio ambiente, en especial con la protección y conservación de los recursos naturales y con la lucha contra la pobreza en el medio rural (SEMARNAT, 2002a).

Chocano *et al.* (2007) señalaron que en la agricultura ecológica (AE), dentro de sus fundamentos, se reconoce al suelo como la base de una buena gestión agraria por lo que su manejo debe realizarse con el objetivo de proteger y mejorar su estructura, la actividad biológica y la fertilidad. Asimismo señalan que la gestión agroecológica en las fincas reduce el uso de insumos externos (fertilizantes químicos solubles, insecticidas y herbicidas), respeta la capacidad natural de los cultivos y el ganado y hace al agrosistema autosustentable. Para un manejo juicioso de los recursos en la agricultura es necesario un enfoque global del agrosistema ligado al manejo de los demás factores de producción: la fertilización orgánica, el laboreo racional, las cubiertas vegetales bien manejadas, las rotaciones y asociaciones, el mantenimiento de la biodiversidad, las variedades adaptadas, y los tratamientos culturales, entre otras.

Toda vez que la agricultura es una actividad productiva que implica la remoción de la cobertura vegetal natural, es importante mencionar a la agricultura sustentable como una opción menos dañina para el ambiente, en comparación con la agricultura intensiva que depende de agroquímicos y maquinaria pesada. Para que la agricultura sea sustentable hay que manejar adecuadamente el suelo, el agua y las especies que se cultivan, de manera que la capacidad productiva del agrosistema no se agote. Cuando las poblaciones humanas viven en un medio ambiente sano, en el que hay disponibilidad de recursos naturales, de agua y aire limpios, y generan sus ingresos a partir de un uso

adecuado de los recursos naturales, entonces se mejora la calidad de vida de los habitantes de esas poblaciones (Carabias, 2009). Sin embargo, la degradación está acompañada de niveles crecientes de pobreza rural y urbana, que a su vez agudizan el deterioro e incrementan sus altos costos sociales y económicos (Pérez y Tomasini, 2002).

Por lo anterior, las perspectivas de desarrollo sustentable son poco promisorias en países como México, debido, por un lado, a diversas condiciones naturales que predisponen al deterioro de la tierra y por otro lado, a causa de factores políticos, económicos y culturales que inducen el deterioro. Poco se puede hacer para modificar las condiciones naturales, por lo tanto, las acciones para tender a ese desarrollo deben enfocarse hacia las causas inducidas por el hombre, como: re-valorar la actividad agropecuaria y forestal, revertir la descapitalización del campo, combatir eficazmente la pobreza, impulsar la educación y fortalecer una ética de la tierra. ¿Habrán la suficiente concienciación y voluntad política para todo esto? De ello depende que el desarrollo sustentable sea posible de alcanzar, o una utopía (Becerra, 1998), y por ende los efectos del proceso de desertificación se minimicen.

Para Pérez (2005), el deterioro de los recursos en las tierras secas o la propia incapacidad para incrementar la productividad del sistema agrícola generan permanentes flujos migratorios hacia los centros urbanos. Estas migraciones desestructuran a las familias rurales, generan una importante pérdida cultural y, por sobre todo, incrementan la pobreza extrema en los centros urbanos.

La desertificación no sólo afecta al medio rural, también deteriora los núcleos urbano-industriales. Una de las alternativas que toman los campesinos en respuesta al deterioro de sus tierras es la emigración a la ciudad, provocando con ello un exagerado crecimiento de los núcleos urbano-industriales, y como éstos no tienen capacidad para absorber a toda esa mano de obra, se establecen “cinturones de miseria” donde lo común de estos lugares son el desempleo, la falta de servicios, la inseguridad y todos los factores que conlleva la pobreza. El círculo vicioso de la pobreza y el deterioro del suelo se acrecienta por la falta de capital y de oportunidades para realizar una

explotación adecuada, manteniendo frecuentemente prácticas poco eficientes (Oswald, 2006; Ceja, 2008). Para un efectivo control de la desertificación, más que los efectos, hay que eliminar las causas que provocan ese deterioro. Por lo tanto, las estrategias apropiadas deberían incluir la identificación de dichas causas, su jerarquización y la determinación de las acciones pertinentes para su control (Becerra, 1998). En este sentido, Ortiz *et al.* (1994) señalaron que la desertificación es provocada principalmente por causas inducidas (87 %), las cuales se deben a: a) la falta de concienciación, b) la falta de educación y c) el uso irracional de los recursos naturales, este último por desconocimiento, necesidad y afán de lucro. Por su parte Darkoh (1998) señaló que aún cuando las causas del exceso de pastoreo son a veces mecánicamente atribuidas al creciente número de animales, existen evidencias en zonas donde se practica en exceso el pastoreo de tierras secas, que hay otros factores cruciales que agravan la situación. Entre ellos, la presión demográfica en las tierras de cultivo de secano y la invasión cada vez mayor de agricultores en los pastizales adyacentes, tienden a disminuir las áreas de tierras de pastoreo disponibles e intensificar la práctica de pastoreo.

En virtud de que la producción agropecuaria genera desgaste de nutrientes del suelo, que la fertilidad del suelo por ende disminuye, debe promoverse asimismo la investigación del aspecto económico, para determinar si los agricultores de manera individual o la sociedad en su conjunto, continúan con el manejo actual de recursos o si implementan estrategias de restauración (Farquharson *et al.*, 2008).

La idea es proteger y/o restaurar el ambiente porque es necesario para el desarrollo humano, entendiendo que protección no significa no intervenir ni alterar los sistemas naturales. La sustentabilidad demanda respetar, en la intervención, los umbrales que permitan que el ambiente mantenga a largo plazo sus capacidades sostenedoras de vida. Se considera que el manejo sustentable de las tierras de uso agropecuario deben incluir: 1) la necesidad de conservar el suelo, el agua y la diversidad genética a partir de mejoras en los sistemas productivos; 2) que dichas mejoras sean asimiladas y conducidas por los propios productores y, 3) que sean viables económicamente y representen mejores ingresos para los pobladores (López, 2006). La nula o escasa capacitación y actualización de los productores rurales sobre el manejo adecuado de sus

recursos naturales, ha sido una limitante más para la producción y sobre todo para el manejo sustentable de dichos recursos. Ante el conflicto de pobreza y deterioro de los recursos naturales es necesario revalorar el campo para vivir y sobrevivir, compatibilizar la competitividad y la sustentabilidad y estar convencidos del papel trascendental que deben desarrollar los hombres del campo, no sólo como productores de alimentos, sino como ciudadanos productores de energía renovable o protectores de las riquezas naturales (Tarango, 2005).

La desertificación provoca serios impactos en la sociedad y su economía, tanto a escala global como nacional o local. La cuantificación y adecuada valorización económica de su impacto, junto con el análisis de los factores socioeconómicos como causa y consecuencia de la degradación, son elementos claves de la política ambiental rural en la región (Pérez y Tomasini, 2002). A continuación se discuten algunos de los avances científicos en la investigación del proceso de desertificación en México y el mundo.

1.1.3. Avances en la investigación científica sobre desertificación.

La desertificación es un tema que involucra amplios aspectos, de orden político, económico, cultural, biológico y por ende, el académico. Se reconoce que las causas antropogénicas han acelerado los procesos de desertificación en todo el mundo, sin desconocer las causas naturales. Se concibe como un proceso global de deterioro ambiental de las tierras secas que, además de afectar al medio biofísico, ocasiona un impacto importante en la vida humana, al tiempo que los grupos sociales son vistos como agentes que contribuyen a aumentar este proceso. En este contexto, pobreza y desertificación se hallan enlazadas y se constituyen en un "círculo dilemático" en el marco del cual, la "pobreza" conduce a la explotación indiscriminada de los recursos, esta dinámica provoca la degradación general del sistema y esta condición vuelve a acentuar la pobreza.

Por lo anterior, la desertificación es un problema complejo, de naturaleza sistémica, que afecta la estructura y el funcionamiento de las tierras secas y que abarca múltiples relaciones entre factores biofísicos, socioeconómicos, políticos e institucionales. La

lucha contra la desertificación, aún cuando se focaliza las consecuencias de estos procesos (disminución de la calidad de vida de las poblaciones afectadas, pérdidas y limitaciones de sus actividades productivas, relaciones recíprocas de estos procesos con la pobreza y la exclusión) también debe considerar sus causas, no apartándose de los conceptos de participación, de inclusión social y de equidad territorial (Abraham *et al.*, 2006).

La FAO⁵ ha trabajado en los últimos años sobre el tema de la desertificación, y su sitio *WEB* tiene como objetivo principal asistir a las partes interesadas y a las redes nacionales, regionales e internacionales implicadas en el desarrollo sustentable de las zonas áridas y en particular en la ejecución de la Convención de Lucha Contra la Desertificación (UNCCD). El sitio *WEB* contiene información y datos técnicos y científicos disponibles en la FAO, así como enlaces a diversos sitios *WEB* de contenido informativo sobre desertificación. La información disponible en este sitio representa una parte significativa del conocimiento y experiencia de la FAO en el desarrollo sostenible y ordenación de las zonas áridas. Además, existen otros sitios que muestran los avances en la lucha contra la desertificación alrededor del mundo, sin embargo, al analizar la información se observa el matiz político de los gobiernos y organismos internacionales por intentar concentrar recursos económicos en la lucha contra la desertificación. No obstante el esfuerzo, los recursos destinados a países del continente africano que están seriamente afectados por este proceso de degradación ambiental, no han logrado minimizar los daños causados por las actividades humanas principalmente.

México no es la excepción; la SEMARNAT, la CONAZA, la CONAFOR, entre otras, presentan en sus sitios *WEB*, información referente a programas gubernamentales que buscan mejorar las condiciones de las comunidades que habitan las regiones del país afectadas por la degradación del suelo y agua, pero que han quedado en eso, en programas sexenales, trienales ó anuales, que solo alivian por un momento las necesidades de estas comunidades, sin ser un remedio permanente ante la grave situación que presentan muchas regiones del país, con suelos que se han erosionado o bien están contaminados por plaguicidas, principalmente. La investigación científica se

⁵ www.fao.org. Consultado el 26 de enero de 2007.

ha enfocado en los últimos años, a buscar información que redunde en mejores prácticas agrícolas que minimicen la pérdida de suelo, o bien, en mejorar el uso del agua que permita mantenerla en niveles sustentables. Sin embargo, dentro de los múltiples problemas que emergen en los estudios de la desertificación, los de índole metodológica revisten un papel destacado. Evidentemente, de contarse con metodologías apropiadas, los procesos de desertificación podrían evaluarse integralmente, incorporando la visión holística que se recomienda desde los organismos internacionales, además de desarrollar los sistemas necesarios de alerta temprana que, en el futuro, permitirían dejar de trabajar en la emergencia y la vulnerabilidad extrema.

La desertificación resulta de mecanismos y de procesos complejos e interactivos que dependen de una amplia gama de factores en diferente tiempo y lugar. Su monitoreo requiere de detalles de las condiciones biofísicas y socioeconómicas de los ambientes degradados, pero además del entendimiento de los mecanismos y procesos, resultado de estas condiciones. El monitoreo requiere el establecimiento de parámetros básicos para definir efectivamente las condiciones del ambiente y sus relaciones dinámicas en espacio y tiempo. Entonces, las interacciones entre los factores que inducen la desertificación deben ser analizadas y modeladas. En este sentido, los indicadores se utilizan en la evaluación, monitoreo y pronóstico, porque traducen procesos, situaciones y su evolución en una forma resumida (Cornet, 2002).

Como con muchos otros términos, el “indicador” tiene un uso muy amplio como señaló Cornet (2002) quien definió lo siguiente:

- a) *Indicador: parámetro o valor calculado con base a otros parámetros, dando indicaciones alrededor o describiendo el estado de un fenómeno en el ambiente o en un área geográfica particular, y cuyo alcance es más amplio que la información enlazada directamente al valor de un parámetro normal.*
- b) *Índice: grupo de parámetros cargados o agregados o de indicadores que describen una situación particular.*
- c) *Parámetro: característica medida u observada.*
- d) *Prueba patrón: una prueba patrón es una norma en relación a la cual los indicadores o los índices se pueden comparar con objeto de determinar tendencias.*

Los indicadores ejercen, según el OCDE (1993) citado por Cornet (2002), dos funciones principales: 1) reducir el número de medidas y de parámetros que normalmente pueden

ser necesarios para precisar una situación; 2) simplificar el proceso de comunicar resultados de medidas a los usuarios.

Su objetivo es condensar una gran cantidad de información en pocas medidas entendibles, que ayuden a decidir qué acción tomar. Para hacer esto, los indicadores tienen que ser correlacionados con los objetivos, expresados en los términos compatibles con los objetivos. Un buen indicador debe ser relevante al problema estudiado, basado en datos y análisis confiables, y responder a las necesidades del usuario. Debe ser suficientemente sensible para indicar fácilmente los cambios realizados (Rubio y Bochet, 1998).

Por su parte, Abraham y Torres (2007) señalaron que los indicadores se entienden como descriptores del estado y de la tendencia del proceso de desertificación, de modo que podrían constituir herramientas altamente valiosas en tanto permiten:

- *Representar la complejidad y características que alcanzan los procesos de desertificación en cada país, subregión y región, dando cuenta de la gravedad de los procesos de empobrecimiento social, económico y ambiental que se constituyen en fuerzas conducentes de aquellos.*
- *Observar y determinar la sustentabilidad de los sistemas y predecir sus tendencias.*
- *Activar la comunicación y participación en los diferentes niveles, consolidando la formulación y puesta en práctica de Planes de Acción Nacional, Regional y/o Local, optimizando su administración para obtener resultados más eficientes, tanto en la formulación como en la ejecución y medición del impacto generado.*
- *Colaborar en el proceso de toma de decisiones en tanto permiten analizar, predecir, determinar y modificar las acciones que favorecen el desarrollo sostenible y la formulación de políticas proactivas.*
- *Aportar al convencimiento de las instituciones financieras acerca de la gravedad del fenómeno y de la necesidad de encarar medidas correctivas.*
- *Contribuir a la retroalimentación de las experiencias internacionales, la comparación de procesos y problemas de cada región y país, obteniendo*

así mejores resultados en el proceso de lucha contra la desertificación en el mediano y largo plazo.

En el marco de las interrogantes de índole metodológica, el uso de indicadores y puntos de referencia se presentan como una opción que podría colaborar en resolver las dificultades encontradas, sin embargo, no se debe soslayar la necesidad de que esos indicadores y puntos de referencia sean referidos a un contexto más amplio, dado por los sistemas integrales de evaluación (Abraham *et al.*, 2006).

Se asume que los indicadores y puntos de referencia son una herramienta de evaluación entre otras y que, a los efectos de que sean útiles, deben ser interpretados en una doble faz, científica y política, dentro del contexto apropiado, considerando las características ecológicas, sociales, geográficas, económicas, culturales e institucionales de cada país y región. La desertificación y su contra-cara, la lucha contra la desertificación, pueden ser comprendidas desde la perspectiva de los sistemas complejos (García, 1986), contexto en el cual un fenómeno complejo “...*está compuesto de elementos interrelacionados, de manera lineal y no lineal, dados en un solo o distintos planos temporales y espaciales*” (Ciurana, 2001). Este enfoque teórico-metodológico permite generar un sistema de indicadores sobre la desertificación, válido para la toma de decisiones en situaciones donde la realidad genera continuamente hechos nuevos. En la evaluación de riesgos socio-ambientales, así como en la cuantificación de los efectos regionales y globales de los posibles cambios climáticos, la tendencia es recurrir a la evaluación integrada. De este modo, aparece como natural la necesidad de que los sistemas integrados de evaluación de la desertificación enfatizen su consideración como sistema complejo (Parson y Vandem, 1997).

Identificar y construir un indicador pertinente, para facilitar la toma de decisiones en la lucha contra la desertificación y la manera de articularlos en un modelo de datos que los interrelacione, no es tarea sencilla. Un indicador es una descripción simplificada de un fenómeno complejo de la realidad. Los indicadores se desarrollan a partir de parámetros estadísticos, pero deben ofrecer una mayor facilidad para transmitir información que los datos y estadísticas complejos, constituyendo una herramienta útil para comunicar el

estado de situación en materia de desertificación a responsables políticos, a técnicos y al público. Constituyen asimismo un compromiso entre la información sinóptica de calidad requerida por los usuarios y la necesidad de exactitud y precisión de los científicos y estadísticos y reducen la cantidad de mediciones necesarias para dar una idea representativa y exacta del estado de situación. Un indicador es, por lo tanto, un descriptor del estado y de la tendencia de un proceso (OECD, 1991; Winograd, 1994; Ridway, 1995; World Bank, 1995), orientado a facilitar la toma de decisiones en la lucha contra la desertificación.

Un indicador puede ser simple o complejo, como es el caso de los índices. Un indicador aislado o una combinatoria de indicadores, generalmente no resulta suficiente. Debe tenderse a construir y aplicar series de indicadores o modelos de datos, concebidos como un esquema analítico formado por indicadores articulados (Abraham *et al.*, 2006).

Hernández *et al.* (2000) reportaron el estudio de un indicador de desertificación para zonas agrícolas, determinado por la relación entre la producción agrícola total y el consumo de fertilizantes inorgánicos (N, P, K), para la agricultura española en la región de Murcia, que indica como responde la tierra a la fertilización con el tiempo. El indicador está basado en la observación temporal de la pérdida de fertilidad de los suelos agrícolas cuantificada por la tasa de consumo de fertilizantes inorgánicos, respecto de la producción agrícola total. Sus resultados validan a este indicador para determinar procesos de desertificación provocados por prácticas agrícolas insostenibles e inducir estudios más profundos de degradación del suelo. En las etapas iniciales de degradación, la productividad de un agroecosistema puede ser enmascarada por el incremento de la aplicación de abonos, de insecticidas, agua y costos de cosecha, y si los efectos destructivos como pérdida de materia orgánica, erosión, lixiviado de nutrientes y salinización continúa, la degradación es probable que alcance un punto en que sus efectos sean difíciles de vencer ecológica o económicamente (Hillel y Rosenzweig, 2002).

Lee *et al.* (1995) señalaron que se hace necesario el desarrollo de indicadores basados en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos agrícolas, que midan la

sostenibilidad a escala local y más específicamente a nivel de tipo de cultivo sobre unos suelos determinados.

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) propuso el estudio de las cuencas hidrográficas como una alternativa para el análisis de las relaciones hombre-ambiente, ya que éstas son consideradas una unidad física, y asimismo una región natural (Espejel *et al.*, 2005). De acuerdo con Dourjeani *et al.* (2002), la cuenca hidrográfica es un territorio delimitado por la propia naturaleza, esencialmente por los límites de las zonas de escurrimiento de las aguas superficiales que convergen hacia un mismo cauce.

La salinización del suelo es el principal problema de las zonas áridas que conduce a la desertificación. Reduce la calidad del suelo y limita el crecimiento de los cultivos (Khan *et al.*, 2005). El control de este problema implica el inventariado, mapeo y monitoreo de la salinidad del suelo, que requiere de métodos rentables, rápidos y confiables, para determinar la salinidad del suelo en el campo (Amezqueta, 2006).

De acuerdo con Villa *et al.* (2006), la salinidad del suelo es un problema que se incrementa año con año en las regiones áridas y semiáridas del mundo como consecuencia de una baja precipitación y un mal manejo del agua de riego y de los fertilizantes. Por lo tanto, se requieren desarrollar prácticas de manejo para minimizar los efectos adversos de la salinidad en la producción agrícola, como el manejo adecuado de la fertilización nitrogenada, esto a su vez requiere de entender los mecanismos que determinan la respuesta de la planta a la salinidad, a la nutrición del nitrógeno y a la interacción entre ambos.

La conservación de los suelos, así como su recuperación cuando están afectados por las sales, es de gran importancia para la producción agrícola, y su atención está relacionada con las causas del ensalitramiento de los mismos, que pueden ser: su origen, su manejo y utilización, así como las fuentes y calidad del agua de riego y los factores que intervienen en las propiedades físicas y químicas de los suelos. Algunos investigadores han estudiado estos aspectos utilizando métodos físicos, eléctricos, hidrotécnicos y

químicos. En la práctica, regularmente los métodos de mayor uso son los químicos, como es la aplicación de ácido sulfúrico (H_2SO_4) y yeso agrícola ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$); sin embargo, estos métodos aplicados en amplias extensiones resultan costosos, tanto por las cantidades de material que se utilizan, como por la aplicación de los mismos, ya que en algunos casos se requiere de equipo especializado. El uso de algunos cultivos forrajeros en el mejoramiento de suelos salinos sódicos, representa una alternativa económica y sustentable, ya que además de reducir la salinidad pueden ser aprovechados como cultivos de amplia cobertura en grandes extensiones de suelo, para la disminución de la erosión y la producción de forraje para el ganado (Ruiz *et al.*, 2007).

Por otro lado, la carencia, el desarrollo y la inadecuada gestión del agua, son las causas básicas de la degradación ambiental y de la desertificación en muchas regiones áridas (Wang y Takahashi, 1999; Funakawa y Kosaki, 2007). Los signos, la magnitud y la severidad de la desertificación se pueden establecer a través de indicadores hidrológicos tales como, la reducción del área de los cuerpos de agua, el incremento en los escurrimientos y la disminución de la infiltración del agua de lluvia, incrementando la erosión del suelo, la sedimentación, y el deterioro de los acuíferos. Estudios de caso conducidos en la zona árida de la India, demostraron que las interacciones de los seres humanos, con la tierra y el agua, han causado la desertificación en áreas extensas (Sharma, 1998).

Wang y Takahashi (1999) establecieron un índice de déficit de agua, WDI, (water deficit index), en un modelo regional para evaluar el impacto de la desertificación en él. El modelo regional es una simplificación, pero interdisciplinario, que combina mediciones meteorológicas con el suelo, la vegetación, y los datos de uso del suelo derivados de las mediciones de teledetección. Un índice físico que representa el estado de déficit hídrico de una zona heterogénea a gran escala se obtuvo con el uso del índice de déficit de agua de Moran *et al.* (1994) citado por Wang y Takahashi (1999), definido como:

$$WDI = 1 - \left| \frac{Ea}{Eo} \right|$$

donde: E_o y E_a son la evapotranspiración actual y potencial, respectivamente. El WDI varía de 0 a 1. $WDI= 0$ significa que la superficie de la tierra es muy húmeda y cubierta por bosques, bien regado, o suelo saturado de agua, y $WDI= 1$ significa que la superficie se encuentra en una condición extremadamente árida o completamente cubierto por el desierto. Los resultados de este estudio confirman que el déficit de agua de la superficie de la tierra está estrechamente relacionado tanto con las condiciones climáticas, como con las propiedades de la superficie. La superficie de la tierra está sufriendo grandes cambios debido al uso de la tierra y pueden influir en el cambio de energía y los flujos de agua con la atmósfera.

Según Letey *et al.* (2003) la calidad del agua es definida como “*las propiedades químicas, físicas y biológicas del agua que afectan su uso*”. De acuerdo con lo anterior, la calidad del agua no puede ser definida hasta que su uso sea especificado. Desde un punto de vista agrícola, la calidad del agua se refiere al tipo y la cantidad de sales presentes en ella; su efecto sobre el suelo y sobre el desarrollo y crecimiento de los cultivos. Las características más importantes que determinan la calidad del agua para riego son la concentración total de sales solubles, la concentración relativa del sodio con respecto a otros cationes, la concentración de boro u otros elementos que puedan ser tóxicos como el sodio y cloro (De Pascale y Barbieri, 1995), y bajo ciertas condiciones, la concentración de bicarbonatos (alcalinidad) con relación a la de Calcio y Magnesio (dureza), conocida esta diferencia como RSC, Carbonato de Sodio Residual, de sus siglas en inglés (Residual Sodium Carbonate). Los principales iones que se evalúan en el agua son calcio (Ca^{+2}), magnesio (Mg^{+2}), sodio (Na^+), potasio (K^+), sulfatos (SO_4^{2-}), cloruros (Cl^-), carbonatos (CO_3^{2-}) y bicarbonatos (HCO_3^-). La calidad del agua de riego se determina de varias formas, incluyendo el grado de acidez y alcalinidad (pH), la conductividad eléctrica (CE), el carbonato de sodio residual (RSC), la relación de adsorción de sodio (RAS), la salinidad efectiva, la salinidad potencial, el índice de permeabilidad (Ayers y Westcot, 1985; Aguirre, 1993).

Cortés *et al.* (2009) al analizar índices de calidad del agua del acuífero del valle del Yaqui, Sonora, México, encontraron que el 19 % de las muestras presentaron valores de CE que se ubicaron en un promedio de 4.25 dS m^{-1} . En el caso del Na^+ y el SO_4^{2-} , todos

los valores se ubicaron dentro del intervalo reportado para aguas agrícolas por Ayers y Westcot (1985) que son de 0 a 40 y de 0 a 20 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, respectivamente.

Por su parte Castro *et al.* (2009) señalaron que los sulfatos (SO_4^{2-}) después de los bicarbonatos, son los principales aniones presentes en el agua; los cuales pueden presentarse de manera natural, o como consecuencia de descargas de aguas industriales y por la utilización de fertilizantes agrícolas. Cuando los sulfatos se presentan de manera natural es posible que su origen se deba a algún depósito natural de minerales o por deposición atmosférica. En su estudio sobre las aguas subterráneas en Ticul, Yucatán, México, observaron que los sulfatos en el mes de junio variaron entre 11.9 y 1.7 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ y en septiembre entre 11.3 y 2.8 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$. Detectaron incrementos de concentración en la zona donde se encuentra el mayor número de unidades agrícolas debido a la infiltración de los fertilizantes sulfatos utilizados por los agricultores. Asimismo, analizando las concentraciones de cloruros, reportaron que para junio el máximo valor registrado fue de 19.2 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ y el mínimo valor registrado fue de 2.8 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$. Para el mes de septiembre el máximo fue de 16.8 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ y el mínimo de 2.8 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$. Observaron también que las concentraciones de cloruros se reducen de junio a septiembre debido probablemente a la infiltración de agua de lluvia en la época de recarga. Concluyeron que los sulfatos presentes en el agua subterránea de la zona Sur de la Sierrita de Ticul no provienen de las evaporitas que se localizan a más de 120 m de profundidad y que el origen posible sean los fertilizantes que ingresan al acuífero por la infiltración del agua de lluvia en la época de recarga.

Cabe resaltar los efectos de la salinidad del agua de riego sobre el desarrollo de las plantas de cultivo. Villa *et al.* (2006) reportaron que la salinidad incrementó la tasa de absorción neta de sodio y cloro por unidad de peso seco de la raíz de chile, durante el primer y último periodo de desarrollo, sobre todo en el primero. La salinidad también incrementó el transporte de sodio desde la raíz a la parte aérea durante el primer y segundo periodo de desarrollo, con mayor efecto en el segundo. La salinidad incrementó la concentración de sodio y cloro en cada componente de la planta y a medida que esta aumentaba, las concentraciones fueron mayores en la parte aérea.

Históricamente, la alcalinidad ha sido utilizada como un indicador de la productividad de lagos y ríos caudalosos, donde los niveles de alcalinidad altos indicarían una productividad alta y viceversa. Dicha correlación se debe, en parte, a que la disponibilidad del carbono es mayor al incrementar la alcalinidad, y también al hecho de que las rocas sedimentarias que contienen carbonatos a menudo contienen también concentraciones relativamente altas de N y P (en comparación con el granito, otras rocas ígneas y regiones donde el lecho rocoso ha sido desgastado y lavado, los cuales generalmente contienen bajas concentraciones de estos dos nutrientes limitantes y del CaCO_3). En su estudio, Garbagnati *et al.* (2005) reportaron que no encontraron diferencias significativas entre la época de sequía y estival, en los parámetros de alcalinidad, cloruros, dureza, fósforo total, magnesio, nitrato, pH, potasio y sodio. Observaron valores más elevados de conductividad en la época de sequía.

El manejo del agua salina para el riego se realiza a menudo en la aplicación de excesos de agua, lo cual se diseña para mantener la salinidad mínima en la zona de la raíz y así minimizar la salinidad que causa reducción del rendimiento (Ayers y Westcot, 1985). La salinidad del agua de riego disminuye la transpiración y la producción de biomasa en pimientos. La magnitud de la respuesta a la salinidad depende del nivel de la lixiviación de las sales en la zona radicular. El riego con agua salina bajo condiciones áridas puede ser problemático a pesar del potencial de su uso para un éxito económico. El agua utilizada para lixiviar las sales y mantener las condiciones de rendimiento máximo, debe ser dispuesta fuera de la zona radicular. Esta agua, lleva otros contaminantes agrícolas y naturales, junto con el exceso de sales, y representa una seria afectación ambiental (Thomas y Middleton, 1993; Ben *et al.*, 2008).

Por lo anterior, el riego con agua salina-sódica ($\text{CE} = 3\text{-}8.5 \text{ dSm}^{-1}$ y $\text{SAR} = 14\text{-}26$) aumenta de sodicidad del suelo (Mantell *et al.*, 1985). El exceso de sodio intercambiable (Na^+), asociado con un $\text{pH} > 8.5$, causa la degradación de las propiedades físicas de los suelos, y adversamente afecta el movimiento del agua y el aire, la erosionabilidad del suelo y el crecimiento de las plantas. La calidad del agua de riego tiene un papel importante en la producción agrícola y tiene un profundo impacto sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. Sin embargo, el uso de agua de mala

calidad, en muchas regiones áridas y semiáridas, ha sido inevitable para el riego, para compensar rápidamente la creciente demanda de otros sectores (Jalali *et al.*, 2008). Xu *et al.* (2008) señalaron que la acumulación de sal tiene lugar principalmente a una profundidad de 45 cm en lugar de la superficie del suelo. El incremento del nivel freático de las aguas subterráneas aumenta el movimiento del agua y la sal en la columna de un suelo franco limoso, lo que conduce a la redistribución de la sal en la columna de suelo.

Los criterios de calidad del agua para el riego deben considerar tanto el impacto directo sobre el rendimiento de los cultivos y los efectos indirectos relacionados con las propiedades físicas y químicas del suelo (Suárez *et al.*, 2006). Sin embargo, otras fuentes naturales y antropogénicas pueden además contribuir a la salinización del agua subterránea en acuíferos costeros. Cuando el desarrollo del servicio de agua para la agricultura o servicio público está basado en la extracción de agua en un acuífero costero en una región árida, otras fuentes de salinidad pueden contribuir a la salinización del agua subterránea extraída. Estas fuentes pueden ser la concentración de sales en la zona insaturada, disolución de sales en la zona saturada, así como, efluentes relacionados con las actividades humanas. Otros ejemplos de salinización están conectados con la intrusión de agua de mar y procesos de contaminación relacionados al bombeo de residuos sólidos urbanos (Cardona *et al.*, 2004).

El incremento de usuarios urbanos, industriales, recreativos, ambientales, compiten por el agua de uso agrícola. Aunque la variabilidad espacial y temporal anual total son relativamente constantes, el aumento en la competencia, por lo tanto, hace imperativo la conservación y buen manejo del agua en la agricultura, ante el crecimiento poblacional (Unger y Howell, 2000).

Rascón *et al.* (2008) señalaron que una de las alternativas para remediar la falta de agua en las zonas áridas y semiáridas del Norte de México, donde anualmente hay disminución en la producción agrícola por falta de precipitación, es aprovechar para riego agrícola el agua residual generada por la población urbana y por las industrias. En su estudio encontraron que el agua residual municipal y residual doméstica de la laguna

de almacenamiento de la planta de tratamiento de la UAAAN (Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro) impactaron de forma positiva las propiedades físicas evaluadas en el estrato superior del suelo, a excepción de la densidad de sólidos. El agua residual doméstica de la planta de tratamiento de la Escuela Forestal y agua de pozo profundo de la UAAAN no tuvieron un efecto tan evidente como el de las antes citadas, por lo cual recomendaron el empleo de las aguas residuales municipales para el riego de parcelas después del tratamiento respectivo para alcanzar valores que estén dentro de las Normas Oficiales Mexicanas.

Sin embargo, Pérez (2003) observó incrementos de sodio en el perfil del suelo, clasificado como salino sódico, debido al uso continuo (15 años) de aguas industriales, lo cual dañó letalmente plantas de coco, modificó las propiedades físicas y químicas del suelo y contaminó el suelo y las aguas del subsuelo. Dicha situación fue crítica, dado que los suelos de la llanura costera de Colima son arenosos, de origen aluvial y marino, y se consideran característicos de un ambiente frágil. Otro posible problema fue el alto contenido de Na que se aplica al suelo. La concentración promedio es de $1,081 \text{ mg L}^{-1}$ de sodio, lo cual es preocupante dada la cantidad de sodio que se añade al suelo; en consecuencia, el agua residual resultó inapropiada para riego de la mayoría de los cultivos agrícolas, ya que se incrementó el potencial de expansión y dispersión de arcillas, y la reducción de la conductividad hidráulica del suelo. Así, el incremento en sodio y otros cationes ocasiona una elevada acumulación de sales en los terrenos irrigados con el agua residual (Mace y Amrhein, 2001).

El efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales contiene materia orgánica, en suspensión y en solución. La mayor parte de la materia orgánica suspendida es retenida en la matriz del suelo, y se incorpora mejorando sus propiedades físicas y químicas (Mulvaney *et al.*, 2001). Aunque el cambio químico originado por el incremento en el contenido de materia orgánica del suelo es benéfico, dado que la mayoría de los suelos del área son arenosos, hay cambios colaterales porque la mayor parte del complejo de adsorción está dominado por sodio. Desafortunadamente en México, la investigación sobre el aprovechamiento de los nutrientes y la evaluación de la calidad sanitaria en cultivos prioritarios es escasa, y de igual manera sobre el cambio en las propiedades

físicas y químicas de suelo, que se ocasionan con el riego con aguas residuales (Pérez, 2003).

Los resultados de Muhammad *et al.* (2008) demostraron que la textura del suelo es un factor ambiental relevante para la salinización. El contenido de sal disminuye al aumentar el contenido de arena, probablemente debido a la elución de sales facilitada por el perfil y un reducido aumento del agua capilar en la superficie del suelo. Los efectos texturales están claramente relacionados a los efectos de la lluvia, que se encargaría de la elución de las sales. Sin embargo, los suelos arenosos almacenan cantidades más bajas de agua disponible para la planta y tienen un menor contenido de nutrimentos que los suelos arcillosos, contrarrestando los efectos positivos de baja salinidad. Por estas razones, el grupo de suelos salinos arcillosos contienen más materia orgánica del suelo y más biomasa de C microbiano que el grupo de los suelos arenosos no salinos.

La salinización afecta también a otros aspectos de la biósfera, con los consecuentes impactos en la sociedad humana, que incluyen la contaminación del agua potable, los efectos tóxicos sobre los microorganismos del suelo y los efectos que causan los suelos salinos anegados, convirtiéndose en un medio de cultivo para los microorganismos parásitos y las enfermedades (Szabolcs, 1987, citado por Thomas and Middleton, 1993).

En este sentido, se reconoce extensamente que la desertificación es una amenaza seria para los ambientes áridos y semiáridos que cubren más del 40 % de la superficie global de la tierra. No obstante la importancia potencial de este problema, sorprende que no hay consenso en la manera apropiada de determinar el estado de la desertificación de una sección de tierra. Asimismo, queda claro que la desertificación ha cambiado en la manera de valorarse, de estimaciones simples del movimiento interanual de los límites del desierto, a las investigaciones multivariadas complejas en el campo, y a las metodologías prácticas basadas en los indicadores del funcionamiento del ecosistema, por ejemplo eficiencia del uso de la lluvia. Los desafíos futuros para determinar la desertificación son: (1) la falta de situaciones de referencia contra la desertificación real que pueda ser comparada, y (2) las dificultades que aparecen cuando la desertificación

opera a través de cambios estructurales más que de cambios funcionales del ecosistema. La coexistencia de definiciones que están en conflicto y de estimaciones divergentes afecta negativamente la opinión de la sociedad, conduciendo al escepticismo y al retraso de soluciones eventuales (Verón *et al.*, 2006).

Wessels *et al.* (2007) emplearon datos de Índice de Vegetación Diferencial Normal (NDVI) y del Radiómetro de Alta Resolución, para modelar la producción primaria neta (NPP), y poder estimar la producción vegetal en Sudáfrica. Las interrelaciones de la precipitación con la producción vegetal son estrechas, por lo que los efectos de la degradación de la tierra inducida por el hombre se distinguen de los impactos de la lluvia con el análisis espectral de la NPP. El empleo de imágenes LANDSAT, SPOT y MODIS, provee una herramienta de cuantificación espacial detallada y descripción de la recuperación de patrones a escala local (Anyamba y Tucker, 2005).

En pastizales áridos y semiáridos, algunos modelos teorizan que la desertificación conduce a la sustitución de la vegetación por matorral. En la región de Qinghai-Tíbet, al noroeste de China, Li *et al.* (2006) condujeron un estudio en cuatro sitios de diferente estado de desertificación: leve, moderado, severo y muy severo (Danfeg *et al.*, 2006). Evaluaron cubierta vegetal, biomasa, especies dominantes, y algunos parámetros del suelo. Sus resultados mostraron que la proporción de limo decreció de 12 a 1 % del estado leve al muy severo; arcilla de 71 a 42 % y de arena de 17 a 93 %. La materia orgánica se redujo con la desertificación, que muestra la destrucción de la estabilidad de la estructura física y el contenido nutrimental del suelo, con la disminución progresiva de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K).

En consecuencia, un manejo adecuado de los pastizales y de la vegetación natural significará que la tasa de infiltración en el suelo se mantendrá elevada y el agua quedará retenida en el suelo para ser utilizada gradualmente por las plantas (Webb, 2002; Wilcox *et al.*, 2008).

La pradera es una de los reservorios más importantes de carbono y nitrógeno en los ecosistemas terrestres, dado que los pastizales representan más del 20 % de la superficie terrestre. En las regiones áridas y semiáridas, la desertificación de la tierra facilitada por

la erosión eólica, es el principal mecanismo que resulta en una disminución del carbono de los pastizales y el reservorio de nitrógeno debido a la erosión, lo que resulta en la reducción de la producción agrícola por eliminación selectiva de las partículas más finas del suelo, ricas en carbono orgánico y nitrógeno (Lowery *et al.*, 1995; Larney *et al.*, 1998.). Zhou *et al.* (2008) encontraron que el contenido de nitrógeno en el suelo y los componentes de la planta disminuyeron con el aumento de los niveles de la desertificación. La disminución del contenido de carbono fue más importante que la del contenido de nitrógeno. La disminución de carbono orgánico del suelo y el almacenamiento de nitrógeno total fueron significativos, mientras que la disminución de carbono y la concentración de nitrógeno en componentes de la planta no fueron significativas.

Por otro lado, uno de los componentes bióticos que confieren resistencia a la erosión del suelo es el grupo de costras biológicas criptogámicas. Algunas formas de vida, tales como las hierbas perennes, pueden ser más eficientes en la protección del suelo que la mayoría de arbustos, de plantas herbáceas o suculentas. Aunque el ambiente abiótico puede jugar un papel importante en la desertificación, los factores biológicos como el pastoreo de ganado también puede ser una fuerza impulsora de la desertificación de los pastizales (De Soyza *et al.*, 1998).

La diferencia en la evaporación del suelo desnudo entre el tipo arenoso y el característico de las zonas reforestadas se debe principalmente a la formación de costras biológicas del suelo. Por lo tanto la restauración de la vegetación es uno de los métodos más comunes y eficaces para luchar contra la desertificación y prevenir la invasión de arena en las zonas adyacentes en muchas regiones desérticas del mundo (Li *et al.*, 2000).

Las costras biológicas son el resultado de una relación fuerte entre las partículas del suelo y cianobacterias, algas, hongos, líquenes, y briofitas en diferentes proporciones, los cuales viven sobre el suelo o inmediatamente en los primeros milímetros del suelo. Las partículas del suelo son agregados de esta biota y forman una capa coherente sobre el suelo (Bates *et al.*, 2006). Belnap *et al.* (2001) consideraron que la costra biológica

mejora la infiltración, disminuye la erosión y coadyuva con el establecimiento de plántulas en comunidades desérticas con ambientes rigurosos. Dichos autores también mencionaron que algunos observadores creen que esta costra sella la superficie del suelo e incrementa los escurrimientos superficiales. Al parecer lo anterior está relacionado con procesos de secado y humedecimiento de la misma costra, que retarda o mejora la tasa de infiltración. Las costras biológicas ofrecen protección a la erosión causada por la fuerza del viento (Quiñones *et al.*, 2009). Por su parte Zhang *et al.* (2008) concluyeron que bajo precipitaciones intensas (10 a 20 mm), la costra biológica del suelo puede conservar más agua en su capa superficial y conducir a una mayor tasa de pérdida de agua, el efecto de la costra fue principalmente para disminuir la evaporación. Esto es importante en los procesos hidrológicos que ocurren en las zonas desérticas reforestadas (Zhang *et al.*, 2008).

Además de las variables climáticas y biofísicas, las relaciones que la población tiene con su tierra (uso del suelo, estrategias de manejo de suelo empleadas por los individuos y comunidades), son componentes importantes del manejo de los ecosistemas semiáridos que afectan los procesos de degradación y rehabilitación de suelos (Blaikie y Brookfield, 1987).

Hillel y Rosenzweig (2002) establecieron que la sequía, la producción y capacidad de carga, la degradación del suelo y las fuentes de agua, así como, el factor social, están muy relacionados con la desertificación. En este sentido, Danfeng *et al.* (2006) desarrollaron un índice de riesgo de desertificación (RI) con 20 factores socioeconómicos (agrupadas en los siguientes: demográficos, uso del suelo, estructura agrícola, producción agrícola, prácticas agrícolas), para explorar la variabilidad espacial y temporal del riesgo de la desertificación en el área de Minqin, China y para identificar fuerzas motrices locales posibles detrás del riesgo de la desertificación. Los factores fueron diferentes en 1988, 1992 y 1997, reflejando posiblemente el papel de variación temporal como un factor de desertificación. A través de un análisis de regresión múltiple evaluaron la relación entre el RI y las variables socioeconómicas de las comunidades. El promedio de ovejas por productor fue un indicador importante del cambio en el riesgo de la desertificación, mientras los cambios en las cosecha de

lomeríos explicaron la distribución de la tasa del cambio en el riesgo de la desertificación entre 1988 y 1992. Los resultados sugieren que el RI fue útil en expandir la comprensión de los asuntos temporales espaciales de la desertificación, así como, identificar un conjunto de actividades agrícolas relacionadas con el riesgo de la desertificación. Aún más, dada la naturaleza limitada de datos y observaciones coherentes para el área, el desarrollo del RI también sirvió para establecer una línea base para futuras investigaciones en el cambio de la desertificación y los riesgos que tal cambio quizás tenga para tal región.

En zonas agrícolas semiáridas, la sequía, referida a la desertificación, es un término subjetivo que designa años en los que el cultivo llega a ser una actividad improductiva, los cultivos fallan, y la productividad de los pastos disminuye significativamente. La sequía es una amenaza constante, un hecho de la vida con la cual los habitantes rurales en regiones áridas deben enfrentarse continuamente. La ocurrencia de sequía es una certeza, eventualmente; sólo el tiempo, la duración, y la severidad son dudosos. Durante una sequía la degradación del ecosistema en la forma de erosión del suelo y en pérdida de vegetación, ocurre en un ritmo acelerado (Hillel y Rosenzweig, 2002).

En este sentido, se han diseñado diversos indicadores para evaluar la sequía. Un ejemplo de ello es el Índice de Sequía de Palmer (PDI) que su valor representa la señal para iniciar o terminar un plan de contingencia contra la sequía. Este índice se calcula con una base de datos meteorológicos (temperatura, humedad) de 30 años, así como el contenido de agua disponible del suelo, como una medida simple de la severidad de la sequía meteorológica (Guttman, 1998). Asimismo, indica la severidad física de la sequía en el suelo y es considerado generalmente para ser usado principalmente en la agricultura y otras fuentes de agua, que son sensibles a la humedad del suelo. Palmer diseñó este índice para determinar la duración de una sequía.

McKee *et al.* (1993), citado por Guttman (1998), diseñaron un índice para cuantificar el déficit de la precipitación para escalas de tiempos múltiples, donde las escalas de tiempo reflejan el impacto de la sequía en la disponibilidad de agua en un determinado lugar. El llamado Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), es calculado tomando la

diferencia de la precipitación con respecto a la media y después dividiéndose por la desviación estándar. Pero como la precipitación no se distribuye normalmente para escalas de tiempo más cortos de 12 meses, se hace un ajuste que permite que el SPI se distribuya normalmente. Así el SPI tiene una media alrededor de cero y una desviación de 1. Esto es una ventaja porque se normaliza el SPI para poder representar climas más húmedos y más secos de la misma manera (Sánchez, 2001).

Rasmussen *et al.* (2001) desarrollaron un estudio de la reversibilidad del proceso de desertificación en el norte de Burkina Faso y entre otros métodos evaluados (análisis de ortofotos, muestreo de vegetación, imágenes SPOT), recurrieron al proceso de entrevistas empleando cuestionarios, donde los entrevistados tuvieron entre 30 y 60 años de edad. Las preguntas se dirigieron a conocer los cambios en la composición de la vegetación y la extensión de tierras vírgenes, agrícolas y ganaderas, de 1960 al año 2000. En sus resultados advirtieron que los efectos de la degradación de la tierra por el pastoreo intensivo y la presión del pisoteo se encontraron principalmente en la proximidad a las fuentes de agua. Sus observaciones demostraron que las generalizaciones en los procesos de degradación de la tierra, sobre la base de estudios de escala local, son arriesgadas. Existen variaciones significativas a nivel de paisaje, y las tendencias en la dinámica de los ecosistemas son a veces totalmente invertidas, incluso dentro de las regiones más pequeñas. Del mismo modo, las conclusiones relativas a la 'irreversibilidad' de la degradación, basadas en pocos años o décadas de observaciones pueden ser prematuras. Los cambios de los factores climáticos, de la vegetación, y aún más, del suelo, son del orden de décadas y se requieren largas series de observaciones.

Ugalde *et al.* (2008) estudiaron el proceso de regeneración del matorral desértico micrófilo (MDM) dominado por *Larrea tridentata* (Sessé & Moc. ex DC.) Coville, en la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, México. Para el trabajo de campo se seleccionaron siete sitios de muestreo afectados por actividades agrícolas desde uno hasta 50 años. Los métodos de cronosecuencias y de análisis multivariable permitieron reconocer que en el MDM el proceso de sucesión ecológica no ocurre en el sentido clásico, en el que ensambles más o menos definidos de especies son sustituidas por otros hasta formar una

comunidad madura. En su lugar ocurrió una autosucesión: la mayoría de las especies colonizadoras fueron dominantes en todos los sitios de la cronosecuencia analizada y en la comunidad madura. La composición de especies y el tiempo de recuperación post-disturbio se correlacionó con cambios en las características edáficas, principalmente con los valores del potencial de hidrógeno, de materia orgánica y de cationes del suelo. *L. tridentata* y otras especies estructuralmente importantes mostraron características tanto de especies pioneras como de clímax en la cronosecuencia, lo cual sugiere que las interacciones bióticas son muy importantes en el tiempo de regeneración del MDM en las zonas semiáridas de México.

En este sentido, la formación y regeneración de suelos cultivables es un proceso extremadamente lento, ya que se requieren siglos para formar un centímetro de suelo y milenios para producir suelo cultivable, lo cual depende de la actividad de la biodiversidad; pero no sólo las formas de vida en el suelo determinan su calidad y salud, existen otros factores causados por el hombre que inciden en él, como son: el uso insostenible del suelo, las prácticas inapropiadas de cultivo o pastoreo, y el desarrollo industrial y urbanístico (SEMARNAT, 2010).

No hay receta única para combatir la desertificación ya que las posibles dependerían del tipo de ecosistema y de la forma de explotación, agrícola y ganadera. Entre ellas están el combate a la deforestación, la construcción de cercas y uso de residuos agrícolas y animales; la plantación de árboles o arbustos para fijar el suelo; la rotación de cultivos, limitar el número de animales de pastoreo, entre otras (Schoijet, 2005). Los cercos vivos, las represas filtrantes, especies de pasto resistentes a sequía, el establecimiento de sistema silvopastoril zacate buffel-mezquite, pueden ser otras opciones para el control de la desertificación (Andrade *et al.*, 2009).

Por su parte, Kosmas *et al.* (2000) apuntaron que el efecto del abandono de las tierras en la restauración del suelo puede ser dependiente de las condiciones climáticas y del tipo de suelo de la zona. Los suelos bajo condiciones climáticas favorables que sustenten la cubierta vegetal puede mejorar con el tiempo mediante la acumulación de materiales orgánicos, incremento de la actividad de flora y fauna, y la disminución de la erosión

potencial (Trimble, 1995). Donde la vegetación se recupera lentamente y los procesos erosivos están activos, la restauración del suelo de las tierras abandonadas puede ser un proceso muy lento o irreversible (Kosmas *et al.*, 2000). El tiempo de restauración de un ecosistema degradado está también relacionado con la gravedad de la perturbación (Dobson *et al.*, 1997).

Es así que grandes extensiones de las tierras secas están experimentando la desertificación ó degradación de la tierra, causada por una compleja mezcla de factores. En muchas áreas, la cobertura vegetal ha sido eliminada o reducida drásticamente como resultado de las actividades humanas, incluyendo el sobrepastoreo y la recolección de combustible. Numerosos investigadores consideran que la degradación inducida por el hombre ha reducido considerablemente la capacidad de la tierra para soportar a los seres humanos, ganado y animales salvajes. Otros impugnan este concepto, sugiriendo que los cambios no afectan a los seres humanos materialmente, y lo que se ve es el resultado de la sequía, posiblemente intensificada en algunas zonas por el cambio climático (Fernández, 2002).

En este sentido, los intentos por evaluar la desertificación a nivel mundial, o inclusive nacional, han producido escasos resultados, debido a la gran variabilidad que presenta el fenómeno en los diferentes países. Pando *et al.* (2002) realizaron su investigación a nivel de microcuena, lo cual facilita la comprensión de los procesos de desertificación y permite, en mayor medida, la interacción con los habitantes de la zona y, en su momento, la aceptación de las medidas de rehabilitación que pudieran sugerirse a partir de este estudio. En él, se evaluó el tipo y grado de desertificación predominante en la microcuena y se determinaron, asimismo, los factores (geomorfológicos, edafológicos y de uso de suelo) asociados a los mayores niveles de desertificación.

Si bien los factores causales de la desertificación se han seguido estudiando, una dimensión que ha escapado la atención es la escala espacial (Lambin, 1993 citado por Darkoh, 1998). Gran parte de la controversia en torno al tema se refiere a la discrepancia entre la causa y efecto, diferentes escalas espaciales y sus efectos son percibidas y las causas (responsables de las amenazas) se están desarrollando. La

desertificación es detectada mejor y probablemente solo concebida sobre una escala continental y subcontinental –a nivel macro-. Sin embargo, esto es un producto de innumerables decisiones de uso del suelo a escala local -a nivel micro-.

Ahora bien, un análisis cuantitativo fue desarrollado para evaluar la importancia relativa del cambio climático y las actividades humanas en la desertificación mediante la selección del NPP (Producción Primaria Neta) como un indicador. El NPP potencial y la diferencia entre el NPP potencial y real fueron utilizados para representar los impactos del cambio climático y los factores humanos sobre la desertificación. Basado en este método, las funciones relativas que el cambio climático y las actividades humanas juegan en la reversión y expansión de la desertificación en la meseta de Ordos se evaluó a diferentes escalas espacio-temporales. Los resultados revelaron que aumentar la escala espacial resultó en el área del proceso primario de desertificación y sus procesos dominantes convirtiéndose más predominantemente a escalas más amplias de 1980 a 2000. Por lo tanto, las características dependientes de la escala deben ser consideradas al evaluar las causas de la desertificación (Xu *et al.*, 2010).

Durante el período de octubre 1995 a octubre 1996 fue monitoreado el sobrepastoreo de cabras para determinar los efectos en la cubierta de la hoja en cinco estratos verticales. Fueron evaluados la densidad aparente del suelo, las tasas de infiltración, el contenido de materia orgánica y la concentración de macro nutrientes del suelo, en un matorral espinoso tamaulipeco, del Noreste de México. Los cambios en la composición de especies de la cubierta vegetal y la compactación del suelo, se identificaron como primeras respuestas al sobrepastoreo dentro de este ecosistema (Manzano y Nájjar, 2000).

A menudo es difícil determinar el efecto total de la influencia humana sobre los ecosistemas de las cuencas hidrográficas, debido a la interacción sinérgica que existe entre la perturbación humana y las perturbaciones naturales. Estas interacciones en un paisaje crean estrés a los ecosistemas y las comunidades de los organismos vivos, (Randhir y Ekness, 2009); estos cambios afectan el manejo de cuencas, e incrementan la contaminación del agua y las medidas de control de la erosión (Isik *et al.*, 2008). Puesto

que la urbanización es un cambio del ser humano en el medio ambiente y afecta a las interacciones ecológicas, es considerado como una perturbación. El estudio de la ecología urbana reconoce el papel que desempeñan los seres humanos en el desarrollo de ecosistemas únicos (Parlange, 1998).

El proceso de urbanización produce cambios radicales en la naturaleza de la superficie y las propiedades atmosféricas de una región, debido a que la vegetación natural se elimina y se sustituye por superficies no evaporantes y no transpirativas, como el metal, asfalto y el concreto. Esta alteración puede ser inevitable en la transformación de la radiación, temperatura, humedad y las características aerodinámicas y de ese modo desequilibrar el balance de radiación solar natural e hidrológico (Oke, 1987). Un resultado, producto de la modificación de la radiación solar entrante es el contraste urbano-rural en el resplandor de la superficie y la temperatura del aire. La diferencia de temperatura del aire ambiente entre una zona urbana y sus alrededores se conoce como el efecto de isla de calor urbana (UHI) (Jáuregui, 1997; García *et al.*, 2009).

García *et al.* (2009) realizaron el análisis temporal y espacial de la temperatura del aire en el dosel urbano de la ciudad de Mexicali, B.C. y alrededores rurales. A una base de datos de largo período (1950-2000) se aplicaron varias pruebas estadísticas para identificar la variabilidad temporal de la temperatura. Se observaron tendencias positivas y estadísticamente significativas de temperatura mínima, con un valor de $0.66^{\circ}\text{C década}^{-1}$, en el área urbana, mientras que en las estaciones rurales se observaron valores menores; respecto a la temperatura máxima también se encontraron resultados estadísticamente significativos, pero con una tendencia negativa. Al realizar el análisis espacial, con una base de datos de época reciente (2000-2005), quedó de manifiesto la presencia de una masa de aire tibio nocturna en la atmósfera urbana, encontrándose que la diferencia máxima, entre la ciudad y sus alrededores, ocurre en invierno con un valor de 5.7°C . Concluyeron que el reemplazo de las tierras agrícolas de riego por tierras urbanas, la actividad humana y el crecimiento poblacional, son los mayores factores responsables de los cambios observados en los patrones de temperatura de la ciudad de Mexicali, B.C. Por lo tanto, la gestión basada en los diversos tipos de uso del suelo en cuencas hidrográficas puede permitir la mitigación de los impactos de la urbanización y

generar además, una planificación que prevenga daños futuros a los ecosistemas de la cuenca (Randhir y Ekness, 2009).

Los efectos del cambio de uso del suelo sobre la degradación del suelo o la restauración pueden ser evaluados también por la comparación de los cambios en algunas propiedades de los suelos, como el carbono orgánico y concentración de nutrientes. El cultivo de pastizales es acompañado por las pérdidas de Carbono (C) orgánico y nutrientes del suelo, lo que indica degradación del suelo (Zhao *et al.*, 2005). Por ello, el conocimiento de los cambios en el C del suelo y el contenido de Nitrógeno (N) es importante para determinar la calidad del suelo (por ejemplo, la fertilidad y la capacidad de retención de agua), la productividad del ecosistema y también para cuantificar la influencia de las tasas de cambio del ciclo de C y N y almacenamiento sobre el cambio climático global. Los ciclos de estos dos elementos a menudo desempeñan un papel esencial en la determinación de las características físicas y químicas de un suelo y por lo tanto en su fertilidad (Duan *et al.*, 2001; Mahdi *et al.*, 2005).

Por su parte, Zhou *et al.* (2008) señalaron que la destrucción de praderas debido al cultivo resulta en un aumento de la densidad aparente. Lal (2004) indicó que la pérdida de carbono orgánico del suelo se acentúa con la deforestación, la conversión del uso del suelo, la degradación del suelo y la desertificación.

Abera y Belachew (2011) reportaron los efectos de diferentes usos del suelo sobre su contenido de carbono orgánico y nitrógeno total. Tanto el carbono orgánico (SOC) como el nitrógeno total (TN) tuvieron variación en función del uso del suelo. Para la capa superior (0-5 cm profundidad), se encontraron altos contenidos de SOC (12.95 %) y TN (0.8 %) en suelos de bosque, mientras que valores bajos (2.56 % y 0.21 %, respectivamente) en suelos cultivados. El menor contenido de carbono orgánico en suelos cultivados fue resultado de menores entradas de materia orgánica y prácticas frecuentes de preparación del suelo las cuales promueven la oxidación de la materia orgánica. El contenido de SOC y TN declinó consistentemente a mayor profundidad del suelo bajo todos los esquemas de uso de suelo. Los valores SOC y TN indicaron la

necesidad de restablecer la materia orgánica del suelo mediante prácticas sustentables de manejo del suelo.

Las pérdidas de carbono y el nitrógeno del suelo a la atmósfera por desastres naturales inducido por el inadecuado manejo del suelo y el incremento de la desertificación contribuyen al calentamiento global (Zhou *et al.*, 2008; Reicosky, 1997). Se ha documentado que la gestión de los suelos para incrementar el carbono orgánico y almacenar nitrógeno a largo plazo se puede lograr mediante la implementación de prácticas de conservación del suelo y de la vegetación (Mahdi *et al.*, 2005).

La labranza de conservación y el restablecimiento de la vegetación son particularmente importantes en las tierras desertificadas (Su y Zhao, 2003), en tanto que el uso irracional de la tierra bajo condiciones de cambio climático puede reducir el almacenamiento de carbono orgánico y nitrógeno del suelo (Mahdi *et al.*, 2005), lo que lleva a una pérdida de productividad del suelo. Zhao *et al.* (2006) sugirieron que el pastoreo excesivo es un contribuyente importante a la desertificación de pastizales en regiones áridas y semiáridas, mediante la reducción de la cubierta vegetal y la exposición del suelo a la erosión por el viento. Duan *et al.* (2001) confirmaron que el almacenamiento de carbono orgánico y nitrógeno en el suelo disminuye significativamente con la desertificación de la tierra.

Zhao *et al.* (2009) condujeron un experimento de campo en los años de 2002 y 2003 en Horqin Sand Land, China, para investigar los cambios en los contenidos de C y N en relación con la desertificación de la tierra. Tres resultados primarios se derivaron de este trabajo. En primer lugar, la desertificación de la tierra se caracterizó por la erosión del viento que resultó en una disminución significativa de partículas finas del suelo (arcilla + limo) con el correspondiente aumento en el contenido de arena. En comparación con las tierras no desertificadas, el contenido de partículas finas del suelo disminuyó hasta en un 89.2 %, y el contenido de arena aumentó hasta un 47.2 %, en la tierra gravemente desertificada. En segundo lugar, el C orgánico y N total en el suelo se relacionaron principalmente con las partículas finas del suelo, y disminuyeron drásticamente con el desarrollo de la desertificación. El C orgánico disminuyó un 29.2 % y el N total en un

31.5 % de las tierras desertificadas gravemente en comparación con la tierra no desertificada. En tercer lugar, la disminución de C orgánico y N total, fue mayor en los pastizales desertificados que en los campos agrícolas desertificados.

Por su parte Geissen *et al.* (2009) al evaluar el efecto del cambio de uso del suelo sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, en un suelo tropical del sureste de México, empleando imágenes del satélite de 1988 al 2005; no encontraron diferencias significativas en el contenido de Fósforo (P), C y N total, contenidos que fueron mayores en los suelos que se incorporaron a las actividades agrícolas, sin embargo, el permanente pastoreo generó una severa compactación y acidificación de los suelos. Seifan (2009) señaló que una de las causas antropogénicas de la perturbación en los ecosistemas áridos es la compactación del suelo, que reduce la infiltración del agua en el suelo.

Mehta *et al.* (2008) estudiaron los cambios en el ecosistema tropical de la India, y observaron que el sobrepastoreo convirtió los bosques en matorrales, puesto que al eliminar los árboles dominantes se abrió el dosel permitiendo que más especies compitieran, entre ellas especies no deseables, pequeñas leñosas y espinosas, con la consecuente aridificación del suelo, cambios físico-químicos, en nutrientes y características hidráulicas del mismo.

Por su parte, Zhao *et al.* (2005) tomaron muestras del suelo (0-20 cm de profundidad) a partir de cuatro campos de cultivo, ambos terrenos planos y con pendientes suaves donde se había cultivado por 0, 8, 30 y 50 años para evaluar los efectos del cultivo de pastizales sobre la degradación del suelo. Además, las muestras de suelo fueron tomadas y las especies de plantas fueron investigadas de ocho sitios de 0-50 años de abandono, para evaluar el proceso de restauración natural tras el abandono de campo. Sus resultados mostraron que el cultivo de pastizales generó una significativa degradación del suelo que manifiesta la compactación del suelo y las pérdidas de C orgánico y nutrientes. Después de 50 años de cultivo, las concentraciones de C orgánico del suelo, N total, y P se redujeron 73-79 %, 60-70 % y 67-68 % respectivamente, en la capa arable de 0-20 cm. Más de la mitad de estas pérdidas se

produjeron durante los primeros 8 años de cultivo, posteriormente fue lenta. Después de que los campos fueron abandonados, con el tiempo la vegetación se autorestauró y la composición de especies se acercó a la de la comunidad de pastizales naturales. Los niveles de C orgánico del suelo, N total y P, poco a poco se incrementaron al paso de los años después de ser abandonadas las tierras, con una tasa de recuperación más rápido en la primera etapa de recuperación de la vegetación y una tasa más lenta en la etapa de sucesión tardía. Dichos resultados mostraron que la degradación del suelo puede producirse drásticamente por el uso y manejo inapropiado de la tierra en un breve tiempo, mientras que la restauración del suelo de un ecosistema degradado puede tomar mucho tiempo, especialmente en los ecosistemas frágiles. Concluyeron que desde la perspectiva del manejo de los recursos del suelo y control de la desertificación, se deben tomar en cuenta la labranza de conservación y el manejo adecuado del pastoreo para la recuperación de los pastizales.

La severa degradación del suelo y la desertificación no han sido sólo la reducción de la sustentabilidad y la productividad de los sistemas agrícolas, sino también el deterioro de los ecosistemas locales. La severa desertificación de la tierra y el aumento de la población resultan en una disminución continua del ingreso per cápita de las tierras agrícolas, y por lo tanto, agravan y perpetúan los problemas de la pobreza. Además, el abandono de tierras debido a la desertificación promueve la invasión de arbustos del desierto. El paisaje primario de estepa con relativa cubierta vegetal uniforme fue reemplazado por un paisaje desértico, fragmentado (Zhao *et al.*, 2005). Un dramático ejemplo de ello se observó en la región Bashang del norte de China, una gran zona agropastoril de más de 42,000 km². La región Bashang pertenece a una zona de transición del Norte de China a la meseta interior de Mongolia, de clima monzónico a clima continental, húmedo a zona semiárida, ha sido impactada por desastres naturales e intensa actividad humana. Ha sufrido la desertificación severa en las últimas décadas, debido principalmente al cultivo extensivo de pastizales. De 1978 y 1996, el área de tierras desertificadas aumentó a una tasa de 122.2 km² año⁻¹ (Chen y Zhu, 2001).

La degradación del suelo es un término amplio de la disminución de la capacidad del suelo para producir bienes de valor para los seres humanos, es un proceso a largo plazo

que pueden resultar de la erosión, el agotamiento de los nutrientes del suelo, la contaminación del suelo, la salinización y/o el deterioro de la estructura del suelo. Por lo general, el agotamiento de los nutrientes del suelo es la pérdida neta de nutrientes para las plantas debido a efectos de la actividad agrícola, de manera directa (laboreo) e indirecta (erosión, escorrentía), y de los procesos naturales del suelo (lixiviación, desnitrificación). El proceso de deterioro es a largo plazo, y la fertilidad del suelo puede considerarse un stock que tiene características dinámicas y procesos de renovación sujetos a influencias estocásticas (Farquharson *et al.*, 2008).

Otro factor que puede generar daños en el suelo es el fuego, generado por efectos naturales, sin embargo, el hombre es responsable de que muchos pastizales y residuos de cosecha sean incinerados, con la consecuente degradación de las propiedades fisicoquímicas del suelo, así como la repelencia de éste al agua (De Bano, 1981). Cambios en la hidrología del suelo incluyen la reducción de la infiltración debido a la formación de una capa superficial repelente al agua, creada por la vaporización y la subsecuente condensación de los componentes orgánicos del suelo (Letey, 2001). La materia orgánica que contribuye en la estructura superficial del suelo y porosidad es profundamente afectada por el fuego. La degradación de la estructura del suelo puede persistir de un año a décadas, dependiendo de la severidad del fuego y de las condiciones del ecosistema después del fuego (Neary *et al.*, 1999; Ferreira *et al.*, 2008).

El incendio provocado altera las propiedades químicas del suelo; la alteración se relaciona con la rápida liberación de nutrientes ya que algunos minerales contenidos en la materia viva y en el manto de residuos orgánicos en proceso de descomposición de la superficie se pierden por volatilización o lixiviación, en tanto que otros se transforman en óxidos. Binkley *et al.* (1992) reportaron que temperaturas superiores a 700 °C en el horizonte superficial pueden romper la dinámica del ecosistema, alterando el ciclo de los nutrientes e incrementando la disponibilidad de elementos alcalinos en el suelo. Sin embargo, dicha condición puede favorecer la pérdida de carbono, nitrógeno, azufre y fósforo en forma gaseosa (Caldwell *et al.*, 2002). La cantidad de materia orgánica y nitrógeno total que permanece en el suelo se reduce en más del 50%, dependiendo de la intensidad del incendio (Maycotte *et al.*, 2002). Por consiguiente,

dichos disturbios repercuten de manera inmediata en la reducción de la fertilidad del suelo. El pH se modifica durante la combustión como consecuencia de la generación de una gran cantidad de cenizas, disminuyendo la formación de ácidos orgánicos, producto de la descomposición biológica natural del residuo orgánico, lo que ocasiona una reducción importante en la actividad microbiológica. Toda vez que la cobertura basal disminuye y debido a que el fuego expone el suelo a la acción de procesos naturales y por consiguiente a temperaturas superiores, causando la compactación del mismo, lo anterior conduce a un menor contenido de agua del suelo y a la disminución de la capacidad de infiltración (Sivakumar, 2007).

Según Capulín *et al.* (2010) los cambios en el suelo ocasionados por el incendio son más notorios en la capa superficial (0-5 cm), ya que en su estudio los contenidos de materia orgánica, carbono orgánico y nitrógeno total se redujeron significativamente; por el contrario el contenido de fósforo y pH se incrementaron. A mayor profundidad del suelo (5-30 cm) los cambios registrados para dichas variables fueron mínimos. Para Zhang *et al.* (2007), los residuos de la cosecha de un sistema de cultivo es una fuente complementaria importante de forraje, especialmente durante el invierno y primavera, a la vez que su uso como abono orgánico se considera una estrategia sostenible para la agricultura, que puede aliviar la contaminación y la degradación del suelo causada por el uso excesivo de fertilizantes químicos.

Desde el punto de vista económico, existen alternativas que permiten realizar estimaciones de las pérdidas económicas mediante el uso de indicadores indirectos, en el caso de suelos y recursos hídricos, y de la simplificación del indicador de pérdida de la biodiversidad. Para el caso del indicador “degradación de suelos”, se considera que su consecuencia inmediata es la “pérdida de la productividad agrícola y pecuaria”. Dicho indicador resumido como “pérdida de productividad” puede ser tomado como una estimación o aproximación del indicador de pérdida de suelos. Se sabe que el comportamiento de la productividad no obedece solamente a la existencia o no de erosión o degradación química (salinización, por ejemplo), aun cuando está directamente ligado a ella. La “pérdida de productividad” debe ser adoptada como uno de los indicadores de la desertificación (Tablas II y III) (Matallo, s/a).

Tabla II. Indicadores y formas de medida de la desertificación.

Indicadores	Forma de medida
Pérdida de Productividad.	- Valor de la Producción. - Costo de reposición de la fertilidad natural mediante insumos. - Costo de reposición de la cantidad de suelo perdido.
Reducción de la disponibilidad hídrica.	- Monitoreo de vaciamiento. - Método indirecto.
Pérdida de recursos forestales.	- Reducción de la masa forestal.
Costos administrativos.	- 40 % del total del gasto de prevención, control y recuperación de áreas degradadas.

Fuente: Matallo, s/a.

Tabla III. Formas de medición de los costos de la desertificación.

Indicadores	Forma de medición
Pérdida de Productividad.	- Valor de la producción (perdido). - Costo de reposición de la cantidad de suelo perdido.
Reducción de la disponibilidad hídrica.	- Método indirecto.
Pérdida de recursos forestales.	- Reducción de la masa forestal.
Costos administrativos.	- 40 % del total del gasto de prevención, control y recuperación de áreas degradadas.

Fuente: Matallo, s/a.

La desertificación se “retroalimenta” en una espiral sin fin con la disminución de la producción, el incremento de la pobreza y la disminución de la productividad potencial. La pobreza, a su vez, incrementa la desertificación a consecuencia del aumento de la presión ambiental, debido a que la población es forzada a explotar sus tierras para sobrevivir. Lo anterior genera la disminución de la productividad y el ciclo continúa. Esto se ha observado en regiones de África, donde se advierten enfermedades, muertes, éxodo de millones de refugiados ambientales, y desesperados por sobrevivir en áreas urbanas (Darkoh, 1998).

Wang *et al.* (2008) señalaron que el desarrollo económico ha sido la fuerza que motiva el cambio de uso del suelo y por ende ha generado el incremento de la degradación ambiental. Asimismo, la modernización e intensificación agrícola, los cambios en la

densidad poblacional, la industrialización, la urbanización y el turismo, son fuerzas que también han favorecido el desarrollo económico (Tanrivermis, 2003). Los cambios en el uso del suelo durante las décadas pasadas, y del desarrollo agrícola al urbano en el mundo, son consecuencia de dicho desarrollo económico (Williams *et al.*, 2005). La fragilidad de las islas y tierras costeras han sido probablemente la de mayor afectación y transformación, principalmente por los desarrollos y actividades turísticas (Otto *et al.*, 2007). La destrucción y deterioro de la vegetación y tierras naturales, la reducción y contaminación de los recursos naturales, la fragmentación del hábitat, la disminución de la biodiversidad, la posible extinción de especies en peligro, y la introducción de plantas exóticas, son algunos de los impactos ambientales negativos del rápido desarrollo económico (Lavergne *et al.*, 2005). Por lo tanto, la degradación ambiental es una de las mayores amenazas para la salud ambiental, especialmente en zonas áridas y semiáridas, debido a la vulnerabilidad de los ecosistemas áridos (Qi y Luo, 2007).

En este sentido, la degradación de la tierra se ha incrementado en las últimas décadas como resultado de la explotación irregular y la falta de una gestión adecuada de los recursos hídricos, además del uso extensivo de la tierra y el uso de la madera y plantas como combustibles. Dicha degradación pone en riesgo de desertificación a extensas áreas, incluyendo amplios territorios de Irán y otros países (Modarres y Rodríguez, 2007). La degradación de las tierras es consecuencia de acciones del pasado, por tanto debe tenerse en cuenta que cada acción genera ciertos efectos y frecuentemente una cascada de consecuencias, asimismo, debe considerarse que para su remediación no hay "soluciones rápidas" (Fredrickson *et al.*, 1998). Como señaló Holtz (2003), los síndromes de degradación de la tierra y de enfermedad del suelo son numerosos, por eso las terapias son tan diversas.

Se puede deducir el proceso de desertificación con enfoques mixtos basados en el entendimiento del funcionamiento de un sistema agrícola y una validación empírica a partir de la deducción (Rodríguez, 1993). La comparación indica si la condición de fertilidad es deficiente, adecuada o excesiva. Sin embargo, en la mayoría de los casos los valores de referencia se obtienen en circunstancias distintas a la de los sitios donde se pretende aplicarlos. Lo anterior es una de las causas de la disminución de la

producción de alimentos por unidad de superficie, menor ocupación de mano de obra y empobrecimiento (Vergara *et al.*, 2005). Asimismo, las políticas públicas juegan un papel importante, por ejemplo, los apoyos en materia de fertilizantes, semilla mejorada y fomento ganadero, que frecuentemente no responden a las necesidades propias de la región donde se otorgan, las vuelven ineficientes y desafortunadas en su instrumentación (Ceja, 2008), como mecanismos para mitigar los efectos de la desertificación.

Por lo anteriormente citado, esta investigación buscó a través del muestreo de suelo, de agua de riego, del análisis climático y de las condiciones socioeconómicas, valorar el grado de desertificación producto de las actividades agropecuarias y del manejo inadecuado de los recursos naturales, en dos cuencas del estado de Baja California Sur, que aporten elementos para tomar medidas que contrarresten los efectos de la desertificación en la sociedad sudcaliforniana, bajo los siguientes objetivos e hipótesis.

1.2. Objetivos

General:

- ❖ Establecer el grado de desertificación de dos cuencas agrícolas en el estado de Baja California Sur, México.

Particulares:

- ❖ Caracterizar el régimen hidrológico y la disponibilidad de humedad ambiental (Índice hidro-ambiental) presente en las cuencas agrícolas de La Paz y Comondú, Baja California Sur y su influencia en el proceso de desertificación.
- ❖ Establecer las condiciones químicas del agua para riego agrícola y el grado de deterioro presente en las zonas de estudio, causado por su composición e intensidad de uso, entre otros.
- ❖ Correlacionar las variables físico-químicas del suelo en tres ambientes (*suelo presumiblemente afectado vs suelo natural inalterado vs suelo agrícola en aparente estabilidad*), con el proceso de desertificación en las cuencas agrícolas señaladas.
- ❖ Evaluar un indicador que permita caracterizar el grado de desertificación en las cuencas agrícolas de La Paz y Comondú, Baja California Sur.
- ❖ Analizar el impacto del proceso de desertificación sobre las condiciones socioeconómicas de los productores agropecuarios de las cuencas agrícolas de estudio.

1.3. Hipótesis.

- a) La desertificación está íntimamente influenciada por el régimen hidrológico y la disponibilidad hidro-ambiental, presentando mayor riesgo de ocurrencia en la cuenca de Comondú y en menor grado en la cuenca de La Paz.

- b) La desertificación en áreas agrícolas puede valorarse o estimarse mediante la modelación de variables indicadoras de cambios en las propiedades del suelo, agua y entorno ambiental.

- c) La cuenca agrícola de Comondú presenta un mayor riesgo de desertificación que la cuenca de La Paz, traducido en una disminución de la calidad de vida del productor agropecuario.

1.4. Localización y características generales del área de estudio.

A continuación se describen las características generales del estado de Baja California Sur, y de las cuencas agrícolas de Comondú y La Paz, zonas que fueron elegidas por su importancia económica en el estado para la presente investigación.

El estado de Baja California Sur cuenta con una superficie de 73,677 km². Está rodeado de agua por tres lados y unido territorialmente con el estado de Baja California en el límite norte, a la altura del paralelo 28°. Es el estado de la República Mexicana con la mayor longitud de costa, aproximadamente 2,200 km (700 km por el Golfo de California y 1,500 km por el Océano Pacífico). El estado cuenta con una pobre dotación de recursos hídricos, forestales, pastizales y suelos fértiles, lo que está relacionado con diversos factores, entre los cuales destaca la posición geográfica del territorio que condiciona el predominio de los climas muy secos y cálidos; situación que lleva aparejado un déficit importante de humedad con la consecuente influencia que ha tenido esto en el desarrollo de los suelos y la biota (Gobierno del Estado, 2001).

El estado se divide en tres regiones geológicas: Sierra La Giganta, Vizcaíno e Iray, y Región de Los Cabos. Asimismo se divide en cuatro regiones hidrológicas:

Región 2. Baja California Centro-Oeste: se localiza sobre la vertiente del Pacífico, entre el límite Norte del estado y San Juanico.

Región 3. Baja California Suroeste: se localiza sobre la vertiente del Pacífico, entre el límite de la región 2 y Cabo San Lucas.

Región 5. Baja California Centro-Este: se localiza sobre la vertiente del Golfo de California, desde el límite Norte del estado hasta el H. Mulegé.

Región 6. Baja California Sureste: se localiza sobre la vertiente del Golfo de California entre el límite de la región 5 y el límite de la región 3.

De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua, en el estado existen 39 acuíferos (SEMARNAT, 2008), los más explotados son los de La Paz y Santo Domingo, B.C.S.

La flora sudcaliforniana se caracteriza por una biodiversidad que incluye una gran cantidad de especies y comunidades vegetales, muchas de ellas únicas en el mundo. Las comunidades vegetales costeras establecidas a todo lo largo de los litorales del estado, tradicionalmente han sido reconocidos como el máximo atractivo de Baja California Sur. La distribución de las especies y de las asociaciones de plantas, depende de muchos factores, pero principalmente de las condiciones climáticas y la configuración del terreno. En las regiones desérticas se compone de asociaciones de plantas conocidas como matorral xerófilo (plantas principalmente arbustivas adaptadas a las condiciones de aridez): cardonales, izotales, bosquetes de torotes y copales, de palo brea o palo verde, mezquitales, matorrales de gobernadora y choyales.

En las zonas serranas (Sierra San Francisco, al Noreste de Baja California Sur), matorrales, palo adán, pitaya agria y de cardón-datilillo, cochal, diversas especies de siemprevivas, algunas biznagas y mezcalillos, sotol, cardón, cirios. Por sus cañones corre un arroyo con diversas pozas de agua que albergan exuberantes palmares y sauzales, numerosas especies de plantas acuáticas y subacuáticas como juncos, tules y berros. En las estribaciones de esta serranía se localiza el oasis de San Ignacio, rodeado de palmas nativas así como de numerosos palmares de dátiles. Existen poblaciones de

palo fierro, utilizado para elaborar carbón y tallas artísticas; palo blanco, copales y torotes; hacia el sur del estado hay ciruelos, palos escopeta, chino y zorrillo; bosques de encinos, pino piñonero endémico, madroño y el nopal de la laguna. También es posible localizar poblaciones de palmares, carrizos, tules (SEMARNAT, 2008) en arroyos y márgenes de los mismos.

En las Figuras 2, 3 y 4 se ilustra la ubicación de las cuencas agrícolas de La Paz y Comondú, las cuales fueron las áreas de estudio consideradas en la presente investigación.



Figura 2. Ubicación de las áreas de estudio en B.C.S.

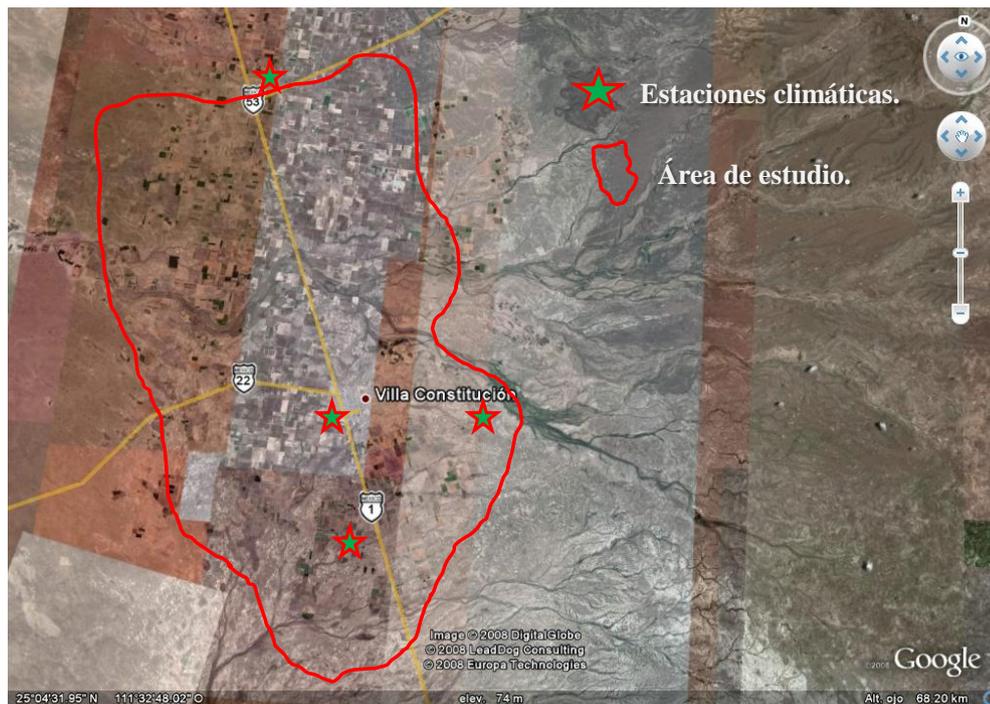


Figura 3. Zona de Trabajo: Cuenca de Comondú, B.C.S.



Figura 4. Zona de Trabajo: Cuenca de La Paz, B.C.S.

Las cuencas agrícolas en estudio se caracterizan por tener un clima que varía del Seco al Muy Seco. La precipitación promedio anual varía de 150 a 180 mm. La temperatura promedio oscila entre 22-29 °C. Los suelos son clasificados según FAO como Arenosoles, crómicos, de color claro, se reconoce la presencia de dunas costeras, y de suelos ligeramente arcillosos de color más oscuro. Las áreas silvestres se caracterizan por tener matorral espinoso, sarcocaulé y xerófilo.

1.4.1. Cuenca de Comondú.

La cuenca agrícola de Comondú se encuentra en el municipio de Comondú (Figura 5), ubicado en la parte central de Baja California Sur, se extiende en una superficie de 17,073.55 km². La densidad de población municipal es de 3.7 habitantes por km², por debajo de la media estatal, que se estima en 12.7 habitantes por km². La micro región del municipio con mayor superficie es el Valle de Santo Domingo, con 45.38 % de la extensión municipal. El Valle de Santo Domingo o Distrito de Riego No. 066, en el Municipio de Comondú, Baja California Sur, abarca una superficie de 72,409 ha, de las cuales 62,986 (87 %) pertenecen a pequeños propietarios y 9,423 ha (13 %) corresponden con el sector ejidal. De hecho, en este valle agrícola se concentra el 73.6% (26,177 ha por ciclo) de la superficie sembrada en el estado, en promedio (Cardona *et al.*, 2004; Troyo *et al.*, 2008).

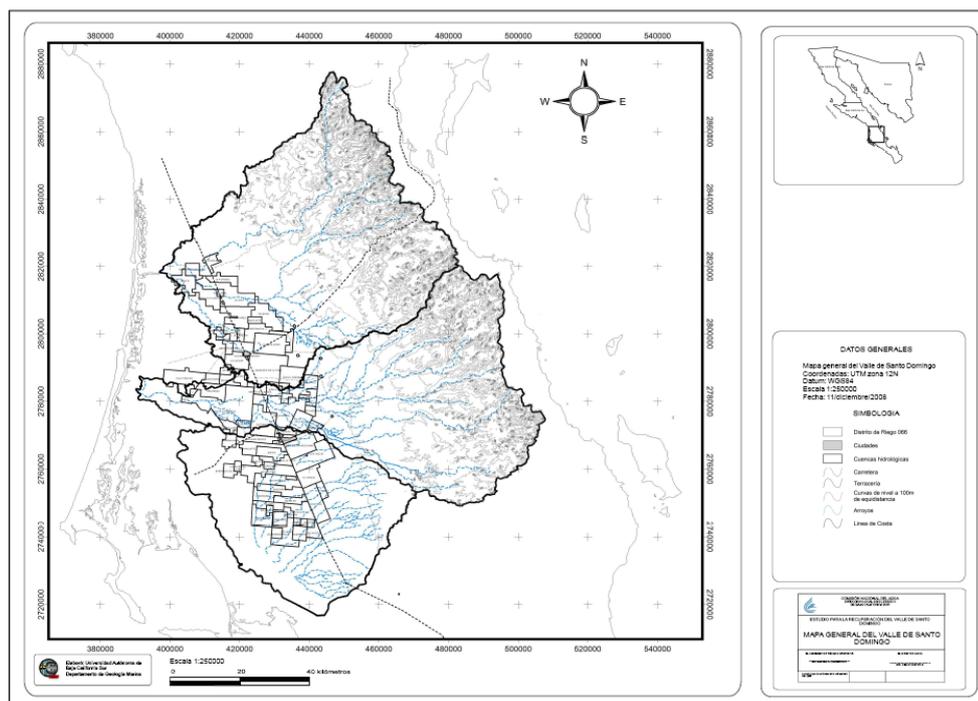


Figura 5. Mapa general del Valle de Santo Domingo, Comondú, B.C.S.
Fuente: CONAGUA-UABCS (2009).

La hidrografía de esta zona está enmarcada por la presencia de arroyos y escurrimientos efímeros o intermitentes; destaca el arroyo Las Bramonas, que cruza el valle agrícola con dirección Este a Oeste, y descarga en la costa del Océano Pacífico por la región de Bahía Magdalena. Las tierras del Valle de Santo Domingo, B.C.S., fueron en los años cincuenta y sesenta altamente productivas con siembras de trigo, garbanzo de exportación y algodón de alta calidad, sin embargo, debido a la sobreexplotación del acuífero y a la intrusión salina al mismo, la producción agrícola de esta, antaño próspera región, declinó en el curso de tres décadas (de los setenta a los noventa), dejando a los agricultores del valle con deudas y carteras vencidas. La superficie promedio por unidad de producción rural que depende totalmente del riego es de 29.0 ha. En el acuífero de dicho valle, el número de usuarios se eleva a 1,363, de los cuales 727 son pequeños propietarios y 636 ejidatarios (Troyo *et al.*, 2010).

El Valle de Santo Domingo se encuentra definido por tres cuencas hidrológicas: al Norte la cuenca Santo Domingo, en la parte medio la cuencas Las Bramonas, y al Sur la cuenca Santa Cruz. La cuenca Santo Domingo tiene un área de 4,119 km². Su principal arroyo es Santo Domingo. La cuenca Las Bramonas ubicada en la parte media del Valle

de Santo Domingo tiene un área de 3,466 km². Su principal arroyo es Las Bramonas. Finalmente al Sur se encuentra la cuenca Santa Cruz la cual tiene un área de 2,339 km². Se encuentra conformada por varias corrientes principales que se originan cerca del poblado de La Presa y desembocan en una planicie de inundación ubicada al sur del Valle de Santo Domingo (CONAGUA-UABCS, 2009).

1.4.2. Cuenca de La Paz.

El municipio de La Paz se encuentra situado en la zona Sur del estado de Baja California Sur, tiene una extensión territorial total de 20,274.98 km² que representan el 27.5 % de la extensión total de Baja California Sur. Hidrológicamente el territorio es complejo, debido a la escasez de precipitaciones que originan solo la existencia de corrientes menores, estacionales, y su conformación topográfica, hace que dichas corrientes desciendan de la serranía central divididas en las vertientes del Océano Pacífico y del Golfo de California y que tras cortos recorridos desagüen en el mar. Las elevaciones máximas llegan a los 2,080 m.s.n.m. en la Sierra La Laguna, al Sur del municipio⁶, hasta los 0 metros en las costas del Golfo de California como en el Océano Pacífico.

El municipio de La Paz, tiene una superficie de 2,027,498 ha y 32 núcleos agrarios con una superficie de 426,984.141 ha; de esta superficie alrededor de 58,749 ha se ubican en 3,832 parcelas; el 79.5 % se utiliza en actividades agropecuarias y forestales, estas actividades se practican también en casi un 94 % de la superficie no parcelada del municipio (INEGI, 2001). El municipio está dividido en las siguientes microrregiones: “Este de Todos Santos”, “Golfo Sur-La Paz”, “La Paz-Conurbada”, “Los Dolores”, “Pacífico Central-La Paz”, “Pacífico Sur” y “Sureste de La Paz”⁷.

⁶ <http://www.bcs.gob.mx/municipios/item/25.html>. Consultado el 15 de febrero de 2010.

⁷ http://www.oeidrus-bcs.gob.mx/dependencias/INIFAP/ZA_MLP_INIFAP/CM-LA-MapMicrorregiones.html. Consultado el 15 de febrero de 2010.

1.4.3. Producción agropecuaria en el estado de Baja California Sur.

La Superficie total del estado es de 7,367,700 ha, de la cual con potencial agrícola se cuenta con 108,438 ha. Sin embargo, sólo se encuentran en uso 61,725 ha ó sea el 0.8 % de la extensión total. La falta de agua representa la principal limitante para la producción y para el desenvolvimiento económico y social de la entidad. La producción agrícola se sustenta bajo sistemas de riego, principalmente se producen hortalizas: chile, tomate, melón, pepino; granos y forrajes. La citricultura es un actividad muy importante en la región de Comondú, principalmente la producción de naranja (SAGARPA, 2006).

La ganadería representa un renglón muy importante en el sector agropecuario del estado de Baja California Sur, debido a la superficie que ocupa (4.7 millones de ha), al número de personas que involucra, con más de tres mil productores organizados en 31 asociaciones ganaderas locales y a su importante contribución al producto interno bruto, con un valor total del inventario ganadero de 1'406,122.9 miles de pesos (SAGARPA, 2006). Está representada por sistemas semi-intensivos para la explotación de ganado lechero y engorda; los extensivos, para la producción de ganado de engorda y cabras. Se desarrolla en 4.7 millones de ha de agostadero con un coeficiente ponderado promedio de 44.0 ha por unidad animal. Las especies principales explotadas son: bovino carne, bovino leche, caprinos, ovinos, porcinos, aves de postura y abejas (Tabla IV). El soporte alimenticio se basa en la producción forrajera y situación de los agostaderos: producción de alfalfa, verde y henificada, maíz y sorgo forrajeros, granos, praderas perennes y anuales, esquilmos de cosechas, rastrojos, y subproductos agroindustriales (grasas, melazas, harinas) (SAGARPA, 2006).

Tabla IV. Población ganadera, avícola y apícola. 2001-2008. Número de cabezas⁸.

Especie / Año	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	media
Bovino (carne y leche)	167,563	139,544	147,738	148,937	151,795	242,410	156,769	157,980	164,092
Bovino para carne	155,893	127,507	135,736	136,219	139,452	194,914	143,652	144,610	147,248
Bovino para leche	11,670	12,037	12,002	12,718	12,343	47,496	13,117	13,370	16,844
Porcino	22,124	23,864	15,576	14,927	16,076	13,154	16,294	20,583	17,825
Ovino	16,999	18,297	23,977	27,269	22,348	27,955	21,256	21,139	22,405
Caprino	101,968	92,759	96,533	112,166	113,056	22,673	113,066	120,818	96,630
Ave (Carne y Huevo)	180,287	50,342	47,583	35,361	43,437	1,688,204	54,205	55,452	269,359
Ave para carne	56,380	49,718	41,239	28,973	33,437	168,794	36,205	35,855	56,325
Ave para huevo	123,907	624	6,344	6,388	10,000	1,519,410	18,000	19,597	213,034
Abejas (Colmenas)	4,092	4,430	6,044	5,759	7,612	7,486	6,413	5,133	5,871

Hasta 1960 los forrajes cultivados no superaban las 100 ha establecidas en toda la entidad y fue hasta mediados de la década de los años setenta cuando la explotación de especies forrajeras (alfalfa y sorgo, principalmente) cobró auge en el Valle de Santo Domingo, principal zona agrícola del estado. El INIFAP Baja California Sur, actualmente desarrolla un proyecto en el que se han evaluado especies forrajeras con potencial para la región como Pasto Guinea, Taiwán, Rodhes y Buffel; leguminosas forrajeras como el frijol “lab lab”. Asimismo, algunas empresas privadas validan y/o demuestran en condiciones diversas de riego, algunas de sus especies gramíneas y leguminosas forrajeras. La falta de agua representa la principal limitante para la producción y para el desenvolvimiento económico y social de este sector a nivel estatal⁹.

La producción agrícola en las dos cuencas agrícolas de estudio está basada en sistemas de riego, debido a la baja precipitación que ocurre durante el año. En las Tablas V y VI se presentan las estadísticas¹⁰ de la superficie cosechada, de los cultivos tanto perennes como cíclicos, más representativos para la cuenca de Comondú y la cuenca de La Paz, respectivamente.

⁸ www.siap.gob.mx. Consultado el 25 de agosto de 2010.

⁹ Comunicación personal, M.C. Jesús Navejas Jiménez, Investigador del INIFAP, Sitio Experimental Valle de Santo Domingo, 2008.

¹⁰ www.siap.gob.mx Consultado el 30 de agosto de 2010.

Tabla V. Superficie de cultivo (hectáreas) del 2005-2009. Comondú, B.C.S.

Ciclo Otoño-Invierno.					
Cultivo / Año	2005	2006	2007	2008	2009
Cártamo	10	10	1,364	4,856	2,520
Garbanzo	5,045	7,505	4,300	3,800	4,007
Ajo	9	12	10	16	11
Calabacita	29	52	32	91	28
Cebolla	29	11	13	111	49
Chile verde	405	416	208	350	244
Frijol	981	786	787	216	177
Maíz grano	2,556	2,504	1,995	2,900	2,068
Melón	13	24	1	14	14
Papa	399	351	291	432	462
Pepino	51	6	6	sd	6
Sandía	38	11	13	8	7
Sorgo grano	212	481	469	313	675
Jitomate	376	347	400	372	337
Tomate verde	130	193	61	68	49
Trigo grano	4,153	2,355	3,278	3,170	3,877
Zanahoria	6	10	sd	sd	3
Ciclo Primavera-Verano.					
Cultivo / Año	2005	2006	2007	2008	2009
Ajo	sd	sd	sd	sd	7
Calabacita	29	44	15	sd	35
Cebolla	2	2	10	sd	sd
Chile verde	557	394	224	278	100
Fresa	sd	sd	14	32	5
Frijol	1,811	797	465	790	1,779
Maíz grano	1,860	2,042	2,400	1,600	1,929
Melón	59	26	26	36	14
Papa	369	434	478	470	510
Pepino	2	sd	2	sd	1
Sandía	14	42	48	17	24
Sorgo forrajero	sd	384	sd	sd	sd
Sorgo grano	796	968	812	555	1,088
Jitomate	195	414	167	190	206
Tomate verde	138	119	70	sd	36
Zanahoria	1	sd	sd	sd	5
Cultivos Perennes					
Cultivo / Año	2005	2006	2007	2008	2009
Alfalfa verde	3,178	3,000	3,000	3,150	3,206
Espárrago	1,407	1,275	1,204	1,254	1,263
Naranja	2,004	2,119	2,138	2,218	2,218
Pastos	263	309	392	392	392

Nota: sd= sin dato

Tabla VI. Superficie de cultivo (hectáreas) del 2005-2009. La Paz, B.C.S.

Ciclo Otoño-Invierno.					
Cultivo / Año	2005	2006	2007	2008	2009
Albahaca	28	31	38	47	71
Cártamo	sd	sd	sd	sd	364
Chile verde	985	898	561	558	530
Ejote	46	45	112	68	98
Maíz forrajero	1	5	sd	5	28
Maíz de grano	69	55	27	29	47
melón	37	68	73	64	42
Sorgo forrajero	6	24	10	20	22
Jitomate	798	975	1051	627	550
Tomate verde	86	55	18	31	54
Ciclo Primavera-Verano.					
Cultivo / Año	2005	2006	2007	2008	2009
Albahaca	4	1	9	18	8
Chile verde	32	sd	5	sd	30
Ejote	42	38	62	41	25
Frijol	30	6	2	5	17
Maíz forrajero	sd	16	sd	14	15
Maíz grano	36	59	36	50	87
melón	25	61	21	50	45
Sorgo forrajero	8	5	18	17	48
Jitomate	305	298	486	121	229
Tomate verde	25	30	14	7	45
Cultivos Perennes					
Cultivo / Año	2005	2006	2007	2008	2009
Aguacate	46	56	57	57	289
Alfalfa verde	297	295	297	261	289
Espárrago	127	141	141	146	222
Mango	93	103	113	113	110
Naranja	120	120	119	116	116
Pastos (tapete)	2	11	11	16	31
Pastos	403	406	406	391	391

Nota: sd= sin dato

II. MATERIALES Y MÉTODOS.

2.1. Materiales.

Para el desarrollo de la presente investigación, se utilizaron los datos climáticos de las estaciones pertenecientes al Sistema Meteorológico Nacional-Comisión Nacional del Agua (SMN-CONAGUA), que se localizan en el área de influencia de los municipios de Comondú y La Paz, considerando que se encuentran dentro de la zona donde se realizaron los muestreos de suelo y de agua.

Para la cuenca de La Paz se consideraron las siguientes estaciones: La Paz, Observatorio La Paz, Alfredo V. Bonfil y Aeropuerto La Paz; esta última pertenece al SENEAM (Servicios a la Navegación del Espacio Aéreo Mexicano). Para la cuenca de Comondú fueron: Cd. Insurgentes, Villa Morelos, Cd. Constitución y Ley Federal de Aguas #5 (Tabla 7).

Tabla 7. Coordenadas geográficas de las estaciones climáticas en La Paz y Comondú, B.C.S.

Cuenca	Nombre de la Estación	Latitud	Longitud	Altitud
LA PAZ	ALFREDO V. BONFIL	24° 09'	110° 03'	78 msnm
LA PAZ	LA PAZ	24° 08'	110° 20'	8 msnm
LA PAZ	OBSERVATORIO LA PAZ	24° 07'	110° 19'	19 msnm
LA PAZ	AEROPUERTO LA PAZ	24° 04'	110° 22'	19 msnm
COMONDÚ	Cd. CONSTITUCIÓN	25° 00'	111° 40'	45 msnm
COMONDÚ	Cd. INSURGENTES	26° 05'	111° 55'	52 msnm
COMONDÚ	LEY FEDERAL DE AGUAS #5	25° 12'	111° 33'	45 msnm
COMONDÚ	VILLA MORELOS	24° 56'	111° 37'	56 msnm

De la información recabada, se sistematizaron los datos diarios de temperatura: máxima, mínima y media; precipitación y evaporación, en valores promedio mensual y anual. Posteriormente se calculó el valor promedio mensual de evapotranspiración y se estableció el valor del índice de disponibilidad hidro-ambiental, de acuerdo al método de De Martonne, modificado por Troyo *et al.* (2004).

En cuestión de insumos e infraestructura para los trabajos de campo y laboratorio, se emplearon los siguientes recursos:

- GPS, cartas topográficas de la región de estudio, bolsas, pala, botellas de plástico.
- Vehículo para las salidas de campo.
- Laboratorios de Edafología, Análisis Químico Proximal, Análisis Químico de Agua y de Espectrofotometría de Absorción Atómica, del CIBNOR, así como los reactivos correspondientes a cada determinación. (NOTA: los laboratorios del CIBNOR se encuentran certificados y acreditados bajo la NOM'S correspondientes).

2.2. Métodos.

2.2.1. Variables climáticas.

- a) Temperatura promedio mensual y anual.
- b) Evaporación, promedio mensual y anual.
- c) Precipitación promedio mensual y anual.
- d) Evapotranspiración potencial promedio mensual y anual.

Se estimó la evapotranspiración potencial empleando los métodos del Tanque de Evaporación, Thornthwaite y el método de Penmann.

- e) Índice de disponibilidad hidro-ambiental.

Se calculó este índice de acuerdo al método de De Martonne, modificado por Troyo *et al.* (2004), bajo la siguiente consideración: mediante el método de los mínimos cuadrados se eligió el modelo numérico alternativo que estuviese altamente correlacionado con el déficit hídrico y que a la vez fuese sensible a valores bajos de precipitación. El modelo elegido fue una función polinomial donde X1 es la temperatura media mensual en °C, en tanto que X2 es la precipitación mensual en mm, de tal forma que $A_{\text{mod}} = f(t, pp)$.

El planteamiento surgió ante la necesidad de contar con un índice que muestre un valor con mayor sensibilidad para la interpretación, cuya escala esté limitada de 0 a 10 unidades, y sea aplicable a condiciones de precipitación menor a 100 mm mensuales, característico de las zonas áridas. Dicha función fue definida de la siguiente manera (ecuación 1):

$$IDHA = Ke \left| \frac{12pp}{t+10} \right| \quad (1)$$

donde: *IDHA* es el Índice de Disponibilidad Hidro-Ambiental, *pp* es la precipitación mensual en mm, *t* es la temperatura media mensual en °C, y *Ke* es un coeficiente adimensional de ajuste de escala, con valor de 0.33.

Para complementar la condición hídrica se definió la siguiente relación (ecuación 2):

$$IDDH = 10 - IDHA \quad (2)$$

donde: *IDDH* es el Índice de déficit hidro-ambiental.

El factor de ajuste *Ke* en la ecuación (1), propuesto para modificar el Índice de De Martonne, fue establecido con valor de 0.33, dado que bajo las condiciones de aridez de la zona estudio, ajusta con mayor sensibilidad numérica a la variación de los periodos de sequía. Dichos cálculos se realizaron para cada estación climática analizada de manera individual y posteriormente en conjunto para cada cuenca.

Para establecer la intensidad de asociación o efecto de la precipitación sobre la tendencia numérica del comportamiento del *IDHA*, se realizó un análisis de regresión lineal simple considerando a la precipitación como variable independiente y a *IDHA* como variable dependiente, mediante el programa estadístico STATGRAPHICS 5.1¹¹.

2.2.2. Análisis de agua de riego. Enseguida se enuncian los parámetros de agua evaluados:

- pH
- Conductividad eléctrica ($mS\ cm^{-1}$)
- Salinidad (Unidades Prácticas de Salinidad (UPS))
- Dureza ($mg\ L^{-1}$)
- Cloruros ($mg\ L^{-1}$)
- Sulfatos ($mg\ L^{-1}$)
- Oxígeno disuelto ($mg\ L^{-1}$)
- Sólidos Totales Disueltos ($mg\ L^{-1}$)

¹¹ STATGRAPHICS Plus 5.1. (Statistical Graphics Corp., 2000) DR.

Las técnicas utilizadas en estos análisis fueron las siguientes:

- **MPT-LANI01-02** (pH), procedimiento para la determinación de **pH** en aguas, basado en la Norma Oficial Mexicana NMX-AA-008-SCFI-2001.
- **MPT-LANI01-03** (CE), procedimiento **Conductividad eléctrica**: método de la NMX-AA-093-SCFI-2000. Determinación de la conductividad eléctrica en agua.
- **Dureza total (DT)**: método volumétrico con EDTA, APHA, AWAA, WPCF, (Standard methods for the examination of water and wastewater. 1980. 15th Ed).
- **Sulfatos (SO₄)**: método turbidimétrico de precipitación del cloruro de bario, APHA, AWAA, WPCF, (Standard methods for the examination of water and wastewater. 1980. 15th Ed).
- **Cloruros (Cl)**: método argentométrico, titulación con nitrato de plata, APHA, AWAA, WPCF, (Standard methods for the examination of water and wastewater. 1980. 15th Ed).
- **Sólidos disueltos totales (SDT)**: medidor de SDT marca Hach modelo CO150.
- **Salinidad**: medidor de Salinidad marca Hach modelo CO150.
- **Oxígeno disuelto, (O₂)**: método de Winkler. (Strickland y Parsons, 1972, A practical handbook of seawater analysis, Fish, Res, Bd. Canada bulletin 167. 2nd. Ed.).

Equipo utilizado: el análisis de pH se realizó con un medidor de pH marca ORION modelo 520^a. La conductividad eléctrica, salinidad y sólidos disueltos totales se determinaron con un medidor conductividad eléctrica marca HACH modelo CO150. En la determinación de sulfatos se utilizó un espectrofotómetro marca Espectronic Unicam modelo AQUAMATE, El análisis de dureza total, alcalinidad y oxígeno disuelto se realizó con una bureta digital marca Brinkmann de 25 ml con precisión hasta de 30 μ l.

2.2.3. Análisis de suelo. Los siguientes parámetros de suelo se evaluaron de las muestras obtenidas en las dos cuencas agrícolas de estudio.

- pH.
- Conductividad eléctrica (μ S m^{-1})
- Densidad aparente ($g\ cm^{-3}$)
- Bicarbonatos ($mg\ kg^{-1}$)
- Calcio ($mg\ kg^{-1}$)
- Magnesio ($mg\ kg^{-1}$)

- Fósforo (mg kg^{-1})
- Azufre (mg kg^{-1})
- Materia orgánica (%)
- Hierro (mg L^{-1})
- Sodio (mg L^{-1})
- Potasio (mg L^{-1})
- Nitrógeno (mg kg^{-1})
- Color.
- Textura.

Los análisis de suelo se realizaron bajo las técnicas y procedimientos de la **NOM-021-RECNAT-2000** que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. (SEMARNAT, 2002). El laboratorio de edafología del CIBNOR, se encuentra acreditado por la Entidad Mexicana de Acreditación, A.C., de acuerdo con la Norma NMX-EC-17025-IMNC-2006 (ISO/EC 17025:2005).

2.2.4. Análisis socioeconómico. Se aplicaron encuestas a los productores agropecuarios de las dos cuencas agrícolas en estudio (Anexo 5), en total fueron 142 encuestas, tanto a productores particulares como ejidatarios. Asimismo se entrevistaron a comerciantes en el mercado local de La Paz.

Se solicitó información en las siguientes dependencias de gobierno: SAGARPA, CONAFOR, CONAGUA, INIFAP; así como a organismos locales como: Asociación de Usuarios de Agua de Uso Agrícola del Valle de Santo Domingo; Asoc. Agrícola del Valle de Santo Domingo, A.C.; Asoc. Ganadera Llanos de Magdalena; Fundación PRODUCE-BCS; Asoc. de Citricultores del Valle de Santo Domingo; Asoc. Estatal Forestal; Unidad de Producción El Chilerito Suc. La Paz; Finca Grupo Herdez, S.A. La Paz; entre otras.

2.3. Técnicas de análisis estadístico.

Los resultados de laboratorio (agua, suelo) y del análisis climático, se sometieron a diversas técnicas estadísticas, entre ellas:

- 1) Evaluación de relaciones simples mediante métodos univariados (evaluación preliminar de tendencias y asociación paramétrica).
- 2) Análisis de Componentes Principales (ACP) y de agrupación de datos (correlaciones múltiples; agrupamientos).

Con la información de las estaciones climáticas de la CONAGUA y del SENEAM (datos de temperatura, precipitación, evaporación), se realizó el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP). Posteriormente se realizó un Análisis de Regresión Múltiple empleando para tales casos, el Paquete Estadístico STATGRAPHICS.

A continuación se describen las generalidades del ACP, método estadístico empleado en la presente investigación.

El ACP se realiza en virtud de que las investigaciones de campo, donde se presenta el efecto de un número significativo de factores, no es adecuado realizar inferencias con análisis univariados, porque además de individualizar los resultados, éstos pueden conducir a conclusiones falsas (Escobar *et al.*, 2005). El ACP es quizás la técnica más antigua de análisis multivariante. Su introducción se debe, como en innumerables ocasiones en estadística, a Pearson (1901), pero su verdadero desarrollo y aplicabilidad se le debe a Hotelling (1933) (Almenara *et al.*, 2002).

Se utiliza en investigación exploratoria, donde las variables a estudiar son numerosas. La técnica considera que un componente principal (CP) es una representación de la estructura de los datos en observación que resulta de una matriz de análisis de número k de variables, con n observaciones. En este método se obtienen tantos componentes como variables se analicen. Como parte de los resultados se generan nuevas variables derivadas de las variables originales, con dimensionalidad reducida pero con la mínima pérdida de información. Según el análisis secuencial de la disgregación de la varianza numérica, el CP más importante es aquél que presenta la mayor varianza lo que significa que constituye la mejor representación para explicar el objeto de estudio. En cada CP resultante, se valora la participación de cada variable en estudio para la construcción de una función lineal (eje vector) en el objeto de estudio. Además el

método proporciona los valores correspondientes a coordenadas, que al ser graficados, sugieren las tendencias de dispersión y agrupamiento con lo que es posible realizar las clasificaciones y caracterizaciones de las observaciones tomando en cuenta la influencia de las variables que las componen (Escobar *et al.*, 2005).

La idea central del ACP es conseguir la simplificación de un conjunto de datos, generalmente cuantitativos, procedentes de un conjunto de variables interrelacionadas. Este objetivo se alcanza obteniendo un nuevo conjunto de igual número de variables, no correlacionadas, llamadas componentes principales en las cuales permanece la variabilidad presente en los datos originales, y que al ordenarlas decrecientemente por su varianza, permite explicar el fenómeno de estudio con los primeros CP. Con ello se consigue: (a) sintetizar la información procedente de un volumen importante de datos recogidos en una investigación en particular; (b) crear nuevos indicadores o índices, representados por los CP y (c) utilizar el ACP como paso previo a otras técnicas.

Los supuestos teóricos del ACP se centran en suponer que X es un vector de p variables aleatorias, definidas en una población. Y que el vector X se mide en n individuos, generando una matriz de datos con n filas que representan las variables en los que se han obtenido los datos que representan las p columnas.

Se buscan las combinaciones lineales del tipo: $Y_k = a_{k1} x_1 + \dots + a_{kp} x_p = \sum a_{kj} x_j$, $k = 1, \dots, p$, donde a_{k1}, \dots, a_{kp} son constantes numéricas, de tal forma que las nuevas variables Y_k o CP tengan varianza máxima en orden decreciente y ausencia de correlación entre sí. Los CP Y_k se obtienen diagonalizando la matriz de covarianzas S o la de correlaciones R de las variables medidas originalmente, de forma que las constantes a_{k1}, \dots, a_{kp} se obtienen con las coordenadas de los vectores propios asociados a los valores propios de S o R , ordenados de forma decreciente, que representan las varianzas de los CP (Almenara *et al.*, 2002).

Para la derivación de los CP se parte del supuesto que $\mathbf{X}^T = [X_1, \dots, X_p]$ es una variable aleatoria p -dimensional con media $\boldsymbol{\mu}$ y matriz de covarianzas $\boldsymbol{\Sigma}$. El problema es encontrar un nuevo conjunto de variables, digamos Y_1, Y_2, \dots, Y_p , las cuales son no

correlacionadas y cuyas varianzas son decrecientes de la primera a la última. Cada Y_j será una combinación lineal de las X 's, de manera que

$$\begin{aligned} Y_j &= a_{1j}X_1 + a_{2j}X_2 + \dots + a_{pj}X_p \\ &= \mathbf{a}_j^T \mathbf{X} \end{aligned}$$

Donde $\mathbf{a}_j^T = [a_{1j}, \dots, a_{pj}]$ es un vector de constantes. La ecuación anterior contiene un factor de escala arbitrario. Por lo tanto, se impone la condición $\mathbf{a}_j^T \mathbf{a}_j = \sum_{k=1}^p a_{kj}^2 = 1$. Esta normalización asegura que las distancias en el p -espacio se preservan.

El primer componente principal, Y_1 , se encuentra eligiendo \mathbf{a}_1 de manera tal que la varianza de Y_1 se maximiza. En otras palabras, se elige \mathbf{a}_1 de manera tal que se maximice la varianza de $\mathbf{a}_1^T \mathbf{X}$ sujeta a la condición $\mathbf{a}_1^T \mathbf{a}_1 = 1$. Se puede demostrar que el valor máximo de la varianza de $\mathbf{a}_1^T \mathbf{X}$ entre todos los vectores \mathbf{a}_1 que satisfacen $\mathbf{a}_1^T \mathbf{a}_1 = 1$ es igual a λ_1 , el eigenvalor más grande de Σ , y que este máximo ocurre cuando \mathbf{a}_1 es un eigenvector de Σ correspondiente al eigenvalor λ_1 .

Para el segundo componente principal, Y_2 , se elige \mathbf{a}_2 de manera tal que Y_2 tenga la mayor varianza posible para todas las combinaciones de la forma de la ecuación inicial, las cuales no están correlacionadas con Y_1 . Es decir, \mathbf{a}_2 se elige de modo que la varianza de $\mathbf{a}_2^T \mathbf{X}$ sea un máximo entre todas las combinaciones lineales de \mathbf{X} que no están correlacionadas con la primera variable componente principal y tenga $\mathbf{a}_2^T \mathbf{a}_2 = 1$. Se puede demostrar que el máximo indicado arriba es igual a λ_2 , el segundo eigenvalor más grande de Σ , y que este máximo ocurre cuando \mathbf{a}_2 es un eigenvector de Σ correspondiente al eigenvalor λ_2 .

De manera similar, pueden definirse los componentes principales restantes Y_3, \dots, Y_p . La j -ésima componente principal ($j = 3, 4, \dots, p$) se expresa por $\mathbf{a}_j^T \mathbf{X}$ en donde \mathbf{a}_j se elige de modo que $\mathbf{a}_j^T \mathbf{a}_j = 1$ y de forma que la varianza de $\mathbf{a}_j^T \mathbf{X}$ sea un máximo entre todas esas combinaciones lineales de \mathbf{X} que no estén correlacionadas con las $j-1$ componentes principales restantes. Es posible demostrar que este máximo es igual a λ_j , el j -ésimo

eigenvalor más grande de Σ correspondiente al eigenvalor λ_j y que satisface $\mathbf{a}_j^T \mathbf{a}_j = 1$. De esta manera $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p$, los eigenvalores ordenados de Σ y $\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_p$ denotan los eigenvectores normalizados correspondientes. Nótese que los p eigenvalores de Σ deben ser todos no negativos debido a que Σ es semidefinida positiva¹².

Al aplicar el ACP se crean unas nuevas variables, los CP's. Pero además cada dato, obtiene una puntuación en cada una de los CP seleccionadas, que permite resolver la interrelación y peso de cada variable en el proceso estudiado. Los CP ayudan a desentrañar un modelo subyacente en el conjunto de datos iniciales. En el presente estudio se obtuvo también la matriz de covarianzas con el análisis de los resultados fisicoquímicos del suelo.

El ACP constituye también una de las técnicas estadísticas más utilizada en trabajos de investigación climatológica de los últimos años, principalmente para el estudio de variables físicas observadas en el tiempo y el espacio. Esta metodología puede aplicarse de diversas formas a los datos estudiados, siendo uno de los modos más empleados aquel que permite la discriminación de patrones temporales de entre un conjunto de variables físicas observadas sobre un espacio dado, lo cual posibilita la determinación de áreas de homogeneidad temporal. Si las variables analizadas muestran una varianza temporal semejante a lo largo de toda la extensión espacial, se puede efectuar el estudio a partir de la matriz de covarianza de las variables, en caso contrario las variables deberían estandarizarse, lo que equivale a confeccionar el análisis en base a la matriz de correlaciones (Araneo y Compagnucci, 2007)¹³.

La utilidad del ACP es múltiple porque:

- Permite representar óptimamente en un espacio de dimensión pequeña, observaciones de un espacio general p -dimensional. Es el primer paso para identificar

¹² www.dppe.iimas.unam.mx/PCA.doc, consultado el 26 de enero de 2007.

¹³ Diego C. Araneo y R. H. Compagnucci. Perfeccionamiento de la entrada de datos en el análisis de componentes principales mediante la equidensificación areal de enrejados regulares. En: <http://www.copa.org.ar/climatologia.htm#2>, consultado el 12 de febrero de 2007.

posibles variables escondidas o no observadas, que están generando la variabilidad de los datos.

- Permite transformar las variables, en general correlacionadas, en nuevas variables incorrelacionadas, facilitando así la interpretación de los datos (Carvajal *et al.*, 2004).

2.4. Actividades estratégicas para cubrir los objetivos específicos.

De manera puntual se enuncian enseguida las actividades que permitieron cumplir con los objetivos de la presente investigación.

1) Muestreos de suelo y agua de riego en puntos aleatorios en las cuencas de La Paz y Comondú, para su posterior análisis en los laboratorios del CIBNOR.

Se realizaron los muestreos de suelo en cada sitio seleccionado, a dos profundidades: 10 y 30cm; con un total de 71 sitios de muestreo y 142 muestras individuales en las dos cuencas agrícolas de estudio. Los sitios fueron seleccionados después de un recorrido general por dichas cuencas, para establecer las condiciones más representativas de ellas. Se tomó en cuenta la diversidad de cultivos que se producen –anuales, perennes, sistemas de riego- (*Suelo agrícola en aparente estabilidad*); grado visual de conservación de la vegetación natural (*Suelo natural inalterado*) y parcelas agrícolas abandonadas (*Suelo presumiblemente afectado*), como se muestra en la Figura 6.



Figura 6. Panorámica general de los ambientes de suelo muestreados.

Se realizaron 3 muestreos de agua en 24 pozos seleccionados de manera aleatoria, el primero en octubre del año de 2007, el segundo en mayo de 2008 y el tercero en octubre de 2008. Se seleccionaron al azar los pozos en las inmediaciones de los puntos de muestreo de suelo. Sólo en el Ejido Alfredo V. Bonfil, de la cuenca de La Paz, se muestreo una sola vez el único pozo de agua para uso agrícola, debido a que dicho pozo se encontró posteriormente en reparación. La Figura 7 ilustra la infraestructura de algunos sitios muestreados.



Figura 7. Panorámica general de los pozos de agua muestreados.

2) Recopilación de información climática del periodo de 1978 a 2008, de las estaciones de las cuencas señaladas: para determinar las tendencias de la precipitación y temperatura media y estimar la evapotranspiración. Se estimó además el balance hidrológico de las cuencas agrícolas con datos de precipitación y evapotranspiración. Sólo en las estaciones del Aeropuerto de La Paz y el Observatorio La Paz se contó con información desde el año de 1998 al 2008.

3) La sistematización de información de producción, superficie cosechada, por ciclo agrícola en las cuencas agrícolas de Comondú y La Paz, para los años de 2005 al 2009, se realizó a través de consultas en reportes oficiales de las dependencias de gobierno, de investigación y asociaciones de productores.

Se aplicaron encuestas a 142 productores en las dos cuencas de estudio, quienes de manera aleatoria fueron seleccionados con base al nivel tecnológico, superficie de cultivo, tipos de cultivo y nivel socioeconómico. El cuestionario incluyó preguntas abiertas y cerradas. Las encuestas y entrevistas se realizaron en tres momentos: la

primera parte se realizó durante el mes de junio de 2009, una segunda etapa se realizó en el mes de febrero de 2010 y finalmente una tercera etapa de entrevistas se llevó a cabo en el mes de mayo de 2010.

4) La modelación con la información obtenida en los análisis de suelo, información climática y de producción, para evaluar el impacto de las actividades agropecuarias en las cuencas agrícolas, su efecto y el grado de desertificación que presentan las cuencas citadas, se realizaron a través de análisis multivariados, y de regresión simple.

5) Proponer alternativas de manejo que minimicen los riesgos que la desertificación encierra por sí misma, con base en los resultados del análisis de la información obtenida en la presente investigación.

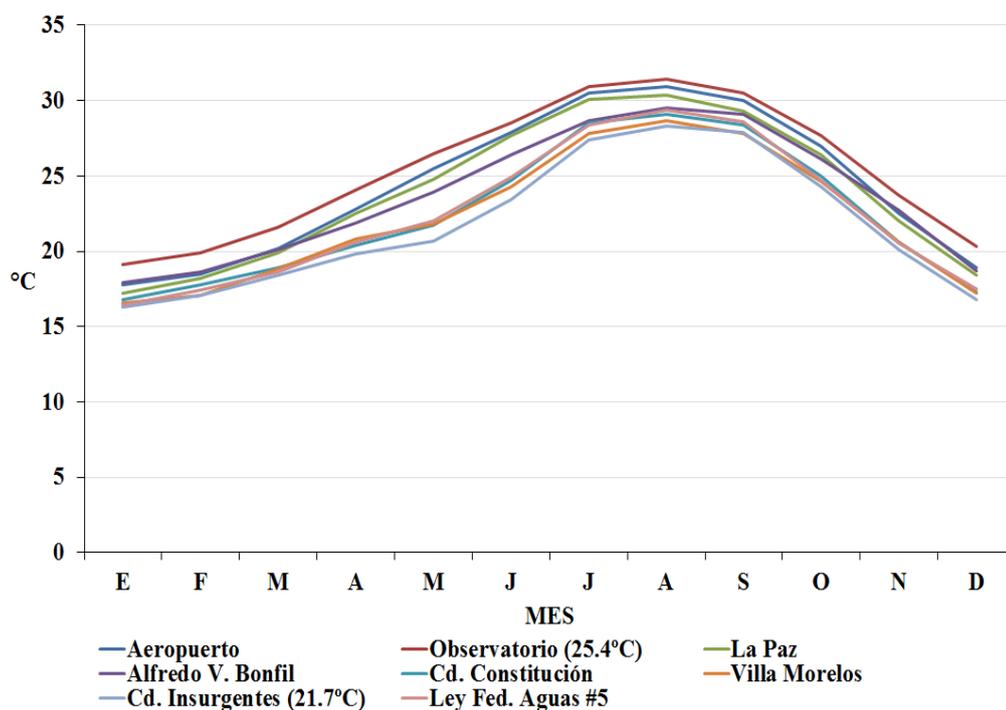
III. RESULTADOS.

Los resultados obtenidos en los análisis del clima, del agua de riego, del suelo y las condiciones socioeconómicas, se presentan a continuación.

3.1. Aspectos climáticos.

Se procesaron los datos climáticos de las estaciones señaladas anteriormente, con datos de enero de 1978 a diciembre de 2008, excepto el Observatorio de La Paz y del Aeropuerto de La Paz, las cuales cuentan con la serie de enero de 1998 a diciembre de 2008.

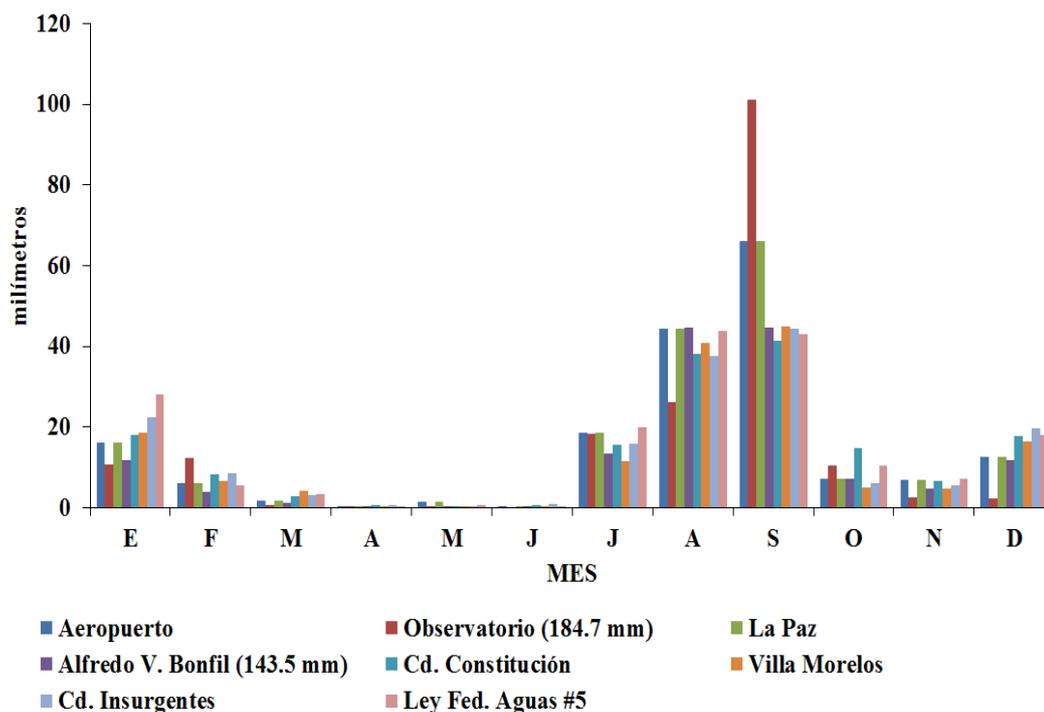
Las siguientes gráficas muestran las tendencias de la temperatura, precipitación y evaporación promedio mensual para cada estación climática, del periodo de 1978 a 2008.



Gráfica 1. Tendencia de la temperatura media mensual (°C).

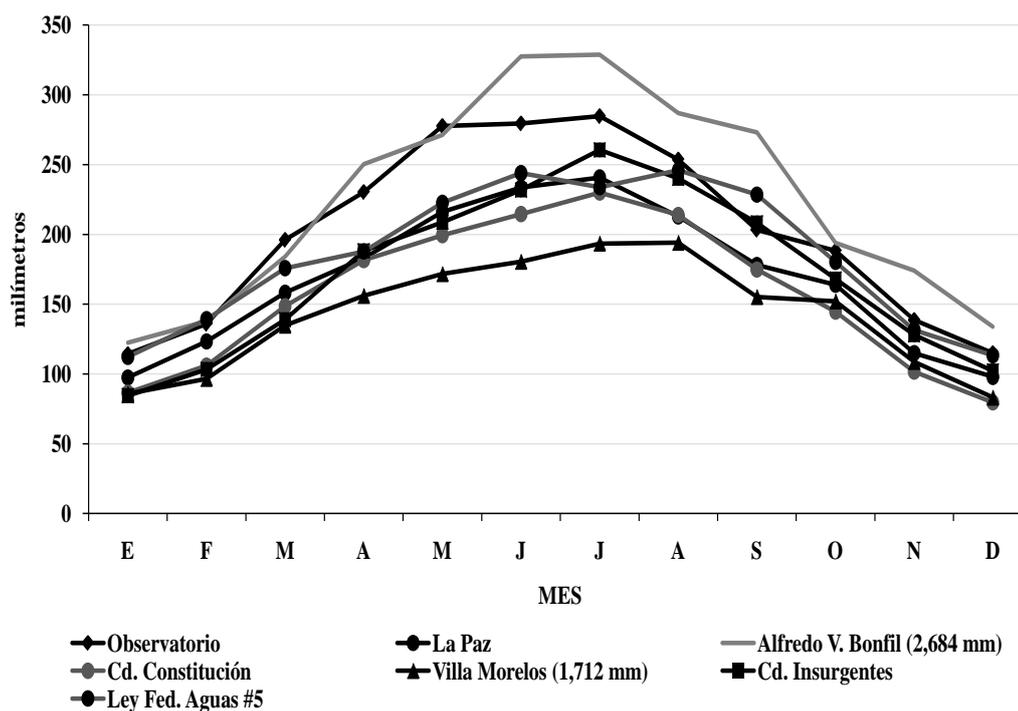
La tendencia de la temperatura (Gráfica 1) muestra que el mes más caliente se desplaza al verano y el más frío es enero. El Observatorio de La Paz registró la mayor

temperatura media anual con 25.4 °C, mientras que la menor se presentó en la estación de Cd. Insurgentes con 21.7 °C. Es importante señalar que las regiones de estudio se caracterizan por tener veranos cálidos, característico de las zonas áridas subtropicales como son las cuencas agrícolas de estudio. La temperatura media anual de la cuenca de Comondú fue de 22.2 °C, mientras que en la cuenca de La Paz fue de 24.3 °C.



Gráfica 2. Tendencia de la precipitación media mensual (mm).

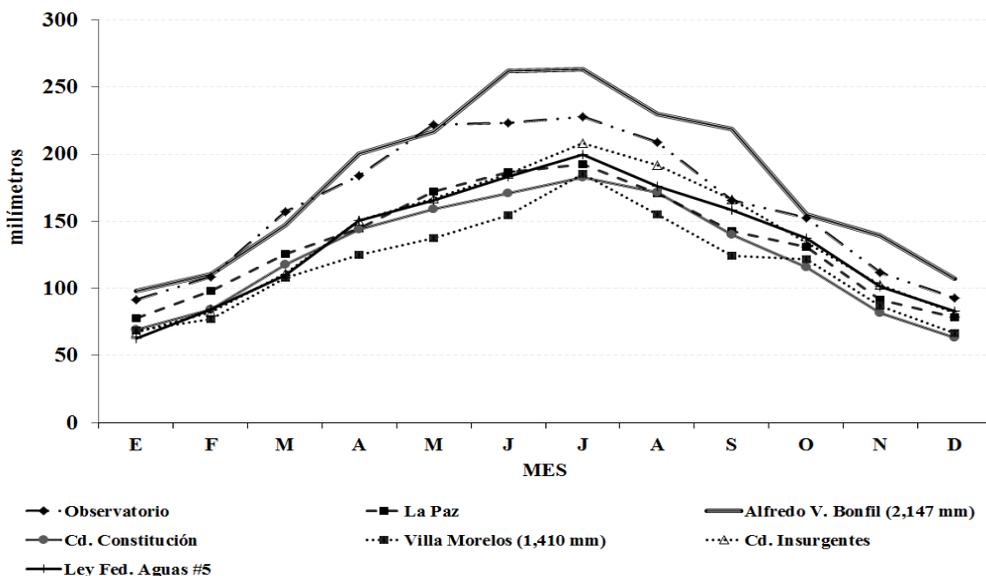
La tendencia de la precipitación (pp) muestra valores mayores en verano, con un 20 % de probabilidad de ocurrencia en invierno. El Observatorio de La Paz registró la mayor pp con 184.7 mm y Alfredo V. Bonfil la menor con 143.5 mm. El mes más lluvioso es septiembre, producto de la mayor ocurrencia de tormentas tropicales en la región (Gráfica 2). El promedio anual de la cuenca de Comondú fue de 166.2 mm; en la cuenca de La Paz fueron 173.3 mm; y el promedio de las dos cuencas fue de 169.7 mm anuales.



Gráfica 3. Tendencia de la evaporación media mensual (mm).

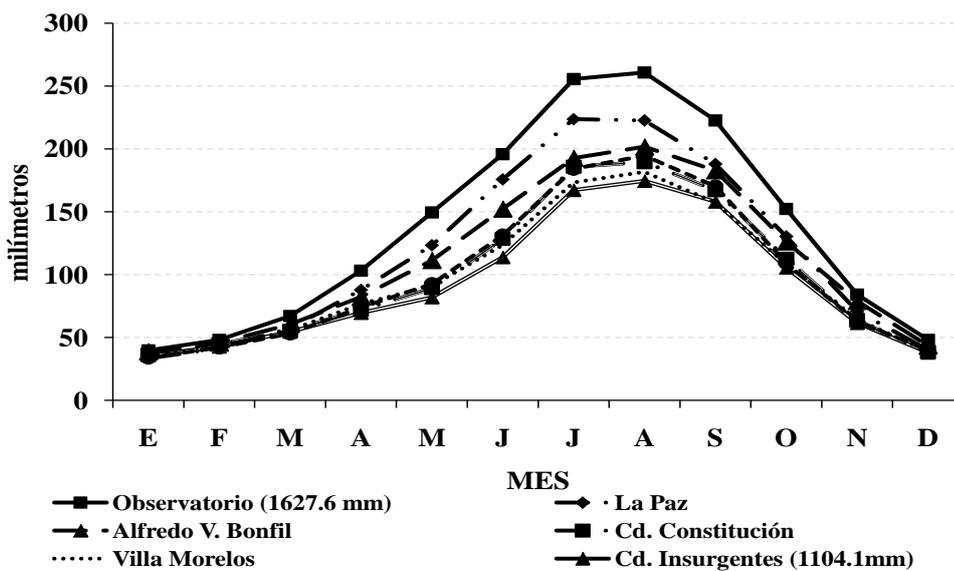
La estación Alfredo V. Bonfil registró la mayor evaporación anual con 2,684 mm y Villa Morelos la menor con 1,712 mm (Gráfica 3). La tendencia es semejante en todas las estaciones, donde se incrementa la evaporación en la mitad caliente del año y disminuye en la mitad fría del año. La estación del Aeropuerto de La Paz no registra la evaporación, por tal motivo no se reportan datos de ella. El valor promedio anual para cada cuenca fue de 2,373.7 mm en La Paz y 1,967.5 mm en Comondú, con un promedio de 2,170.6 mm en la zona de estudio, en el periodo de 1978 a 2008.

El cálculo de la evapotranspiración (ETP) se realizó por el método del Tanque de evaporación, con un coeficiente C igual a 0.8 (Gráfica 4) y por el método de Thornthwaite (Gráfica 5). El Observatorio de La Paz cuenta con mayor cantidad de variables climáticas observadas, lo que permitió calcular la ETP por los métodos de Penman y Penman-Monteich (Gráfica 6).



Gráfica 4. Tendencia de la evapotranspiración media mensual, método del Tanque de evaporación (mm).

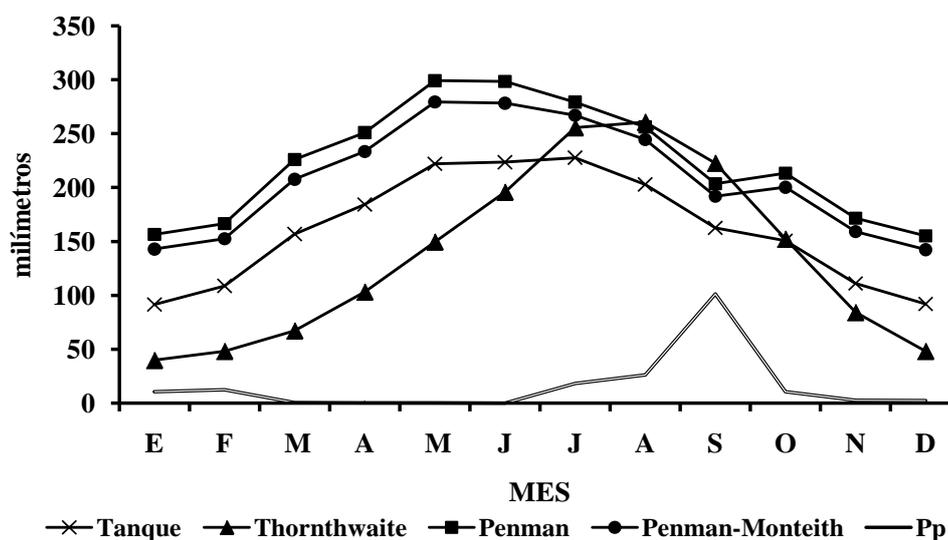
De acuerdo al método del tanque, la mayor ETP promedio anual se registró en la estación Alfredo V. Bonfil (2,147 mm) y la menor en Villa Morelos (1,410 mm), sin embargo, en todas las estaciones se observó una tendencia de pérdida de agua por ETP, puesto que la precipitación es menor en las regiones de estudio, que motiva a desarrollar sistemas de producción agrícola bajo riego. El promedio anual por cuenca fue de 1,901.7 mm y 1,543.8 mm para La Paz y Comondú, respectivamente.



Gráfica 5. Tendencia de la evapotranspiración media mensual, método de Thornthwaite (mm).

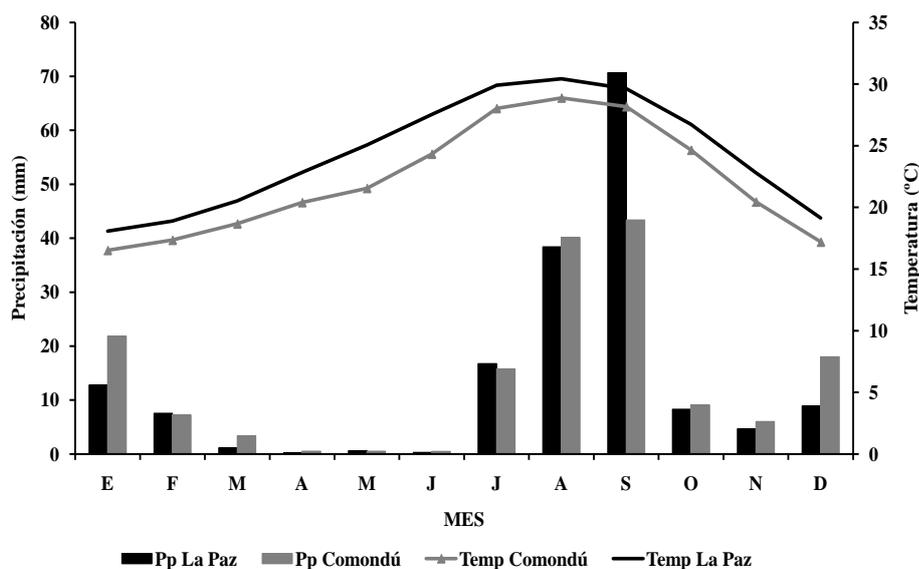
En el caso del método de Thornthwaite (Gráfica 5), el cual basa sus cálculos en los valores de la temperatura media; se observó una mayor ETP en el Observatorio La Paz (1,627.6 mm) y la menor en Ley Federal de Aguas #5 (1,104.1 mm), pero en general los datos son menores que en el método del Tanque, por lo que se infiere que se subestima el valor de ETP, puesto que el proceso de evapotranspiración es afectado por más elementos climáticos. El promedio anual por cuenca fue de 1,452.5 mm y 1,156.1 mm para La Paz y Comondú, respectivamente.

Al contar con más datos climáticos en el Observatorio de La Paz, permitió calcular la ETP por dos métodos más. La siguiente gráfica muestra las tendencias de cada método así como de la precipitación registrada en esta estación para el periodo de 1998 a 2008.



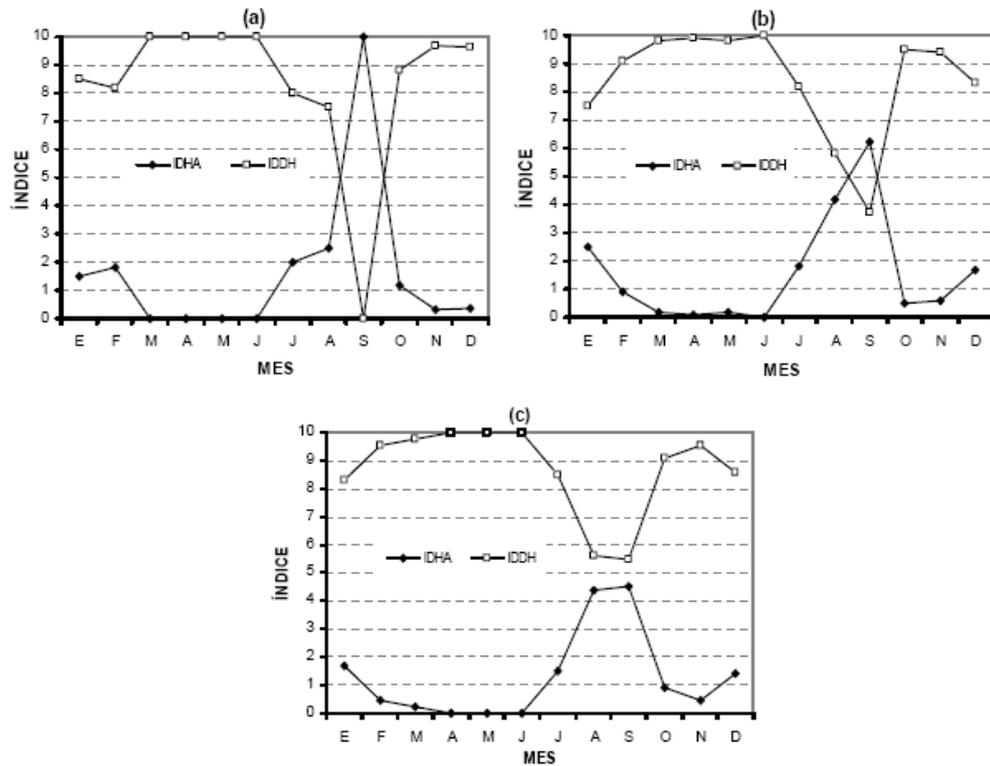
Gráfica 6. Tendencia de la precipitación y de la ETP (mm) por varios métodos, Observatorio de La Paz, B.C.S.

Se observa que el método del tanque presentó una tendencia menor de ETP, en tanto que los métodos Penman y Penman-Monteich sobreestimaron su tendencia. El método de Thornthwaite es el método que subestima la ETP con respecto al Tanque de evaporación. La cuenca de La Paz presenta mayor temperatura y precipitación que la cuenca de Comondú (Gráfica 7), con valores de precipitación de 173.3 y 166.2 mm anuales y temperaturas de 24.3 y 22.0 °C promedio anual, respectivamente.



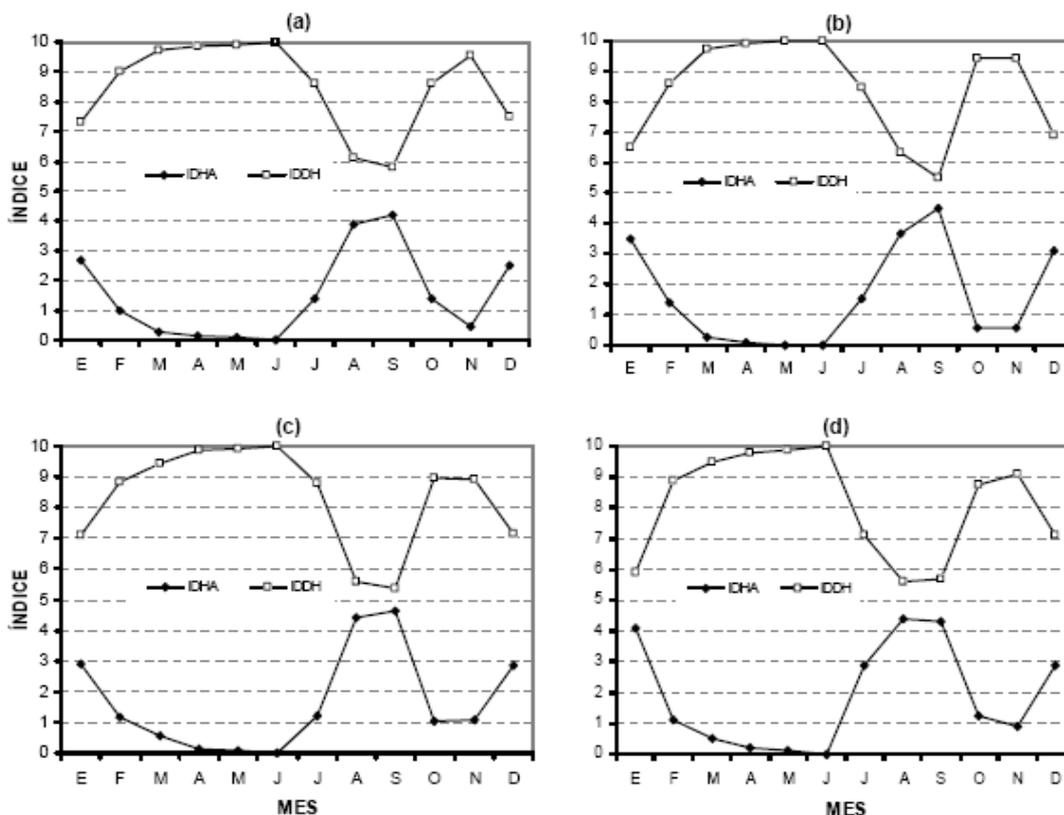
Gráfica 7. Tendencia de la precipitación y temperatura media en la cuenca de La Paz y Comondú, B.C.S. (Pp= precipitación (mm); Temp= temperatura (°C)).

Con base en los datos de precipitación, temperatura y utilizando el método de Martonne modificado por Troyo *et. al.* (2004), se determinaron los índices de disponibilidad y déficit hidro-ambiental en cada estación. La disponibilidad hidro-ambiental (*IDHA*) en las estaciones analizadas fue baja. La mayoría de los meses presentaron un déficit hidro-ambiental (*IDDH*) lo que motiva a diseñar estrategias para eficientizar el uso del agua extraída de los acuíferos. Para la cuenca de La Paz (Gráfica 8), las estaciones La Paz y Observatorio de La Paz, presentaron un *IDHA* mayor que el *IDDH* en el mes de septiembre. Para los restantes 11 meses el *IDDH* fue alto y mayor que *IDHA*, lo que evidencia la nula disponibilidad de humedad. La estación Alfredo V. Bonfil localizada a 30 km al norte de la ciudad de La Paz, en una zona más seca; debido a su cercanía a la sierra del Mechudo, muestra efectos derivados de sombra pluviométrica, disminuyendo en consecuencia la precipitación en la zona. Es importante señalar que la disminución de la precipitación hacia el norte de la península es una condición que se asocia a una mayor aridez en la península.



Gráfica 8. Promedios mensuales de *IDHA* e *IDDH*, para las estaciones de la cuenca de La Paz, B.C.S. (a): Estación Observatorio La Paz. (b): Estación climática La Paz. (c): Estación climática Alfredo V. Bonfil.

La cuenca de Comondú (Gráfica 9) presenta condiciones de menor *IDHA* que la cuenca de La Paz, con valores numéricos de *IDHA* menores que el *IDDH* en todo el año.



Gráfica 9. Promedios mensuales de IDHA e IDDH, para las estaciones de la cuenca de Comondú, B.C.S. (a): Estación climática Cd. Constitución. (b): Estación climática Cd. Insurgentes. (c): Estación climática Villa Morelos. (d): Estación climática Ley Federal de Aguas #5.

Para establecer la importancia de la precipitación sobre la tendencia del *IDHA*, se realizó un análisis de regresión lineal simple considerando a la precipitación como variable independiente y al *IDHA* como variable dependiente, cuyos estadísticos se muestran en el Tabla VIII, el análisis de varianza correspondiente se detalla en el Tabla IX.

Tabla VIII. Análisis de Regresión - Modelo Lineal $Y = a + b \cdot X$.
La Paz-Comondú, B.C.S.

Coeficientes Parámetro	Mínimos		Error Estándar	Estadístico T	Valor-P
	Cuadrados Estimado				
Ordenada	0.1760		0.0588	2.997	0.004
Pendiente	0.1014		0.0027	38.797	0

Nota: Variable dependiente: *IDHA*; Variable independiente: Precipitación.

Tabla IX. ANOVA para la relación numérica precipitación-*IDHA*.
La Paz-Comondú, B.C.S.

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Coefficiente F	P-Valor
Modelo	267.65	1	267.65	1504.77	0.000
Residuo	14.59	82	0.18		
Total	282.24	83			

Coefficiente de Correlación = 0.97

$R^2 = 94.8 \%$

R^2 (ajustado para g.l.) = 94.8 %

Error estándar de estadístico = 0.43

Error absoluto medio = 0.34

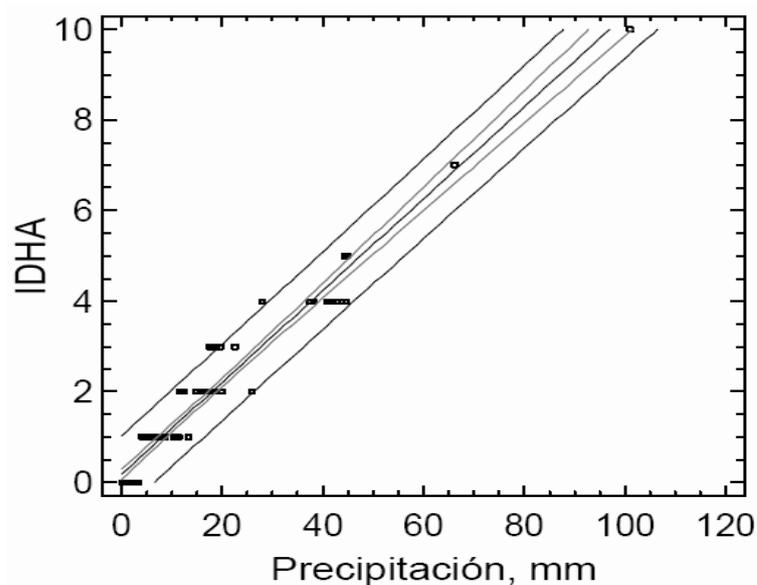
Estadístico de Durbin-Watson = 1.06 (P=0.0000)

Autocorrelación residual en Lag 1=0.44

Los resultados obtenidos son indicativos del ajuste significativo estimado por el modelo lineal, que describe la relación numérica entre el *IDHA* y la precipitación. La ecuación del modelo ajustado obtenida fue:

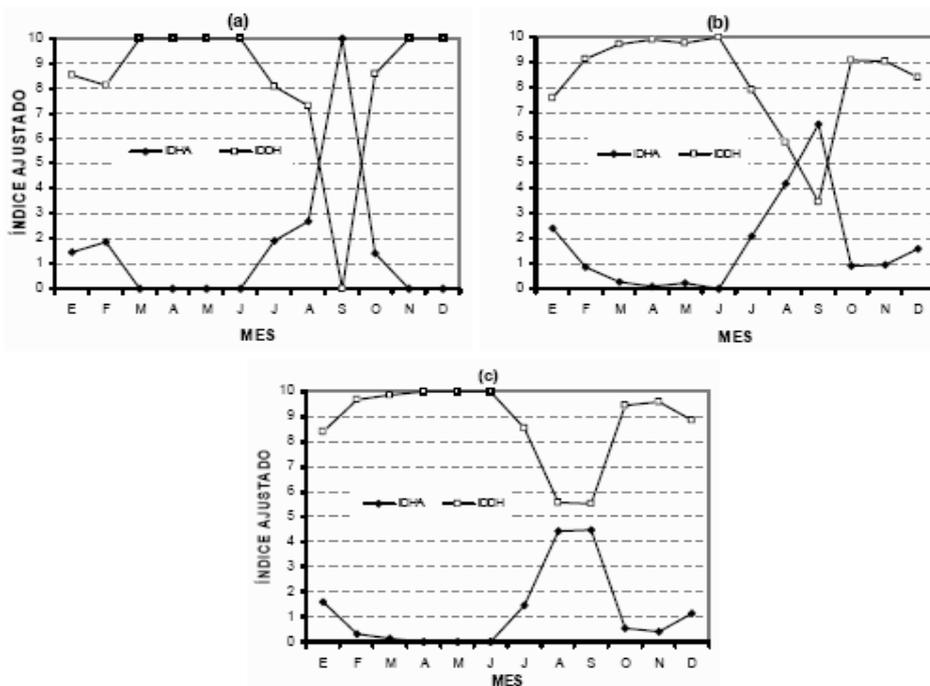
$$IDHA = 0.176012 + 0.101391 * pp \quad (3)$$

Dado que el p-valor en el análisis de varianza (Tabla II) fue menor a 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre *IDHA* y la precipitación para un nivel de confianza del 95.0 %. El estadístico R^2 indicó que el modelo ajustado explica 94.8 % de la variabilidad observada para *IDHA*. Por su parte r (coeficiente de correlación) fue igual a 0.97, indicando una relación suficientemente alta entre ambas variables. Entre los estadísticos calculados, el error estándar de la estimación indica que la desviación estándar de los residuos fue 0.43, en tanto que el error absoluto medio (MAE) de 0.34 fue el valor promedio de los residuos. Por su parte el estadístico Durbin-Watson (DW) se calculó para examinar los residuos con la finalidad de determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se han introducido los datos en el programa estadístico. Toda vez que el valor-p fue menor de 0.05, se acepta un nivel de confianza del 95 % para la correlación estimada. En la Gráfica 10 se presenta el modelo de regresión lineal ajustado con las variables precipitación (x) y el índice *IDHA* (y).



Gráfica 10. Modelo ajustado para la relación precipitación-IDHA, para La Paz y Comondú, B.C.S. $IDHA = 0.176012 + 0.101391 * pp$.

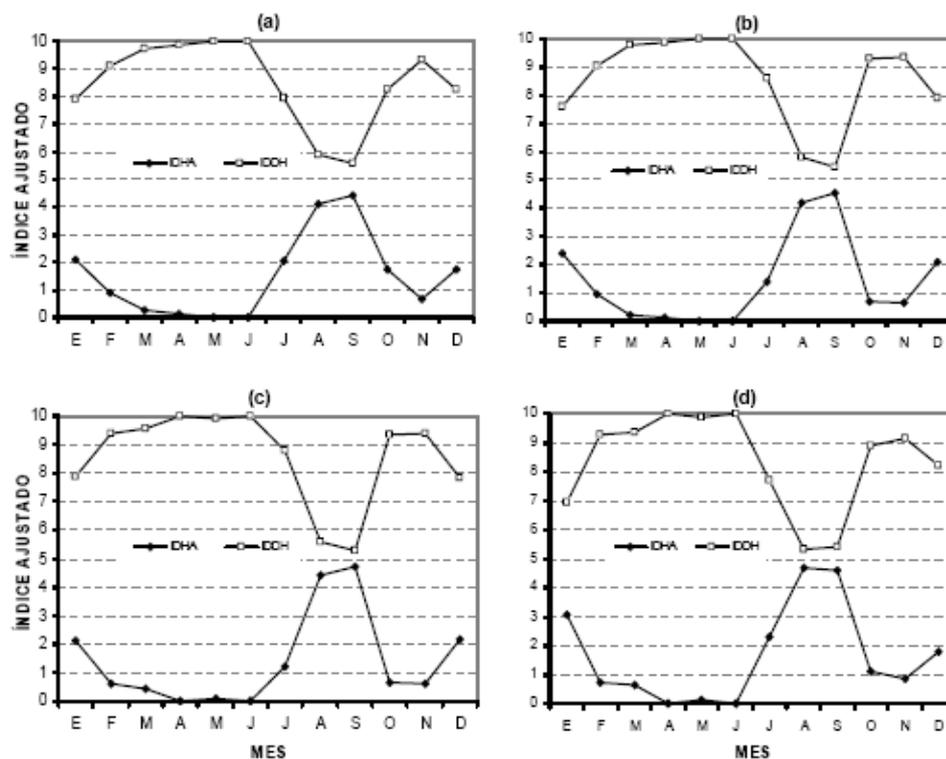
La Gráfica 11 muestra el balance entre el IDHA y el IDDH obtenido a partir de la ecuación (3) y la ecuación (2), para la cuenca de La Paz.



Gráfica 11. Promedio mensual de IDHA e IDDH ajustados, para las estaciones de la cuenca de La Paz, B.C.S. (a): Estación Observatorio La Paz. (b): Estación climática La Paz. (c): Estación climática Alfredo V. Bonfil.

Se observa un ajuste satisfactorio del modelo, lo cual permite sugerir su empleo para otras localidades y así obtener el balance hidro-ambiental correspondiente.

Para la cuenca de Comondú (Gráfica 12) se obtuvo la misma tendencia de ajuste que en el análisis de la cuenca de La Paz, que corrobora la bondad del modelo numérico para adoptar el índice hidro-ambiental como índice de aridez.



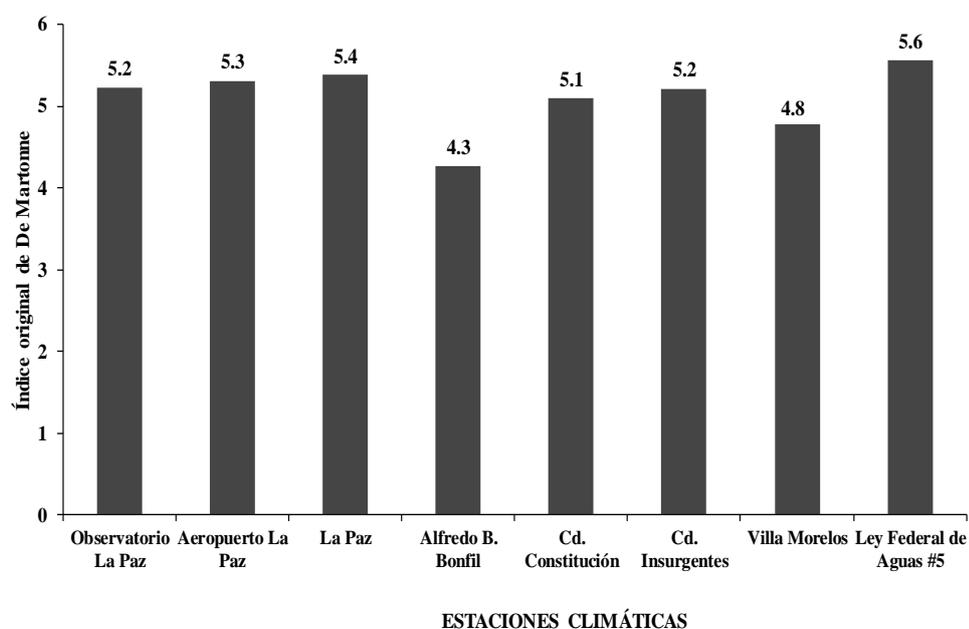
Gráfica 12. Promedio mensual de *IDHA* e *IDDH* ajustados, para las estaciones de la cuenca de Comondú, B.C.S. (a): Estación climática Cd. Constitución. (b): Estación climática Cd. Insurgentes. (c): Estación climática Villa Morelos. (d): Estación climática Ley Federal de Aguas #5.

En la Tabla X, se presentan los resultados promedio anual de los índices *IDHA* e *IDDH* para cada estación analizada, de las cuencas de La Paz y Comondú.

Tabla X. Índice de Disponibilidad y Déficit Hidro-Ambiental, sin ajuste y ajustado al modelo propuesto, considerando el promedio anual por estación climática.

Estación	<i>IDHA</i>			
	sin ajuste	<i>IDHA</i> ajustado	<i>IDDH</i> sin ajuste	<i>IDDH</i> ajustado
Observatorio La Paz.	1.59	1.70	8.41	8.30
La Paz.	1.66	1.72	8.34	8.28
Alfredo V. Bonfil.	1.31	1.39	8.69	8.61
Cd. Constitución.	1.61	1.57	8.39	8.43
Cd. Insurgentes.	1.66	1.57	8.34	8.43
Villa Morelos.	1.51	1.47	8.49	8.53
Ley Federal de Aguas #5	1.77	1.70	8.23	8.30

A manera comparativa, mediante la aplicación del modelo original de De Martonne, se clasificó la aridez de las cuencas estudiadas (Gráfica 13). Se observó que sólo dos estaciones presentan un índice menor de 5, Alfredo V. Bonfil y Villa Morelos, en la cuenca de La Paz y Comondú, respectivamente, por lo que se consideran como localidades hiper-áridas, lo que indica la severa limitación hidro-climática que las caracteriza, restringiendo el desarrollo de actividades agrícolas y pecuarias sostenibles. Al aplicar dicho índice como estimador regional, para la zona de estudio se calculó un índice de aridez de 5.10.



Gráfica 13. Valores del índice de aridez de acuerdo al índice original de De Martonne. La Paz-Comondú, B.C.S.

3.2. Análisis de agua de riego.

Se evaluaron 24 pozos en las cuencas de Comondú y La Paz, considerados de acuerdo con las zonas de muestreo de suelo (Anexo 2).

En el primer muestreo (Tabla XI) se observaron valores altos de conductividad eléctrica que ponen en riesgo la disponibilidad de agua para riego agrícola, así como la presencia de valores altos de sólidos disueltos totales. Se tiene información de los productores de dichos pozos, que han empezado a agregar productos químicos para disminuir el efecto de estos parámetros en los cultivos agrícolas, lo que les ha representado un incremento en los costos de producción.

Para el segundo muestreo (Tabla XII) las tendencias generales se mostraron igual que en el primero muestreo, aunque cabe señalar que algunos pozos se obtuvieron valores más bajos que en el primer muestreo. Cabe aclarar que para el segundo y tercer muestreo se determinó la alcalinidad de cada muestra de agua recolectada.

Tabla XI. Resultados del primer muestreo de agua de riego.

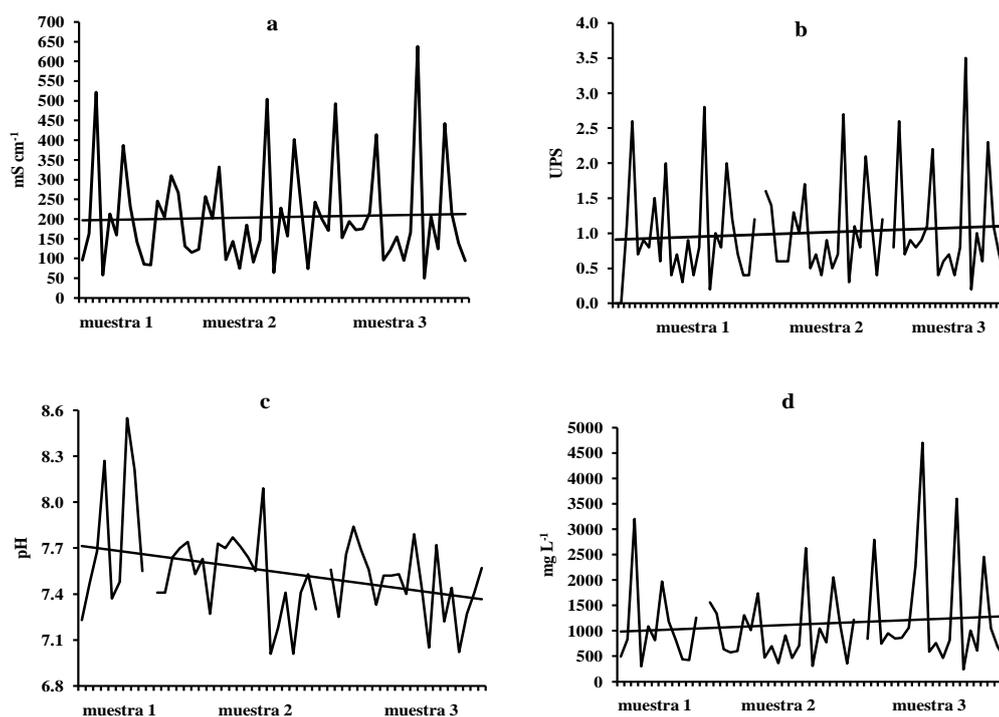
Número Pozo	pH	Conductividad eléctrica (mS m ⁻¹)	Salinidad (UPS)	Dureza (mg L ⁻¹)	Cloruros (mg L ⁻¹)	Sulfatos (mg L ⁻¹)	Oxígeno disuelto (mg L ⁻¹)	SDT (mg L ⁻¹)	Temperatura (°C)
1	7.6	227.0	1.1	688.8	537.6	53.5	8.3	1,158.0	33.0
2	7.5	484.0	2.6	1,868.7	1,320.4	284.6	6.5	2,950.0	34.0
3	8.1	155.9	0.7	293.5	339.5	30.5	7.1	796.0	35.0
4	7.9	186.8	0.9	370.5	405.5	66.4	7.1	954.0	36.5
5	7.9	163.1	0.8	281.3	358.4	55.8	6.0	833.0	36.0
6	7.7	294.0	1.5	844.9	726.2	155.2	8.9	1,500.0	37.0
7	8.0	123.1	0.6	339.6	226.3	30.3	7.3	629.0	37.0
8	7.5	392.0	2.0	1,338.6	1,226.0	67.3	5.9	1,999.0	34.0
9	7.9	101.2	0.4	194.9	207.5	12.0	5.9	516.0	36.0
10	7.9	154.2	0.7	428.3	405.5	25.9	6.7	787.0	36.0
11	7.9	73.2	0.3	137.0	113.2	11.2	8.3	374.0	37.0
12	7.8	188.8	0.9	424.7	386.7	86.9	6.8	965.0	35.0
13	8.1	96.0	0.4	214.4	160.3	16.3	6.2	490.0	35.0
14	7.6	162.6	0.8	461.2	367.8	22.2	5.4	832.0	35.0
15	8.3	522.0	2.8	1,988.3	1,556.1	213.6	6.5	3,200.0	36.0
16	7.2	58.2	0.2	200.2	150.9	7.2	10.8	298.0	30.7
17	7.5	213.0	1.0	789.2	518.7	107.1	6.5	1,088.0	31.8
18	7.7	159.8	0.8	622.9	443.3	26.6	6.5	816.0	30.2
19	8.3	387.0	2.0	1,492.7	1,178.9	166.2	5.9	1,973.0	30.0
20	7.4	232.0	1.2	774.0	575.3	60.4	5.2	1,186.0	30.2
21	7.5	141.7	0.7	507.4	311.2	48.8	9.2	823.0	30.0
22	8.6	85.3	0.4	98.0	150.9	19.5	6.2	436.0	24.0
23	8.2	83.1	0.4	119.1	160.3	18.5	3.6	424.0	21.2
24	7.6	246.0	1.2	401.9	509.3	67.7	11.0	1,259.0	30.5

Tabla XIII. Resultados del tercer muestreo de agua de riego.

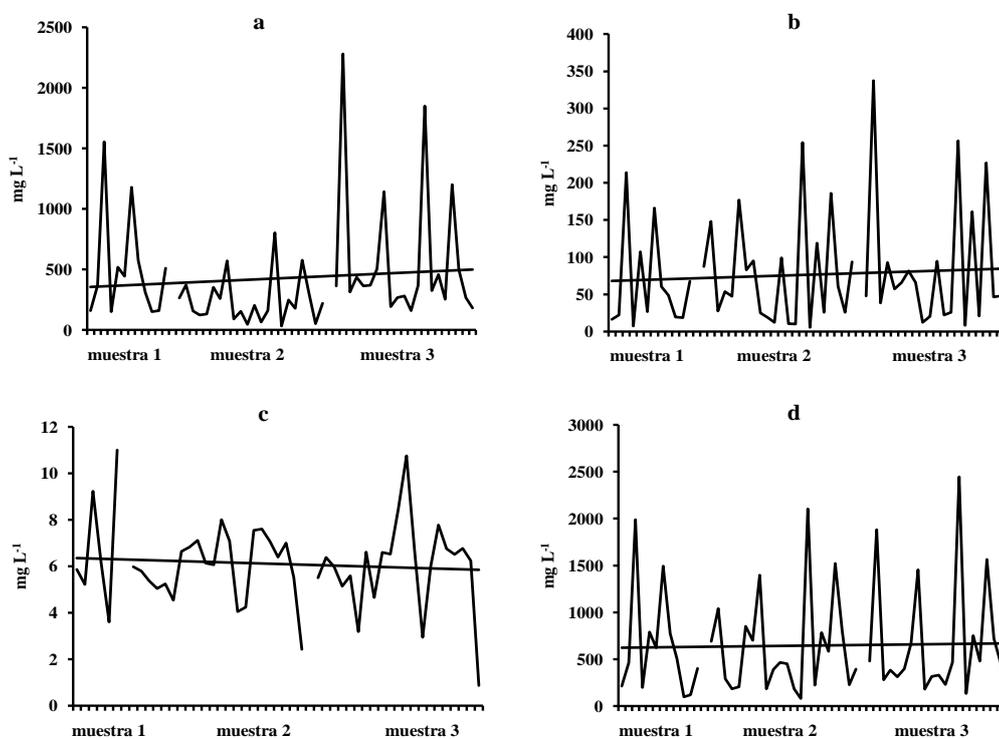
Número Pozo	pH	Conductividad eléctrica (mS m ⁻¹)	Salinidad (UPS)	Dureza (mg L ⁻¹)	Cloruros (mg L ⁻¹)	Sulfatos (mg L ⁻¹)	Oxígeno disuelto (mg L ⁻¹)	SDT (mg L ⁻¹)	Alcalinidad (mg/L ⁻¹)	Temperatura (°C)
1	7.6	170.8	0.8	479.1	365.4	47.8	5.5	839.0	217.2	28
2	7.3	493.0	2.6	1,880.6	2,282.7	337.5	6.4	2,790.0	180.3	27.6
3	7.7	152.1	0.7	279.4	313.2	38.2	6.0	748.0	240.9	29
4	7.8	193.5	0.9	384.4	436.4	92.8	5.2	949.0	222.9	29.5
5	7.7	173.0	0.8	310.8	365.4	57.4	5.6	850.0	252.4	28
6	7.6	175.5	0.9	399.5	369.2	65.9	3.2	863.0	231.2	28
7	7.3	216.0	1.1	667.5	506.4	81.8	6.6	1,061.0	220.1	28.2
8	7.5	414.0	2.2	1,453.4	1,142.0	65.7	4.7	2,280.0	170.6	28.5
9	7.5	95.9	0.4	180.9	191.8	12.2	6.6	4,700.0	188.9	28.8
10	7.5	120.6	0.6	316.9	267.4	20.4	6.5	592.0	190.3	28.8
11	POZO NO MUESTREADO POR ESTAR EN REPARACIÓN									
12	7.4	155.1	0.7	330.0	282.4	94.4	8.5	760.0	237.3	29.0
13	7.8	95.3	0.4	229.2	159.2	22.2	10.8	467.0	200.3	28.0
14	7.5	166.1	0.8	465.0	366.4	25.9	6.7	815.0	164.8	29.5
15	7.1	638.0	3.5	2,445.3	1,850.5	256.7	3.0	3,600.0	157.3	28.8
16	7.7	50.2	0.2	133.8	324.4	8.3	6.0	241.0	165.2	27.0
17	7.2	206.0	1.0	752.1	457.8	161.1	7.8	1,006.0	160.2	32.0
18	7.4	123.9	0.6	479.1	253.4	20.9	6.8	607.0	168.8	30.8
19	7.0	442.0	2.3	1,563.2	1,202.7	226.7	6.5	2,460.0	184.9	30.8
20	7.3	213.0	1.1	718.9	500.8	46.5	6.8	1,049.0	176.3	29.3
21	7.4	139.5	0.7	464.0	266.5	47.7	6.2	684.0	200.7	30.5
22										
23	NO SE MUESTREARON POR ESTAR EL EQUIPO EN REPARACIÓN									
24	7.6	94.0	0.4	176.83	181.55	30.53	0.88	461.0	154.06	33.0

El pH tendió a disminuir en el tercer muestreo, lo que se asemeja a los resultados obtenidos en el estudio del acuífero de Santo Domingo (CONAGUA-UABS, 2009), quienes encontraron una acidificación gradual en los últimos 20 años.

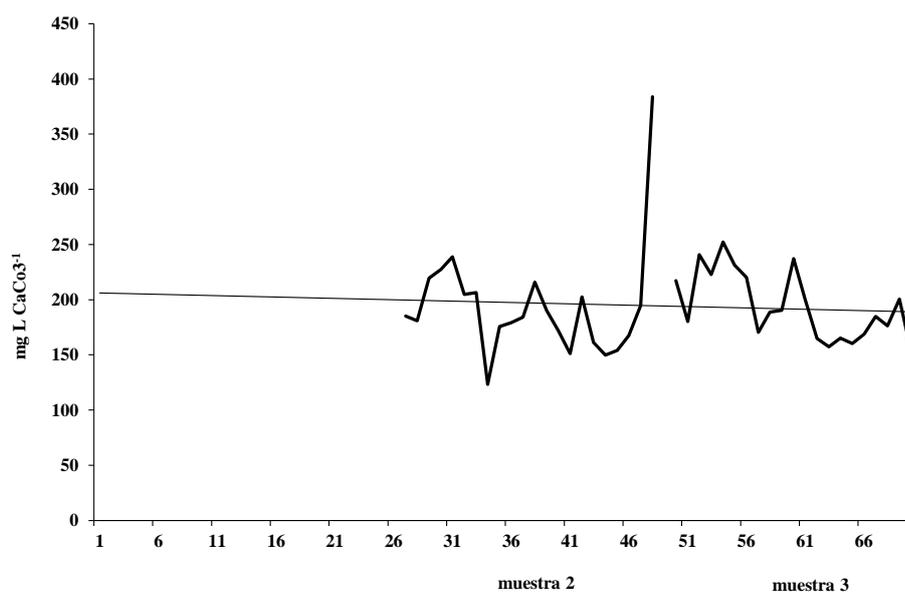
Existe una tendencia mixta en los elementos analizados, como se muestra en las Gráficas 14, 15 y 16.



Gráfica 14. Tendencias de a: conductividad eléctrica. b: salinidad. c: pH. d: sólidos totales disueltos, por pozo de agua muestreado, a través del año 2007-2008.



Gráfica 15. Tendencias de la concentración de a: cloruros. b: sulfatos. c: oxígeno disuelto. d: dureza, por pozo de agua muestreado, a través del año 2007-2008.



Gráfica 16. Tendencia de la concentración de la alcalinidad, por pozo de agua muestreado, a través del año 2007-2008.

Se concluye que el agua de riego que se utiliza en la cuenca de Comondú, presenta mayor riesgo de perder calidad agrícola (Tabla XIV); así también se señala que los niveles estáticos del agua en los pozos de esta cuenca han disminuido en general, lo que ha motivado la implementación de tecnologías más eficientes en el uso de agua, apoyados los productores por programas de financiamiento federal y estatal para adquirir dichos equipos, con el consecuente incremento en los costos de producción agrícola.

Tabla XIV. Promedios de cada elemento analizado por cuenca de estudio.

Cuenca	Comondú			La Paz			
	Elemento / # de Muestreo	1°	2°	3°	1°	2°	3°
pH		7.8	7.6	7.5	7.8	7.3	7.4
Conductividad eléctrica ($mS\ m^{-1}$)		221.6	198.5	232.8	178.5	199.4	181.2
Salinidad (UPS)		1.1	1.0	1.2	0.9	1.0	0.9
Dureza ($mg\ L^{-1}$)		658.3	614.8	701.6	556.1	647.7	612.6
Cloruros ($mg\ L^{-1}$)		555.8	250.6	635.6	444.3	231.0	455.3
Sulfatos ($mg\ L^{-1}$)		75.4	76.7	87.1	58.0	73.8	77.4
Oxígeno disuelto ($mg\ L^{-1}$)		6.9	5.9	6.1	7.2	6.2	5.8
Sólidos totales disueltos ($mg\ L^{-1}$)		1,198.9	1,001.5	1,522.4	922.6	984.0	929.7
Alcalinidad ($mg\ L^{-1}$)		sd	190.3	204.7	sd	195.7	173.1

Nota: sd= sin dato

3.3. Análisis de suelo.

Se tomaron muestras de suelo en las cuencas agrícolas de Comondú y La Paz (Anexo 3), considerando tres ambientes: *suelo presumiblemente afectado ó abandonado*, *suelo natural inalterado* y *suelo agrícola en aparente estabilidad*. En total fueron 142 muestras y se determinaron 15 parámetros fisicoquímicos a cada una de ellas, de los cuales se muestran para cada cuenca los promedios de solo 12 (Tabla XV).

Tabla XV. Resultados promedio del análisis químico de suelo por ambiente considerado, para la cuenca de Comondú y La Paz, B.C.S.

CUENCA DE COMONDÚ												
Ambiente	pH	HCO ₃	Ca	Mg	N	P	K	Fe	S	Na	M.O. (%)	C.E. (μS cm ⁻¹)
A	7.7	62.7	42.2	40.4	0.5	6.2	24.0	0.3	36.5	147.0	0.5	641.4
B	7.6	61.0	71.1	37.3	0.5	0.9	19.9	2.1	29.9	281.3	0.4	1039.6
C	7.7	53.2	17.2	17.2	0.4	3.9	16.4	20.2	19.7	169.1	0.3	598.0
CUENCA DE LA PAZ												
Ambiente	pH	HCO ₃	Ca	Mg	N	P	K	Fe	S	Na	M.O. (%)	C.E. (μS cm ⁻¹)
A	7.7	63.7	101.8	38.1	0.9	8.3	34.5	3.5	109.3	293.0	1.0	1,092.1
B												
C	7.6	45.8	8.1	7.7	0.4	12.0	9.9	2.7	78.3	12.2	0.3	77.9

A: *suelo agrícola en aparente estabilidad*.

B: *suelo presumiblemente afectado*.

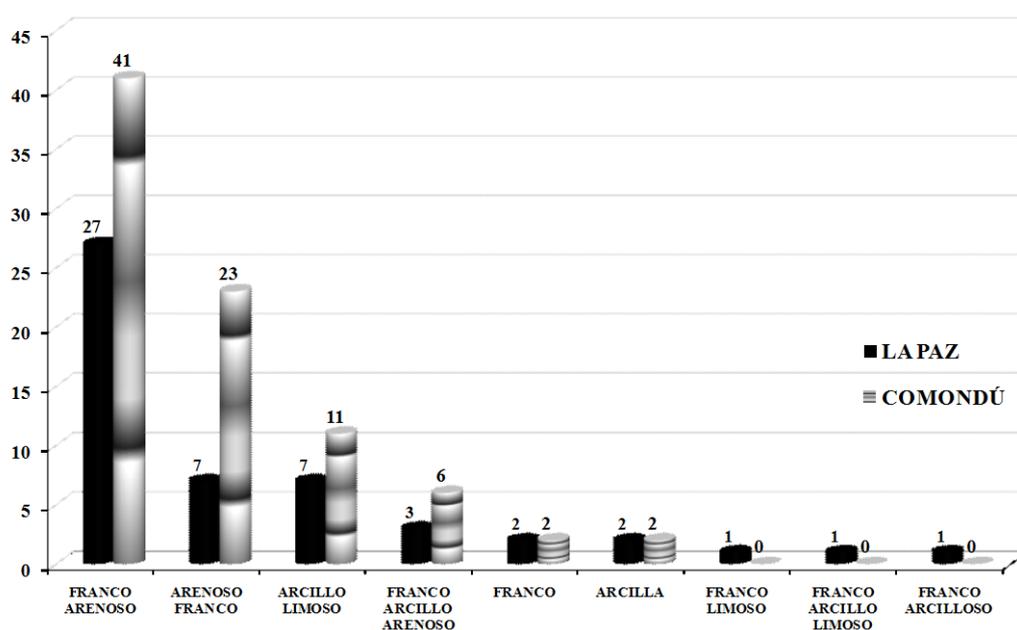
C: *suelo natural inalterado*.

Se observa que los incrementos en la conductividad eléctrica, en la concentración de sodio, y el agotamiento del agua en los pozos, han sido las causas del abandono de tierras agrícolas principalmente en la cuenca agrícola de Comondú. Las tierras agrícolas en actual producción presentan valores más altos de los macro elementos esenciales, producto de la fertilización química que se aplica en cada ciclo agrícola.

Es importante señalar que en la cuenca de La Paz, la tierra está sometida a mayor presión, tanto por las actividades agrícolas como por el incremento en el cambio de uso del suelo para fines habitacionales, por lo que no se encontraron *suelos*

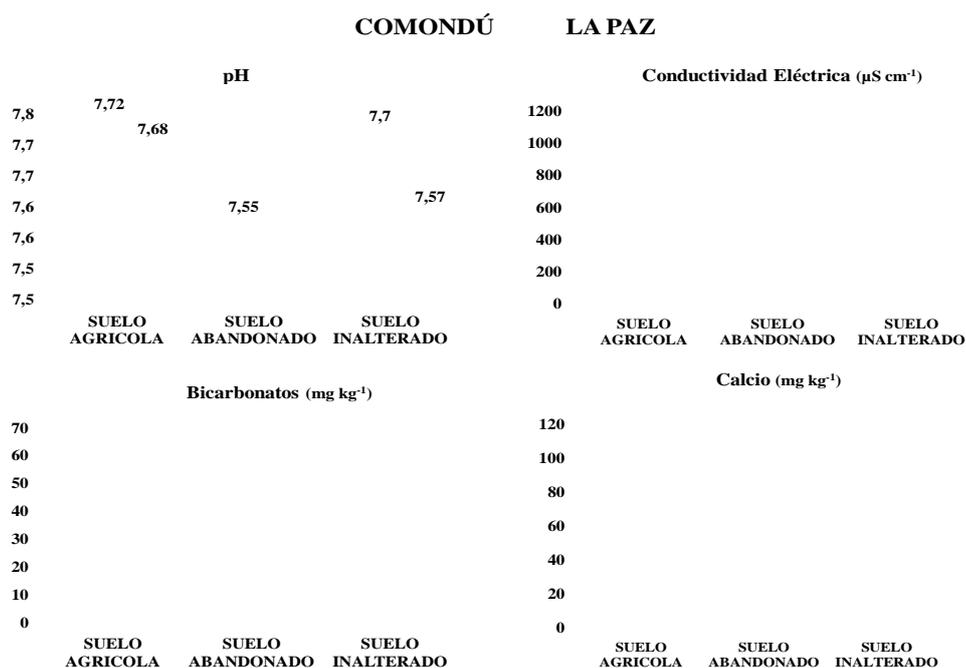
presumiblemente afectados o abandonados, ante lo cual no se reportan datos en el análisis de este ambiente de suelo.

La clase textural del suelo más frecuente en las zonas de estudio fue franco arenosa (Gráfica 17), de color claro, con baja cantidad de materia orgánica, lo que los hace ser suelos de baja retención de agua y gran infiltración, lo que motiva a incrementar el número de riegos por ciclo agrícola, aunado ello a las temperaturas elevadas que favorecen las pérdidas de agua por evapotranspiración.



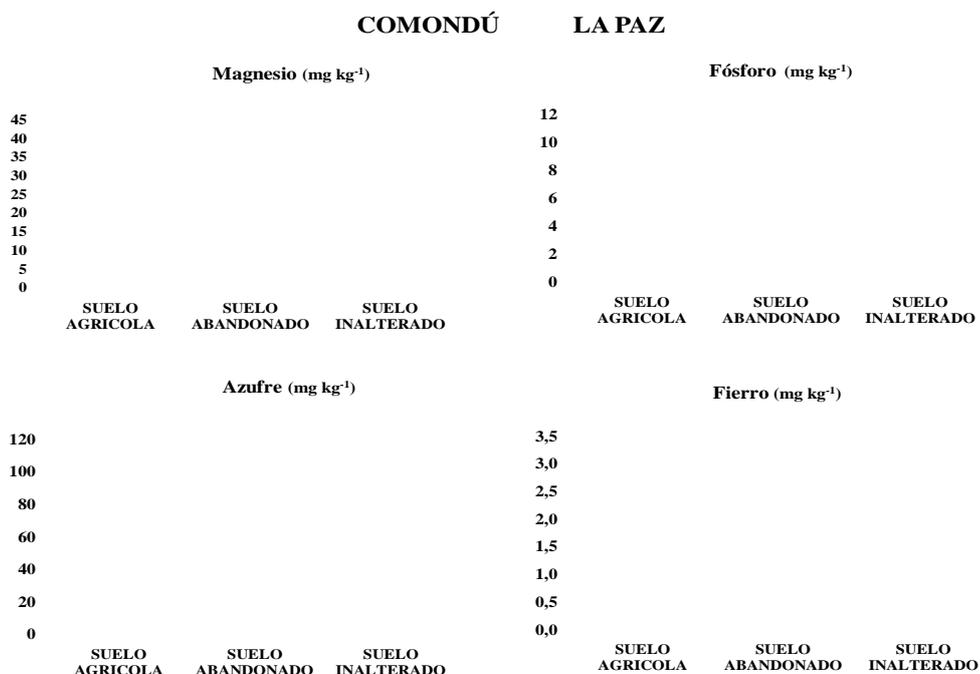
Gráfica 17. Frecuencia de la clase textural, por ambiente y cuenca considerada.

Las Gráficas 18, 19 y 20, muestran los resultados del análisis químico de suelo, donde se contrastan los valores entre los distintos ambientes y entre las cuencas evaluadas.



Gráfica 18. Valores de pH, conductividad eléctrica, bicarbonatos y calcio, por ambiente y cuenca considerada.

El pH (Gráfica 18) oscila entre 7.1 y 8.2 entre todos los puntos de muestreo, con la tendencia a mayores valores en la cuenca de Comondú y en los suelos agrícolas abandonados.



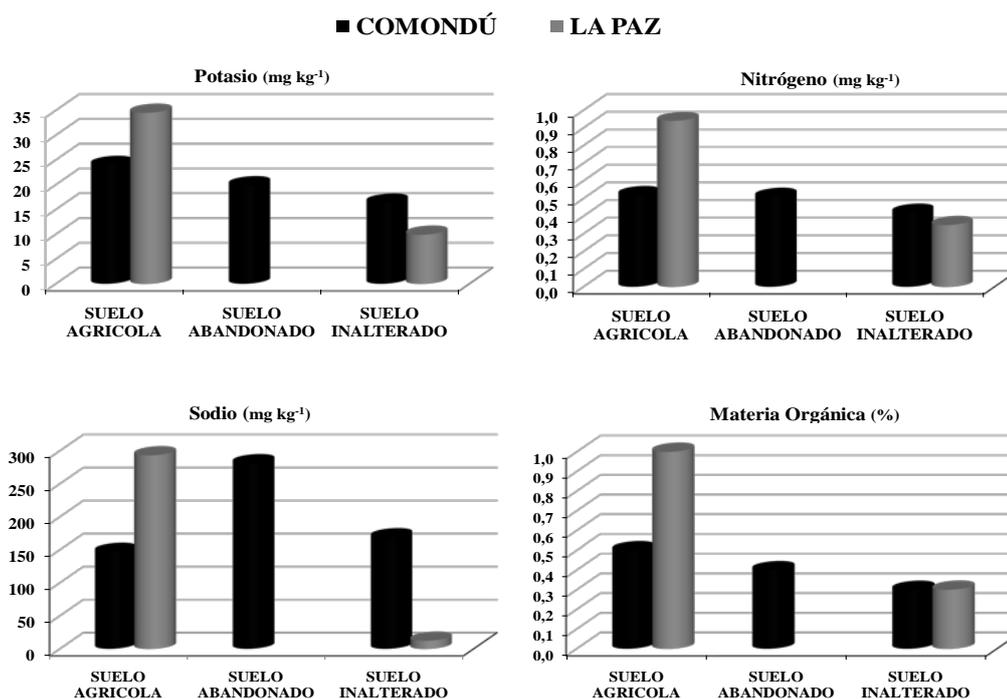
Gráfica 19. Valores de magnesio, fósforo, azufre y hierro, por ambiente y cuenca considerada.

El sodio (Gráfica 20) representa, entre otras causas, el motivo por el cual muchas tierras agrícolas han sido abandonadas en la cuenca de Comondú. Se obtuvo mayor concentración de este elemento en los suelos agrícolas de la cuenca de La Paz, lo cual la pone en grave riesgo de deterioro ambiental que de no corregirse a tiempo, se disminuirá la producción agrícola local.

La materia orgánica (Gráfica 20) es un parámetro importante para establecer la fertilidad y calidad agrícola de un suelo, y en este caso es evidente que el aporte de materia orgánica es mayor en los suelos agrícolas de las dos cuencas, principalmente en La Paz, producto de la incorporación de residuos de cosecha al suelo, sin embargo, el bajo porcentaje causa la mayor adición de fertilizantes inorgánicos al suelo para obtener mayores rendimientos.

Asimismo, en suelos naturales inalterados la acumulación de materia orgánica es menor, debido entre otros factores, a las altas temperaturas que degradan la hojarasca que cae al suelo y a la falta de lluvias, que han determinado la dominancia de plantas con hojas pequeñas, modificadas y tallos fotosintéticamente activos, disminuyendo así el aporte de materia orgánica al suelo de manera natural.

En este sentido, la pérdida o falta de materia orgánica en el suelo influye de manera significativa en la degradación del suelo; los residuos de plantas (cosecha u hojarasca) protegen al suelo del impacto erosivo de la lluvia, del viento, asimismo, ayuda a la conservación de la humedad del suelo por la disminución de la evaporación como lo señalaron Hillel y Rosenzweig (2002).



Gráfica 20. Valores de potasio, nitrógeno, sodio y materia orgánica, por ambiente y cuenca considerada.

En la Tabla XVI, se resumen los valores para cada ambiente de suelo muestreado, sin considerar la cuenca agrícola a la que pertenecen. En ella se puede observar las diferencias de los ambientes *suelo agrícola en aparente estabilidad* y del *suelo presumiblemente afectado*, con respecto al ambiente *suelo natural inalterado*, el cual sirve de referencia para valorar la degradación que los sistemas agrícolas han generado en el suelo de las dos cuencas en estudio.

Tabla XVI. Resultados promedio del análisis químico de suelo por ambiente analizado, de manera general de las dos cuencas estudiadas.

Ambiente	pH	HCO ₃	Ca	Mg	N	P	K	Fe	S	Na	M.O. (%)	C.E. (μS cm ⁻¹)
A	7.7	63.2	69.0	35.7	0.7	7.0	28.7	2.7	69.2	212.7	0.7	844.2
B	7.7	61.0	71.1	37.3	0.5	1.0	19.9	2.1	29.9	281.3	0.4	1039.2
C	7.6	50.5	13.9	13.6	0.4	7.0	14.0	2.4	41.0	112.1	0.3	408.6

Se observa que la concentración de sodio es más del doble en el ambiente *suelo presumiblemente afectado* que en el *suelo natural inalterado*, y casi se triplica el valor de la conductividad eléctrica entre estos ambientes.

Se realizó un análisis de regresión múltiple entre 13 variables fisicoquímicas del suelo como variables independientes y la materia orgánica como variable dependiente. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla XVII.

Tabla XVII. Análisis de Regresión Múltiple 13 variables fisicoquímicas–materia orgánica. Modelo $Y = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_p X_{ip} + \epsilon_i \quad i= 1, \dots, n.$

Parámetro	Estimación	Error		
		Estándar	Estadístico T	Valor-P
CONSTANTE	0.4492	1.0982	0.4091	0.6832
Densidad (Da)	-0.4585	0.2327	-1.9702	0.0510
pH	0.0381	0.1253	0.3043	0.7614
Conductividad eléctrica (CE)	-0.0002	0.0002	-0.84707	0.3985
Bicarbonato	0.0009	0.0014	0.6234	0.5341
Calcio (Ca)	0.0002	0.0004	0.5194	0.6044
Magnesio (Mg)	-0.0005	0.0008	-0.6459	0.5195
Fósforo (P)	-0.0009	0.0009	-0.9898	0.3242
Azufre (S)	0.0011	0.0003	3.3312	0.0011
Fierro (Fe)	0.0014	0.0117	0.1192	0.9053
Sodio (Na)	0.0003	0.0003	0.9249	0.3568
Potasio (K)	0.0062	0.0017	3.6251	0.0004
Nitrógeno (N)	0.6470	0.0777	8.3266	0.0000
% de arcilla	0.0010	0.0029	0.3456	0.7302

Variable dependiente: MO

Variable independiente: 13 variables fisicoquímicas del suelo.

En la Tabla XVIII, se presentan los valores del análisis de varianza aplicado a la regresión múltiple entre las variables fisicoquímicas del suelo y la materia orgánica.

Tabla XVIII. ANOVA para la relación numérica variables fisicoquímicas–materia orgánica.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Coficiente F	Valor-P
Modelo	30.03	13	2.31	38.19	0.00
Residuo	7.74	128	0.061		
Total	37.78	141			

$$R^2 = 79.5 \%$$

$$R^2 \text{ (ajustado para g.l.)} = 77.4 \%$$

$$\text{Error estándar del est.} = 0.25$$

$$\text{Error absoluto medio} = 0.18$$

$$\text{Estadístico Durbin-Watson} = 1.29 \text{ (P=0,00)}$$

$$\text{Autocorrelación de residuos en retraso 1} = 0.36$$

La ecuación del modelo ajustado obtenida fue:

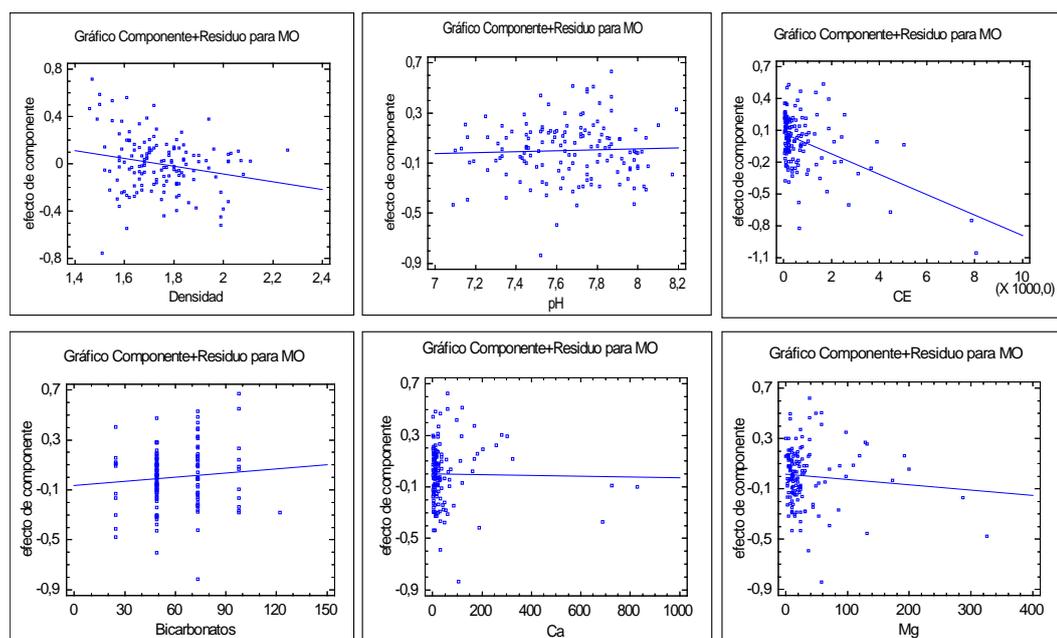
$$\text{MO} = 0.4492 - 0.4585*\text{Da} + 0.0381*\text{pH} - 0.0002*\text{CE} + 0.0009*\text{Bicarbonato} + 0.0002*\text{Ca} - 0.0005*\text{Mg} - 0.0009*\text{P} + 0.0011*\text{S} + 0.0014*\text{Fe} + 0.0003*\text{Na} + 0.0062*\text{K} + 0.6470*\text{N} + 0.0010*\% \text{ de arcilla.}$$

El estadístico R^2 indicó que el modelo así ajustado explica 79.5 % de la variabilidad en materia orgánica. El estadístico R^2 ajustada, que es más apropiada para comparar modelos con diferente número de variables independientes, fue 77.4 %. El error estándar del estimado mostró que la desviación estándar de los residuos fue 0.25. El error absoluto medio (MAE) de 0.18 es el valor promedio de los residuos. Puesto que el valor-P es menor que 0.05, hay indicación de una posible correlación serial con un nivel de confianza del 95.0 %. Para simplificar el modelo a su mínima expresión, se realizaron nuevamente regresiones y en cada una de ellas se eliminó la variable independiente con Valor-P mayor o igual que 0.05, dado que no era estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95.0 % ó mayor. Consecuentemente, se obtuvo la ecuación del modelo ajustado a su mínima expresión:

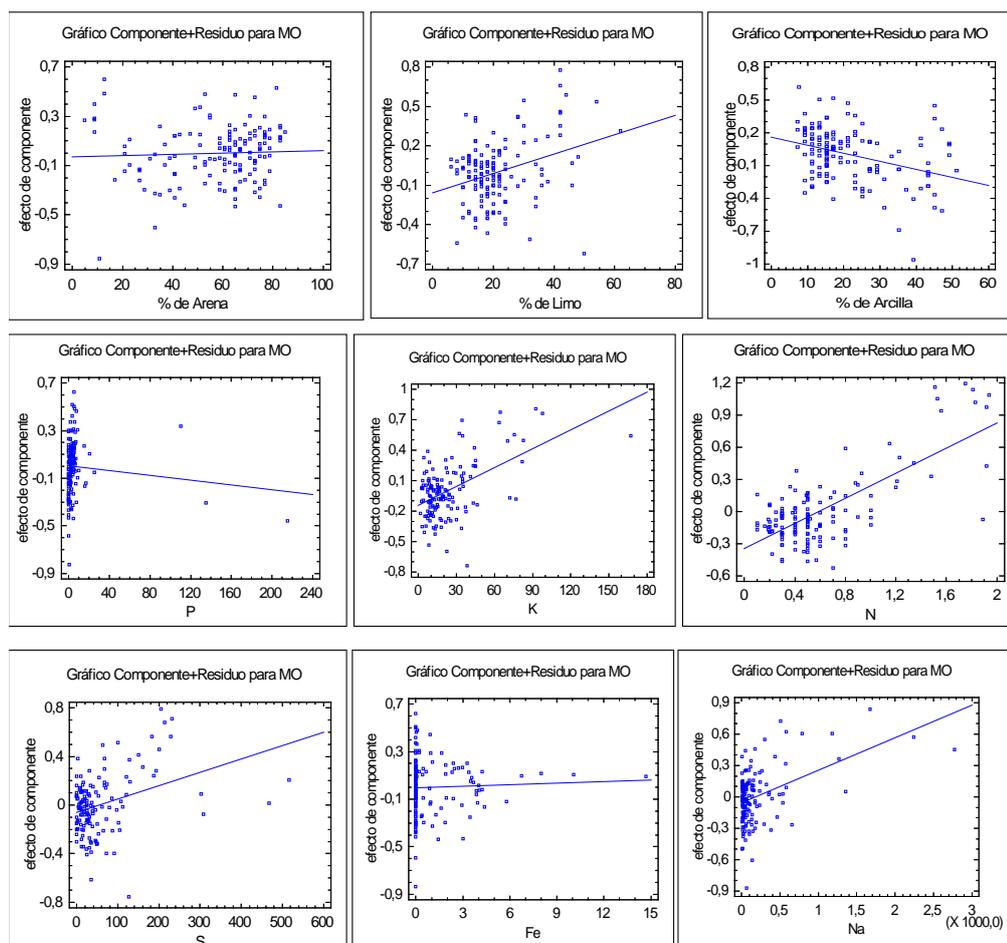
$$\text{MO} = 0.9044 - 0.52374*\text{Da} + 0.0011*\text{S} + 0.0046*\text{K} + 0.692*\text{N.}$$

En las Gráficas 21 y 22 se muestran los cambios relativos que ocurren en los valores predichos de materia orgánica cuando cambia cada variable independiente a lo largo de

los valores observados. Al examinar la magnitud de los residuos en relación al cambio en los valores predichos de la respuesta, se puede juzgar la importancia de la variable independiente seleccionada; en este sentido se observa una mayor importancia de la conductividad eléctrica, del % de limo, del % de arcilla, de potasio, de nitrógeno, de azufre y de sodio.



Gráfica 21. Componente (Densidad, pH, CE, Bicarbonatos, Ca, Mg)+ Residuo para Materia orgánica.



Gráfica 22. Componente (% de Arena, % de Limo, % de Arcilla, P, K, N, S, Fe, Na) + Residuo para Materia orgánica.

En la Tabla XIX se muestra la matriz de correlación de coeficientes de Pearson, con las correlaciones estimadas entre los coeficientes en el modelo ajustado. Estas correlaciones pueden usarse para detectar la presencia de correlación entre las variables predictoras. En este caso, hay cuatro correlaciones con valores absolutos mayores que 0.5, sin incluir el término constante, las cuales fueron: la conductividad eléctrica con el calcio y el sodio, así como, el calcio con el sodio; y la densidad aparente con el porcentaje de arcilla.

Tabla XIX. Matriz de correlación de los coeficientes de Pearson, del análisis de suelo de las cuencas de Comondú y La Paz, B.C.S.

	Materia Orgánica	Densidad Aparente	Ph	Conductividad eléctrica	Bicarbonatos	Calcio	Magnesio	Fósforo	Azufre	Hierro	Sodio	Potasio	Nitrógeno	% de Arcilla
Materia Orgánica	1													
Densidad Aparente	-0.5308	1												
Ph	-0.9001	0.1167	1											
Conductividad eléctrica	-0.4283	0.2618	0.3445	1										
Bicarbonatos	0.2048	0.1341	-0.3726	0.1468	1									
Calcio	0.1863	-0.1699	-0.1162	-0.6034	-0.0547	1								
Magnesio	-0.0448	-0.0329	0.0675	-0.2209	-0.0551	-0.0873	1							
Fósforo	-0.105	0.04	0.0975	-0.0441	-0.0501	0.0524	-0.0474	1						
Azufre	0.1325	0.071	-0.1961	0.0827	0.1072	-0.0607	-0.0317	-0.2271	1					
Hierro	-0.294	0.0416	0.2867	0.286	0.0306	-0.1599	0.0826	-0.0307	-0.0333	1				
Sodio	0.4036	-0.2463	-0.3187	-0.9604	-0.1974	0.5183	0.0985	0.0627	-0.09	-0.2797	1			
Potasio	-0.1463	0.0982	0.1211	-0.1581	-0.1411	-0.0686	-0.3086	0.0545	-0.1778	-0.04	0.1612	1		
Nitrógeno	0.0697	0.0586	-0.1103	-0.0483	0.0063	0.0056	0.1676	0.1089	-0.3301	0.0369	0.0261	-0.4254	1	
% de Arcilla	-0.226	0.6058	-0.0629	0.1161	0.0291	-0.0989	-0.0714	0.0148	0.1853	0.1167	-0.1191	0.2153	-0.3521	1

Asimismo, se realizó un análisis de componentes principales entre las variables de suelo evaluadas con el propósito de obtener un número reducido de las 13 variables que explican la mayor variabilidad en los datos y establecer las relaciones y significancias de cada elemento en relación a su efecto en el proceso de desertificación, así como, aquellos elementos que se relacionan con la materia orgánica del suelo. Se extrajeron trece componentes que en conjunto explican el 100 % de la variabilidad en los datos originales (Tabla XX).

Tabla XX. Análisis de componentes principales, de las variables de suelo determinadas para las cuencas de Comondú y La Paz, B.C.S.

Componente Número	Eigenvalor	Porcentaje de Varianza	Porcentaje Acumulado
1	5.320	40.922	40.9
2	2.136	16.428	57.4
3	1.193	9.174	66.5
4	0.982	7.557	74.1
5	0.807	6.209	80.3
6	0.632	4.863	85.2
7	0.534	4.104	89.3
8	0.455	3.497	92.8
9	0.348	2.670	95.4
10	0.285	2.186	97.6
11	0.173	1.324	98.9
12	0.128	0.983	99.9
13	0.011	0.084	100.0

Considerando aquellos eigenvalores que sean mayores que 1 se estima que la dimensionalidad del espacio muestral es el del número de eigenvalores que sean mayores que 1. La razón para comparar los eigenvalores con 1 es que, cuando se está realizando el análisis sobre datos estandarizados, la varianza de cada variable estandarizada es igual a 1. Se considera que si una componente principal no puede explicar más variación que una variable por sí misma, entonces es probable que no sea importante, por lo que frecuentemente se ignoran componentes cuyos eigenvalores son menores que 1. De acuerdo al análisis de componentes principales se extrajeron 4 componentes, (Tabla XXI), ya que los componentes tuvieron eigenvalores mayores o iguales a 1.0. Juntos explican el 74.1 % de la variabilidad en los datos originales.

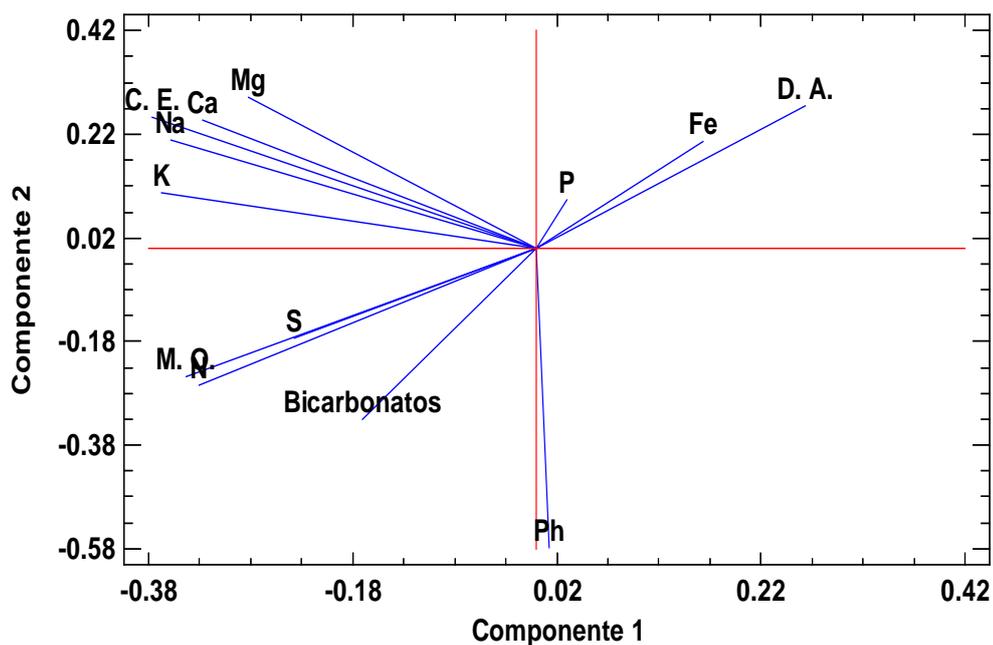
Tabla XXI. Estructura de los cuatro componentes principales obtenidos en el ACP con las variables originales. Cuencas de Comondú y La Paz, B.C.S.

	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
Densidad aparente (Da)	0.2629	0.2753	0.0463	0.0385
pH	0.0130	-0.5795	-0.1592	-0.1574
Conductividad eléctrica (CE)	-0.3763	0.2540	-0.1684	-0.0883
Bicarbonatos	-0.1705	-0.3309	-0.3128	-0.3851
Calcio (Ca)	-0.3267	0.2482	-0.0321	0.0504
Magnesio (Mg)	-0.2817	0.2902	-0.1512	-0.1837
Fósforo (P)	0.0301	0.0925	0.5193	-0.7792
Azufre (S)	-0.2378	-0.1741	0.5213	0.0068
Materia orgánica(MO)	-0.3429	-0.2479	0.2385	0.2277
Hierro (Fe)	0.1635	0.2073	0.3413	0.1984
Sodio (Na)	-0.3576	0.2083	-0.2114	-0.1279
Potasio (K)	-0.3672	0.1071	0.1453	0.1076
Nitrógeno (N)	-0.3311	-0.2655	0.2046	0.2348

La Tabla XXI muestra las ecuaciones de los componentes principales, en donde los valores de las variables en la ecuación se han estandarizado restándoles su media y dividiéndolos entre sus desviaciones estándar. Por ejemplo, el primer componente principal tiene la ecuación:

$$0.2629*Da + 0.0130*pH - 0.3763*CE - 0.1705*Bicarbonatos - 0.3267*Ca - 0.2817*Mg + 0.0301*P - 0.2378*S - 0.3429*MO + 0.1635*Fe - 0.3576*Na - 0.3672*K - 0.3311*N$$

Los cuatro componentes explican el 74.1 % de la varianza, donde el primer componente principal es el más importante porque explica el 40.9 % del total de la varianza; el segundo componente explica el 16.4 %, el tercer componente el 9.2 % y el cuarto componente explica el 7.6 %. La varianza que contiene cada componente principal es explicada por los coeficientes de carga asignados a cada variable (Gráfica 23).



Gráfica 23. Pesos de los componentes principales de las variables de suelo analizadas en las cuencas de Comondú y La Paz, B.C.S.

La Gráfica 23 muestra los pesos para los componentes principales seleccionados. Hay un punto en la gráfica para cada variable. También se han trazado líneas de referencia en el valor 0, en cada dimensión. Un peso cercano a 0 indica poca contribución de la variable en ese componente.

Se observa además la relación cercana que guardan el nitrógeno, el azufre y los bicarbonatos con la materia orgánica, como se obtuvo en el análisis de regresión efectuado en este trabajo.

3.4. Análisis socioeconómico.

A partir de las encuestas aplicadas a los productores de las dos cuencas agrícolas en estudio (Anexo 6) se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla XXII), los cuales representan el porcentaje de respuesta afirmativa, y en su caso valores de referencia de la variable en cuestión.

Tabla XXII. Variables y resultados de las respuestas obtenidas de las encuestas en las cuencas de Comondú y La Paz, B.C.S.

Variable	Resultado
Superficie en uso.	58.7 %
Superficie sin labrar.	41.3 %
¿Observa salinidad en el agua de riego?	35.2 %
Incremento de costos de producción.	40 %
¿Recibe subsidios económicos?	89.5 %
¿Recibe asistencia técnica?	65.5 %
	Bajo: 16.9 %
Nivel tecnológico.	Medio: 69.0 %
	Alto: 14.1 %
	Bajo: 14.8 %
Nivel económico.	Medio: 72.5 %
	Alto: 12.7 %
Ganancia mensual estimada.	\$12,000 pesos
¿Tiene fuente secundaria de ingresos económicos?	20.4 %
¿Practica la rotación de cultivos?	38.7 %
¿Practica medidas de conservación de suelo?	21.8 %
¿Practica la agricultura orgánica?	1.5 %
¿Practica la agricultura convencional?	98.5 %
Número de empleados familiares.	Valor: medio = 1 moda = 1
Número de empleados externos.	Valor: medio = 6 moda = 3
Productor agrícola.	36.6 %
Ganadero.	8.4 %
Citricultor.	9.2 %
Productor mixto.	45.8 %

Del total de productores encuestados, 26 fueron ejidatarios y 116 productores privados; con un promedio de extensión de tierra de 30 y 100 hectáreas, respectivamente. Como

se observa en la Tabla XXII, solo el 58.7 % de la superficie de tierra cultivada en las cuencas de La Paz y Comondú se encuentra en producción, como valor promedio, aunque cabe aclarar, que por la superficie parcelaria por productor en La Paz, se llega a utilizar el 100 %, en contraste con la cuenca de Comondú, donde el porcentaje de tierra sin laborar es cercano al 42 %. Dentro de las causas de este abandono se encuentra la falta de agua de riego, dotación que ha sido restringida por la CONAGUA desde el año de 2003 a tan solo 200 millares al año por productor, cantidad que no alcanza para regar toda la tierra que años atrás se irrigaba. En el caso de las parcelas de los ejidos, principalmente en el Ejido Ley Federal de Aguas #5, en Comondú, el incremento en la salinidad es la principal causa del abandono de tierras. En este sentido, el 35.2 % de los encuestados refiere el incremento de este parámetro.

Asimismo, la situación de la cartera vencida en la que se encuentra más del 60 % de los productores y del 40 % de incremento en los costos de producción (del año 2008 al 2009), son también causas de la desaceleración de la actividad agropecuaria en las cuencas de estudio.

Los productores encuestados refirieron que la falta de asistencia técnica (solo el 65.5 % de ellos cuenta con ella) causa la disminución de los rendimientos por el inadecuado manejo agronómico de los cultivos. Por lo que respecta al nivel tecnológico de los productores (medio-alto en promedio) representa una ventaja para desarrollar las actividades agrícolas con oportunidad, sin embargo, en la cuenca de Comondú la falta de recursos económicos de los productores, limita la implementación de sistemas más tecnificados, por ejemplo, los sistemas de pivote central, a pesar de existir programas de apoyo gubernamental donde solo se solicita el 30 % del costo al productor, por lo que no ha sido acogida esta tecnología en la mayoría de los predios agrícolas.

La actividad económica de los encuestados es principalmente mixta (45.8 %), ya sea agrícola y ganadera, o bien agrícola y citrícola. Solo un productor reportó el desarrollo de actividades agropecuarias y de producción de cítricos. Asimismo, el trabajo familiar representa solo la responsabilidad de una persona, mientras que el número de empleados varió de uno hasta 80, dependiendo del nivel tecnológico de la producción, en este

último caso fue en la producción de chile y jitomate a cielo abierto y/o en invernadero donde se utiliza mayor cantidad de mano de obra para la cosecha, la selección y el empaque. El número de empleados más frecuente fue de tres y el valor promedio de seis; los cuales en un 85 % son personal oriundo o vecindado de la región, mientras que el resto que trabaja solamente en la época de cosecha de tomate, chile, espárrago, etc., son personas que vienen o son traídos principalmente de los estados de Sinaloa, Michoacán, Oaxaca, Guerrero y Veracruz. Para el año de 2010 el salario promedio diario osciló entre los \$100 y 130 pesos MN, con jornadas de trabajo de 8 a 10 horas.

En lo que respecta a una fuente secundaria de ingresos, el 20.4 % reportó tenerla, siendo el comercio, el trabajo asalariado de otro familiar, o bien, el contar con una pensión mensual, las respuestas más frecuentes. Solo tres productores refirieron dedicarse además a la renta de maquinaria agrícola en la cuenca de Comondú. Se estimó que el nivel económico de los productores es bajo en un 14.8 %, medio en un 72.5 % y alto en un 12.7 %, determinado por el nivel tecnológico de la producción, la extensión de tierra de cultivo en producción, el tipo de vivienda, y en general por la situación socioeconómica referida durante la entrevista. Cabe aclarar que el productor ejidal en su mayoría es quien presenta un nivel económico bajo, al grado de depender del dinero obtenido por la renta de sus tierras, ante la falta de recursos económicos para llevar a cabo la explotación de la misma. Al respecto, se tuvieron datos de un ejidatario que siembra nopal para verdura a nivel de traspatio, puesto que su parcela la tiene rentada por 5 años.

La práctica de medidas de conservación de suelos solo fue reportada por el 21.8 % de los encuestados, mientras que la rotación de cultivos es practicada por el 38.7 % de los productores, aunque cabe aclarar que los mismos refieren como rotación de cultivo a la práctica que desarrollan al producir un cultivo en el ciclo primavera-verano y otro en otoño-invierno, pero son los mismos cada año agrícola. Así, la agricultura convencional es la que se practica principalmente (98.5 %) en las cuencas de Comondú y La Paz, mientras que el 1.5 % practica la agricultura orgánica, o dice hacerlo, porque reportó por un lado la utilización de estiércol como forma de fertilizar sus cultivos y además por

la incorporación de prácticas de conservación de suelo y agua y la no utilización de agroquímicos.

Se detectó que una de las principales causas de los bajos ingresos económicos de los productores en las dos cuencas en estudio ha sido la falta de adecuados canales de comercialización para sus productos. Como ejemplos se pueden mencionar los siguientes: en el cultivo de garbanzo, solo se tiene apoyo financiero para producir y comercializar en la cuenca de Comondú por parte de la empresa Macarena, S.A., la cual establece el precio de compra-venta, aunque en las estadísticas estatales se reporta “la exportación del valle de Santo Domingo” de este producto, en realidad, los productores no son beneficiados de tales exportaciones. Si se quiere producir garbanzo con el reconocimiento de su tolerancia a la salinidad del suelo y agua, el productor tendrá que registrar un convenio con dicha empresa. Otro caso lo representa el cultivo de maíz, para el cual la empresa MASECA, S.A., tiene un modelo igual al de la Macarena, S.A., solo se da crédito de avío a aquel productor que firme convenio con ellos, acaparando la producción de maíz de la región. Si no hay convenio, no hay apoyo económico al productor; mismo caso sucede con el Trigo el cual es acaparado por la Harinera local, que al igual de los dos casos anteriores, establece el precio de compra sin interesar los incrementos en los costos de producción del cultivo.

Para el caso de la naranja si bien no hay empresa acaparadora de esta producción, el citricultor es presa de los intermediarios que fijan el precio a su conveniencia, obligando a los productores en ocasiones a no cosechar la naranja, porque el precio no paga ni la mano de obra¹⁴.

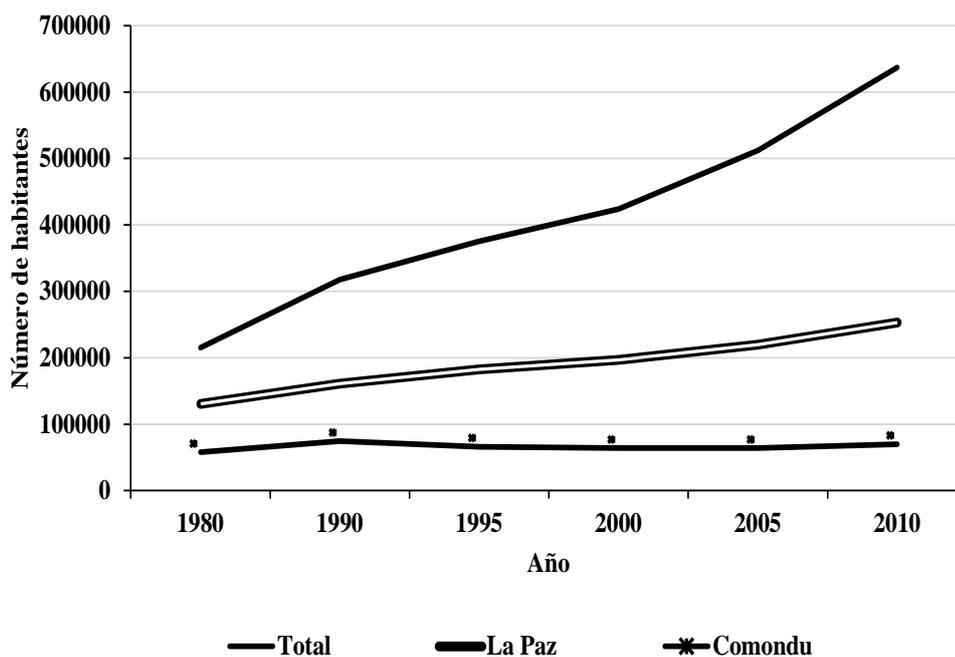
A pesar de los anuncios de apoyos económicos por parte de las autoridades estatales, municipales y federales, hacia los productores de las cuencas en estudio, por ejemplo, *que más de 13,400 hectáreas de uso agrícola se han tecnificado con sistemas de riego en el estado*¹⁵, los beneficios no se ven reflejados en las condiciones socioeconómicas

¹⁴ Comunicación personal Sr. Jorge Flores, citricultor de la cuenca de Comondú, 25 de junio de 2009.

¹⁵ <http://www.bcs.gob.mx/sala-de-prensa/item/775.html> Sala de prensa de fecha 27 de julio de 2010.

de ellos, situación que se constató durante las entrevistas realizadas en las casas y fincas de los productores, donde se puede afirmar que para la mayoría de ellos “*el tiempo se detuvo*” un par de décadas atrás.

El cambio de uso del suelo en la cuenca de La Paz, en este momento, representa una alta presión sobre los productores locales, después de que la región producía alrededor de 200 hectáreas de cítricos, en la actualidad solo quedan vestigios de aquella producción que caracterizaba a la cuenca, constatándose con el hecho de que solo existen aproximadamente 20 o 30 hectáreas de este cultivo. Cabe señalar, que se encuentran ya rodeadas de fraccionamientos residenciales, y que al paso de los meses o un par de años, quizá, sean transformadas esas huertas en casas habitación, todo generado por el crecimiento poblacional que ha sufrido la cuenca de La Paz en los últimos años (Gráfica 24). En el año 2010 INEGI reportó que la población del municipio de La Paz representó el 39.7 % y Comondú solo el 10.97 % del total estatal. Al respecto se observó un incremento poblacional durante los últimos 30 años en el estado de B.C.S. del 196 %, en Comondú del 21 % y en La Paz ha sido del 94 %, lo que muestra el gran impacto que sobre los recursos naturales ha propiciado este crecimiento demográfico. Cabe señalar que en Comondú se presentó una disminución de la población del 14 % entre los años de 1990 y 2005, en gran medida propiciado por la emigración de la población económicamente activa, al no tener oportunidades de trabajo y desarrollo económico en el municipio, desplazándose principalmente a la ciudades de La Paz y/o Los Cabos, al sur del estado.



Grafica 24. Tendencias del crecimiento poblacional estatal y municipal en B.C.S. (INEGI, 2010).

Los resultados obtenidos en esta investigación evidencian el deterioro ambiental que han sufrido las cuencas de La Paz y Comondú, propiciado en gran medida por el manejo y uso inadecuado de los recursos naturales, y por el desmesurado crecimiento poblacional, que motiva el proceso de deforestación para la apertura de nuevos núcleos habitacionales. En el siguiente capítulo se integra la discusión de los resultados y del proceso de desertificación presente en las cuencas estudiadas.

IV. DISCUSIÓN.

La presente investigación pretendió definir el grado de desertificación y las causas que la generan a nivel de cuenca¹⁶, a través del análisis fisicoquímico del suelo, del análisis químico del agua de riego, del análisis climático y de las condiciones socioeconómicas del productor, toda vez que es posible detectar los rasgos de desertificación, como señaló Pando *et al.* (2002), en las áreas cercanas a los centros de población, y que ha sido el caso de la cuenca de La Paz, Baja California Sur. Los resultados obtenidos dan cuenta del deterioro ambiental que sufren las dos cuencas, y para explicarlo mejor, se abordarán estos aspectos en subcapítulos, cada uno describiendo los aspectos analizados en este estudio.

4.1. Aspectos climáticos.

El análisis climático definió una baja disponibilidad de humedad en las dos cuencas, producto de la baja precipitación que ocurre en la región, y que se concentra en la época de verano solamente (Gráficas 11 y 12), generando la sequedad del ambiente sudcaliforniano, con un promedio anual de 170 mm. Tal situación motiva la implementación de sistemas de riego para la producción agrícola, práctica que fue llevada a cabo anteriormente de una manera inadecuada, tanto en volúmenes de agua como por el establecimiento de cultivos con gran consumo de agua (por ejemplo, algodón, alfalfa y trigo), modelo de producción que generó un abatimiento del acuífero y aceleración de la intrusión salina, principalmente en la cuenca de Comondú, y que actualmente se busca remediar por varias vías, como son: la disminución del área de cultivo, el cambio en el patrón de cultivo con especies menos demandantes de agua, así como la veda para la perforación de nuevos pozos.

¹⁶ Una cuenca hidrográfica, como la define la Ley de Aguas Nacionales (Artículo 3º, fracción XVI) es “el territorio donde las aguas fluyen al mar a través de una red de cauces que convergen en uno principal, o bien el territorio en donde las aguas forman una unidad autónoma o diferenciada de otras, aun sin que desemboquen en el mar... En dicho espacio delimitado por una diversidad topográfica, coexisten los recursos agua, suelo, flora, fauna, otros recursos naturales relacionados con éstos y el medio ambiente. La cuenca hidrológica conjuntamente con los acuíferos, constituye la unidad de gestión de los recursos hídricos. La cuenca hidrológica está a su vez integrada por subcuencas y estas últimas están integradas por microcuencas”. En: [www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Leyes Federales](http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Leyes_Federales). Publicada en el Diario Oficial de la Federación, jueves 24 de abril de 2004. Consultado el 25 de junio de 2009.

Aunado a lo anterior, la alta tasa de evaporación y de evapotranspiración en la zona de estudio (Gráficas 4, 5 y 6), genera pérdidas elevadas de agua, por lo cual, se ha venido implementando el uso de sistemas de riego presurizado, de microaspersión y/o uso de cintilla, que permiten disminuir el volumen de extracción de agua de los acuíferos, aunque que no ha sido suficiente para resarcir el daño ambiental generado por prácticas de riego deficiente.

En este sentido, la baja humedad ambiental pone también en riesgo la cubierta vegetal natural, dominada principalmente por vegetación del tipo matorral xerófilo, la cual esta expuesta además al efecto del viento. De manera adicional el abandono de suelos a consecuencia de prácticas agrícolas inadecuadas y/o por el deterioro económico que han sufrido los productores en los últimos años, el riesgo de degradación se exagera aún más ante el embate de fenómenos naturales como los huracanes. Lo anterior conlleva a un deterioro ambiental que amenaza la estabilidad y equilibrio de los escasos recursos florísticos de la zona de estudio. Como caso particular, en septiembre de 2009 el huracán Jimena causó daños importantes en el panorama fisiográfico y productivo de la cuenca de Comondú. Al respecto, la prensa local publicó lo siguiente:

*“el secretario de Desarrollo y Fomento Económico en la entidad, Jorge Vale Sánchez, señaló que el huracán Jimena dejó pérdidas por el orden de 500 millones de pesos en el sector agrícola. Se siniestraron dos mil 400 hectáreas de cítricos, lo que representa una pérdida superior a los cien millones de pesos; además, se perdieron 80 hectáreas de invernadero y daños en el sistema de riego, lo que representa pérdidas por el orden de los 350 millones de pesos”.*¹⁷

Los daños fueron principalmente en la cuenca de Comondú, mientras que en La Paz fueron menores. En la Figura 8, se muestran los daños en la infraestructura urbana en Cd. Constitución y comunidades de la región. Dichas imágenes evidencian el incremento de la vulnerabilidad de la población a los fenómenos naturales cuyos efectos se han intensificado a consecuencia del calentamiento global que sufre el planeta.

¹⁷ La Crónica de hoy, viernes 4 de Septiembre del 2009.



Figura 8. Daños del Huracán Jimena en el año de 2009. Cd. Constitución, B.C.S.

A su vez, el proceso de desertificación que sufren las dos cuencas de estudio, intensifican también los efectos del cambio global, sin embargo, algunos investigadores consideran a la desertificación como unos de los agentes que favorecen el calentamiento global y por lo tanto del cambio climático global, por lo que debe ponerse atención precisa para combatir y minimizar los efectos del proceso de desertificación que la población genera sobre el medio ambiente natural.

Las perturbaciones que resultan de la actividad agrícola y de los fenómenos naturales, al modificar la disponibilidad de nutrientes y la humedad del suelo, han causado un alto impacto sobre la vegetación. Con la pérdida de la cobertura arbustiva los suelos desnudos son susceptibles a la erosión por agua y viento, en consecuencia, la remoción neta de los nutrientes de los parches degradados aumenta, como lo estableció Ugalde *et al.* (2008), y que pudo ser constatado en los recorridos de campo durante esta investigación.

Asimismo, la variabilidad en los datos de lluvia proporciona una medida de los cambios en el medio natural y en el comportamiento de los ecosistemas. Un paso clave en este proceso es la capacidad de revelar que un cambio o tendencia está presente en los registros de las precipitaciones. La relación lineal es el método más común utilizado para la detección de las tendencias de lluvia (Silva, 2004). En la Figura 9 se muestra la tendencia de la precipitación media anual y la ecuación de la recta para las cuencas de Comondú y la Paz, considerando el periodo de estudio que fue de 1978 al 2008. Se observa una disminución de la precipitación a través del periodo de estudio para las dos cuencas, y evidentemente una baja disponibilidad de agua, lo que fomenta la mayor extracción de agua de los acuíferos, con el impacto negativo mencionado anteriormente.

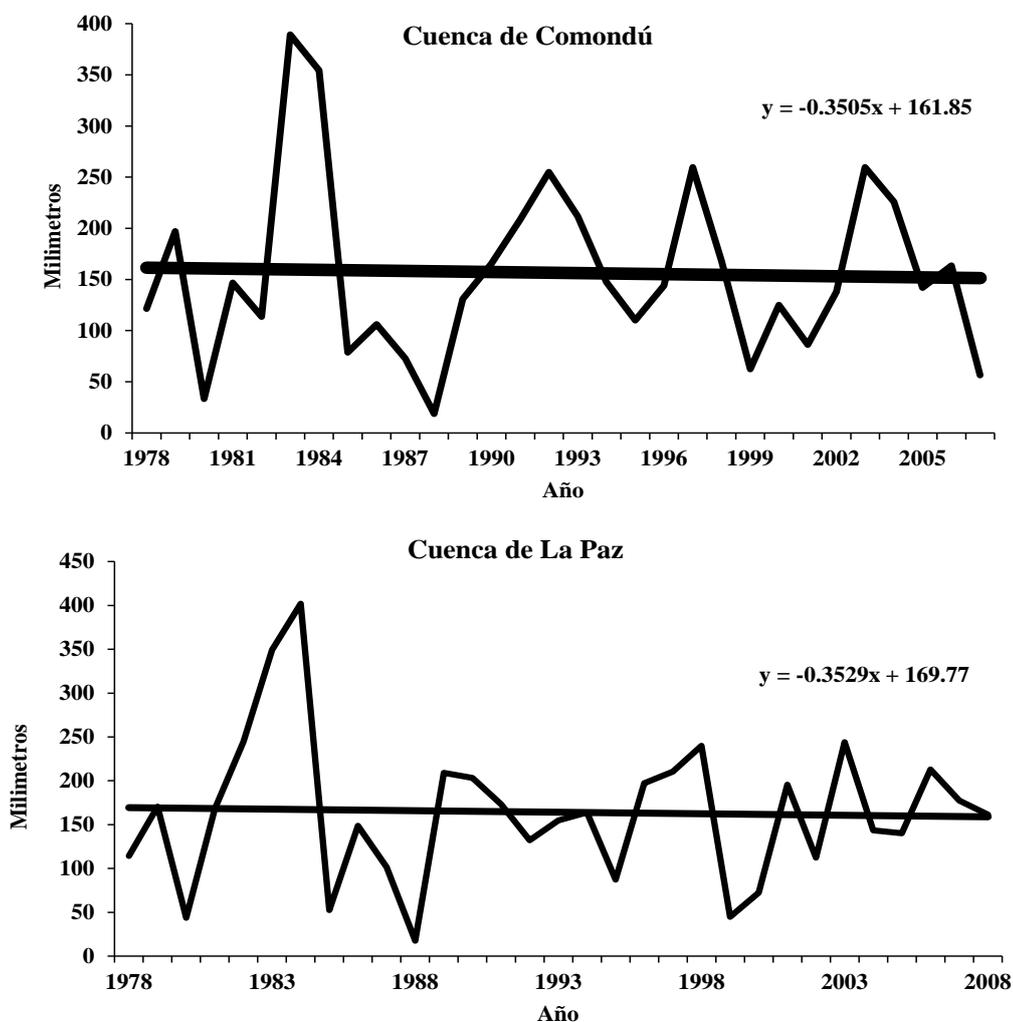


Figura 9. Tendencias de la precipitación media anual para las cuencas de estudio.

Por lo tanto, el estudio del cambio global requiere una comprensión profunda y amplia de los recursos hídricos, proyectando cambios en la disponibilidad y calidad del agua, y analizando las fluctuaciones relacionadas con el sistema de la tierra, inducidas por el clima y el uso de la tierra. Dicha cuantificación de la disponibilidad de agua necesariamente implica la comprensión de la competencia por el agua entre los ecosistemas y las poblaciones humanas. En la actualidad, la sociedad humana ha degradado y agotado los recursos de agua dulce a tasas sin precedentes (Jackson *et al.*, 2001), y que es responsabilidad de los organismos operadores de agua municipal el disminuir esa degradación, a través de la buena administración y gestión del recurso hídrico. El agua es cada vez más desviada y transportada a grandes distancias para satisfacer las necesidades humanas (Eamus y Froend, 2006), situación que en la Cuenca de La Paz se ha agudizado con el incremento en la demanda de agua para uso urbano, como lo consignó Cruz *et al.* (2010) en su estudio sobre la sustentabilidad del agua en la Ciudad de La Paz, el cual corrobora la baja disponibilidad de agua y de su calidad, tanto para consumo humano como para las actividades agrícolas en la cuenca de La Paz.

En este sentido, la degradación de los bienes y servicios ambientales que dependen de la disponibilidad de agua, incluyendo la calidad y la disponibilidad de agua, la estabilidad de la superficie del suelo, la calidad del aire y la regulación del clima (Murray *et al.*, 2006), son especialmente preocupantes, toda vez que numerosos aspectos del funcionamiento de los ecosistemas han sido alterados por efectos que amenazan directamente la sostenibilidad de las poblaciones humanas, como señalaron Eamus y Froend (2006).

Por lo tanto, el cambio climático complica el manejo de los recursos hídricos (Jackson *et al.*, 2001), y las cuencas de La Paz y Comondú, enfrentan hoy el aumento en la frecuencia de la sequía y aridez, lo que obligará a las comunidades a aumentar la extracción de agua de los acuíferos para suplementar la disminución del agua derivada de la lluvia (Elmore *et al.*, 2008), por lo cual, deben implementarse acciones que lleven al incremento en la eficiencia del manejo del recurso hídrico en todas las actividades productivas que se desarrollan en la región (Cruz *et al.*, 2010). Asimismo los suelos

quedarán expuestos a una mayor evaporación debido al incremento de la temperatura, lo que a su vez tendrá un impacto negativo sobre la vegetación natural.

Los cambios en el uso del suelo y de la cubierta vegetal contribuyen al cambio climático antropogénico a través de una variedad de procesos, entre los cuales Marland *et al.* (2003) señalaron, y que en las cuencas analizadas están presentes por ejemplo, las actividades agrícolas y de pastoreo incrementan la presión sobre la cubierta vegetal, y son un factor en el aumento del albedo de la superficie, lo que contribuye la persistencia de las sequías. A consecuencia de la deforestación, la evapotranspiración y el flujo de calor sensible están relacionados con la estructura dinámica del nivel bajo de la atmósfera, que a su vez modifican el ciclo del agua como señalaron Sivakumar (2007) y Foley *et al.* (2005).

En resumen, las condiciones climáticas presentes en las dos cuencas de estudio favorecen el proceso de desertificación y ponen en riesgo la productividad agropecuaria de la región. A pesar de no observarse cambios significativos en los valores de precipitación durante el periodo de estudio (Figura 9), en las dos cuencas, si es importante recalcar que el carácter de la precipitación es torrencial y está asociada a la presencia de tormentas tropicales, principalmente en la temporada de verano, por lo cual el aprovechamiento de la precipitación se reduce a la poca cantidad de agua que se llega a infiltrar en el suelo comparado con la mayor tasa de escurrimiento hacia las costas, lo que favorece la erosión hídrica y la pérdida de suelo.

4.2. Análisis de agua de riego.

El estudio se realizó en dos cuencas abiertas, con pendiente y escurrimiento hacia el mar; debido a su cercanía al mismo, la sobreexplotación de los acuíferos ha generado la intrusión salina, evidenciada en este estudio por los valores de conductividad eléctrica del agua de riego en los pozos muestreados, relacionada con la salinidad del suelo, como señalaron Funakawa y Kosaki (2007). Un suelo se considera salino cuando la conductividad eléctrica del extracto de saturación es mayor de 4 mS cm^{-1} a una temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$, aunque pueden apreciarse descensos de producción importantes en cultivos sensibles, como el maíz, señalado por Barragán *et al.* (1998), mientras que

Gupta (1994) clasificó las aguas con una conductividad eléctrica mayor de 2 mS cm^{-1} como salinas, en suelos de India (Suárez *et al.*, 2006); por lo que la salinidad y la sodicidad son amenazas para la fertilidad del suelo dado que, la acumulación excesiva de sodio en el suelo provoca numerosos fenómenos adversos para las propiedades físicas y químicas, tales como desestabilización de la estructura del suelo, decremento de la porosidad e incremento de la densidad aparente, deterioro de las propiedades hidráulicas del suelo, aumento de la susceptibilidad a la formación de costras y efectos específicos en las plantas (Caravaca *et al.*, 2001; Qadir y Schubert, 2002) y que más adelante en la Figura 12 se muestran sus efectos, sobre todo en la disminución de los rendimientos de los cultivos agrícolas.

En la Tabla XV se observa que en la cuenca de La Paz, las diferencias son notorias entre los ambientes de *suelo agrícola en aparente estabilidad* y *el suelo natural inalterado*, lo que demuestra los efectos que han ocasionado las inadecuadas prácticas de irrigación sobre la calidad del suelo, la cual sea deteriorado al paso del tiempo y que se evidenció adicionalmente mediante la concentración de sodio entre dichos ambientes. Por lo tanto, el incremento de la salinidad y de la concentración de sodio en el suelo se debe a dos factores: primero, a la intrusión salina que ha sido reportada por el OOMSAPA-La Paz¹⁸ y a la irrigación con agua residual tratada de la ciudad de La Paz, la cual se ha practicado desde hace 25 años, tiempo en el que se ha incrementado la concentración de cloruros y sulfatos, que se asocian con la disminución de la calidad del agua de riego y su impacto negativo en el suelo. Los resultados de la presente investigación convergen con los de Thomas y Middleton (1993) quienes señalaron que las causas de salinización de un suelo pueden ser categorizadas y resumidas en cinco grupos: (a) técnicas inadecuadas de riego, (b) efectos indirectos de la operación inadecuada de los sistemas de riego, (c) cambios en la vegetación, (d) intrusión de agua de mar y (d) eliminación y disposición irracional de residuos salinos.

En la cuenca de Comondú, la principal causa del incremento de la salinidad del agua de riego y en el suelo, ha sido la intrusión salina debido a la sobreexplotación del acuífero (Figura 10 y 11), situación reportada por la CONAGUA-UABCS (2009). Los resultados

¹⁸ Organismo Operador Municipal del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado-La Paz, comunicación personal, abril de 2008.

(Tabla XIV y XV) obtenidos en esta investigación comprueban el deterioro ambiental que se vive en esta cuenca.

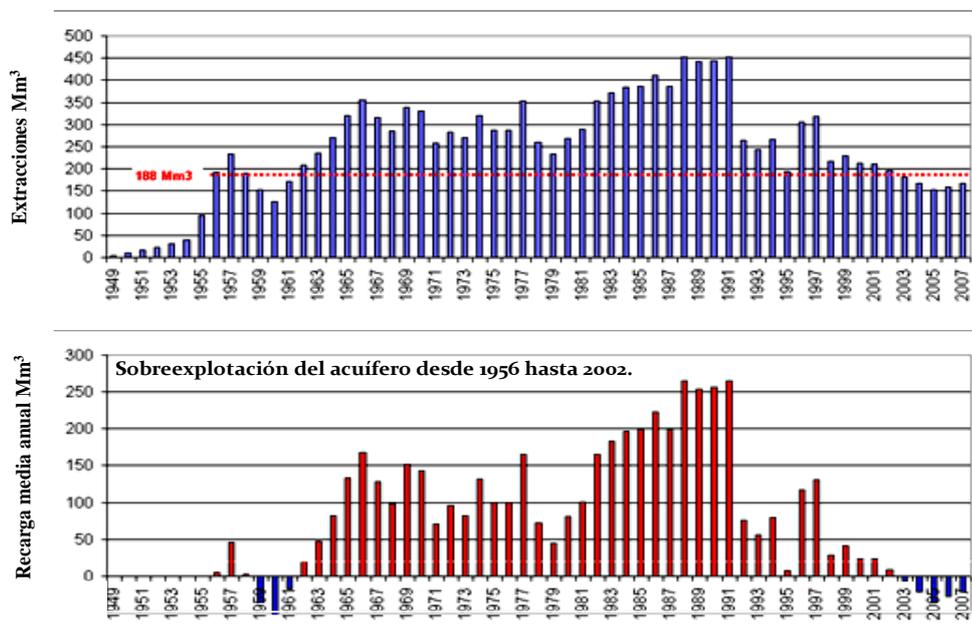


Figura 10. Extracciones históricas y su diferencia con la recarga media anual.

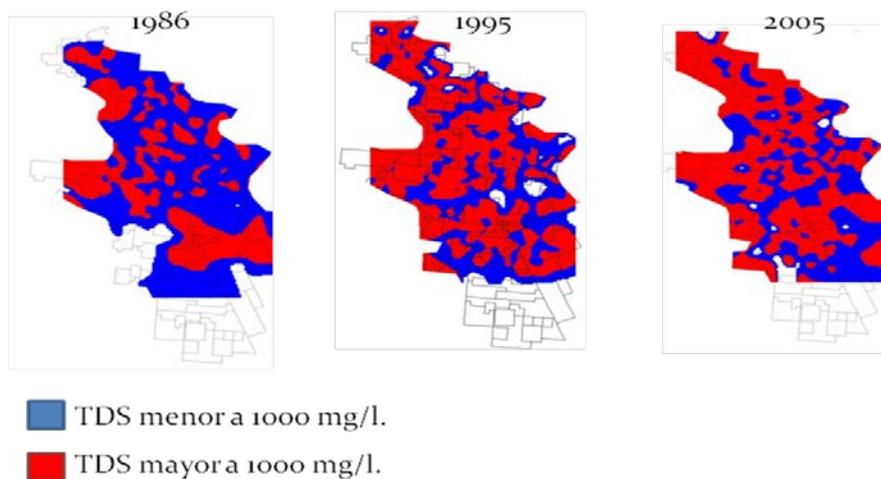


Figura 11. Empobrecimiento de la calidad del agua, Cuenca de Comondú, B.C.S.

Sin embargo, en el Valle de Santo Domingo, como se le conoce a la principal cuenca de Comondú, de naturaleza hidroagrícola, el *suelo agrícola en aparente estabilidad* presenta valores de conductividad eléctrica muy cercanos a los del *suelo natural inalterado*, lo cual se explica por el origen de los suelos de la cuenca. De acuerdo con

Cardona *et al.* (2004), la Formación Salada que cubre la cuenca tuvo su origen en el período Plioceno-Pleistoceno y comprende los sedimentos depositados en un ambiente marino. Está compuesta fundamentalmente de arena fina de color marrón claro a medio tono, de poco a medianamente consolidadas, con proporciones variables de limo y arcilla. Las partículas de arena se componen de cuarzo, feldespato y otros materiales ígneos. El mismo autor reportó también la distribución de los sólidos totales disueltos (SDT) en el agua de riego, con valores mayores a $1,500 \text{ mg L}^{-1}$, cerca del arroyo Santo Domingo y mayores a $2,500 \text{ mg L}^{-1}$ en la región sur de la corriente Las Bramonas. Los resultados obtenidos en este estudio coinciden con la citada condición, dado que se llegaron a obtener hasta $4,700 \text{ mg L}^{-1}$ de SDT en los muestreos realizados (Tablas XI, XII y XIII).

La salinización de las aguas subterráneas en las zonas agrícolas también puede ser producida por los efluentes de retorno del riego. La evapotranspiración, la disolución de minerales y fertilizantes incrementan la salinidad en la zona no saturada del área de riego; su aplicación por lo tanto aumenta la salinidad de las aguas subterráneas.

Las condiciones de aridez del clima y el desarrollo de una intensa actividad agrícola en las dos cuencas estudiadas, incrementan la salinización potencial de los suelos y aguas subterráneas como lo indicaron Qi y Luo (2007). En este sentido, la cuenca agrícola de Comondú, situada cerca de la costa del Pacífico de la Península de Baja California Sur (Figura 2), y que es uno de los mayores centros agrícolas en el noroeste de México, tuvo en operación 543 pozos de irrigación en 1970, aumentando a 631 en 1977, y a más de 700 pozos en 1985 (Cardona *et al.*, 2004). A finales del siglo XX, existían 720 pozos aunque en el año 2000 disminuyeron a 713 (Trovo *et al.*, 2010), existiendo además 30 pozos para el uso del agua potable y 69 para uso ganadero; lo anterior demuestra la gran presión que ha sufrido la cuenca con el consecuente incremento en el deterioro ambiental. Como lo señalaron Trovo *et al.* (2010), desde el punto de vista socioeconómico, para los acuíferos de La Paz y el de Santo Domingo, existen 243 indicios de sobreexplotación alarmantes, detectados en la disminución de los niveles estáticos y dinámicos, en la disminución del volumen obtenido por pozo y sobre todo en la intrusión de agua salina a los pozos cercanos al mar.

La situación anterior generó acciones de gestión y administración, durante el ciclo agrícola 2002-2003 en la cuenca de Comondú, y gracias a una mejor coordinación entre las autoridades del sector (CONAGUA, SAGARPA, Gobierno del estado, CONAZA, FIRCO, Financiera Rural y otras) y los usuarios del agua de la zona, se disminuyeron las extracciones a 181.6 millones de m³. Sin embargo, el objetivo al concluir el ciclo agrícola 2003-2004 era no sobrepasar los 170 millones de m³ (Figura 10) (CONAGUA-UABCS, 2009). Lo anterior representó un enorme esfuerzo para evitar que desapareciera un acuífero que por cincuenta años ha dado vida y sustento a la región y, por el contrario, con el esfuerzo de todos, se logró el equilibrio entre la recarga y la extracción real. No obstante, como señalaron Troyo *et al.* (2010):

“de las 72,409 ha de la cuadrícula del Valle de Santo Domingo, aproximadamente 35,000 se utilizan para riego a través de los programas de Rehabilitación y Modernización de Distritos de Riego y de Alianza para el Campo con avance de tecnificación en sólo 9,200 ha, por lo que el desperdicio del agua para riego en hectáreas no tecnificadas aún persiste en un 60%. Los programas de tecnificación iniciaron en el año de 1997, esto es, a casi diez años sólo se ha tecnificado 26% de las hectáreas susceptibles de aplicar cualquier sistema de tecnificación que ahorre el agua. A este ritmo, se necesitaría que transcurran más de veinte años para lograr una mediana tecnificación, con el consecuente abatimiento del acuífero por el agua que se desperdicia. Por lo anterior, es urgente que se aceleren los programas de tecnificación y que los recursos públicos destinados a estas obras no se detengan por burocratismos inapropiados. Actualmente se estima que debido a la modernización y tecnificación de más de 17,000 ha de las 23,000 destinadas a cultivos en los últimos años en este Distrito de Riego, a través de la implementación de sistemas de riego presurizados como el goteo, microaspersión, aspersión y pivote central, se redujo de manera significativa la extracción del agua; se pasó de 450 Mm³ a 167 Mm³ anuales”.

Los fruticultores también han podido aumentar la eficiencia del uso del agua a través de modificaciones a los sistemas de riego por microaspersión, que proporcionan el agua más cerca del área radicular, a pie de tronco, y de este modo, las pérdidas de agua pueden reducirse significativamente, lo que permite incrementar la eficiencia del uso de ella hasta un 50 % como señalaron Unger y Howell (2000).

La aplicación de un volumen de agua mayor al que un cultivo requiere, generalmente es el resultado de la falta de conocimiento sobre el contenido de agua del suelo o acerca de la demanda real de agua del cultivo. También puede ser consecuencia de la percepción

errónea que se tiene sobre la relación entre el agua de riego y el rendimiento, o la aversión al riesgo de una deficiencia hídrica. Sin embargo, los diversos sistemas de riego no parecen influir de manera significativa en los niveles de eficiencia del uso del agua. En particular, los aspersores de pivote central no parecen estar asociados con elevados niveles de eficiencia. Lo anterior sugiere que las técnicas de gestión también son componentes importantes de la eficiencia del uso del agua a nivel de rancho. Las implicaciones políticas de un eventual cambio a los sistemas de aspersión de pivote central no pueden por si mismas justificar dicho cambio. Por lo anterior, los fondos públicos, ya sean federales o estatales, deben ser aplicados de una manera más racional, mediante la identificación de formas eficientes para la gestión de los recursos hídricos de forma integral (Lilienfeld y Asmild, 2007), como se ha estado trabajando en los últimos años en la Cuenca de Comondú.

Ahora bien, el uso de aguas con alta concentración de sal, o los de depuradores que no incluye un tratamiento terciario, han propiciado procesos de degradación, la reducción de la capacidad de producción y la salinización del suelo. El estudio del equilibrio iónico soluble en la solución acuosa de los suelos en un plazo determinado proporciona un indicador para determinar oportunamente las modificaciones de calidad del suelo con los cambios en la gestión del mismo y asimismo, permite determinar los principales factores que influyen en tales procesos.

Pérez *et al.* (2003) demostraron que los cambios en la salinidad de las aguas utilizadas para el riego, las prácticas agrícolas, el uso de fertilizantes y las sales suministradas por los escurrimientos de los alrededores, son los factores esenciales que han llevado a la dramática reducción en la calidad del suelo. Tal ha sido el caso de la cuenca de La Paz, donde el empleo de agua tratada ha puesto en grave riesgo la estabilidad productiva de los suelos. En la Tabla XXIII se muestra la comparación de valores obtenidos del análisis químico de agua de riego proveniente de dos fuentes diferentes.

Tabla XXIII. Valores promedio del análisis químico del agua obtenida de dos muestreos en la cuenca de La Paz, B.C.S.

Punto de Muestreo	pH	Conductividad			Oxígeno				
		eléctrica ($m S m^{-1}$)	Salinidad (UPS)	Dureza ($mg L^{-1}$)	Cloruros ($mg L^{-1}$)	Sulfatos ($mg L^{-1}$)	Disuelto ($mg L^{-1}$)	SDT ($mg L^{-1}$)	Alcalinidad ($mg L^{-1}$)
A	7.3	57.6	0.2	186.0	169.0	7.0	8.1	283.0	183.9
B	7.5	194.3	0.9	324.5	304.2	64.0	4.8	980.0	269.0

A = Arroyo Alvaro Obregón, La Paz, B.C.S.

B = Agua residual tratada, Ejido Centenario, La Paz, B.C.S.

En la tabla anterior se observan amplias diferencias de calidad química del agua entre los sitios de muestreo, que son dos fuentes de agua empleadas para riego agrícola, por lo tanto, indican el deterioro que sufre el suelo por el empleo de agua residual tratada, en perjuicio de la calidad y productividad agrícola del suelo. Esta práctica se ha desarrollado en los últimos 25 años en la zona agrícola de los ejidos Chametla y El Centenario, en la cuenca de La Paz, situación que ha sido provocada por el incremento de la demanda para uso urbano. Como señalaron Khan *et al.* (2005) y Jalali *et al.* (2008), en las regiones áridas y semiáridas, los recursos hídricos de buena calidad son cada vez más escasos y se asignan con prioridad para el abastecimiento urbano de agua. El agua de riego salino-sódico, de manera particular en lugares con lluvia escasa y la alta evaporación, puede aumentar significativamente la sodicidad del suelo, y en este estudio queda evidenciado con los resultados obtenidos del análisis de agua y suelo en las cuencas estudiadas.

Asimismo, se detectaron síntomas de encostramiento, de compactación y de salinización en los suelos, con la consecuente disminución en los rendimientos de los cultivos, reportado en las entrevistas con los productores de la cuenca de La Paz y observados en los recorridos de campo (Figura 12) y que convergen con los resultados obtenidos por Mace y Amrhein (2001).

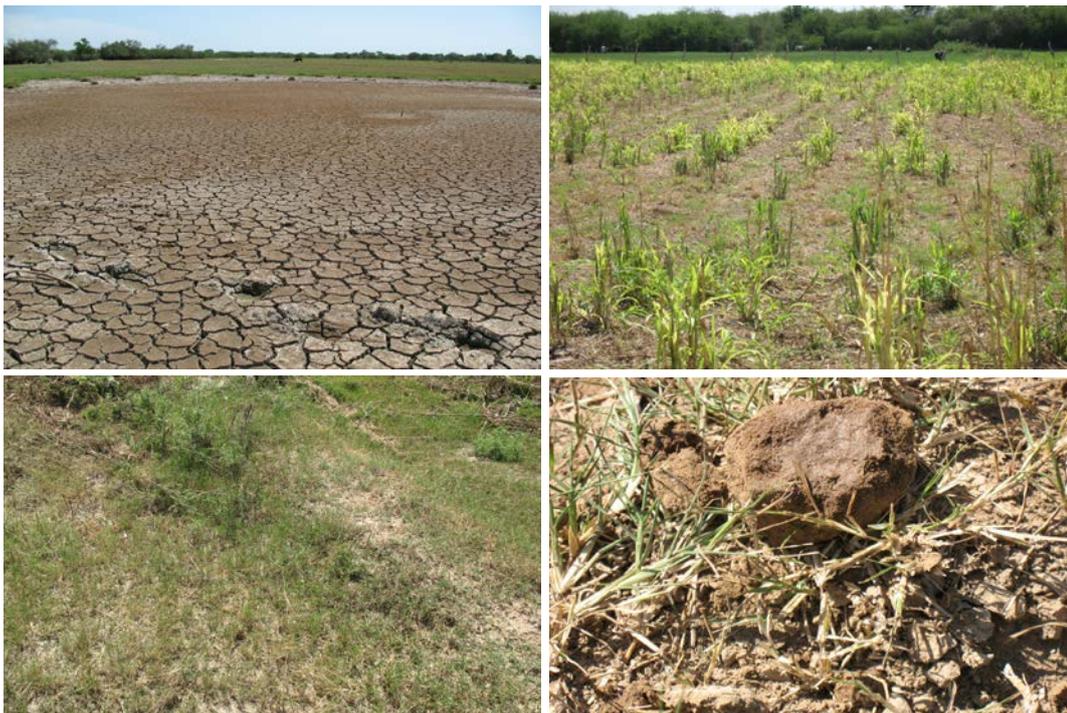


Figura 12. Deterioro del suelo, Ejido El Centenario, La Paz, B.C.S.

El establecimiento de la calidad química del agua se basa en su comparación con indicadores comunes de acuerdo con los requerimientos de uso de dicha agua. Sin embargo, cuando se trata de gestionar un acuífero de forma sustentable, es necesario tener en cuenta la tendencia en la evolución de la calidad del agua y, en caso necesario, tomar medidas para frenar dicha tendencia e incluso invertirla. Para ello es necesario tener la referencia de la calidad inicial o natural, que constituye el objetivo a alcanzar. Para determinar la calidad del agua se deben estudiar las características fisicoquímicas de la misma (Garbagnati *et al.*, 2005); la información relacionada se actualizó en la presente investigación y se reporta en este manuscrito.

Para resolver el problema de la salinidad, se pueden aplicar dos estrategias: la lixiviación de sales del perfil del suelo por el riego y/o la selección de genotipos más tolerantes a la sal como lo consignaron Hendawy *et al.* (2005) y Ahmed *et al.* (2008). Sin embargo, el costo y la disponibilidad de agua de riego en las cuencas estudiadas hacen que el enfoque de riego no sea factible a gran escala, como lo sugería Abdel (2009). En este sentido, el propósito de construir nuevas bases para el desarrollo sustentable en el ámbito local, así como el objetivo de elevar el nivel de vida de la

población urbana y rural, requieren nuevos instrumentos de gestión que aseguren el cuidado de las fuentes de captación hidráulica y permitan una restauración del equilibrio ecológico. Como señalaron Espejel *et al.* (2005): “*el óptimo funcionamiento de los sistemas de abastecimiento del agua requiere a su vez una intervención más activa de todos los actores involucrados en su manejo, pero particularmente obligan a ver el papel que en él pueden desempeñar los municipios*”, por lo cual, los municipios de Comondú y La Paz deben comprometer la adecuada gestión y administración para la conservación y manejo de los acuíferos correspondientes.

Como señalaron Claudivan *et al.* (2005), la necesidad de la selección y el uso de sistemas de riego y prácticas apropiadas que suministren la cantidad mínima suficiente de agua a la zona radicular para satisfacer la demanda de evaporación y reducir al mínimo la acumulación de sales en la zona radicular, son prácticas que deberán fomentarse entre los agricultores sudcalifornianos, para que a corto o mediano plazo, los productores de las dos cuencas analizadas logren minimizar el grave deterioro que se ha generado por el uso inadecuado del recurso hídrico, que logre mejorar las condiciones socioeconómicas y ambientales de las cuencas agrícolas referidas y se logre mitigar los efectos de la desertificación de las cuencas de Comondú y La Paz.

4.3. Análisis de suelo.

El suelo ha sido afectado en diversos grados en las dos cuencas analizadas, principalmente por las malas prácticas de irrigación, por el sobrepastoreo, la deforestación y por los efectos que ha generado el cambio de uso del suelo. Los resultados evidenciaron efectos, en algunos casos, irreversibles a corto plazo, y sobre todo muy costosas las prácticas de remediación.

Como se señaló en los objetivos de esta investigación, se consideraron tres ambientes: *suelo presumiblemente afectado, suelo natural inalterado y suelo agrícola en aparente estabilidad*. El haber considerado estos tres ambientes, permitió contrastar los efectos que han tenido las prácticas agrícolas y humanas en general, sobre la calidad fisicoquímica de los suelos en las cuencas de La Paz y Comondú.

Los resultados obtenidos evidenciaron un proceso de desertificación que toma niveles graves en algunas parcelas muestreadas, y que en algunos casos, han sido abandonadas, por tener niveles altos de salinidad y/o por falta de agua de riego para los cultivos.

En este sentido, la acumulación de sales en el suelo reduce el espacio de los poros y la capacidad de mantenimiento y circulación del aire y los nutrientes en el suelo. Especialmente, los cationes, que efectivamente atrapan las sales (cloruros y sulfatos) y los carbonatos de los minerales como el magnesio, calcio y sodio, que son atraídos a las arcillas por cargas eléctricas negativas. De esta manera, la presencia de sales ha contribuido a la agregación preferencial con una consecuente desagregación estructural y por consiguiente, la degradación de la estructura y fertilidad de los suelos; por lo que la productividad del suelo y los rendimientos de los cultivos se han visto afectados.

En la Tabla XV se reportan los resultados promedio del análisis químico del suelo por cada ambiente considerado; para el caso específico de la cuenca de La Paz se observó que las diferencias entre las características químicas del ambiente *suelo inalterado* con respecto al *suelo agrícola en aparente estabilidad* son significativas. Los valores promedio de conductividad eléctrica y concentración de sodio fueron muy bajos en el primer ambiente en contraste con los del *suelo agrícola en aparente estabilidad*, lo que muestra el impacto del uso de agua residual combinado con otros factores, como la intrusión salina que sufre la cuenca.

Para el caso de la cuenca de Comondú, los suelos del ambiente tipo *suelo abandonado* (Tabla XV) muestran el efecto del inadecuado manejo que sufrieron en años pasados; entre las causas que originaron este efecto destacan: la sobreexplotación de los pozos, el incremento en la utilización de fertilizantes y la aplicación de agroquímicos con la intención de incrementar los rendimientos de los cultivos agrícolas. Tal manejo inadecuado del recurso hídrico y su efecto sobre las condiciones químicas del suelo, ha originado que los productores aprovechen, en promedio, sólo el 58.7 % de la superficie de sus predios (Tabla XXII), dejando expuesta el resto a los efectos nocivos de la erosión eólica, otro factor de deterioro ambiental presente en la cuenca de Comondú. De

manera coloquial a esta zona también se le conoce como “*Polvonda*” por la frecuente presencia de tolvaneras durante el año (Figura 13).



Figura 13. Tolvanera y remolino observado en Cd. Constitución, B.C.S.

Aunque en esta investigación no fue estimado el volumen de suelo que se pierde por efecto de la erosión eólica, si se pudo constatar que dicha pérdida toma valores altos, lo que agrava el proceso de desertificación de la cuenca de Comondú, por lo que se sugiere analizar la frecuencia y la probabilidad de ocurrencia del viento, como lo señaló Modarres (2008).

Por lo tanto, la superficie seca y la escasa vegetación de esta región, causan una condición ambiental susceptible a la erosión eólica e hídrica y por ende al proceso de desertificación. El cambio de uso del suelo, comúnmente a campos de cultivo, aumenta significativamente el proceso de la erosión eólica, como lo señalaron Stout y Lee (2003), y como se indicó anteriormente, dicho proceso no sólo resulta en la destrucción de la estructura del suelo, también afecta la capacidad productiva de la tierra coincidiendo en el concepto con López (1998) y Okin *et al.* (2001). Por tal motivo, el control y el manejo de la erosión causada del viento son una tarea esencial en las dos cuencas agrícolas, principalmente en la de Comondú.

La desertificación impulsada por la erosión eólica, afecta las propiedades del suelo y el potencial biológico del suelo, a menudo dando por resultado la pérdida de partículas finas del suelo, propiciando una textura más arenosa, evidenciado en este estudio a través de los resultados de textura de los suelos muestreados, donde el porcentaje de textura franco arenosa fue de 41 % y 27 % para la cuenca de Comondú y La Paz, respectivamente (Gráfica 17). Como señalaron Hennessy y Kies (1986) y Marticorena *et al.* (1997), la pérdida de partículas finas del suelo puede provocar la pérdida de materia orgánica del suelo, en virtud de que la materia orgánica se combina con las partículas finas del suelo. En este sentido, los porcentajes de materia orgánica determinados fluctuaron entre los tres ambientes de 0.3 a 0.7 % del *suelo natural inalterado* y *suelo agrícola en aparente estabilidad*; estos porcentajes son bajos, sin embargo, es importante señalar que el aporte de materia orgánica al suelo por parte de la vegetación natural es muy bajo, dado que predomina la vegetación tipo matorral xerófilo ausente de hojas, en la mayoría de las especies.

Por lo tanto, el mayor porcentaje de materia orgánica en el *suelo agrícola en aparente estabilidad*, es producto de la incorporación de residuos de cosecha, en algunos casos, y en otros, se combina con la práctica de fertilización química que se realiza en los cultivos. Sin embargo, la fertilidad a corto plazo no debe ser el único factor a considerar en el manejo de los suelos agrícolas, puesto que, la función de la materia orgánica dentro de un objetivo global reviste la mayor importancia, ya que su influencia en las características fisicoquímicas y/o biológicas del suelo, tiene una elevada relevancia como lo señaló Canet (s/a).

Ahora bien, se sabe que las costras biológicas pueden minimizar los efectos del viento sobre el suelo, y que pueden atenuar la pérdida del mismo, en este sentido, la presencia de estas costras sólo fueron observadas en la cuenca de Comondú, principalmente en aquellos suelos donde el porcentaje de arcilla fue mayor al 40 %; su duración fue corta, entre 10 y 15 días, determinada por la corta duración de la época de lluvias (Figura 14).



Figura 14. Costra biológica sobre suelo areno-arcilloso, cuenca de Comondú.

Otro factor que favorece la erosión eólica, aunque en menor escala, son las actividades recreativas de la población urbana cercana, incluyendo el “camping” y la conducción de vehículos tipo “off-road”, los cuales son vehículos de tracción en las cuatro ruedas. La mayor parte del área de estudio es afectada por estas actividades y muestra signos de degradación. Este conocimiento nos permite estimar el estado de degradación durante un viaje corto como indicó Barth (1999), y sobre todo al asistir a las tradicionales carreras de autos “Baja” en sus distintas modalidades de recorrido en el estado de Baja California Sur (Figura 15).



Figura 15. Carrera de autos “off-road”, Comondú, 2008.

El sobrepastoreo es otro factor que se observó en las cuencas de estudio, principalmente en las zonas de vegetación natural, situación que se suma a las causas anteriormente señaladas y que favorecen el proceso de desertificación. Desafortunadamente, la baja precipitación genera una escasa disponibilidad de forraje fresco, por lo cual el ganadero deja sueltos los animales para que consuman lo que puedan ramonear de la vegetación silvestre, principalmente zacates, lo cual contribuye negativamente a la compactación del suelo y la pérdida de especies nativas. La presión por los recursos naturales se vuelve por lo tanto, un punto de atención por parte de las autoridades de los tres órdenes de gobierno, los cuales contrariamente motivan la introducción e incremento de los hatos ganaderos con el consecuente deterioro ambiental.

Como se puede apreciar en la Figura 16, la carga animal genera un incremento en la compactación del suelo y una presión sobre la vegetación a tal grado que expone al suelo, ya desnudo, a los efectos negativos del viento. En dicha Figura, las imágenes de la izquierda corresponde a la cuenca de Comondú, donde se pudo observar hatos de 50 animales por hectárea. Las imágenes de la derecha corresponden a la cuenca de La Paz,

donde la carga animal fue menor (5-10 animales por hectárea), sin embargo, con los mismos efectos ambientales. El sobrepastoreo excesivo y la deforestación son causas principales de la desertificación, lo cual constató los señalamientos de Zhang *et al.* (2006) en las dos cuencas de estudio.



Figura 16. Hatos de ganado pastando en los campos de Comondú y La Paz.

Con el sobrepastoreo, se agotan los pastos y la cobertura de arbustos y se acelera la pérdida de la capa superior del suelo. Cuando el suelo está pisoteado y compactado por el ganado, pierde gradualmente su capacidad para apoyar el crecimiento de plantas y para mantener la humedad, lo que resulta en una mayor evaporación y escorrentía superficial. A nivel local el sobrepastoreo puede agravar el impacto de la sequía y la desertificación mediante la modificación del microclima del suelo, la alteración de las relaciones suelo-planta-agua y la exposición de suelo desnudo a la erosión, como indicó Sivakumar (2007).

El sobrepastoreo y la utilización excesiva de plantas leñosas (como el mezquite el cual se utiliza para la elaboración de carbón), también han provocado una importante reducción de la composición de especies de plantas forrajeras. Como resultado de esto, la pobreza está aumentando y convirtiéndose en una amenaza para la sustentabilidad de los sistemas de producción agropecuaria del rancharo sudcaliforniano que habitan las cuencas de Comondú y La Paz, y a su vez la situación económica en la que viven. Hay que reconocer que la situación es compleja debido a la diversidad de productores ganaderos que no siempre comparten los mismos intereses inmediatos y futuros (Kassahun *et al.*, 2008), asimismo, las costumbres culturales de los rancheros sudcalifornianos quienes mantienen su ganado suelto en el monte, se vuelve un obstáculo para minimizar y revertir los efectos negativos del sobrepastoreo.

El fuego es también otro factor que modifica algunas propiedades fisicoquímicas del suelo, durante e inmediatamente después de haber ocurrido, como consignaron Giovannini y Lucchesi (1997). La quema de residuos de cosecha desafortunadamente es una práctica tradicional entre los agricultores de la cuenca de Comondú principalmente, debido a la disminución de los costos en la preparación de la tierra para el siguiente cultivo (Figura 17).

Las propiedades físicas que se modifican con los incendios incluyen el color y la capacidad de retener humedad a consecuencia de la pérdida de la cubierta vegetal; el color oscuro de un suelo incendiado absorbe mayor cantidad de radiación solar, lo que favorece el incremento de la temperatura superficial. Cuando ocurre un incendio de gran intensidad, la estructura y la textura se modifican debido al cambio en la proporción y arreglo de las partículas. Dichos efectos se observaron en algunas muestras de suelo obtenidas, principalmente en la cuenca de Comondú, con valores menores en un 25 % en el contenido de materia orgánica y contenido de nitrógeno, con respecto a otros sitios del mismo ambiente de *suelo agrícola en aparente estabilidad*, donde no se tuvo información sobre la quema de los residuos de cosecha, hecho que converge con los datos de Maycotte *et al.* (2002). Asimismo, se determinaron valores de conductividad eléctrica con un 15 % mayor en promedio, a otras muestras de suelo analizadas en este

estudio, coincidiendo con las observaciones de Caldwell *et al.* (2002) y Binkley *et al.* (1992).



Figura 17. Quema de residuos de cosecha. Comondú, 2009.

En condiciones normales, los restos vegetales producidos tras una cosecha no son suficientes para compensar la pérdida de material humificado debida a su mineralización, lo que explica la disminución gradual de materia orgánica observada en los campos de cultivo durante las últimas décadas. Cuando esto ocurre, la única solución es el aporte de algún tipo de material o producto orgánico. Sin embargo, si la función de la materia orgánica fuese únicamente aportar nutrientes al suelo, el interés por su uso sería muy limitado u ocasional, puesto que los fertilizantes minerales pueden actuar en este sentido con mayor rapidez, eficacia, precisión y comodidad para el agricultor. No obstante, el suelo es un medio muy complejo, a la vez es un recurso natural cada vez más degradado que no puede ser renovado en el corto ni mediano plazo.

Por lo tanto, se debe motivar a los agricultores de la cuenca de Comondú a evitar las quemadas e incorporar los residuos de cosecha para beneficiar la actividad química y biológica del suelo, lo cual repercutirá en la productividad de sus parcelas. Además esos residuos de cosecha pueden ser también una fuente complementaria de forraje, especialmente en invierno y primavera, época en la que la precipitación pluvial es escasa en la región, beneficios señalados también por Zhang *et al.* (2007).

Los datos obtenidos en esta investigación apuntan hacia los resultados obtenidos por Zhao *et al.* (2005). En la Tabla XVI se anotaron los valores promedio de los elementos químicos evaluados en los diferentes ambientes de suelo estudiados. Se observó una disminución de la concentración de nitrógeno en los *suelos presumiblemente afectados ó abandonados*, con respecto al *suelo agrícola en aparente estabilidad*, lo que indica la reducción de la fertilidad con el paso del tiempo. Lo anterior se suma al deterioro por otros factores, como es el incremento de la salinidad y de la concentración de calcio y sodio.

4.4. Análisis socioeconómico.

El proceso de degradación ambiental ha disminuido la productividad de los campos agrícolas de las dos cuencas en estudio, motivo por el cual se ha incrementado el uso de fertilizantes químicos, sin embargo, los agricultores reportaron en la investigación de campo (Tabla XXII), que si bien, saben de la necesidad de fertilizar para incrementar los rendimientos agrícolas, no lo hacen con la debida oportunidad, debido al elevado costo de los insumos. Mediante las entrevistas se encontró que en el 2008 el costo de la tonelada de urea oscilaba de \$6,000 a \$6,500 pesos, mientras que en el 2009, se elevó a un precio entre \$12 y 14,000 pesos por tonelada. Por lo anterior, además de otras causas, la situación económica de los productores ha disminuido en los últimos años, algunos de ellos con problemas de cartera vencida, y sin capital para invertir en sus predios. El común denominador fue la falta de canales de comercialización adecuados para sus productos, limitados y sumidos a la voluntad del intermediarismo. En este sentido, la importancia de los procesos de industrialización rural en contextos amplios y heterogéneos, implica la necesidad y oportunidad de crecimiento económico para los productores, y que para los agricultores de las dos cuencas se presenta como una

necesidad y asimismo como una oportunidad de colocar sus productos en mejores condiciones de mercado.

En la actualidad se reconoce que para lograr un cambio sustentable en la agricultura, debe considerarse una visión integral del sector agrícola. Debe buscarse asimismo el balance entre los diversos factores de la producción: los precios adecuados y oportunos, el crédito o financiamiento, la disponibilidad de insumos, el transporte, las técnicas de conservación y almacenamiento, el mantenimiento de la fertilidad del suelo, la idiosincrasia, la capacitación oportuna y eficaz, las costumbres y tradiciones de los productores, así como la conservación del agua, el mejoramiento del suelo y el control de la salinidad y la desertificación como señalaron Zhang et al. (2006) y Troyo et al. (2010).

Asimismo, la disminución de la superficie de cultivo por el cambio de uso del suelo, por ejemplo en la cuenca de La Paz, ha generado importantes efectos ambientales. Entre tales efectos destaca el cambio en los servicios del ecosistema y los valores asociados a dichos servicios ambientales, porque los diferentes tipos de uso de la tierra ofrecen diferentes funciones del ecosistema. El valor de los servicios ambientales se utiliza para indicar la sustentabilidad del medio ambiente. Para obtener los valores proporcionados por diferentes tipos de uso de la tierra, los servicios no comercializados deben ser valorados por la estimación de la "disposición a pagar" de las personas por los mismos. Su estimación indica que los humedales y el agua tienen los valores más altos de servicios ambientales. En comparación con los campos agrícolas, las tierras forestales también muestran un valor de los servicios ambientales mucho mayor, mientras que el valor de los pastizales es sólo ligeramente superior. Sólo los desiertos tienen un valor mucho más bajo que los ecosistemas agrícolas. Además, las diferencias en las condiciones agroclimáticas entre la tierra que ya es cultivada y la que se incorpora a cultivo también podrían tener un impacto importante en la producción agrícola, situación que explicó Tan (2008), y que fue observada en la Cuenca de La Paz con mayor impacto.

Es necesario considerar que el cambio de la cubierta del suelo es tradicionalmente interpretado mediante dos vías diferentes: la conversión y modificación. La modificación de la cubierta terrestre se refiere a los cambios más sutiles que afectan el carácter de la cobertura de la tierra sin cambiar su clasificación general. La conversión se refiere a la sustitución completa de un tipo de cobertura terrestre con otra. Por lo tanto, los cambios de uso del suelo incluyen la manera en que se manipula la tierra y la intención subyacente de la manipulación. A su vez, la manipulación de la tierra se refiere a la forma específica en que el hombre utiliza la vegetación, el suelo y el agua para la producción de alimentos, incluyendo el uso de fertilizantes, de plaguicidas y el riego para el cultivo mecanizado, situación que ha sido mal desarrollada en la cuenca de Comondú con los efectos que se han apuntado anteriormente y que enfatizaron en otros estudios bajo condiciones similares Turner *et al.* (1995); Leemans y Zuidema (1995) y Verburg *et al.* (2000).

El cambio de uso del suelo, principalmente en la Cuenca de La Paz (Figura 16), ha sido motivado por la necesidad de nuevas viviendas para la creciente población de la Cd. de La Paz, por el incremento en la infraestructura hotelera y además de los servicios turísticos en la zona, factores que fueron planteados por Tanrivermis (2003) como elementos que favorecen el proceso de desertificación. Por lo anterior, la rentabilidad agrícola y los servicios ambientales que provee el ecosistema árido de la región disminuyen de manera alarmante, con efecto inmediato en la reducción de la disponibilidad de agua potable para la población. Dicha situación, aunada a la alternativa de desalinización del agua de mar para incrementar la disponibilidad de agua, potencialmente puede exacerbar el deterioro ambiental de la cuenca.

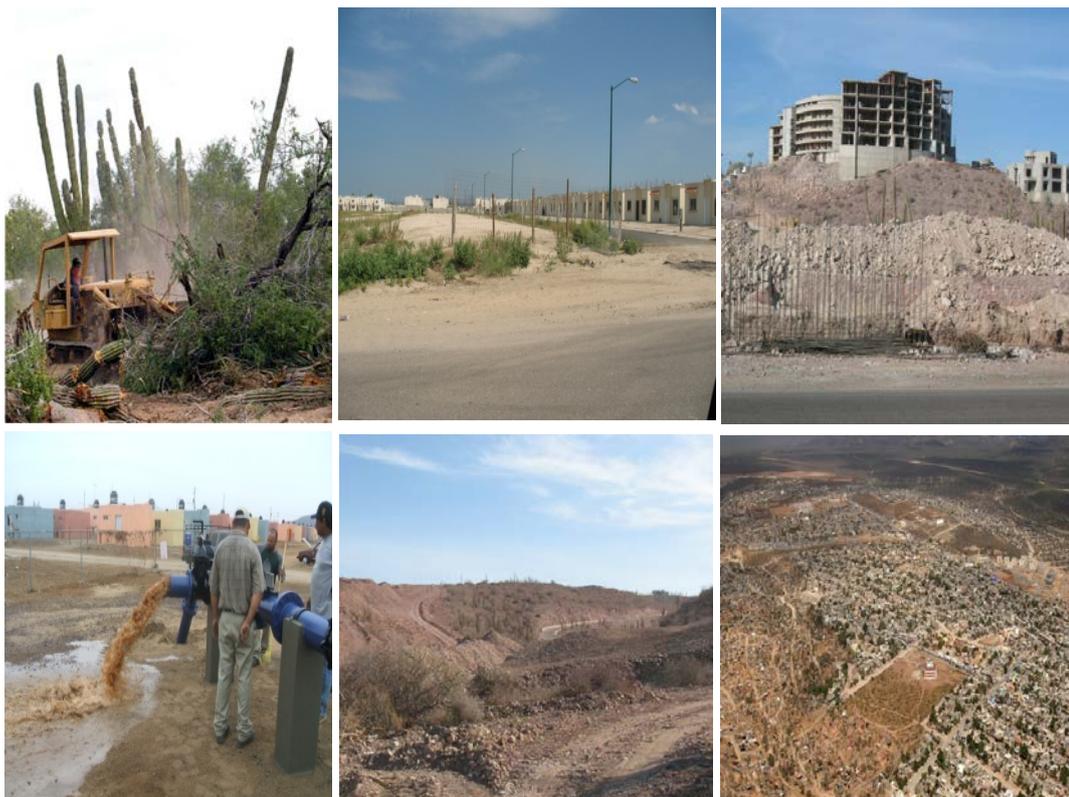


Figura 18. Cambio de uso del suelo en la cuenca de La Paz, B.C.S.

Este cambio del uso del suelo y de la cubierta vegetal es un factor importante para determinar la vulnerabilidad del ecosistema y del paisaje a los cambios ambientales (Peters y Lovejoy 1992), sobre todo en ambientes semiáridos los cuales predominan en el estado de Baja California Sur.

El proceso de degradación ambiental ha causado la disminución en la calidad de vida y en el nivel económico de los productores, producto del manejo inadecuado de los recursos naturales; siendo la salinización del suelo y del agua de riego, la causa principal de la reducción del área de cultivo en la Cuenca de Comondú, como lo refirieron los productores encuestados, sólo trabajan el 58.7 % de sus predios, o bien, han rentado sus tierras al no contar con los recursos económicos suficientes para producir, como fue señalado por los ejidatarios en la Cuenca de Comondú.

4.5. Grado de desertificación de las cuencas analizadas.

Como resultado de la presente investigación, se ha determinado el grado de desertificación, con base a los señalamientos de Li *et al.* (2006), quienes definieron la desertificación en cuatro grados: leve o potencial (A), moderada (B), severa (C) y muy severa (D), en función del porcentaje de arena, arcilla y limo. Con más del 50 % de contenido de arena, clasificaron la desertificación como “severa”, cuando el contenido era mayor del 90 % como “muy severa”, cuando era menor del 50 % la clasificaban como “moderada” y con 15 % de arena como “leve”. Con base en estos puntos de referencia, la clasificación de los suelos de las cuencas en estudio se muestra en la Tabla XXIV.

Tabla XXIV. Porcentaje de suelo con la categoría de desertificación, según Li *et al.* (2006), en las cuencas de Comondú y La Paz, B.C.S.

Ambiente / Cuenca	A		B		C		D	
	Comondú	La Paz						
Suelo Agrícola	0.0	15.4	11.1	7.7	33.3	17.3	5.6	28.8
Suelo Inalterado	0.0	0.0	2.2	0.0	17.8	7.7	10.0	23.1
Suelo Abandonado	0.0	s/d	4.5	s/d	13.3	s/d	2.2	s/d

Nota: s/d: sin dato.

Se observa que el 28.8 % de los *suelos agrícolas en aparente estabilidad* muestreados en La Paz presentan un grado muy severo de desertificación (D), tomando el criterio del porcentaje de arena, mientras que en Comondú lo presentaron el 5.6 %. Sin embargo, 23.1% de las muestras de *suelos inalterados* en La Paz presentaron grado D, aunque dichos resultados deben tomarse con precaución, puesto que el origen de estos suelos es marino y por lo tanto es de esperarse que el contenido de arena en los suelos de esta cuenca sea mayor, cercano a la categoría D según Li *et al.* (2006).

En la Cuenca de Comondú el grado de desertificación C fue determinado por el mayor porcentaje de las muestras en los tres ambientes de suelo muestreado. En esta cuenca es

donde debe ponerse especial cuidado en el manejo y conservación del suelo, el cual se encuentra expuesto a la erosión eólica e hídrica, que favorece la pérdida de partículas finas del suelo (arcilla y limo), repercutiendo en la productividad del ecosistema y del agroecosistema, además en la cantidad y calidad de los alimentos producidos.

Con relación al agua de riego, su calidad se clasificó de regular, apta para cultivos tolerantes a un incremento de salinidad y de conductividad eléctrica. Asimismo, la cantidad de sólidos totales disueltos fue alta. Se recomienda el cultivo de especies con menores consumos de agua. Este ha sido el caso de algunos agricultores que han encontrado en los cultivos de cártamo y de espárrago una opción rentable para mitigar los efectos que la disminución de la calidad de agua ha provocado en la Cuenca de Comondú.

4.6. Estrategias para disminuir y mitigar el efecto de la desertificación en las cuencas estudiadas.

Después de analizar el proceso de desertificación que guardan las cuencas en estudio, resulta recomendable plantear estrategias para enfrentar los problemas que genera, mediante la propuesta e implementación de proyectos con enfoques a problemas concretos. Algunos planes y programas viables de suma utilidad para el diagnóstico y prevención de la desertificación serían las siguientes:

- a) Evaluación y cartografía de la desertificación, para planear estrategias a seguir de manera local. No es recomendable tomar soluciones de manera general.
- b) Medidas contra la degradación de los ecosistemas, que permita la coexistencia de la sociedad humana y las especies que componen los ecosistemas áridos y semiáridos.
- c) Reforestación con especies nativas, puesto que algunas de ellas se encuentran en peligro de extinción.
- d) Rehabilitación de agostaderos, con la introducción de especies tolerantes a la sequía como son el pasto Buffel, Taiwán y/o Frijol Dolichos.

- e) Establecimiento de plantas halófilas en áreas salinizadas, que puedan servir como forraje o como producto para consumo humano, por ejemplo *Salicornia sp.*

- f) Establecimiento de cinturones verdes, sobre todo en las áreas urbanas donde el asfalto gana terreno a la vegetación natural.

- g) Establecimiento de módulos agroforestales, que permitan al productor obtener ganancias económicas y conservar el ambiente.

- h) Banco de germoplasma de las regiones secas, donde instituciones como la SEMARNAT, CONAFOR, SAGARPA y CONAZA, desempeñan un papel muy importante.

- i) Reproducción de plantas amenazadas o en peligro de extinción, que sirvan para la reforestación de áreas degradadas y/o desertificadas.

- j) Investigación aplicada de plantas de zonas áridas con alto potencial alimentario, así como el incremento de superficies dedicadas a procesos de cultivo orgánico.

- k) Reforestación para recargar los acuíferos, para promover el mantenimiento y la conservación de la vegetación natural e incrementar la disponibilidad de agua.

- l) Mayor difusión sobre la problemática que implica el proceso de desertificación en la preservación de los recursos naturales y la supervivencia de la sociedad humana, dirigida a la población de las dos cuencas en estudio y del estado.

- m) Mayor capacitación a los productores, para adaptar o mejorar los sistemas de riego, que permitan disminuir las pérdidas de agua y efficientizar el uso del recurso hídrico.

- n) Desarrollar programas de conservación y restauración de tierras que consideren la participación de los productores en su instrumentación e incorporar propuestas de soluciones que ataquen las causas y no sólo las consecuencias del problema.

o) Programas locales orientados a inducir en la población una cultura de manejo sustentable del suelo, que incluyan la realización y difusión de estudios locales.

p) Proponer alternativas para la diversificación de las actividades económicas sustentables en el uso de la tierra, algunas de las cuales pueden ser el establecimiento de ranchos cinegéticos, proyectos de agricultura orgánica y proyectos de turismo rural.

La desertificación conlleva una relevancia política, ya que es un problema de gran dimensión para el estado de Baja California Sur. Las pérdidas graduales de la productividad del sector primario por esta causa, son de gran preocupación, puesto que sigue constituyendo la fuente principal de ingresos para la economía de la cuenca de Comondú. En este sentido, la desertificación es un concepto que hace referencia a un bien ambiental de nuestro planeta y a la supervivencia de la especie humana.

En síntesis, cada pequeña región tiene su propia historia ambiental, contexto en el que las acciones de la "lucha contra la desertificación" se deben adaptar a los ecosistemas locales y a la producción, e involucrar a su población.

V. CONCLUSIONES.

1) Las condiciones características de las zonas áridas ponen en riesgo la productividad agrícola de las regiones productoras de los municipios de La Paz y Comondú, Baja California Sur: altas temperaturas y baja precipitación. Ante la falta de lluvias, el desmedido uso de agua con fines de riego, pone en riesgo la estabilidad productiva y económica de las cuencas de estudio. Es importante señalar que el cambio en el uso del suelo que sufre La Paz, aumenta la demanda de agua para consumo humano y disminuye la disponibilidad de agua para riego agrícola.

2) La escasez de agua, en términos de aridez, refleja un marcado déficit hidrológico para todos los meses del año; según los resultados obtenidos mediante la modificación al Índice de De Martonne.

3) Se observó un bajo índice de disponibilidad hidro-ambiental, que se traduce en una mayor demanda del recurso hídrico para las actividades agropecuarias y para consumo humano, lo que afecta la estabilidad de los acuíferos de la región.

4) Se debe considerar el uso de técnicas de riego más eficientes, así como de patrones de cultivos agrícolas que se adapten a las condiciones actuales de los suelos de las dos cuencas.

5) Además del grave riesgo de perder calidad para uso agrícola, los niveles estáticos del agua en los pozos han disminuido en general, lo que ha motivado la implementación de tecnologías más eficientes para reducir el consumo de agua, aunque conllevan un consecuente incremento en los costos de producción agrícola y la disminución de la superficie de cultivo.

6) El agua evaluada en los sitios de muestreo se cataloga de regular calidad, no obstante la variabilidad evidenciada. Se detectaron pozos con un deterioro franco de la calidad del agua, que debe alertar para una adecuada supervisión y seguimiento de los demás

pozos de la región para tomar medidas de control y cuidado, toda vez que se obtuvieron valores mayores de $3,000 \mu\text{S cm}^{-1}$, principalmente en la cuenca de Comondú.

7) Las cuencas de Comondú y La Paz deben ser consideradas áreas prioritarias para la conservación y manejo adecuado del recurso agua, debido a la escasa precipitación y alta evapotranspiración que se asocian a la aridez y semiaridez del estado.

8) En la cuenca de La Paz, específicamente en la zona de los ejidos de Chametla y El Centenario, el uso de aguas residuales con fines de riego en los últimos 20 años, están poniendo en riesgo la calidad agrícola de los suelos, puesto que se determinaron valores altos de conductividad eléctrica ($8,070 \mu\text{S cm}^{-1}$), de sodio ($2,777.3 \text{ mg kg}^{-1}$) y de calcio (829.7 mg kg^{-1}), entre otros. Desafortunadamente la presión por el agua dulce ocasiona que la misma se destine al consumo humano y que la única fuente de agua para los cultivos sean las aguas residuales, provenientes de la planta de tratamiento de la ciudad de La Paz.

9) La sobreexplotación del acuífero de la cuenca de La Paz, que se ha venido ocasionando en las últimas décadas ha promovido la intrusión salina y en consecuencia, el incremento en los niveles de salinidad en el suelo, los cuales muestran limitantes para la producción de cultivos sensibles a las sales.

10) Los resultados obtenidos muestran un impacto importante de las actividades agrícolas sobre el medio, en particular sobre la disminución y en algunos casos, la pérdida de calidad agrícola del suelo, evidenciado por el aumento de la concentración de sodio y de la conductividad eléctrica.

11) Los suelos del área de estudio se clasificaron como franco arenoso, de color claro, pH entre 7.1 y 8.1. Pobres en materia orgánica (0.3-1.0 %), tienden a la salinidad con valores que oscilan de 33 hasta $8,100 \mu\text{S cm}^{-1}$. Los demás elementos químicos son bajos excepto el sodio que ha incrementado sus valores por el inadecuado manejo del riego agrícola.

12) Se concluye que los suelos de las cuencas estudiadas tienden al deterioro por el inadecuado manejo de los recursos, el sobrepastoreo, aunado a la baja precipitación, que oscila entre 150 y 180 mm, con una alta tasa de evapotranspiración anual.

13) La cuenca de La Paz presenta un mayor cambio de uso del suelo que provoca una mayor tasa de deforestación, lo cual incrementa el proceso de desertificación de esta cuenca agrícola.

14) La nula o escasa capacitación y actualización de los productores rurales sobre el manejo adecuado de sus recursos naturales, ha sido una limitante para la producción y sobre todo para el manejo sustentable de dichos recursos. Ante el conflicto de pobreza y deterioro de los recursos naturales, es necesario revalorar el campo para vivir y sobrevivir, compatibilizar la competitividad y la sustentabilidad y estar convencidos del papel trascendental que deben desarrollar los productores, no sólo como productores de alimentos, sino como ciudadanos potencialmente generadores de energía renovable y protectores de las riquezas naturales.

15) Deben mejorarse las prácticas de riego agrícola, que implique la producción de cultivos más resistentes a las condiciones de aridez y salinidad presentes, así como, la producción de hortalizas bajo un sistema de producción orgánica.

16) Se recomienda el cambio en el patrón de cultivos en la cuenca de Comondú: hacia especies más eficientes y mejor adaptadas a las condiciones semiáridas como el garbanzo, cártamo, espárrago, entre otras, considerando especies nativas de la región o históricamente adaptadas como la menta, el orégano, el mezquite, la damiana, entre otras.

17) El establecimiento de plantas agroindustriales para cultivos agrícolas (naranja, tomate, chile, cártamo, sorgo), permitirá coadyuvar al mejoramiento de las condiciones económicas de los productores de las dos cuencas analizadas.

18) Incrementar la superficie y producción de forrajes tolerantes a la sequía y a la salinidad (zacate Buffel y zacate Taiwán), que permita disminuir la tasa de deforestación causada por el sobrepastoreo a la cual está sometida la vegetación natural de las dos cuencas.

19) Se recomienda promover esquemas de apoyo en aspectos de comercialización, de agroindustrialización, de capacitación en el uso y manejo eficiente del agua, de financiamiento, de organización, de sanidad, de tecnología, y en general, en las diferentes etapas de la cadena agroalimentaria.

20) La información obtenida es útil para diagnosticar la condición ambiental base del sistema hídrico de la zona de estudio. Así también, esta información permite disponer de una base de datos confiables para desarrollar una gestión ambiental adecuada.

21) El cambio del uso del suelo, la deforestación, el sobrepastoreo y el incremento en la extracción de agua subterránea, deben considerarse amenazas para la estabilidad ecológica de las cuencas de La Paz y Comondú.

22) Finalmente, se concluye que se cumplieron los objetivos planteados, asimismo, se aceptan las hipótesis de trabajo y se sugiere continuar monitoreando la calidad del agua de riego y las características fisicoquímicas del suelo en las dos cuencas, para establecer si avanza o no el proceso de desertificación, o si las acciones que se emprendan por las autoridades locales y la sociedad en su conjunto, hayan generado beneficios para todos.

VI. LITERATURA CITADA.

1. Abdel, G.A.H. 2009. Response of Wheat Varieties from Semi-arid Regions of Jordan to Salt Stress. *J. Agronomy & Crop Science* 195: 5565.
2. Abera, Y., y Belachew, T. 2011. Effects of land use on soil organic carbon and nitrogen in soils of Bale, Southeastern Ethiopia. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14: 229-235.
3. Abraham, E.M., Monataña, E., Torres, L. 2006. Desertificación e indicadores: posibilidades de medición integrada de fenómenos complejos. En: *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. X(214). 1 de junio de 2006. Universidad de Barcelona. ISSN: 1138-9788.
4. Abraham, E.M., y Torres, L.M. 2007. Estado del arte en el uso de indicadores y puntos de referencia en la lucha contra la desertificación y la sequía en América Latina y el Caribe. *INTERCIENCIA* 32(12): 827-833.
5. Aguirre, G.A. 1993. *Química de suelos salinos y sódicos*. 1a edición. Editado por la FES-C, UNAM. México. 130 pp.
6. Almenara, B.J., García, O.C., González, C.J.L., Abellán, H.M.J. 2002. Creación de índices de gestión hospitalaria mediante análisis de componentes principales. *Salud Pública de México* 44: 533-540.
7. Ahmed, B.A.O., Yamamoto, T., Rasiah, V., Inoue, M., Anyoji, H. 2008. The impact of saline water irrigation management options in a dune sand on available soil water and its salinity. *Agricultural Water Management* 88: 63-72.
8. Amezketa, E. 2006. An integrated methodology for assessing soil salinization, a pre-condition for land desertification. *Journal of Arid Environments* 67(4): 594-606.
9. Andrade, L.E. Del C., Espinosa, R.M., Romero, D.A. 2009. Acciones de lucha contra la desertificación en ambientes semiáridos en el noroeste de Tamaulipas, México. *Papeles de Geografía* 49-50: 15-26.
10. Anyamba, A., y Tucker C.J. 2005. Analysis of Sahelian vegetation dynamics using NOAA-AVHRR NDVI data from 1981-2003. *Journal of Arid Environments* 63: 594-606.
11. Ayers, R.S., y Westcot, D.W. 1985. *Water Quality for Agriculture*. FAO Irrig. Drain. Paper 29. FAO, Rome.
12. Ayllón, T. 1996. *Elementos de Meteorología y Climatología*. Edit. Trillas. Méx. Pp 170-171.

13. Barragán, E.E.A., Bescana, P., Arricibita, F.J. 1998. Electromagnetic methods in soil salinity measure. Influence on corn production. 16° Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo. International Soil Science Society. Vol. II p. 543. Montpellier (Francia).
14. Barth, H.J. 1999. Desertification in the Eastern Province of Saudi Arabia. *Journal of Arid Environments* 43: 399-410.
15. Bates, S.T., Reddy, G.S.N., García, P.F. 2006. *Exophiala crusticola* anam. nov. (affinity *Herpotrichiellaceae*), a novel black yeast from biological soil crusts in the Western United States. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 56: 2697-2702.
16. Becerra, M.A. 1998. Conservación de suelos y desarrollo sustentable, ¿Utopía ó posibilidad en México? *Terra Latinoamericana* 16(2): 173-179.
17. Belnap, J. 2001. Comparative structure of physical and biological crusts. pp. 177-191. In: J. Belnap and O. L. Lange (eds.). *Biological soil crusts: structure, function, and anagement*. Springer. Ecol. Stud. 150. Berlin, Germany.
18. Ben, G.A., Ityel, E., Dudley, L., Cohen, S., Yermiyahu, U., Presnov, E., Zigmond, L., Shani, U. 2008. Effect of irrigation water salinity on transpiration and on leaching requirements: A case study for bell peppers. *Agricultural Water Management* 95: 587-597.
19. Blaikie, P., y Brookfield, H., 1987. *Land Degradation and Society*. Methuen, London and New York.
20. Binkley, D., Richter, D., David, M.B., Caldwell, B. 1992. Soil chemistry in a loblolly/longleaf pine forest with interval burning. *Ecol. Applic.* 2: 157-164.
21. Bonet, A. 2004. Secondary succession of semi-arid Mediterranean old-fields in south-eastern Spain: insights for conservation and restoration of degraded lands. *Journal of Arid Environments* 56: 213-233.
22. Brunel, J.P., Ihab, J., Droubi, A.M., Samaan, S. 2006. Energy budget and actual evapotranspiration of an arid oasis ecosystem: Palmyra (Syria). *Agricultural Water Management* 84: 213-220.
23. Caldwell, T.G., Johnson, D.W., Miller, W.W., Qualls, R.G. 2002. Forest floor carbon and nitrogen losses due to prescription fire. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 262-267.
24. Canet, C.R. s/a. *Uso de materia orgánica en Agricultura*. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Centro para el Desarrollo de la Agricultura Sostenible. España. Pp 1-39. En: www.ivia.es/rcanet/descargas.
25. Capulín, G.J., Mohedano, C.L., Razo, Z.R. 2010. Cambios en el suelo y vegetación de un bosque de pino afectado por incendio. *Terra Latinoamericana* 28(1): 79-87.

26. Carabias, J., y Arriaga, L. s/a. Las políticas de restauración en México. Boletín de la Sociedad Botánica de México.
27. Carabias, J. 2009. Manejo de recursos naturales y calidad de vida. En: Monitoreo de biodiversidad y recursos naturales: ¿para qué?. Compiladora: Sandra E. Chediack. Serie Diálogos No. 3. CONABIO. México. pp 29-37.
28. Caravaca, F., Lax, A., Albaladejo, J. 2001. Soil aggregate stability and organic matter in clay and fine silt fractions in urban refuseamended semiarid soils. Soil Science Society of America Journal 65: 1235-1238.
29. Cardona, A., Carrillo, R.J.J., Huizar, A.R., Graniel, C.E. 2004. Salinization in coastal aquifers of arid zones: an example from Santo Domingo, Baja California Sur, Mexico. Environmental Geology 45: 350-366.
30. Carvajal, O.P., Carpintero, T., A.A., Soto, M.J. 2004. Búsqueda de la relación entre áreas ICFES en Matemáticas, Física, Lenguaje y rendimiento en Matemáticas I y Matemáticas II a través del análisis de componentes principales. Scientia et Technica. Año X, No 26, Diciembre 2004. UTP. ISSN 0122-1701. Colombia.
31. Castro, E.G., Pacheco, M.A., Coronado, P.V. 2009. Origen de los sulfatos en el agua subterránea del sur de la sierrita de Ticul, Yucatán. Ingeniería 13(1): 49-58.
32. Ceja, M.C. 2008. Degradación de los suelos y pobreza en México. Economía Informa, UNAM 350: 89-93.
33. Chapela, G. 2000. Recursos Forestales, Tierras y Desertificación. En: Foro Nacional: Política Ambiental Mexicana. Los Retos del Nuevo Milenio, 21 y 22 de septiembre de 2000. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca-Universidad Nacional Autónoma de México, Xochimilco. México.
34. Chapela, G. 2003. Armonización de Políticas en la Lucha contra la Desertificación: El caso de México. En: J. Luis Mérega (comp.) Desertificación y Sociedad Civil. Buenos Aires: Fundación del Sur y Mecanismo Mundial de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación.
35. Chen, Z.Q., y Zhu, Z.D. 2001. Development of land desertification in Basshang area in the past 20 years. J. Geogr. Sci. 11: 433-435.
36. Chocano, V.C., Sánchez, F.C., López, B.F. 2007. La Agroecología como alternativa a la prevención y lucha contra la desertificación en la Región de Murcia: la Comarca del Noroeste. Agroecología 2: 75-84.
37. Ciurana, E.R. 2001. Complejidad: Elementos para una definición. Instituto Internacional para el Pensamiento Complejo y Asociación para la pensée complexe. UNESCO. Paris, Francia.

38. Claudivan, F.L., José, C., Marco, A.O., Hugo, A.R. 2005. Changes in growth and in solute concentration in sorghum leaves and roots during salt stress recovery. *Environ. Exp. Bot.* 54: 69-76.
39. CONABIO. 2006. *Capital Natural y Bienestar Social*. México. Pp 71.
40. CONAZA. 1994. *Plan de Acción para Combatir la Desertificación en México*. Comisión Nacional de Zonas Áridas/Secretaría de Desarrollo Social (PACD-México). México.
41. CONAGUA-UABCS. 2009. *Estudio para la Recuperación del Acuífero del Valle de Santo Domingo*. Dirección Estatal de la Comisión Nacional del Agua. La Paz, B.C.S. México.
42. Congreso de la Unión. 2001. *Ley de Desarrollo Rural Sustentable*. Edición de las Comisiones de Agricultura y de Desarrollo Rural. México.
43. Cornet, A. 2002. Desertification and its relationship to the environment and development: a problem that affects us all. Institut de Recherche pour le Développement (IRD). *Memorias de la Reunión de Johannesburg*. UN. Pp 91-125.
44. Cortés, J.JM., Troyo, D.E., Murillo, A.B., García, H.J.L., Garatuza, P.J., Suh, L.S. 2009. Índices de calidad del agua del acuífero del valle del Yaqui, Sonora. *Terra Latinoamericana* 27(2): 133-141.
45. Cruz, F.A., Troyo, D.E., Fraga, P.H., González, M.A., Vega, M.J.E. 2010. How to make water a sustainable resource for the city of La Paz B.C.S. 3rd International Symposium 2010. *Towards the prevention of desertification*. La Paz, BCS, México.
46. Danfeg, S., Dawson, R., Baoguo, L. 2006. Agricultural causes of desertification risk in Minqin, China. *Journal of Environmental Management* 79: 348-356.
47. Darkoh, M.B.K. 1998. The nature, causes and consequences of Desertification in the drylands of Africa. *Land Degradation & Development* 9: 1-20.
48. De Bano, L.F., 1981. *Water repellent soils: a state-of-the-art*. United States Department of Agriculture Forestry Service General. Technical Report, PSW-46. Berkley, California.
49. De Pascale, S., y Barbieri, G. 1995. Effects of soil salinity from long-term irrigation with saline-sodic water on yield and quality of winter vegetable crops. *Sci. Hortic.* 64: 145-157.
50. De Soyza, G.A., Whitford, W.G., Herrick, J.E., Van Zee, J.W., Havstad, K.M. 1998. Early warning indicators of desertification: examples of tests in the Chihuahuan Desert. *Journal of Arid Environments* 39: 101-112.

51. Dobson, A.P., Bradshaw, A.D., Baker, A.J.M., 1997. Hopes for the future: restoration ecology and conservation biology. *Science* 277: 522-525.
52. Dourjeani, A., Jouravlev, A., Chávez, G. 2002. Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica, Documento de trabajo núm. 1, Programa Agua, Medio Ambiente y Sociedad, México. El Colegio de México y Comisión Económica para América Latina.
53. Duan, Z.H., Xiao, H.L., Dong, Z.B., He, X.D., Wang, G., 2001. Estimate of total CO₂ output from desertified sandy land in China. *Atmospheric Environment* 35: 5915-5921.
54. Drummond, R. 1992. *Un Mundo Insustentable*. México: Siglo XXI Editores.
55. Eamus, D., y Froend, R. 2006. Groundwater-dependent ecosystems: the where, what and why of GDEs. *Australian Journal of Botany* 54(2): 91-96.
56. Elmore, A.J., Kaste, J.M., Okin, G.S., Fantle, M.S. 2008. Groundwater influences on atmospheric dust generation in deserts. *Journal of Arid Environments* 72: 1753-1765.
57. Escobar, H.A., Troyo, D.E., García, H.J.L., Hernández, C.H., Murillo, A.B., López, A.R. 2005. Potencial forrajero del paso salado *Distichlis spicata* L. (Greene) en ecosistemas costeros de Baja California Sur, México por el método de "componentes principales". *Técnica Pecuaria en México* 43(1): 13-25.
58. Espejel, I., Hernández, A., Riemann, H., Hernández, L. 2005. Propuesta para un nuevo municipio con base en las cuencas hidrográficas Estudio de caso: San Quintín, B.C. *Gestión y Política Pública* XIV(1): 129-168.
59. Evenari, M., Noy, M.I., Goodall, D.W. 1985. Hot deserts and arid shrublands. Tomos 12A y 12B. Elseiver, N.Y. USA.
60. Falkenmark, M., y Rockström, J. 2008. Building resilience to drought in desertification-prone savannas in Sub-Saharan Africa: The water perspective. *Natural Resources Forum* 32: 32-102.
61. FAO. 1980. *World Soil Resources Reports No. 96*. Roma.
62. Farquharson, J.R., Cacho, J.O., Mullen, D.J., Schwenke, D.G. 2008. An economic approach to soil fertility management for wheat production in north-eastern Australia. *Agricultural Economics* 38: 181-192.
63. Fernández, R.J. 2002. Do human create deserts? *Trends in Ecology & Evolution* 17(1): 6-7.

64. Ferreira, A.J.D., Coelho, C.O.A., Ritsema, C.J., Boulet, A.K., Keizer, J.J. 2008. Soil and water degradation processes in burned areas: Lessons learned from a nested approach. *Catena* 74: 273-285.
65. Foley, J.A., DeFries, R., Asner, G.P. 2005. Global consequences of land use. *Science* 309: 570-574.
66. Fredrickson, E., Havstad, K.M., Estell, R., Hyder, P. 1998. Perspectives on desertification: south-western United States. *Journal of Arid Environments* 39: 191-207.
67. Funakawa, S., y Kosaki, T. 2007. Potential risk of soil salinization in different regions of Central Asia with special reference to salt reserves in deep layers of soils. *Soil Science and Plant Nutrition* 53: 634-649.
68. Garbagnati, M.A., González, S.P., Antón, I.R., Mallea, A.M. 2005. Características físico-químicas, capacidad buffer y establecimiento de la línea base ambiental del Río Grande, San Luis, Argentina. *Ecología Austral* 15: 59-71.
69. García, C.O.R., Tejeda, M.A., Bojórquez, M.G. 2009. Urbanization effects upon the air temperature in Mexicali, B.C. México. *Atmósfera* 22(4): 349-365.
70. García, M.E. 1988. Modificaciones al Sistema Climático de Köppen, para adaptarlo a las condiciones de México. Instituto de Geografía, UNAM. México.
71. García, R. 1986. Conceptos Básicos para el Estudio de Sistemas Complejos. In LEFF, E. (coord.), *Los problemas del conocimiento y la perspectiva ambiental del desarrollo*. Edit. México Siglo XXI. México.
72. Geissen, V., Sánchez, H.R., Kampichler, C., Ramos, R.R., Sepúlveda, L.A., Ochoa, G.S., de Jong, B.H.J., Huerta, L.E., Hernández, D.S. 2009. Effects of land-use change on some properties of tropical soils -An example from Southeast Mexico. *Geoderma* 151: 87-97.
73. Giovannini, G., y Lucchesi, S. 1997. Modifications induced in soil physico-chemical parameters by experimental fires at different intensities. *Soil Sci.* 162(7): 479-486.
74. Gobierno del Estado. 2001. Programa Estratégico de Ordenamiento Territorial. B.C.S., México. Pp. 73-78.
75. Gupta, R.K. 1994. Ground water quality for irrigation. In: Rao, D.N., Singh, N.T., Gupta, R.K., Tyagi, N.K. (Eds.), *Salinity Management for Sustainable Agriculture*. Central Salinity Research Institute, Karnal, India. Pp 89-100.
76. Guttman, N.B. 1998. Comparing the palmer drought index and the standardized precipitation index. *Journal of The American Water Resources Association* 34(1): 113-121.

77. Hendawy, E.S.E., Hu, Y., Yakout, M.G., Awad, M.A., Hafiz, S.E., Schmidhalter, U. 2005. Evaluating salt tolerance of wheat genotypes using multiple parameters. *Eur. J. Agron.* 22: 243–253.
78. Hennessy, J.T., y Kies, B. 1986. Soil sorting by forty-five years of wind erosion on a Southern New Mexico Range. *Soil Science Society of America Journal* 56: 391-394.
79. Herczeg, A.L., Dogramaci, S.S., Leaney, F.W.J. 2001. Origin of dissolved salts in a large semi-arid groundwater system: Murray Basin, Australia. *Marine and Freshwater Research* 52: 41-52.
80. Hernández, L.E., López, B.F., Romero, D.A., Belmonte, S.F. 2000. Estudio comparativo de un indicador de desertificación para zonas agrícolas semi-áridas, cuenca del Guadalentín, Sureste de España. *Papeles de Geografía, Universidad de Murcia* 31: 91-98.
81. Herrmann, S.M., y Hutchinson, C.F. 2005. The changing contexts of the desertification debate. *Journal of Arid Environments* 63: 538-555.
82. Hillel, D., y Rosenzweig, C. 2002. Desertification in relation to climate variability and change. *Advances in Agronomy* 77: 1-44.
83. Holtz, U. 2003. La Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD) y su dimensión política. Universidad de Bonn, Alemania. Pp 14.
84. INEGI. 2001. Núcleos Agrarios: Tabulados básicos por Municipio. PROCEDE 1992-2001. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. La Paz, B.C.S. México. Pp 27.
85. INEGI. 2010. Resultados del Censo de Población y Vivienda 2010. México.
86. Isik, S., Dogan, E., Kalin, L., Sasal, M., Agiralioglu, N. 2008. Effects of anthropogenic activities on the Lower Sakarya River. *Catena* 75: 172-181.
87. Jackson, E.C., Krogh, S.N., Whitford, W.D. 2003. Desertification and biopedturbation in the northern Chihuahuan Desert. *Journal of Arid Environments* 53: 1-14.
88. Jackson, R.B., Carpenter, S.R., Dahm, C.N., McKnight, D.M., Naiman, R.J., Postel, S.L., Running, S.W. 2001. Water in a changing world. *Ecological Applications* 11(4): 1027-1045.
89. Jalali, M., Merikhpour, H., Kaledhonkar, M.J., Van Der Zee, S.E.A.T.M. 2008. Effects of wastewater irrigation on soil sodicity and nutrient leaching in calcareous soils. *Agricultural Water Management* 95: 143-153.

90. Jáuregui, O.E. 1997. Heat island development in México City. *Atmospheric Environment* 31: 3821-3831.
91. Jolly, D.I., McEwan, L.K., Holland, L.K. 2008. A review of groundwater–surface water interactions in arid/semi-arid wetlands and the consequences of salinity for wetland ecology. *Ecohydrology* 1: 43-58.
92. Kassahun, A., Snyman, H.A., Smit, G.N. 2008. Impact of rangeland degradation on the pastoral production systems, livelihoods and perceptions of the Somali pastoralists in Eastern Ethiopia. *Journal of Arid Environments* 72: 1265-1281.
93. Khan, N.M., Rastoskuev, V.V., Sato, Y., Shiozawa, S. 2005. Assessment of hydrosaline land degradation by using a simple approach of remote sensing indicators. *Agricultural Water Management* 77(1): 96–109.
94. Kosmas, C., Gerontidis, St., Marathanou, M. 2000. The effect of land use change on soils and vegetation over various lithological formations on Lesbos (Greece). *Catena* 40: 51-68.
95. Lal, R. 2004. Carbon sequestration in soils of central Asia. *Land Degrad. Develop.* 15: 563-572.
96. Larney, F.J., Bullock, M.S., Janzen, H.H., Ellert, B.H., Olson, E.C.S. 1998. Wind erosion effects on nutrient redistribution and soil productivity. *Journal of Soil and Water Conservation* 53: 133-140.
97. Lavergne, S., Thuiller, W., Molina, J., Debussche, M. 2005. Environmental and human factors influencing rare plant local occurrence, extinction and persistence: a 115-year study in the Mediterranean region. *Journal of Biogeography* 32(5): 799-811.
98. Lee, C.C., Heck, W.W., Neher, D.A., Munster, M.J., Hoag, D.L. 1995. Biophysical Measurement of the sustainability of temperate agriculture. In M. Munasinghe & W. Shearer (eds.). *Defining and Measuring Sustainability. The Biogeophysical Foundations.* The Nations University and The World Bank. Pp. 251-274.
99. Leemans, R., y Zuidema, G. 1995. Evaluating changes in land cover and their importance for global change. *Trends Ecology & Evolution* 10: 76-81.
100. Lesschen, J.P., Cammeraat, L.H., Koijman, A.M., van Wesemael, B. 2008. Development of spatial heterogeneity in vegetation and soil properties after land abandonment in a semi-arid ecosystem. *Journal of Arid Environments* 72: 2082-2092.
101. Letey, J., Sojka, E.R., Upchurch, R.D., Cassel, K.D., Olson, R.K., Payne, A.W., Petrie, E.S., Price, H.G., Reginato, J.R., Scott, D.H., Smethurst, J.P., Triplett, B.G. 2003. Deficiencies in the soil quality concept and its application. *J. Soil Water Conserv.* 58: 180-187.

102. Letey, J. 2001. Causes and consequences of fire-induced soil water repellency. *Hydrological Processes* 15(15): 2867-2875.
103. Li, X.R., Jia, X.H., Dong, G.R. 2006. Influence of desertification on vegetation pattern variations in the cold semi-arid grasslands of Qinghai-Tibet Plateau, North-west China. *Journal of Arid Environments* 64: 505-522.
104. Li, X.R., Zhang, J.G., Wang, X.P., Liu, L.C. 2000. Study on microbiotic crust and its influences on sand fixing vegetation in arid desert region. *Acta Botanica Sinica* 42: 965-970.
105. Lilienfeld, A., y Asmild, M. 2007. Estimation of excess water use in irrigated agriculture: A Data Envelopment Analysis approach. *Agricultural Water Management* 94: 73-82.
106. López, R.M. 2006. Elementos para el diseño de una política de uso sustentable de las tierras ganaderas de Sonora. *Estudios Sociales* 14(27): 140-157.
107. López, M.V. 1998. Wind erosion in agricultural soil: an example of limited supply of particles available for erosion. *Catena* 33: 17-28.
108. Lowery, B., Swan, J., Schumacher, T., Jones, A. 1995. Physical properties of selected soils by erosion class. *Journal of Soil and Water Conservation* 50: 306-311.
109. Mace, J.E., y Amrhein, C. 2001. Leaching and reclamation of a soil irrigated with moderate SAR waters. *Soil Science Society American Journal* 65(1): 199-204.
110. Mahdi, M.A.K., Yin, X.H., Licht, M.A. 2005. Soil carbon and nitrogen changes as affected by tillage system and crop biomass in a corn-*soybean* rotation. *Applied Soil Ecology* 30(3): 174-191.
111. Mainguet, M. 1994. "Desertification: Natural Background and Human Mismanagement." Springer Verlag, Berlin.
112. Mantell, A., Frenkle, H., Meiri, A. 1985. Drip irrigation of cotton with saline sodic water. *Irrigation Science* 6: 95-106.
113. Manzano, G.M., y Nájjar, J. 2000. Processes of desertification by goats overgrazing in the Tamaulipan thornscrub (matorral) in north-eastern Mexico. *Journal of Arid Environments* 44: 1-17.
114. Marland, G., Pielke, R.A., Apps, M., Avissar, R., Betts, R.A., Davis, K.J., Frumhoff, P.C., Jackson, S.T., Joyce, L.A., Kauppi, P., Katzenberger, J., MacDicken, K.G., Neilson, R.P., Niles, J.O., Niyogi, D.S., Norby, R.J., Pena, N., Sampson, N., Xue, Y. 2003. The climatic impacts of land surface change and carbon management, and the implications for climate-change mitigation policy. *Climate Policy* 3: 149-157.

115. Marticorena, B., Bergametti, G., Gillette, D., Belnap, J. 1997. Factors controlling threshold friction velocity in semiarid and arid area of the United States. *Journal of Geophysical Research* 102(19): 23277-23287.
116. Matallo, H., y Vasconcelos, R. 1999. Estimación de pérdidas económicas provocadas por procesos de desertificación en la región del Semiárido del Nordeste. *Desertificación. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura –UNESCO-. Brasilia, Brasil.*
117. Matallo, H. 2001. “Indicadores de desertificación: histórico y perspectivas”, Brasilia, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).
118. Matallo, H.J. s/a. Algunas cuestiones relativas a la economía de la desertificación. en: *Pobreza, desertificación y degradación de los recursos naturales, Capitulo IV. CEPAL. Pp 113-138.*
119. Maycotte, M.C.C., Velásquez, M.A., Vargas, H.J.J., Trinidad, S.A., Musálem, S.M.A., Vera, C.G. 2002. Radiación fotosintéticamente activa y propiedades físico-químicas en suelos forestales con y sin incendio. *Madera y Bosques* 8: 39-55.
120. Mehta, V.K., Sullivan, P.J., Walter, M.T., Krishnaswamy, J., De Gloria, S.D. 2008. Ecosystem impacts of disturbance in a dry tropical forest in southern India. *Ecology* 89: 149-160.
121. Modarres, R. 2008. Regional maximum wind speed frequency analysis for the arid and semi-arid regions of Iran. *Journal of Arid Environments* 72: 1329-1342.
122. Modarres, R., y Rodríguez, S.V.P. 2007. Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. *Journal of Arid Environments* 70: 344-355.
123. Muhammad, S., Müller, T., Joergensen, R.G. 2008. Relationships between soil biological and other soil properties in saline and alkaline arable soils from the Pakistani Punjab. *Journal of Arid Environments* 72: 448-457.
124. Mulvaney, R. L., Khan, S.A., Hoef, R.G., Brown, H.M. 2001. A soil organic nitrogen fraction that reduces the need for nitrogen fertilization. *Soil Science Society American Journal* 65(4): 1164-1172.
125. Murray, B.R., Hose, G.C., Eamus, D., Licari, D. 2006. Valuation of groundwater-dependent ecosystems: a functional methodology incorporating ecosystem services. *Australian Journal of Botany* 54(2): 221-229.
126. Neary, D.G., Klopatek, C.C., De Bano, L.F., Folliott, P.F., 1999. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *Forest Ecology and Management* 122: 51-71.

127. Nicholson, S.E. 1999. The physical-biotic interface in arid and semi-arid systems: A Climatologist's view. In *Arid Lands Management. Toward Ecological Sustainability*. 27. Thomas W. Hoekstra and Moshe Shachak editors. University of Illinois Press. Chicago, USA.
128. OECD. 1991. *Environmental indicators: towards sustainable development*. Paris. Pp. 132.
129. Oke, T.R. 1987. *Boundary layer climates*. Routledge, London. 435 pp.
130. Okin, G.S., Murray, B., Schlesinger, W.H. 2001. Degradation of sandy arid shrubland environments: observations, process modeling, and management implications. *Journal of Arid Environments* 47: 123-144.
131. Ortiz, S.M.L.M., Anaya, G.M., Estrada, B.W.J. 1994. *Evaluación, cartografía y políticas preventivas de la degradación de la tierra*. Colegio de Postgraduados-CONAZA. México.
132. Oswald, S.U. 2006. El papel de la mujer en la megalópolis y los suburbios marginales. Seguridad humana, de género y ambiental (HUGE) con ordenamiento territorial, cooperación, desarrollo y gestación de resiliencia como respuestas políticas ante el cambio climático y la desertificación. En: *Memorias del Simposio Internacional sobre Desertificación y Migración*. Almería, España, 25-27 de Octubre de 2006.
133. Otto, R., Kru, O.B., Kienast, F. 2007. Degradation of an arid coastal landscape in relation to land use changes in Southern Tenerife (Canary Islands). *Journal of Arid Environments* 70: 527-539.
134. Pando, M.M., Gutiérrez, G.M., Maldonado, H.A., Jurado Y.E. 2002. Evaluación de los procesos de desertificación en una cuenca hidrológica del NE de México. *CIENCIA UANL* V(4): 519-524.
135. Parlange, M. 1998. The city as ecosystem. *Bioscience* 48: 581-585.
136. Parson, E.A., y Vandem, K.F. 1997. Integrated Assessment Models of Global Climate Change. *Annual Review of Energy of the Environment* 22: 589-628.
137. Pauw, E., Gobel, W., Adam, H. 2000. Agrometeorological aspects of agriculture and forestry in the arid zones. Conference Title: *Agrometeorology in the 21st century: needs and perspectives*. Papers from the International Workshop on Agrometeorology, Accra, Ghana, 15-17 February 1999. *Agricultural and Forest Meteorology* 103(1/2): 43-58.
138. Pérez, P.O. 2005. La desertificación en la República Argentina. En: *La Situación Ambiental Argentina 2005*. Dirección de Conservación del Suelo y Lucha contra la Desertificación, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Ministerio de Salud y Ambiente de la Nación. Argentina. Pp. 433-435.

139. Pérez, Z.O. 2003. Efecto de la aplicación de aguas residuales industriales en las propiedades físicas y químicas del suelo. *Agrociencia* 36(3): 279-290.
140. Pérez, P.O., y Tomasini, D. 2002. Desarrollo rural en zonas secas. En: Conferencia: Desarrollo de las Economías Rurales en América Latina y el Caribe: Manejo Sostenible de los Recursos Naturales, Acceso a Tierras y Finanzas Rurales. Banco Interamericano de Desarrollo. Brasil. Pp 24.
141. Pérez, S.C., Martínez, S.M.J., Vidal, J., Sánchez, A. 2003. The role of low-quality irrigation water in the desertification of semi-arid zones in Murcia, SE Spain. *Geoderma* 113(1-2): 109-125.
142. Peters, R.L., y Lovejoy, T.L. (Eds.). 1992. *Global Warming and Biological Diversity*. Yale University Press, London.
143. PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 2000. *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial Geo-3*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
144. Qadir, M., y Schubert, S. 2002. Degradation process and nutrient constraints in sodic soils. *Land Degradation & Development* 19: 275-294.
145. Qi, S., y Luo, F. 2007. Environmental degradation problems in the Heihe River Basin, northwest China. *Water and Environment Journal* 21: 142-148.
146. Quiñones, V.J.J., Castellanos, P.E., Valencia, C.C.M., Martínez, R.J.J., Sánchez, O.T., Montes, G.C.A. 2009. Efecto de la costra biológica sobre la infiltración de agua en un pastizal. *Terra Latinoamericana* 27(4): 287-293.
147. Randhir, T., y Ekness, P. 2009. Urbanization effects on watershed habitat potential: a multivariate assessment of thresholds and interactions. *Ecohydrology* 2: 88-101.
148. Rascón, A.E., Peña, C.E., López, C.R., Cantú, S.M., Narro, F.E.A. 2008. Impacto en algunas propiedades físicas del suelo por aplicación de aguas residuales. *Terra Latinoamericana* 26(1): 69-74.
149. Rasmussen, K., Foga, B., Madsen, J.E. 2001. Desertification in reverse? Observations from northern Burkina Faso. *Global Environmental Change* 11: 271-282.
150. Reicosky, D.C. 1997. Tillage methods-induced CO₂ emission from soil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 49: 273-285.
151. Ridway, R. 1995. Development of desertification indicators for field level implementation. Working Paper prepared by the Office to Combat Desertification and Drought. UK: UNDP / UNSO and NRI (Natural Resources Institute).

152. Rodríguez, S.J. 1993. La Fertilización de los cultivos, un método racional. Colección en Agricultura. Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 208 p.
153. Ruiz, C.E., Aldaco, N.R.A., Montemayor, T.J.A., Fortis, H.M., Olague, R.J., Villagómez, G.J.C. 2007. Aprovechamiento y mejoramiento de un suelo salino mediante el cultivo de pastos forrajeros. *Técnica Pecuaria México* 45(1): 19-24.
154. Ruiz, T., y Febles, G. 2004. La desertificación y la sequía en el mundo. *Avances en Investigación Agropecuaria* 8(2): 1-11.
155. Rubio, J.L., y Bochet, E. 1998. Desertification indicators as diagnostic criteria for desertification risk assessment in Europe. *Journal of Arid Environments* 39: 113-120.
156. SAGARPA. 2006. Estadísticas Estatales: Baja California Sur. Producción agropecuaria. México.
157. Sánchez, C.J.C. 2001. Caracterización de las sequías en el Estado de Nuevo León, México. Tesis de Maestría. Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Posgraduados. Texcoco, México.
158. Schoijet, M. 2005. Desertificación y tormentas de arena. *Región y Sociedad* XVII(32): 167-187.
159. Seifan, M. 2009. Long-term effects of anthropogenic activities on semi-arid sand dunes. *Journal of Arid Environments* 73: 332-337.
160. SEMARNAP (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca). 1995. Programa Sectorial Forestal y de Suelos. SEMARNAP. México.
161. SEMARNAT. 2000. Inventario Nacional de Suelos. México.
162. SEMARNAT. 2002. NOM-021-RECNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. D.O.F. 31 de diciembre de 2002. México.
163. SEMARNAT. 2002a. Segundo informe de México (2000-2002): Convención de las Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación y la Mitigación de los Efectos de la Sequía. Junio del 2002. SEMARNAT. México.
164. SEMARNAT. 2005. Situación Medio Ambiente México 2005. Capítulo 1. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. Pp 23-51.
165. SEMARNAT. 2006. Tercer Informe Nacional México 2002-2005 en materia de implementación de la UNCCD. México.

166. SEMARNAT. 2008. Plan Estatal de Educación, Capacitación y Comunicación Ambientales para el Desarrollo Sustentable de Baja California Sur. México. Pp 93-104.
167. SEMARNAT. 2010. Día Mundial de la Lucha contra la Desertificación y la Sequía. Comunicado de prensa. En www.semarnat.gob.mx, consultado el 17 de junio de 2010.
168. Senado de la República. 2005. Proposición con punto de acuerdo relativa al Año Internacional de los Desiertos y la Desertificación. Senadores del Partido Verde Ecologista de México en la LIX Legislatura. Julio de 2005. México.
169. Sharma, K.D. 1998. The hydrological indicators of desertification. *Journal of Arid Environments* 39(2): 121-132.
170. Silva, R.V.P. 2004. On climate variability in Northeast of Brazil. *Journal of Arid Environments* 58: 575-596.
171. Sivakumar, M.V.K. 2007. Interactions between climate and desertification. *Agricultural and Forest Meteorology* 142: 143-155.
172. Stout, J.E., y Lee, J.A. 2003. Indirect evidence of wind erosion trends on the Southern High Plains of North America. *Journal of Arid Environment* 55: 43-61.
173. Su, Y.Z., y Zhao, H.L. 2003. Soil properties and plant species in an age sequence of *Caragana microphylla* plantations in the Horqin Sandy Land, north China. *Ecological Engineering* 20: 223-235.
174. Suárez, L.D., Wood, D.J., Lesch, M.S. 2006. Effect of SAR on water infiltration under a sequential rain-irrigation management system. *Agricultural Water Management* 86: 150-164.
175. Tan, S. 2008. Impacts of Cultivated Land Conversion on Environmental Sustainability and Grain Self-sufficiency in China. *China & World Economy* 16(3): 75-92.
176. Tanrivermis, H. 2003. Agricultural land use change and sustainable use of land resources in the Mediterranean region of Turkey. *Journal of Arid Environment* 54(3): 553-564.
177. Tarango, A.L.A. 2005. Problemática y alternativas de desarrollo de las zonas áridas y semiáridas de México. *Revista Chapingo. Serie Zonas Áridas* 4(2): 17-21.
178. Thomas, D.S.G., y Middleton, N.J. 1993. Salinization: new perspectives on a major desertification issue. *Journal of Arid Environments* 24: 95-105.

179. Trimble, J.B. 1995. Geomorphic effects of vegetation cover and management: some time and space considerations in prediction of erosion and sediment yield. In: Thornes, J. (Ed.), *Vegetation and Erosion, Processes and Environments*. Wiley. London. Pp. 169-194.
180. Troyo, D.E., García, H.J.L., Murillo, A.B., Zamora S.B., Fenech, L.L., Orona, C.I., Beltrán, M.F.A., Ruiz, E.F.H. 2004. Modificación al Índice de Aridez de Martonne para su adecuación al estudio del balance del agua en cuencas de zonas áridas. XXXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. 8 al 10 de noviembre de 2004. León, Guanajuato. México.
181. Troyo, D.E., Nieto, G.A., García, H.J.L., Murillo, A.B., Cariño, M. 2008. "Diagnóstico agro-ambiental de Baja California Sur: estado actual y alternativas para el desarrollo agropecuario sostenible". Capítulo 13, en Cariño, M. y Monteforte, M. (eds.). *Del saqueo a la conservación: Historia ambiental contemporánea de Baja California Sur, 1940-2003*. México, D.F., SEMARNAT-INE-UABCS-CONACYT, 04530, pp: 551-570.
182. Troyo, D.E., Cruz, F.A., Norzagaray, C.M., Beltrán, M.L.F., Murillo, A.B., Beltrán, M.F.A., García, H.J.L., Valdez, C.R.D. 2010. Agotamiento hidro-agrícola a partir de la Revolución Verde: extracción de agua y gestión de la tecnología de riego en Baja California Sur, México. *Estudios Sociales XVIII(36)*: 177-201.
183. Turner, B.L., II, S.D., Sanderson, S., Fischer, G., Fresco, L., Leemans, R. 1995. Land use and land cover change science/research plan. IGBP Report 35/HDP Report 7.
184. Ugalde, A.J., Granados, S.D., Sánchez, G.A. 2008. Sucesión en el matorral desértico de *Larrea tridentata* (DC) COV., en la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, México. *Terra Latinoamericana* 26(2): 153-160.
185. UN (Naciones Unidas). 1994. Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación en Países con Sequía Seria o Desertificación, particularmente en África. París, Francia.
186. UN. 1996. Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación, III Reunión Regional para América Latina y el Caribe. Programa Regional de Acción. Armonización de Políticas Públicas. Mecanoscrito. Habana, Cuba.
187. UNCCD. 2006. Tercer Informe Nacional México 2002-2005, en materia de implementación de la Convención de las Naciones Unidas de lucha contra la desertificación, en países afectados por sequía o desertificación. CONAFOR, SEMARNAT, SAGARPA; FIRCO, INEGI, CONAZA y Colegio de Postgraduados. México.
188. UNCCD. 2006a. Ficha Técnica: Convención de las Naciones Unidas de lucha contra la desertificación en los países afectados por sequía grave o desertificación, en particular en África. Tema: Medio ambiente. ONU.

189. UNEP. 1992. "World Atlas of Desertification." Edward Arnold, Seven Oaks, UK.
190. Unger, P.W., y Howell, T.A. 2000. Agricultural water conservation -A global perspective. *Journal of Crop Production* 2(2): 1-36.
191. Vergara, S.M.A., Etchevers, B.D.J., Padilla, C.J. 2005. La fertilidad de los suelos de ladera de la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Agrociencia* 39: 259-266.
192. Verburg, P.H., Youqi, C., Veldkamp, T.A., 2000. Spatial explorations of land use change and grain production in China. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 82(1-3): 333-354.
193. Verón, S.R., Paruelo, M.J., Oosterheld, M. 2006. Assessing desertification. *Journal of Arid Environments* 66(4): 751-763.
194. Villa, C.M., Catalán, V.E.A., Inzunza, I.M.A., Ulery, A.L. 2006. Absorción y traslocación de sodio y cloro en plantas de chile fertilizadas con Nitrógeno y crecidas con estrés salino. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29(1): 79-88.
195. Wang, Q., y Takahashi, H. 1999. A Land Surface Water Deficit Model for an Arid and Semiarid Region: Impact of Desertification on the Water Deficit Status in the Loess Plateau, China. *Journal of Climate* 12: 244-257.
196. Wang, X., Zheng, D., Shen, Y. 2008. Land use change and its driving forces on the Tibetan Plateau during 1990–2000. *Catena* 72: 56-66.
197. Webb, R.H. 2002. Recovery of severely compacted soils in the Mojave Desert, California, USA. *Arid Land Research and Management* 16: 291-305.
198. Wessels, K.J., Prince, S.D., Malherbe, J., Small, J., Frost, P.E., VanZyl, D. 2007. Can human-induced land degradation be distinguished from the effects of rainfall variability? A case study in South Africa. *Journal of Arid Environments* 68(2): 271-297.
199. Whitford, W.G. 2000. Keystone arthropods as webmasters in desert ecosystems. In Coleman, D.C. & Hendrix, P.F. (Eds), *Invertebrates as Webmasters in Ecosystems*, pp 25–42. New York: CABI Publishing. Pp 336.
200. Wilcox, B.P., Huang, Y., Walker, J.W. 2008. Long-term trends in streamflow from semiarid rangelands: uncovering drivers of change. *Global Change Biology* 14: 1676-1689.
201. Williams, N.S.G., McDonnell, M.J., Seager, E.J. 2005. Factors influencing the loss of an endangered ecosystem in an urbanising landscape: a case study of native grassland from Melbourne, Australia. *Landscape and Urban Planning* 71(1): 35–49.
202. Winograd, M. 1994. Environmental indicators for Latin America and the Caribbean: towards land-use sustainability. GASE Ecological Systems Analysis Grou. World Resources Institute. Washington D.C., USA.

203. World Bank. 1995. Land quality indicators: report on a workshop. Washington D.C., USA.
204. Xu, D.Y., Kang, X.W., Zhuang, D.F., Pan, J.J. 2010. Multi-scale quantitative assessment of the relative roles of climate change and human activities in desertification. A case study of the Ordos Plateau, China. *Journal of Arid Environments* 74(4): 498-507.
205. Xu, L., Yang, J., Zhang, Q., Niu, H. 2008. Modelling water and salt transport in a soil–water–plant system under different groundwater tables. *Water and Environment Journal* 22: 265-273.
206. Zhang, K., Li, X., Zhou, W., Zhang, D., Yu, Z. 2006. Land resource degradation in China: Analysis of status, trends and strategy. *International Journal of Sustainable Development & World Energy* 13: 397-408.
207. Zhang, L.X., Yang, Z.F., Chen, G.Q. 2007. Emergy analysis of cropping–grazing system in Inner Mongolia Autonomous Region, China. *Energy Policy* 35: 3843-3855.
208. Zhang, S.Z., Liu, L.C., Li, X.R., Zhang, J.G., He, M.Z., Tan, H.J. 2008. Evaporation properties of a revegetated area of the Tengger Desert, North China. *Journal of Arid Environments* 72(6): 964–973.
209. Zhao, H.L., He, Y.H., Zhou, R.L., Su, Y.Z., Li, Y.Q., Drake, S. 2009. Effects of desertification on soil organic C and N content in sandy farmland and grassland of Inner Mongolia. *Catena* 77: 187-191.
210. Zhao, H.H., Yi, X.Y., Zhou, R.L., Zhao, X.Y., Zhang, T.H., Drake, S. 2006. Wind erosion and sand accumulation effects on soil properties in Horqin sandy farmland, Inner Mongolia. *Catena* 65: 71–79.
211. Zhao, Z.W., Xiao, L.H., Liu, M.Z., Li, L. 2005. Soil degradation and restoration as affected by land use change in the semiarid Bashang area, northern China. *Catena* 59: 173–186.
212. Zhou, L.R., Li, Q.Y., Zhao, L.H., Drake, S. 2008. Desertification effects on C and N content of sandy soils under grassland in Horqin, northern China. *Geoderma* 145(3-4): 370-375.

ANEXOS

Anexo 1. Sitios de muestreo de agua.

Número Pozo	Descripción	Coordenadas		Temperatura (°C)	Otros datos
		Latitud N	Longitud W		
1	Empaque Talavera, Benito Juárez.	25.10847	111.81677	33	Sr. Ernesto Constantino. cultivo espárrago. Gasto 40lts/seg
2	Col. Los Tulares. Pozo #3 de CONAGUA. Benito Juárez.	25.07130	111.81619	34	Sr. Miguel O. Ramirez Mercado. 250 millares/ciclo/año. 100m prof. 45lts/seg. 40has.
3	Rancho Pérez Benito Juárez	25.21567	111.73324	35	Entrada espárrago. Cultivos agrícolas, riego aspersión. 50-55 lts/seg. 56-59 m prof.
4	Rancho 54. Col. Fernando de la Toba.	25.22740	111.68324	36.5	Sr. Rolando Valdemar Pérez Cárdenas.
5	Rancho Col. La Laguna. Cd. Insg-Const.	25.23385	111.77677	36	Sr. Luis Felipe García Hertz. Cultivo de maíz. Riego rodado.
6	Rancho Cd. Insurgentes	25.27972	111.70659	37	Muestreo #1 de suelo.
7	Ejido 5. Rancho 25 (casa verde)	25.11796	111.55441	37	Rancho de alfalfa, cerca muestreo de suelo.
8	Lote 16. Constraequina naranja. Constitución	25.01128	111.68684	34	Cultivo de maíz. Riego pivote central.
9	Predio Navojoa. Pozo #4. Constitución.	24.98089	111.70298	36	Sr. José Manuel Murillo. Naranja.
10	Rancho de Naranja. Constitución.	24.94518	111.67324	36	Sr. Leonardo Medina Medrano. Hugo Medina.
11	Rancho Villa Morelos. Cerca del anterior.	24.93219	111.65673	37	Cultivo de Maíz. Riego rodado.
12	Lote 1 Col. El Vergel.	24.91420	111.60843	35	Después de la entrada a SL Gonzaga, antes de Villa Morelos.
13	Rancho empaedora de Chile.	24.95713	111.63989	35	Entre Const. y Villa Morelos.
14	Lote 93 Col. Revolución Mexicana.	24.99307	111.63387	35	Sr. José Luis Covarrubias. Naranja, Maíz. Riego rodado.
15	Vivero del Comité Estatal de Sanidad Vegetal	25.00162	111.65446	36	Se informa salinidad en el pozo.
16	Represa Ejido Alvaro Obregón.	23.86552	111.17774	30.7	Familia Olachea Arroyo.
17	Rancho Herdez Pozo #164. La Paz	24.06198	110.32045	50	53 m prof. 45 lts/seg. Hortalizas y pasto. Riego por aspersión
18	Pozo 167-R. Rancho Herdez	24.04922	110.33487	48	Cultivos agrícolas, riego rodado. 40 lts/seg.
19	Pozo #145. Rancho Los Bledales. La Paz.	24.08112	110.33373	22	Sr. Ricardo Glez. Cultivo de Alfalfa. Riego rodado.
20	Rancho Dos Luces. La Paz.	24.05982	110.37369	22	Sr. Feliciano Santana. Hortalizas. Riego rodado, por goteo.
21	Rancho Los Chileritos. La Paz.	24.04418	110.36485	33	Riego por goteo, hortalizas.
22	Rancho Alfredo B. Bonfil. Pila.	24.14682	110.54957	69	Parcelas con pastos para ganado.
23	Rancho Alfredo B. Bonfil. Pozo directo	24.14682	110.54957	69	Parcelas con pastos para ganado.
24	Rancho Don Ramón. Centenario.	24.07371	110.38393	15	Riego rodado agua tratada. Maíz.

Anexo 2. Sitios de muestreo de suelo.

Pozo	Localización		Altitud (msnm)	Color en Seco del Suelo	Reacción Suelo al Vinagre	Descripción
	Latitud N (°)	Longitud W (°)				
1	25.27995	111.70861	47	10YR 4/4	No	Cultivo de sorgo (rillo). Suelo claro claro. Localidad Cd. Insurgentes.
2	25.27995	111.78061	47	10YR 4/4	No	Cultivo de sorgo (dentro). Consistencia fable. Granular. Mismo predio.
3	25.2824	111.70789	47	7.5 YR 4/3	No	Cultivo de alfalfa. Mismo Rancho.
4	25.27931	111.70383	47	7.5YR 6/3	Sí	Suelo agrícola abandonado. Zacate buñel cubriéndolo. Color claro.
5	25.27104	111.7052	50	7.5YR 5/4	No	Matorral xerófilo. Cardón, pitahaya, suelo desnudo de color claro.
6	25.26982	111.72551	42	7.5YR 4/3	No	Huerta de naranja en producción. Suelo con hojarasca. Duro, granular.
7	25.2357	111.76958	43	7.5YR 4/3	No	Cultivo de Maíz en Fructificación. Bajo Riego.
8	25.23323	111.78876	43	7.5YR 4/3 (0-10cms)	No	Suelo abandonado, pozo con salinidad en agua abandonado. Granular.
9	25.23323	111.78876	43	7.5YR 4/4 (30cms)	No	Igual al anterior.
10	25.22406	111.78844	46	7.5YR 4/3	No	Matorral xerófilo, muy dañado. Suelo desnudo, claro. Montones de conchas.
11	25.21797	111.77175	44	7.5YR 4/4	No	Suelo agrícola, cultivo de Maíz. Parcela recién cosechada.
12	25.21461	111.71957	48	7.5YR 4/4	No	Cultivo de espárrago en crec. Vegetativo. Otras parcelas con Maíz, Cártamo y Ganado.
13	25.21426	111.70764	53	7.5YR 5/3	No	Matorral xerófilo, espinoso. Sin aparente daño mayor en él. Lomerío. Cardón, pitahaya.
14	25.19403	111.69104	53	7.5YR 5/3	No	Suelo agrícola recién preparado para siembra. Maíz en la zona.
15	25.1369	111.85572	25	Sin determinación	No	Matorral xerófilo con gramíneas abundantes. A 4 km de Benito Juárez. Granular.
16	25.1353	111.85557	25	7.5YR 5/3	No	Suelo agrícola abandonado. Cubierto de gramíneas, agrietado. Seco. Granular.
17	25.12768	111.84476	31	7.5YR 5/3	No	Matorral xerófilo. Suelo muy suave, granular. Color claro.
18	25.09625	111.82491	27	7.5YR 5/4	No	Suelo agrícola recién preparado. Restos de cosecha. Cerca de B. Juárez. Granular.
19	25.07215	111.80915	40	7.5YR 5/4	No	Matorral xerófilo, domina choya. Suelo desnudo pocas gramíneas. Cerca de B. Juárez.
20	25.0852	111.53861	84	7.5YR 5/3	No	Huerta de naranja en producción. Suelo con hojarasca. Huerta del CESV. (Norte).
21	25.10856	111.54234	76	10YR 4/3	No	Huerta de naranja en producción. Suelo con hojarasca. Huerta del CESV. (Sur).
22	25.10823	111.54215	79	10YR 5/3	No	Parcela recién cosechada de Trigo. Residuos abundantes de cosecha. (Frente a Nopalera).
23	25.11364	111.54285	76	7.5YR4/3	No	Parcela recién cosechada de Trigo. Residuos abundantes de cosecha. (Frente a Nopalera).
24	25.10989	111.54636	77	7.5YR4/3	No	Parcela recién cosechada de Trigo. Residuos abundantes de cosecha. (Frente a Nopalera).
25	25.00221	111.63601	60	10YR 5/4	No	Suelo abandonado cerca del CESV.
26	25.00037	111.61600	60	7.5YR 4/3	No	Cultivo de Maíz en Floración. Fructificación. Fente a Huerta de Naranja.
27	24.98066	111.61464	61	7.5YR 5/3	No	Matorral xerófilo semi abierto. Suelo desnudo, color claro.
28	25.00058	111.65559	55	7.5YR 4/3	No	Huerta de naranja en producción. Suelo con hojarasca. Huerta del CESV. (Norte).
29	25.00000	111.65538	55	7.5YR 4/3	No	Huerta de naranja en producción. Suelo con hojarasca. Huerta del CESV. (Sur).
30	24.99983	111.65446	55	7.5YR 4/3	No	Parcela recién cosechada de Trigo. Residuos abundantes de cosecha. (Frente a Nopalera).
31	24.99946	111.65422	55	7.5YR 4/3	No	Parcela recién cosechada de Trigo. Residuos abundantes de cosecha. (Frente a Nopalera).
32	25.01133	111.68333	46	7.5YR 5/4	No	Huerta de Naranja, al sur de Constitución. Suelo con pasto.
33	25.01210	111.69112	43	7.5YR 4/3	No	Suelo abandonado, cubierto de chamizmo verde.
34	24.99561	111.68605	42	7.5YR 4/3	No	Parcela en descanso, alrededor parcelas en producción. Cultivos de invierno.
35	24.98289	111.68814	41	7.5YR 5/3	No	Matorral xerófilo, suelo desnudo. Cardón, choya.
36	24.98413	111.68027	42	7.5YR 4/3	No	Suelo desmontado, junto a matorral xerófilo.
37	24.98374	111.68031	43	7.5YR 5/3	No	Matorral xerófilo. Gramíneas en el suelo.
38	24.96403	111.65594	47	7.5YR 4/3	No	Suelo agrícola recién preparado. En parcelas alejadas con cultivo de maíz y alfalfa.
39	24.96439	111.65604	47	7.5YR 4/3	No	Suelo agrícola abandonado. Desnudo. Frente a la parcela anterior. Cerca de Villa Morelos.
40	24.95635	111.64628	43	7.5YR 5/3	No	Suelo agrícola. Cultivo de Chile, acolchado. Tomate en la parcela de junto.
41	24.95649	111.64658	46	7.5YR 4/3	No	Suelo agrícola recién preparado. Desnudo. Km 200 carretera a Constitución.
42	24.93563	111.66362	35	7.5YR 5/4	No	Matorral xerófilo, pocas gramíneas. Cardón, choya, pitahaya.
43	24.93577	111.66319	35	7.5YR 4/3	No	Suelo abandonado con gramíneas. Costra superficial delgada de color verde.
44	24.91820	111.64831	44	7.5YR 5/3	No	Suelo parcela recién cosechada de cultivo de chile. Suelo duro, color claro.
45	24.91784	111.64842	44	7.5YR 4/3	No	Matorral xerófilo, color claro. Cardón, choya, pitahaya.

Continuación Anexo 2.

Pozo	Localización		Altitud (msnm)	Color en Seco del Suelo	Reacción Suelo al Vinagre	Descripción
	Latitud N (°)	Longitud W (°)				
46	23.87888	110.196	346	7.5 YR 4/4	No	Huerta naranja. Ejido Alvaro Obregón. Raicillas en las dos muestras.
47	23.89719	110.21445	320	7.5 YR 5/4	No	Matorral -selva baja espinosa. Hay Damiana. Suelo inalterado. Zona de agostadero.
48	23.90488	110.30653	147	7.5 YR 4/4	No	Matorral -selva baja espinosa. Suelo inalterado con gramíneas. Zona de agostadero. San Pedro.
49	24.02771	110.26352	194	7.5 YR 4/4	No	Matorral -selva baja espinosa. Suelo inalterado con gramíneas. Colonia Calafia.
50	24.06060	110.32104	56	7.5 YR 4/4	No	Rancho agrícola Hertz. Siembra de hortalizas. Suelo en preparación, riego.
51	24.06100	110.32386	52	7.5 YR 4/4	No	Rancho agrícola Hertz. Siembra de hortalizas. Suelo en preparación, riego. Mucha piedra chica.
52	24.08278	110.33424	24	7.5 YR 4/4	No	Rancho de alfalfa recién cosechada. Atrás del Calandrio.
53	24.05720	110.37528	30	7.5 YR 3/3	No	Rancho atrás del aeropuerto La Paz. Cultivo de pasto para campos de Golf.
54	24.04840	110.37064	30	7.5 YR 4/4	Sí	Rancho Chilero. Cultivo de chile. Costras blancas superficiales en suelo.
55	24.04846	110.36617	30	7.5 YR 4/4	Sí	Rancho Chilero. Cultivo de chile. Costras blancas superficiales en suelo. Mas costras en otra parcela.
56	24.18309	110.58080	53	7.5 YR 5/3	No	Matorral Sarcocaul. Entrada km 16 a Ejido A. V. Bonfil. Suelo claro. Presencia de gramíneas. Muchas raicillas 0-10.
57	24.14223	110.56320	77	7.5 YR 5/3	No	Matorral Sarcocaul. Salida km 28 del Ejido A. V. Bonfil. Suelo claro, con gramíneas. Agostadero.
58	24.14500	110.54795	70	7.5 YR 4/3	No	Ejido A. V. Bonfil. Pradera de zacate buffel. Riego. Ganado pastando.
59	24.14682	110.54957	89	7.5 YR 4/3	No	Ejido A. V. Bonfil. Pradera de zacate buffel. Riego. Ganado pastando. Mismo rancho, esquina opuesta.
60	24.15465	110.54013	56	7.5 YR 5/3	No	Ejido A. V. Bonfil. Rancho de Gerardo. Cultivo de Maiz en 4 hojas. Zacate buffel alrededor.
61	24.15462	110.53399	53	7.5 YR 5/3	No	Ejido A. V. Bonfil. Huerta de Naranja descuidada, recién trabajado el suelo. Suelo muy suelto.
62	24.15905	110.45439	22	7.5 YR 5/3	No	Matorral sarcocaul. Comián. Entrada al Mogote por boulevard. Suelo inalterado, con gramíneas.
63	24.12114	110.47015	51	7.5 YR 5/3	No	Matorral sarcocaul. Km 20 al Norte. Suelo con algunas gramíneas. Mas piedras. Suelo inalterado.
64	24.08440	110.42966	55	7.5 YR 5/4	No	Centenario. Entrada al autódromo. Matorral sarcocaul. Suelo con muchas piedritas en las dos submuestras.
65	24.08388	110.3896	18	7.5 YR 4/4	Sí	Centenario, parcela en descanso. Hay zacate para pastoreo. 0-10 mucha raicilla. Riego con agua residual tratada.
66	24.07911	110.38965	16	7.5 YR 4/3	Sí	Centenario. Parcela de sorgo. Cultivo dañado, poca nasencia. Agrietado. Oscuro. Riego con agua residual tratada.
67	24.07846	110.38724	15	7.5 YR 4/3	Sí	Centenario, misma parcela anterior. Cultivo de sorgo de 1.5 m altura. Mayor densidad. Riego con agua residual tratada.
68	24.0754	110.38626	14	7.5 YR 3/2	Sí	Centenario. Mismo rancho Parcela de paso para pastoreo. Suelo compactado. Muchas raicillas 0-10.
69	24.07371	110.38393	15	7.5 YR 5/3	Sí	Centenario. Mismo rancho Parcela de maiz en 8 hojas. Manchones claros sin cultivo. Suelo duro.
70	24.05982	110.37369	25	7.5 YR 4/3	Sí	Rancho junto al aeropuerto de La Paz. Cultivo de chile recién regado y fumigado. Hay nemátodos.
71	24.05995	110.37436	26	7.5 YR 5/3	No	Rancho junto al aeropuerto de La Paz. Parcela en descanso. Hubo rábano-cilantro orgánico.

Anexo 3. Medidas adoptadas para ajustar o reforzar el marco institucional.

(Tomado del Segundo informe de México (2000 - 2002): Convención de las Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación y la Mitigación de los Efectos de la Sequía. Junio del 2002. SEMARNAT. México).

A partir del año 2002 se han introducido cambios en el marco institucional relacionado con el medio ambiente, en especial con la protección y conservación de los recursos naturales y con la lucha contra la pobreza en el medio rural, en el entendido de que la degradación de la tierra y la pobreza son dos facetas de la desertificación.

Las vertientes de acción de la nueva política ambiental contribuyen a la lucha contra la degradación de la tierra y son las siguientes.

1. Detener todos los procesos y acciones que están contribuyendo a degradar el medio ambiente y agotar la riqueza natural del país.
2. Revertir las tasas de degradación ambiental y el agotamiento de los recursos.
3. Comenzar en el corto plazo a restaurar los ecosistemas dañados severamente.
4. Adoptar un tratamiento del tema del medio ambiente más amplio, que no solo tome en cuenta los aspectos puramente ecológicos, sino que tome en cuenta la sustentabilidad.

Para instrumentar la nueva política ambiental se requirió modificar la organización de las dependencias del sector ambiental y de la redistribución de atribuciones. Para agilizar y mejorar el desempeño de la SEMARNAT, esta Secretaría se reestructuró en tres áreas sustantivas, cinco unidades coordinadoras, cinco órganos desconcentrados especializados y una comisión intersecretarial.

Adicionalmente se creó la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) como órgano descentralizado para promover el desarrollo sustentable de los ecosistemas forestales mediante acciones de conservación, protección, restauración y fomento forestal.

En materia de restauración de tierras degradadas la CONAFOR realizará importantes programas de fomento y repoblación forestal, así como numerosos proyectos de protección y recuperación de tierras. En el subsector forestal la CONAFOR realizará las acciones operativas y la SEMARNAT mantendrá funciones normativas, de evaluación y aplicación de los actos de autoridad. En el caso del agua, la CNA, además de orientar el uso sustentable de este recurso y promover el manejo sustentable de cuencas y acuíferos podrá realizar acciones de conservación de suelos para proteger obras de infraestructura hidroagrícola.

La Secretaría de Agricultura tendrá un importante papel en la recuperación y prevención de la degradación de la tierra, pues ampliará considerablemente sus actividades en esta materia, dado que apoyará proyectos para la reconversión productiva en tierras con sequía recurrente y áreas agropecuarias de baja productividad. Las acciones de protección ambiental y restauración de tierras degradadas serán apoyadas en forma complementaria por la Secretaría de Desarrollo Social, especialmente a través del programa de empleo temporal.

En materia de mejoramiento productivo y la lucha contra la pobreza están en proceso de reestructuración programas estratégicos como el de Alianza para el Campo, que proporciona apoyos técnicos financieros y para el equipamiento de los productores agropecuarios rurales y se amplían los alcances de los programas asistenciales y de lucha contra la pobreza como el denominado programa CONTIGO orientado a proporcionar apoyos en salud, en educación y en alimentación a la población en pobreza extrema.

Con la entrada en vigor de la Ley de Desarrollo Rural Sustentable se fortalecerá la lucha contra la desertificación en México pues esta ley reconoce a la desertificación como la pérdida de la capacidad productiva de las tierras, causada por el hombre, en cualquiera de los ecosistemas existentes en el territorio de la República Mexicana, por lo que en México la lucha contra la degradación de tierras se llevará a cabo en todo el país como parte de la estrategia para el desarrollo rural sustentable. Con este objetivo se crearán

diversos mecanismos y servicios cuyos instrumentos de aplicación están actualmente en desarrollo.

En síntesis, el gobierno de México se encuentra inmerso en un proceso de cambio y perfeccionamiento del marco institucional y jurídico que fortalecerá la lucha contra la desertificación al asociarse con la promoción del desarrollo rural sustentable. Esto ha implicado la reestructuración del gobierno, la redistribución de atribuciones entre las dependencias públicas, la elaboración de nuevas leyes y la creación de instrumentos operativos como la Comisión Intersecretarial para el Desarrollo Sustentable la cual coordinará y dará congruencia a las acciones y programas que lleven a cabo las dependencias del sector rural.

La DGFDSFS (Dirección General de Federalización y Descentralización de Servicios Forestales y de Suelo, de la Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental), contó con recursos provenientes del presupuesto federal autorizado por la Cámara de Diputados. Los recursos presupuestales para el año 2001 fueron del orden de 132 millones de pesos y 86 millones en el 2002. En este presupuesto se incluyen los recursos destinados para la operación de la oficina central y los transferidos a las oficinas en las entidades federativas del país. A nivel central los recursos se destinan a los gastos administrativos, de comunicación y de traslado del personal. Cubren actividades de promoción, de planeación, de supervisión y de evaluación. Los recursos de inversión de la DGFDSFS para ejecución de proyectos para prevenir o contrarrestar la degradación de las tierras proviene principalmente del Programa de Empleo Temporal.

Anexo 4. Doce enfermedades del suelo.

El Consejo Consultivo Alemán sobre el Cambio Mundial ha confeccionado una lista de lo que considera las doce "*enfermedades del suelo*" antropógenas más importantes. Los nombres elegidos para esos síndromes son deliberadamente simbólicos, y cada uno de ellos ha sido asociado a un área de crisis determinada o a un fenómeno llamativo vinculado al síndrome. Sin embargo, la denominación siempre se refiere a un síndrome en concreto que se produce o se puede producir en diferentes regiones del mundo. Esos doce síndromes, que son en cierta medida "*diagnósticos geodermatológicos*" de la "piel" del planeta, son los siguientes:

1. El cambio de los usos tradicionales de la tierra: *el síndrome Huang He.*
2. La degradación del suelo por efecto de la agricultura mecanizada: *el síndrome de Dust Bowl.*
3. La utilización excesiva de tierras marginales: *el síndrome del Sahel.*
4. La conversión y/o sobreexplotación de los bosques y de otros ecosistemas: *el síndrome de Sarawak.*
5. La planificación inadecuada de proyectos agrícolas en gran escala: *el síndrome del Mar de Aral.*
6. El transporte a distancia de nutrientes y de contaminantes: *el síndrome de la lluvia ácida.*
7. La contaminación local, la acumulación de desechos y la contaminación heredada: *el síndrome de Bitterfeld.*
8. La urbanización sin control: *el síndrome de São Paulo.*
9. El desarrollo excesivo y la expansión de la infraestructura: *el síndrome de Los Angeles.*
10. Minería y prospecciones: *el síndrome de Katanga.*
11. La degradación del suelo y de la tierra por causa del turismo: *el síndrome de los Alpes.*
12. La degradación del suelo y de la tierra como consecuencia de acciones bélicas y militares: *el síndrome de la tierra quemada.*

Con base al análisis de cada síndrome pueden identificarse medidas específicas para su solución y formularse recomendaciones para adoptar medidas.

Fuente: Consejo Consultivo Alemán sobre el Cambio Mundial, Summary for Policymakers. World in Transition: The Threat to Soil, reimpression, Berlín 2001. Véase también: http://www.wbgu.de/wbgu_jg1994_kurz_engl.html.

Anexo 5. Encuesta aplicada a los productores agropecuarios de las cuencas de Comondú y La Paz.

PROYECTO: "ESTUDIO DE LA DESERTIFICACION DE CUENCAS AGRICOLAS EN BAJA CALIFORNIA SUR"..... CIBNOR, S.C.

FICHA_____

NOMBRE DEL PRODUCTOR Y/O FINCA_____

LOCALIDAD_____

1) Actividad Productiva_____

2) Cultivos agrícolas_____

3) Tipo de Ganadería: Extensiva_____ Intensiva_____ # de cabezas_____

4) Superficie de la finca_____ Superficie aprovechada_____

5) Tenencia de la tierra_____

6) Ciclos de cultivos agrícolas_____

7) Consumo de agua por ciclo _____ m³ _____ m³

8) Tipo de sistemas de riego_____

9) Consumo de energía eléctrica por ciclo: kwatts_____ kwatts_____

10) ¿Existe la disminución del rendimiento en campo? Sí_____ No_____

Porqué_____

11) ¿Incremento de fertilizantes? Sí_____ No_____ Porqué_____

12) ¿Se observa efecto de la salinidad en el agua de riego? Sí_____ No_____

Porqué_____

13) ¿Existe rotación de cultivos? Sí_____ No_____ Porqué_____

14) ¿Practica la agricultura orgánica? Sí_____ No_____ Porqué_____

15) ¿Practica medidas de cuidado del suelo? Sí_____ No_____

Porqué_____

16) ¿Aplica agroquímicos al cultivo-suelo? Sí_____ No_____

Porqué_____

17) Principales problemas sanitarios de sus cultivos_____

18) # de miembros por familia_____ # miembros de familia que trabajan_____

19) Fuente secundaria de ingreso familiar_____

20) Manejo de maquinaria y sistemas de riego propios: Sí_____ No_____

¿Cuáles?_____

21) Destino de la producción_____

22) Porcentaje de ganancia por hectárea_____

23) Número de empleados en la finca_____

24) Origen del empleado de campo: local_____ De otros lugares_____

25) Porcentaje de incremento de los costos de producción_____

26) ¿Recibe ó a recibido subsidios económicos? Sí_____ No_____

Fuente_____

27) ¿Recibe ó a recibido asistencia técnica? Sí_____ No_____

Fuente_____

28) Se encuentra afiliado a las asociaciones locales? Sí_____ No_____

¿Cuáles?_____

29) ¿Sabe que significa la desertificación? Sí_____ No_____

30) ¿Sabe usted algo del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste?

Sí_____ No_____ Porque_____

Anexo 6. Nombre de los productores encuestados en Comondú y La Paz, B.C.S.

Nombre del Productor	Domicilio	Actividad
Jorge Flores	Lote 3-18 Col. Emiliano Zapata	Citricultor
Rey Pérez Cárdenas	Insurgentes-Comondú	Agric - Ganadería
José Abel Pérez	Insurgentes-Comondú	Agric - Ganadería
Baldemar Pérez Cárdenas	Insurgentes-Comondú	Agric - Ganadería
José Manuel Murillo Murillo	Predio Navojoa	Citricultor
Gabriel Cueva Rubio	Lote 1 Navojoa	Citricultor
Hugo Medina Medina	Villa Morelos	Agric - Citricultor
Eulogio Hernández Carballo	Villa Morelos	Agrícola
Carlos Martínez Santillán	Villa Morelos	Citricultura
Oscar Alduenda	Villa Morelos	Agrícola
Timoteo Ávila Villicaña	Lote 11 Col. Emiliano Zapata	Agric - Ganadería
Guillermo López Gómez	Benito Juárez	Ganadería
Ernesto Constantino	Benito Juárez	Agrícola
Carlos Félix Coronado Salgado	Benito Juárez	Agric - Ganadería
Raúl Constantino Romero	Constitución	Agric - Ganadería
Ramón Ramírez Hernández	Constitución	Agric - Ganadería
José García Rojas	Ejido Matancitas	Agric - Ganadería
Simón Terán	Constitución	Agric - Ganadería
José Francisco Meza A.	Constitución	Ganadería
Jesús Antonio López Loya	Constitución	Ganadería
Refugio Alvarez	Lote 4 Col. Sauzal	Ganadería
Leopoldo Mosqueda Uribe	Constitución	Agric - Ganadería
Nemesio Pérez Rodríguez	Lote 8 Col. Galeana	Ganadería
Javier De La Paz Ascensio	Ejido Matancitas	Agric - Ganadería
Luis Felipe García Hernández	Lote 46-47 Col. La Laguna	Agrícola
Jesús Alberto Rodríguez Murillo	Lote 43 Col. Buenos Aires	Agric - Ganadería
Pedro Armendáriz Guillén	Lote 6 Col. Buenos Aires	Agrícola
Heriberto Solís Preciado	Lote 49 Col. Fernando de la Toba	Agric - Ganadería
Agrícola San Juan. Const.	Agrícola San Juan. Const.	Agric - Ganadería
Heriberto Solís Gómez	Agrícola San Juan. Const.	Agric - Ganadería
Francisco Javier Alvarez Martínez	Insurgentes-Comondú	Agrícola
Aurelio López	Lote 60 Col. Fernando de la Toba	Agrícola
Bertha Arciga C. -Aida Ramírez A.	Lote 51 Col. Fernando de la Toba	Agric - Ganadería
Alfonso López Mendoza	Lote 22 Col. Fernando de la Toba	Agrícola
Abraham Arias Solís	Lote 7 Col. Fernando de la Toba	Agric - Ganadería
Fernando Ávila Chávez	Lote 8 Emiliano Zapata	Agric - Ganadería
Abraham Pacheco	Lote 5 Emiliano Zapata	Agric - Ganadería
Mario Maya Noriega	Lote 100 Col. Nva. California	Agric - Ganadería
Fidel Vázquez Núñez	Ejido #5	Agrícola

Continuación Anexo 6.

Nombre del Productor	Domicilio	Actividad
Gilberto Correa Montes	Lote 43 Col. Cuitláhuac	Agrícola
Luis A. Zarzosa R.– Ma. del Carmen Ruiz F.	Lote 2-3 Emiliano Zapata	Agric - Ganadería
Arturo Cabrera Alcocer	Ejido #5	Agric - Ganadería
Enedino Medina Piceno	Ejido #5 Pozo 29	Agric - Ganadería
Vidal Saldaña García	Ejido #5	Agric - Ganadería
José Guadalupe Cabrera	Ejido #5	Agric - Ganadería
Agustín Aguiñaga Galván	Ejido #5	Agric - Ganadería
Bulmaro Vázquez Núñez	Ejido #5	Agric - Ganadería
Juan Piceno Zárate	Ejido #5	Agric - Ganadería
Manuel Loya Ochoa	Lote 22 Col. Sinaloa	Citricultura
Efraín Loya Ochoa	Lote 28 Col. Sinaloa	Citricultura
Moisés López Rodríguez	Lote 3 Col. Palos Altos	Agric - Ganadería
José Raúl Avilés Geraldo	Lote 11 Col. Nva. Jiménez	Agrícola
Joel Juan Amaya Pérez	Lote 63-64 Col. Rev. Mexicana	Agric - Ganadería
Manuela Martínez Salazar	Lote 76 Col. Rev. Mexicana	Citricultura
Francisco Butterfly Félix	Lote 61-62 Col. Rev. Mexicana	Agric - Ganadería
Rafael Ocampo Ramos.	Lote 59-60 Col. Rev. Mexicana	Citricultura
Javier Gallo	Col. Cuitláhuac	Agrícola
David Carrillo Urueta	Lote 17 Nva. California	Agrícola
José Miguel Cano Laguna	Lote 3 Ejido Matancita	Agric - Ganadería
José Aurelio Méndez Espinosa	Lote 14 Armando Fierro Encinas	Agrícola
Jesús Osuna. - Rodolfo Arellano	Ejido Matancitas	Agric - Ganadería
Álvaro Villalobos	Pescadero	Agrícola
Gonzalo Cota Sánchez	Ejido La Matanza	Agric - Ganadería
Francisca López M.	Ejido El Centenario	Agrícola
J. Manuel Melero Astorga	Don José, Ejido Chametla, La Paz	Agric - Ganadería
Joel Insunza Gil	El Centenario	Agrícola
Alonso González Lucero	Ejido Alfredo V. Bonfil	Agric - Ganadería
Feliciano Santana Arellano	Rancho Dos Luces, La Paz	Agrícola
Ramón Márquez Ibarra	Ejido Centenario	Agric - Ganadería

Continuación Anexo 6.

Nombre del Productor	Domicilio	Actividad
Jorge Mercado	Rancho Herdez, La Paz	Agrícola
Fam. Olachea Arroyo	Ejido Álvaro Obregón	Agric - Ganadería
Ricardo González	Rancho Los Bledales, La Paz	Agrícola
Alejandro Solís López	Lote 15 Col. Galeana	Ganadería
Raquel Solís Preciado	Lote 11 Col. Galeana	Ganadería
Miguel Suarez	Rancho Las Canoas	Ganadería
María Solís Naranjo	Lote 4-A Col. Chihuahua	Agrícola
Santiago Pelayo López	Lote 143 Col. Fernando de la Toba	Agrícola
Antonio Alvarez Martínez	Lote 15 Col. Alvarez	Agrícola
Samuel Andrade González	Mz N Cuadro 5 Col. Jalisco	Agric – Ganadería
José Rafael Andrade Mendoza	Col. Jalisco	Agrícola
Guillermo Bermúdez	Lote 145 Col. Fdo. De la Toba	Agric – Citricultor
Hugo Bojórquez	Lote 8 Col. Misión	Agrícola
Raúl Camacho	Lote 46 Rev. Mexicana	Citricultor
Isidro Camarillo	Lote 3 y 4 Col. Palo Bola	Agrícola
José Cano Tifay	Ejido Matancitas	Agrícola
José Manuel Castillo Torres	Ejido #3	Ganadería
Sergio Contreras	Lote 34 Col. Alvarez	Citricultor
José Carlos Cubillos Ortiz	Col. Degollado	Agrícola
Gabriel Cueva Rubio	Lote 1 Col. Navojoa	Citricultor
Gil Cuevas Tabardillo	Lote 3 y 6 Col. Cuitláhuac	Agric – Citricultor
José de Jesús Díaz López	C2H Col. Purísima	Agrícola
Manuel Díaz López	Lote 2 Col. Alvarez	Agrícola
Salvador López	Lote 4 Col. Alvarez	Agric – Ganadería
Ramiro Estrada	Lote 6, Col. Norte	Agric – Ganadería
Ricardo Fiol Manríquez	Lote 83 Col. Nva. California	Agric – Citricultor
Gustavo García	Lote 6 Col. Santa Fe	Agrícola
Luis García B.	Ejido #3	Agric – Ganadería
Miguel Eduardo García Silva	Lote 3 Col. Gallo Loco	Agric – Ganadería
Edelmiro González Murillo	Tepentu	Agric – Ganadería
Rubén González González	Lote 6 Col. Jalisco	Agrícola
Jaime González Zamora	Lote 3 Col. Jalisco	Agrícola
Luis González	Lote 12 Col. Agrícola Olachea	Agrícola
Mateo González	Lote 6 Col. Purísima	Agrícola
José Granados	Ejido #1	Agrícola
Valentín Guillen Escobar	Lote 3 Col. Agustín Olachea	Agric – Ganadería
Sullivan Higuera	Lote 8 Ejido 1	Agrícola
Lázaro Ibarra Peña	Lote 37 Col. Galeana	Agric – Ganadería
Santiago Lepe Aguilar	Lote 41 Col. Salvatierra	Agric – Ganadería

Continuación Anexo 6.

Nombre del Productor	Domicilio	Actividad
Roberto Logan	Lote 2 Col. Palos Altos	Agrícola
Salvador Ochoa	Lote 5 Col. Jalisco	Agrícola
José Arturo López V.	Lote 43 Col. Nva. California	Agrícola
Moisés Vargas	Lote 50-4 Col. Fdo. de la Toba	Agric – Ganadería
Martin Vargas Méndez	Col. Fdo. de la Toba	Agric – Ganadería
Moisés López	Lote 3 Col. Palos Altos	Agrícola
Jaime López Villaseñor	Lote 60 Col. Nva. California	Agrícola
Enrique Loya	Lote 1 Col. Cuauhtémoc	Citricultor
José Machado	Ejido Matancitas	Agric – Ganadería
José Carlos Maciel	Ejido Matancitas	Agric – Ganadería
Francisco Martínez Hernández	Lote 4 Col. María Auxiliadora	Agric – Ganadería
Georgina Maya	Lote 21 Col. Nva. California	Agrícola
Mario Maya Noriega	Lote 100 Col. Nva. California	Agric – Ganadería
Fortino Mayo	Lote 41 Col. Nva. California	Agrícola
Antonio Mayoral	Ley Fed. De Aguas #1	Agric – Ganadería
Miguel Mercado	Lote 36 Col. Buenos Aires	Agrícola
Mauricio Meza Rochin	Lote 2 Rancho Sacramento	Ganadería
Juan José Molina Cruz	Lote 38 La Laguna	Agric – Ganadería
Gustavo Morales	Lote 4 Col. Guanajuato	Agrícola
José Refugio Nieves Renteria	Lote 36 Col. La Laguna	Agrícola
Joel Osuna	Lote 7 Col. Norte	Agrícola
Anselmo Palacios Reyes	Lote 7 Col. Emiliano Zapata	Agrícola
Ángel Pérez Rodríguez	Lote 27 Col. Galeana	Agric - Ganad – Citric
Gustavo Pérez	Lote 3 Col. San Carlos	Citricultor
Jorge Pérez	Lote 3 Col. Fdo. de la Toba	Ganadería
Eraquio Pérez Rodríguez	Lote 1 Col. Mexicali	Agric – Ganadería
Miguel Ángel Piccin Poloni	Lote 139 Col. Fdo. de la Toba	Agric – Ganadería
Juan Piceno	Ejido #5	Agric – Ganadería
Ramón Ramírez	Lote 31 Col. La Laguna	Agrícola
Froylan Reyes Flores	Ley Fed. de Aguas # 2	Agric – Ganadería
Lucina Rubio H.	Cd. Constitución	Agric – Ganadería
Juan Landin Sánchez	Lote 15 Col. Armando Fierro II	Agrícola
José Luis Santos Poloni	Cd. Insurgentes	Agrícola