

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE SUELOS

"REMINERALIZACIÓN DE SUELOS TROPICALES CAFETALEROS: CASO CALCIO EN LA REGIÓN LOXICHA, OAXACA DESPUÉS DEL HURACÁN CARLOTA 2012"

TESIS PROFESIONAL:

Que como requisito para obtener el título:

INGENIERO AGRÓNOMO ESPECIALISTA EN SUELOS

PRESENTA:

JUAN CARLOS VELÁZQUEZ JUÁREZ



TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO, MARZO DE 2014



La presente investigación: "REMINERALIZACION DE SUELOS TROPICALES CAFETALEROS: CASO CALCIO EN LA REGIÓN LOXICHA, OAXACA DESPUÉS DEL HURACÁN CARLOTA 2012", es parte del proyecto ESTRATEGIAS DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA PARA EL MANEJO INTEGRAL DE CULTIVOS, con clave 145905002 registrado en la Dirección General de Investigación y Postgrado de la UACH. La investigación se ha realizado bajo la dirección de los C.C. Ing. Gerardo Noriega Altamirano, Dra. Rita Schwentesius Rindermann y Dr. Manuel Gómez Cruz y la asesoría de los C.C. Dr. Miguel Ángel Vergara Sánchez, Ing. Francisco Rodríguez Neave y Dra. Brenda Cárcamo Rico. Ha sido revisada y aprobada por el jurado examinador, como requisito para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ESPECIALISTA EN SUELOS

JURADO EXAMINADOR		
Ing. Gerardo Noriega Altamirano	Presidente	
Dr. Miguel Ángel Vergara Sánchez	Secretario	
Ing. Francisco Rodríguez Neave	Francisco Radiguez N. Vocal	
Dra. Rita Schwentesius Rindermann	Reta Recolon	
Dr. Manuel Ángel Gómez Cruz	Suplente	
	Chapingo, México, Marzo de 2014	

AGRADECIMIENTOS

A Dios por brindarme la oportunidad de alcanzar una de mis metas en la vida y darme la fortaleza de seguir adelante.

A la Universidad Autónoma Chapingo, por darme la oportunidad de terminar una carrera profesional y por todas las oportunidades brindadas durante los 7 años de estudio, las cuales ayudaron en mi formación académica.

Al Ing. Gerardo Noriega Altamirano por haberme permitido colaborar a su lado, por el tiempo, dedicación, confianza y apoyo incondicional en la dirección de este trabajo, además de sus consejos y enseñanzas que me brindó durante mi estancia en Chapingo.

Al Dr. Miguel Ángel Vergara Sánchez, por su compresión y tiempo en realizar las atinadas correcciones al presente documento.

Al Dr. Manuel Ángel Gómez Cruz, por su gran apoyo y disposición en la dirección de la presente, por su motivación, orientación y sus enseñanzas.

Al Ing. Francisco Rodríguez Neave por su motivación y sugerencias durante la realización de este trabajo, sin olvidar su apoyo y amistad durante mi estancia en el departamento de Suelos.

A la Dra. Rita Schwentesius Rindermann por el tiempo dedicado en la revisión de la tesis y por sus atinadas observaciones para mejorar este trabajo.

A los Ing. Rodrigo Flores, Ing. Rene, Ing. Ricardo y a todos lo que apoyaron en el muestreo de suelos y la elaboración de los mapas que se utilizaron en la presente investigación.

Al CIIDRI por todo el apoyo que se me dio durante la elaboración de la presente.

A todos mis profesores de la Universidad Autónoma Chapingo y del Departamento de Suelos por compartir sus conocimientos, experiencias y sabios consejos, al igual que su amistad brindada a lo largo de mi estancia en la institución.

DEDICATORIA

A mis padres Irineo Velázquez Vélez y Maura Juárez Machorro, por confiarme en mí y contar siempre con su apoyo incondicional, cariño y compresión a lo largo de mi vida.

A mis hermanos Marisol, Lorena, Yolanda, Iván y Rosaura por brindarme su confianza, compañía, apoyo y motivación para seguir adelante

A mis amigos Leslie Aidee, Sara, Francisco, David, Alejandro, Mari, Fidel Amado, Sra.Mari, Rocio, Jesús Félix, Gustavo Adolfo; por las palabras de aliento cuando pensaba en rendirme.

A Arlen por brindarme su confianza, amistad, apoyo y tiempo, además de compartir buenos y malos momentos, éxitos y fracasos conmigo.

A Isabel por ser una persona que aprecio mucho por darme grandes lecciones de vida y consejos cuando estaba elaborando este documento sin olvidar los buenos momentos además del apoyo incondicional.

Al TAFUACH de la Universidad Autónoma Chapingo "Centeotl" por darme la oportunidad de formar parte de él, por todos los triunfos logrados y experiencias vividas, sin olvidar la gran amistad que me proporcionaron hicieron que mi estancia en Chapingo sea una etapa inolvidable.

A todos mis amigos, por su convivencia y experiencias compartidas.

Y a todas las personas que me ayudaron en algún momento de mi vida para alcanzar este sueño.

Juan Carlos

Contenido INDICE DE CUADROS......8 INDICE DE FIGURAS.......9 INTRODUCCIÓN.......11 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA......14 2.1 2.1.1 2.2 2.3 2.4 2.5 2.6 Organismos 24 2.7 2.7.1 2.7.2 2.7.3 2.7.4 2.7.5 2.8 2.8.1 2.8.2 2.9 2.10 2.10.1 2.10.2 Procesos Físicos 49 2.10.3 2.11 2.11.1 2.11.2 2.11.3 2.11.4 2.11.5 2.11.6 2.12 2.12.1 2.12.2

	2.12.3	Acidificación antropogénica	75
	2.12.4	Fertilizantes de reacción acida	75
	2.12.5	Mejoradores químicos	78
	2.12.6	Lluvia ácida	78
	2.12.7	Óxidos de Azufre	79
	2.12.8	Óxidos de Nitrógeno	80
	2.12.9	Inestabilidad del hidrogeno en los suelos y en las arcillas	80
	2.13 Con	clusiones de la revisión de literatura	80
3	OBJETI\	OS E HIPÓTESIS	83
	3.1 Obj	etivo general	83
	3.1.1	Objetivos específicos	83
	3.2 Hipo	ótesis	83
4	MATERIA	ALES Y MÉTODOS	84
	4.1 Loc	alización	84
	4.1.1	Cuenca del Rio Copalita	84
	4.1.2	Geología	89
	4.1.3	Clima	89
	4.1.4	Precipitación media	91
	4.1.5	Temperatura media	93
	4.1.6	Periodo de crecimiento	95
	4.1.7	Uso del suelo	102
	4.1.8	Suelos	106
	4.1.9	Fisiografía y geomorfología	108
	4.1.10	Municipios	108
	4.1.11	Economía regional	111
	4.2 MÉ	FODO	113
	4.2.1	Descripción de la metodología	113
	4.2.2	Reactivos.	113
	4.2.3	Material	115
	4.2.4	Procedimiento	115
	4.2.5	Cálculos	115
	4.2.6	Interpretación de resultados de calcio, magnesio y potasio (Ca, Mg y K)	116
5	RESULT	ADOS Y DISCUSIÓN	119
	5.1 El c	ultivo de café en la región	119
	5.1.1	Generalidades del Cultivo de Café	119
	5.1.2	Evolución del Uso de la Parcela	119
	5.1.3	Semilleros o Almácigos	119
	5.1.4	Viveros	120

	5.1.5 Establecimiento del Cafetal		120
	5.1.6	Manejo de Cafetales establecidos	121
	5.1.7	Plan de Manejo de Plagas	122
	5.1.8	Plan de Manejo de Enfermedades	122
	5.1.9	Regulación de Sombra	122
	5.1.10	Poda del Cafeto	123
	5.1.11	Abonado del Cafeto	123
	5.1.12	Cosecha	123
	5.1.13	Beneficio	124
	5.1.14	Secado del Café	125
	5.1.15	Manejo de Pos Cosecha	125
	5.1.16	Comercialización	125
	5.2 E	ventos Hidrometeorológicos	125
	5.3 Pi	ecipitación en eventos hidrometeorológicos	133
	5.4 H	uracán Carlota	135
	5.5 Po	érdida de Calcio	138
	5.6 A	cidez del suelo	140
	5.7 R	elación Ca / Mg	141
	5.8 R	equerimientos de encalado	144
6	DISCU	SIÓN DE RESULTADOS	148
7	CONC	LUSIONES	159
8	BIBLIC	GRAFÍA	161
9	ANEXO	OS	169

INDICE DE CUADROS	Pág.
Cuadro 1. El suelo como sistema abierto y constituido por tres fases.	17
Cuadro 2. Clasificación de los materiales originales.	21
Cuadro 3. Efecto de las laderas en la formación de suelos.	42
Cuadro 4. Tiempo geológico.	44
Cuadro 5. Características generales, atómicas y físicas.	56
Cuadro 6. Requerimiento de nutrimentos por cafetos <i>C. arabica</i> de tres años de edad.	68
Cuadro 7. Demanda nutrimental del cultivo de café variedad Costa Rica-95.	69
Cuadro 8. Municipios ubicados en la cuenca Rio Copalita.	85
Cuadro 9. Unidad de suelo y distribución en la Cuenca Rio Copalita.	85
Cuadro 10. Distribución de la precipitación en la Cuenca Río Copalita	86
Cuadro 11. Distribución de la cobertura vegetal en la cuenca Río Copalita.	86
Cuadro 12. Precipitación media de la zona de estudio	91
Cuadro 13. Temperatura de la estación 20089.	93
Cuadro 14. Temperatura de la estación 20308.	94
Cuadro 15. Datos para estimación del inicio y termino de los periodos de crecimiento para la estación 20089 de la CONAGUA.	97
Cuadro 16. Número de días húmedos y secos para la región Loxicha.	101
Cuadro 17. Número de días con humedad y secos para la región de San Mateo Rio Hondo.	102
Cuadro 18. Población estimada dentro de la zona de estudio.	109
Cuadro 19. Tabla de interpretación para los cationes de cambio. Cuadro 20. Factores de conversión para transformar de ppm a cmol/kg de algunos cationes de cambio.	116 117
Cuadro 21. Resultados de laboratorio	117
Cuadro 22. Fenómenos hidrometeorológicos registrados desde 1949 al 2013.	126
Cuadro 23. Precipitación aportada por evento hidrometeorológico de los últimos 8 años en la estación Pluma hidalgo.	134
Cuadro 24. Seguimiento de ciclón tropical "Carlota"	137
Cuadro 25. Pérdida de Calcio producida por el paso de huracán Carlota y por la demanda de Calcio (Ca) del cultivo de Café, en la cuenca del rio Copalita de la región Loxicha, Oaxaca.	139
Cuadro 26. Perdida de Calcio ocasionada por el paso del huracán Carlota.	140
Cuadro 27. Comportamiento del pH después del paso del huracán Carlota.	141
Cuadro 28. Relación Ca/Mg para el año 2011 en la región Loxicha, Oaxaca.	142
Cuadro 29. Relación Ca/Mg para el año 2012 en la región Loxicha, Oaxaca.	142
Cuadro 30 Comparación de la relación Ca/Mg entre los años 2011 y 2012 correspondientes al periodo en que el que se presentó el huracán Carlota.	143 144
Cuadro 31. Composición química de una muestra de mineral secundario (Cal dolomítica), Distribuida por la empresa Nutre y Fortalece de México S.A. de C.V.	144
Cuadro 32. Material que se deberá aplicar para restaurar el calcio lixiviado en la zona Loxicha.	145
Cuadro 33. Dosis de Cal Dolomítica que se deberá de aplicar a los cafetos para poder restaurar el nivel de Calcio (Ca ²⁺) lixiviado por el huracán Carlota.	146

INDICE DE FIGURAS	Pág.
Figura 1 Clasificación de diferentes definiciones de suelo según Miller (1970).	15
Figura 2 Ciclo de las rocas.	23
Figura 3 Ciclo del calcio en la naturaleza (Navarro, 2003).	56
Figura 4 Proceso de esquematizado sobre la lixiviación de calcio en el suelo (Navarro, 2003)	59
Figura 5, Disolución de calcio en el suelo (Navarro, 2003).	59
Figura 6 Calmodulina, formada por una cadena polipeptidica compuesta por 148 aminoácidos, el cual el Ca2+ esta unido en cuatro puntos (Mengel y Kikby, 2001).	64
Figura 7. Escala de pH con base en el diagrama de troug (Fuente: http://www.madrimasd.org/)	70
Figura 8. Localización del área de estudio (Flores, 2012).	84
Figura 9. Región de la cuenca del rio Copalita, Oaxaca, México (Flores, 2013).	88
Figura 10 Localización de las estaciones meteorológicas más cercanas al municipio de San Agustín Loxicha, Oaxaca (Fuente: http://smn.cna.gob.mx/)	90
Figura 11 Comportamiento de la precipitación media en la estación 20089. (Fuente: http://smn.cna.gob.mx/).	92
Figura 12 Comportamiento de la precipitación media en la estación 20308. (Fuente: http://smn.cna.gob.mx/).	92
Figura 13 Comportamiento de la temperatura media de la zona de estudio. (Fuente: http://smn.cna.gob.mx/).	94
Figura 14 Comportamiento de la temperatura media de la estación 20308. (Fuente: http://smn.cna.gob.mx/).	95
Figura 15. Periodo de crecimiento para la estación 20089 (Elaboración propia, 2013).	96
Figura 16. Periodo de crecimiento para la estación 20308 (Elaboración propia, 2013).	96
Figura 17. Distribución del uso de suelo en la región de la cuenca rio Copalita, Oaxaca, México (Flores, 2013)	105
Figura 18. Distribución de los suelos en la región de la cuenca rio Copalita, Oaxaca, México (Flores, 2013)	107
Figura 19. Distribución municipal de la región cuenca rio Copalita, Oaxaca, México (Flores, 2013).	110
Figura 20. Trayectoria final del huracán "Carlota". (Fuente: CNA-CGSMN GOES).	138
Figura 21. Imagen de satélite. (Fuente: CNA-CGSMN GOES 13 IR4 15/Jun/2012 2:45 GTM).	138
Figura 22 Solubilidad de algunos minerales de Calcio en equilibrio con la caolinita (k), cuarzo (Q) y la gibsita (G) (Linsay, 1979).	151
Figura 23 La solubilidad de varios minerales de calcio en el suelo (Linsay, 1979).	153
Figura 24. Complejos de cloruro, nitrato y bicarbonato de Ca ²⁺ en equilibrio con el Ca-suelo o calcita afectada por actividades aniónicas y pH (Linsay, 1979).	156
Figura 25 Sulfato, fosfatos e hidróxidos complejos de calcio en equilibrio con suelo-Ca o calcita (Linsay, 1979).	156

RESUMEN

En México el cambio climático ha dejado huella en los últimos años sobre las regiones montañosas en donde ya existen problemas de erosión hídrica, física y eólica. Al mismo tiempo surgen problemas más importantes para el agro mexicano como lo es la disminución en la productividad de los huertos, del cual los productores obtienen sus ingresos para el gasto familiar. Un problema que no es reciente es la acidificación de las parcelas, en donde los nutrientes que se encuentran en la solución del suelo cambian a formas no asimilables para los cultivos debido a la acidez del suelo forjando la baja productividad. Igualmente algunas zonas montañosas con el paso de huracanes llegan a perder una gran parte de los cationes que se encuentran en la solución del suelo y estas terminan en las partes bajas del relieve. En la región Loxicha, Oaxaca ubicada en la cuenca del rio Copalita se encontró que la pérdida de calcio promedio es de 1 093.91 kg/ha esto basado en los resultados de laboratorio comparando los del años 2011 previo al huracán Carlota y con los del 2012 posterior al paso de este evento, el cual aportó 310 mm en un periodo de 60 horas. El pH disminuyo 0.47 unidades en promedio debido al paso de Carlota por la región, ocasionando que se clasifique como un suelo moderadamente acido, provocando que algunos nutrientes cambien algunas de sus propiedades químicas, provocando que no se puedan absorber por las plantas. La remineralización de suelos puede emplearse como técnica para solucionar los problemas de baja productividad en los cultivos, bajo este concepto es posible restaurar el calcio lixiviado y neutralizar la acidez generada por el agua precipitada.

1 INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural no renovable, es un ecosistema dinámico cuyo origen tiene cinco factores formadores del suelo, que han desencadenado un sin número de procesos físicos, químicos y bilógicos, cuyas interacciones generan la fertilidad y productividad de los suelos.

La revolución verde se fundó en el uso intensivo de fertilizantes químicos de naturaleza inorgánica, plaguicidas, riego, mecanización, material genético mejorado, lo cual ha tenido como resultado problemas ecológicos, incluso daños ambientales en el caso del suelo. Hoy se identifican problemas de compactación en los suelos donde se ha practicado la labranza, erosión hídrica y eólica, pérdidas de materia orgánica y otros minerales.

En el Centro de Investigación Interdisciplinarias para el Desarrollo Rural Integral (CIIDRI) de la Universidad Autónoma Chapingo, ante las condiciones del cambio climático se abordan estudios regionales para cuantificar las necesidades de remineralizar los suelos agrícolas, así como incrementar la materia orgánica y actividad biológica del suelo para restaurar ciclos biogeoquímicos, esto como una estrategia para transitar a la producción agrícola sustentable.

En el CIIDRI se promueven la realización de varios estudios para conocer el impacto que tienen los ciclones tropicales en la pérdida de nutrientes, particularmente en la Cuenca del Río Copalita, Oaxaca, donde se impulsan diversas estrategias para intentar avanzar hacia la productividad sustentable, así se identifican estrategias como remineralización de suelos, incorporación de materia orgánica, inoculación de microorganismos benéficos, diversificación de cultivos, entre otros.

El presente trabajo constituye una justificación para el desarrollo de una agricultura ecológica que pretende restaurar la producción agronómica mediante el incremento de la fertilidad del suelo a largo plazo, como antecedente el huracán Paulina en 1997 provocó que los cafetales de 15 quintales/ha descendieron su productividad a 3 quintales/ha, lo que ha contribuido a incrementar la pobreza de los productores indígenas de la región Loxicha, ello exige identificar estrategias para restaurar los

recursos locales no solo para restaurar la productividad, también para conservar la cubierta arbolada, el agroecosistema cafetalero, el paisaje, la biodiversidad, la cultura, así la restauración ecológica que el presente trabajo fundamenta, permitirá la productividad agronómica, socialmente la restauración de los suelos podrá dar espacio al uso de la mano de obra local con trabajo manual, ecológicamente se transitará a adaptarse al cambio climático.

El estudio en la primera parte aborda los factores formadores de suelo con el propósito de comprender que el manejo ecológico de los suelos debe incorporar prácticas de dicho ámbito; se enfatiza en la biología del suelo, la materia orgánica y los procesos de meteorización, porque en el futuro la gestión de la biodiversidad edáfica y la calidad del suelo serán la clave para restaurar la fertilidad del suelo. En una segunda parte se presentan los eventos hidrometeorológicos que han ocurrido en el Pacífico Sur Mexicano, enfatizando con el huracán Carlota.

Posteriormente, se hace una amplia discusión sobre la lixiviación del calcio en el suelo provocado por el ciclón de referencia, lo cual condujo a una mayor acidificación del suelo, lo que explica en parte la necesidad de restaurar la fertilidad del suelo mediante la remineralización, en este caso con dolomita, reconociendo que el pH constituye un parámetro fundamental en los suelos tropicales para la gestión ecológica de los cafetales y en general para los cultivos.

Regular el pH y la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) será una estrategia de retención y suministro de nutrientes para los cultivos y una alternativa para restaurar los ciclos biogeoquímicos, por ejemplo en el caso del nitrógeno es un proceso microbiano por el cual se libera el nitrógeno asociado a la hojarasca de los cafetales; el fosforo en los suelos ácidos mediante enlaces con el hierro y el aluminio forman compuestos insolubles para las plantas.

La restauración de los suelos ayudará a mejorar el pH, el contenido de materia orgánica y la biología del suelo, así la remineralización con dolomita regulará la acidez del suelo y contribuirá a la disponibilidad de fósforo y en general favorece el reciclaje de nutrientes.

El enfoque que aquí se plantea constituye una vía para explicar los impactos del cambio climático en la lixiviación de los suelos tropicales, fundamenta la práctica de remineralización, su éxito depende de los aspectos cómo fortalecer la organización productiva a nivel de localidades para aprovechar la mano local, así como de crear una nueva visión del impacto del desastre que causa un huracán, lo que exige que en la atención de los desastres se incluya la restauración de los suelos, caso contrario se intensificará la erosión de la economía campesina local.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Suelo

El concepto suelo deriva del latín solum, significa piso o superficie de la tierra. La diversidad de suelos en el mundo dificulta ofrecer una definición precisa, algunos autores la consideran como un conjunto de material orgánico e inorgánico capaz de sostener la vida vegetal (Miller, 1970). Pero en opinión de USDA (2010), el suelo es un cuerpo natural que comprende a sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que ocurren en la superficie de las tierras, que ocupa un espacio y se caracteriza por uno o ambos de los siguientes: horizontes o capas que se distinguen del material inicial como resultado de adiciones pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia o por la habilidad de soportar plantas en un ambiente natural. Malagon (1975), opina que el suelo se forma bajo la acción de factores externos a él, agentes que determinan procesos internos causantes de su diferenciación morfológica. De los factores de formación, el clima y la vegetación son determinantes; no obstante, en condiciones locales factores como la topografía y los organismos llegan a ser prioritarios. El hombre afecta la evolución del suelo mediante su acción destructora: talas, quemas y salinización o mediante su acción benéfica: protección del suelo mediante la reforestación, encalado, aportes orgánicos. El tiempo permite la acción de los demás factores en la dimensión espacial. La mineralogía del suelo, en cualquiera de sus fracciones, refleja la interacción de los procesos formadores del medio. Otro enfoque refiere al suelo como un cuerpo en evolución, natural e independiente, formado bajo la influencia del ambiente (Arias, 2001). Miller (1970), señala que el suelo tiene diversos significados dependiendo del enfoque. De lo expuesto se ofrece una definición amplia.

Suelo.- Recurso Natural no renovable, producto de la meteorización de las rocas o material parental, en el cual, el hombre obtiene satisfactores: alimentos, fibras, medicinas; construye sus viviendas, extrae recursos minerales que necesita para satisfacer las demandas de la sociedad. Además, se le debe considerar como un cuerpo dinámico donde sus propiedades físicas, químicas y biológicas siempre están cambiando.

2.1.1 Fases del suelo

El suelo es un sistema abierto, dinámico, constituido por tres fases.

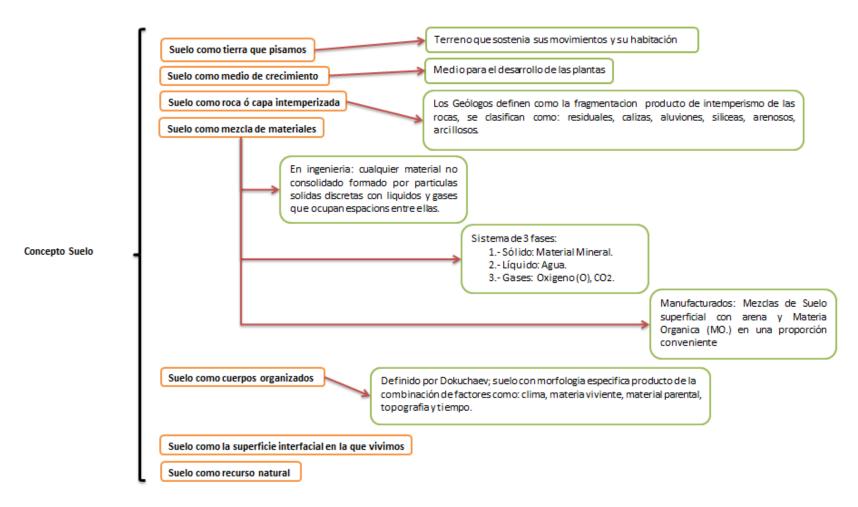


Figura 1.- Clasificación de diferentes definiciones de suelo según Miller (1970).

El suelo está constituido por tres fases:

- (1).- Fase sólida. Formada por componentes inorgánicos y orgánicos.
- (2).- Fase líquida. Se encuentra en él espacio que ocupan los poros, cámaras, galerías, grietas y otros, donde se ubican las fases líquidas y gaseosa; donde el volumen de huecos está ocupado parcialmente por agua, como componente principal de la fase líquida, puede llevar iones, además de sustancias en solución o en suspensión.
- (3).- Fase gaseosa. Constituida por aire, es la fase gaseosa o atmósfera del suelo.

Porta (2003), refiere que las interacciones entre las fases sólida y líquida adquieren relevancia al existir en la fase sólida partículas cargadas eléctricamente y de elevada superficie específica; los procesos de adsorción e intercambio iónico son fundamentales para las funciones del suelo como depurador natural, para la vida en el suelo y para la nutrición vegetal. La fase líquida y gaseosa se encuentra en cambio constante, en cantidad y composición.

Jordán (2005), indica que la lluvia, el riego y las filtraciones incorporan agua al sistema, la evapotranspiración constituye la principal salida en condiciones en las que no haya pérdidas por percolación. El aporte de agua diluye el contenido iónico de la fase líquida y la evapotranspiración concentra la solución del suelo.

La presencia de sales solubles en el agua del suelo llega a ser perjudicial para las plantas, al impedir que éstas puedan absorber agua o por el efecto tóxico del algún ion. En el Cuadro 1, se muestra al suelo como sistema abierto, constituido por tres fases.

Cuadro 1. El suelo como sistema abierto y constituido por tres fases.

Fases	Aspectos	Ámbitos de estudio
	Distribución de partículas	Textura
	minerales según tamaños	
	Componentes inorgánicos	Mineralogía
		Superficie especifica
		Procesos de transporte
Sólida	Componentes orgánicos	Composición
Solida		Procesos de transformación y transporte
	Organización	Estructura: forma de agregarse las partículas y espacios de huecos
		Densidad del suelo
Interface sólido líquido	Interacción suelo - agua	Reacciones de la superficie
		Estados energéticos del agua.
	Agua del suelo	Movimiento del agua
Líquido		Régimen de humedad
	Exceso de agua	Procesos de hidromorfismo
		Composición
Gaseosa	Aireación del suelo	Humedad del aire
		Flujo del aire

Fuente: Porta, 2003.

2.2 Factores formadores de suelo

El suelo se concibe como un sistema dinámico y complejo, donde se desarrollan numerosos procesos. Por ejemplo:

- (a).- Suministro de nutrientes para el crecimiento de las plantas.
- (b).- Ciclo biogeoquímico de los nutrientes.
- (c).- Presencia de la Macro, Meso y Microfauna en los procesos de formación del suelo así como la translocación de algunos nutrimentos.
- (d).- Flujo del agua en el suelo (infiltración, evaporación, movimiento del agua por capilaridad, etc.).
- (e).- Presencia de la capacidad de amortiguamiento del suelo (Capacidad buffer).
- (f).- Intercambio gaseoso del suelo a la atmósfera.
- (g).- Otros.

Malagon (1975), indica que los procesos de formación del suelo involucran fenómenos que se llevan a cabo internamente en el medio, que determinan la morfología del perfil. Estos fenómenos son dinámicos en naturaleza, pueden aumentar su intensidad al presentarse varios en forma simultánea, o abatirla cuando sufre interferencias. El suelo, como cuerpo natural, tiende al estado de equilibrio con las fuerzas y factores que lo pueden modificar; la búsqueda de este estado tiene lugar en forma continua hasta alcanzarlo dinámicamente a través de los procesos formativos.

El edafólogo ruso Dokuchaev demostró que los suelos no se distribuyen al azar, desarrollan un patrón sobre el terreno; estableció los cinco factores que dan origen al suelo:

- (1).- Roca madre o material original.
- (2).- Clima.

- (3).- Organismos.
- (4).- Topografía.
- (5).- Tiempo.

Los factores formadores de suelo se describen a continuación:

2.3 Roca madre o material original

FitzPatrick (1996) señala que Jenny en 1941, definió al material original como "el estado inicial del sistema edáfico"; definición no precisa, es difícil determinar el estado inicial del suelo, se reconoce que el material original cambia notablemente.

Se acepta de manera general que el material inalterado de la parte inferior de un perfil es similar al material del que se formaron los horizontes superiores. Los materiales originales se componen de material mineral u orgánico, o una mezcla de ambos. Comprende rocas: ígneas, sedimentarias y metamórficas, así como sedimentos no consolidados.

Rocas ígneas o formaciones magmáticas de minerales. Conocidas como endógenas: del interior de la tierra o magmáticas (magma, lava), que se forman localmente, bajo determinadas condiciones físicas y químicas, masas rocosas fundidas (magma), cuyas temperaturas oscilan, según su composición química, entre los 650 y los 1250 °C. Cuando estas masas salen a la superficie terrestre forman las rocas eruptivas o volcánicas, mientras que si se quedan en el interior originan las rocas profundas: plutónicas (Medenbach, 2005).

Rocas sedimentarias o formaciones sedimentarias de minerales. Los minerales o rocas que se encuentran cercanos a la superficie terrestre están sometidos a la erosión; los cristales son disueltos, modificados o transportados por agentes físicos, químicos u orgánicos. Por ejemplo, rocas plutónicas de granito enteras pueden ser descompuestas por la acción del agua subterránea (Medenbach, 2005).

Rocas metamórficas. Son el segundo cambio de las rocas ígneas y sedimentarias que se someten a cambios de presión y temperatura similares a las que se encuentran en el interior de la tierra. La magnitud del metamorfismo en rocas sedimentarias varía desde las poco alteradas formando pizarra y esquisto; y las muy alteradas que forman gneis. Un solo tipo de roca puede originar diversos tipos de suelos, dependiendo la naturaleza de los otros factores, principalmente el clima. A manera de ejemplo, el basalto produce suelos meteorizados (ferrasol) de color rojo brillante en los trópicos húmedos, mientras que en ambientes semiáridos produce suelos de color negro identificados como vertisol (FitzPatrick, 1996).

2.4 Clasificación de los materiales originales

FitzPatrick (1996), indica que existen nueve clases de materiales originales; cinco se basan en la proporción de minerales ferromagnésicos presentes, uno en la cantidad de carbonatos, dos en la cantidad de sales y la última se subdivide en materiales consolidados y no consolidados, como se reporta en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Clasificación de los materiales originales.

No	Tipo	Composición (porcentaje)		Símbolo
1	Ultra básico	> 90 Ferromagnesiano		U
2	Básico	40 – 90	Ferromagnesiano 45 – 55 SiO ₂	В
3	Intermedio	20 – 40	Ferromagnesiano 55 – 65 SiO ₂	I
4	Acido	5 – 20	Ferromagnesiano 65 – 85 SiO ₂	Α
5 Extremadamente Acido		< 5	Ferromagnesiano	E
6	Carbonato			С
	 Carbonato bajo 	1 – 5	(Ca + Mg) CO ₃	1C
	 Carbonato medio 	5 – 20	(Ca + Mg) CO ₃	2C
-	 Carbonato alto 	20 – 50	(Ca + Mg) CO ₃	3C
	 Carbonato predomínate 	> 50	(Ca + Mg) CO ₃	4C
7	Sulfato			S
	 Ligeramente sulfatado 	1 – 5	CaSO ₄	1S
_	 Moderadamente sulfatado 	5 – 20	CaSO ₄	28
	 Muy sulfatado 	20 – 50	CaSO ₄	3S
	 Extremadamente sulfatado 	> 50	CaSO ₄	48
8	Salino			Н
	 Ligeramente salino 	1 – 5	Sales solubles	1H
	 Moderadamente salino 	5 – 20	Sales solubles	2H
_	- Muy salino	20 – 50	Sales solubles	3H
	 Extremadamente salino 	> 50	Sales solubles	4H
9	Orgánico			Р
	- Ligeramente orgánico	1 – 5	Materia orgánica	1P
	 Moderadamente orgánico 	5 – 20	Materia orgánica	2P
	- Muy orgánico	20 – 50	Materia orgánica	3P
-	 Extremadamente orgánico 	> 50	Materia orgánica	4P

Fuente: FitzPatrick, 1996.

El extremo occidental de la Sierra Sur de Oaxaca se identifica por la presencia de las rocas metamórficas del complejo Acatlán del Paleozoico e ígneas intrusivas de granitos, mientras que en el área central estas rocas se remplaza por el complejo metamórfico del Precámbrico y por intrusiones ígneas de rocas granitoides del Terciario (UNAM, 2004). En el sector oriental afloran predominantemente las rocas volcánicas terciarias y los sedimentos volcanoclásticos de tobas del Mesozoico. Las rocas sedimentarias están representadas por caliza y dolomita; también se encuentran extendidas las rocas metamórficas del Cretácico, compuestas de gneis y migmita, además intrusivas del Terciario.

2.5 Ciclo de las rocas y minerales petrogenéticos

Al estudiar la fase sólida, se observa que existe un predominio de los componentes inorgánicos, cuyo origen son en los minerales que constituían la roca o material parental y del cual se ha formado suelo. Las modificaciones alcanzadas por los minerales resultantes se denominan heredados, transformados o neoformados. Las fracciones granulométricas más gruesas, están formadas por minerales residuales preexistentes y lo mismo ocurre en las fracciones más finas en suelos desarrollados a partir de las rocas sedimentarias en climas semiáridos y áridos (Ortega, 1987).

Porta (2003), indica que los minerales pueden sufrir transformaciones que originan la reorganización de los productos y la neoformación de especies minerales más estables en las condiciones del medio predominante, o materiales amorfos, compatibles con el medio considerado. La formación del suelo se encuentra integrada en el ciclo de las rocas en la naturaleza, de forma simplificada se ilustra en la Figura 2.

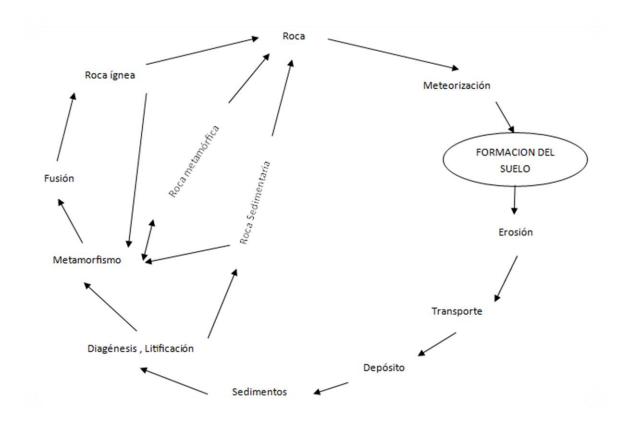


Figura 2.- Ciclo de las rocas (Porta, 2003.)

La naturaleza de las rocas de la corteza terrestre es condicionada por la proporción relativa de los distintos elementos químicos, los nueve más abundantes son: O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, H (Porta, 2003).

La dominancia del silicio y del oxígeno explica la abundancia de los silicatos, minerales cuya estructura cristalina se caracteriza por los enlaces covalentes Si-O, que son muy estables. Los minerales, que forman las rocas de la corteza terrestre son silicatos en una proporción del orden del 95% (Ortega, 1987).

2.6 Clima

De acuerdo a Ortiz (2010), el clima es el factor dominante en la formación de suelos, su mayor influencia está dada por la precipitación y la temperatura. Según Navarro (2003), los cambios bruscos de temperatura, sobre todo del día a la noche, afectan altamente el estado inicial de las rocas, provocando en estas de

forma continua sucesivas dilataciones y contracciones que facilitan su desintegración; la alternancia de humedad y de deshidratación origina una expansión o contracción de la roca, favoreciendo la disminución de su tamaño; la congelación del agua presente en las grietas de las rocas, al aumentar su volumen con respecto al estado inicial, son un factor importante para su fractura y degradación.

Ortiz (2010), clasifica algunos de los efectos directos del clima sobre la formación del suelo, que son:

- Acumulaciones de carbonato de calcio en áreas de poca precipitación. El calcio no es lixiviado por la insuficiente cantidad de agua;
- 2. Suelos ácidos en áreas húmedas debido al intenso grado de meteorización y lixiviación;
- 3. Erosión de suelos en pendientes pronunciadas;
- 4. Depositación de materiales del suelo en las partes bajas;
- 5. Mayor intensidad de meteorización, lavado y erosión en las regiones húmedas y calientes que en las frías.

Indirectamente, el clima influye en la formación del suelo a través de la vegetación.

2.7 Organismos

El suelo contiene cinco grupos principales de microorganismos: (1) bacterias; (2) actinomicetos; (3) hongos; (4) algas; y (5) protozoarios (Alexander, 1980). Todo suelo cultivado puede considerarse en su conjunto como un organismo viviente, en él se desarrollan innumerables formas de vida animal y vegetal, de tamaño y con actividades diversas (Navarro, 2003). Los organismos animales y vegetales desempeñan un papel importante como factor de formación del suelo.

La acción de los organismos específicamente la vegetación, sin excluir la acción animal, han llevado al concepto de "tessera" para explicar el ecosistema del suelo (Porta, 2003).

Malagon (1975), refiere que Jenny en 1965, definió el término "tessera" como la

unidad de muestreo tomada en el campo y sometida a análisis. Una tessera-suelo

se asocia así a este concepto, mientras que "eco-tessera" involucra al suelo y a la

vegetación asociada a él.

Jenny (1965), ofrece la ecuación que describe el suelo como una función de los

organismos, manteniendo constante los demás factores formadores del medio.

S=f (O) CI, T, R, Top

Dónde:

S: Suelo

O: Organismos

CI: Clima

T: Tiempo

R: Relieve

Top: Topografía

La acción de la materia orgánica en el ecosistema bosque, origina la formación de

un horizonte O y de un A2 formado por la translocación de Fe, Al y humus. En los

ecosistemas de pradera no se presenta la acumulación orgánica con el horizonte

O, ni el horizonte A2 (Boul, 1973).

Los organismos como factor de formación del suelo involucran a los vegetales y a

los animales. Boul (1973), clasificó las principales acciones relacionadas con los

animales del suelo de la siguiente manera:

(a).- Traslocación de material dentro del perfil, movimiento y transformación

por acción de la lombriz de tierra y otros macroorganismos (hormigas,

termitas, etc.).

25

- (b).- Formación de canales, cuevas y cavidades por donde aumenta el paso de agua o su retención, se cambia el potencial de óxido-reducción y con él la dinámica de elementos presentes en el medio.
- (c).- Construcción de estructuras estables, que a su vez influyen sobre las propiedades físicas del medio.
- (d).- Rejuvenecimiento del medio por acción de hormigas y termitas al excavar túneles, lugares donde cambia la humedad y demás condiciones del medio, es como un mecanismo modificador del suelo.

Malagon (1975), cita a Parfenova y Yarilova (1962), quienes señalan que la vegetación al actuar como factor de formación del suelo interviene en la composición mineralógica de la fracción arcilla mediante aspectos, como:

- Alteración de minerales por acción mecánica y química.
- Acidificación del medio que se encuentra en contacto íntimo con las raíces.
- Pueden resultar minerales arcillosos mediante mecanismos de síntesis de interacciones elementales a través de ciclos biológicos.
- ➤ El tipo de vegetación influye cuantitativamente en la presencia de arcillas en el suelo, suelos bajo praderas contienen porcentajes más altos de arcillas que suelos bajo vegetación forestal.

2.7.1 Biología del suelo

Los principales organismos del suelo, las condiciones del medio en que viven y el papel que desempeñan cada uno de ellos (Burges y Raw, 1971, Alexander, 1980), pueden sintetizarse siguiendo la sistemática de Margulis y Schwart (1985). Los microorganismos están muy relacionados con la acidez del suelo, así mismo son indicadores de calidad del suelo (Chen *et al.*, 2012; Jin *et al.*, 2010).

2.7.2 Móneras del suelo (Procariotas)

Bacterias. La palabra bacteria proviene de un término griego que significa "bastón". Se trata de un microorganismo unicelular procarionte, cuyo tamaño no supera en general de 0.5 a 1 μm de diámetro y 2 μm de largo; pueden provocar enfermedades, fermentaciones o putrefacciones en los seres vivos o materiales

orgánicos, al ser procariontes carecen de núcleo u orgánulos internos (Monge, 2002).

Monge (2002), menciona que las bacterias se clasifican en diversos grupos partiendo de un criterio distinto, por su forma existen cuatro tipos:

- ➤ **Bacilos**. Bacterias alargadas con la posibilidad de ser curvas o rectas, pueden tener o no flagelos.
- ➤ **Leptothix.** De gran tamaño pueden presentar filamentos llamados tabicados.
- **Espirilos**. Son bacterias que tienen una apariencia curva helicoidal.
- ➤ Cocos. Bacterias de forma redondeada, cuentan con la posibilidad de que pueden estar aisladas, en pares o en cadena.

Las bacterias del suelo se colocan en dos grandes grupos:

- (a).- Las especies nativas o autóctonas, que son residentes verdaderos;
- (b).- Los organismos invasores o alóctonos.

Las poblaciones nativas pueden presentarse en estados resistentes, perduran por largos periodos sin tener actividad metabólica, pero en determinado momento, estas formas nativas proliferan y participan en las funciones bioquímicas de la comunidad. Las especies alóctonas por el contrario, no participan en las funciones bioquímicas de la comunidad, entran con la precipitación, en tejidos enfermos, estiércol o aguas negras y pueden permanecer por algún tiempo como formas inactivas e incluso crecer por periodos cortos, pero nunca contribuyen en forma significativa en las transformaciones o interacciones ecológicas (Alexander, 1980).

Las bacterias son las más numerosas en los suelos, se presentan con una distribución irregular, localizándose en pequeñas colonias, a menudo asociadas a fuentes de carbono-orgánico. En condiciones favorables se multiplican rápidamente, lo hacen por división, una vez cada 20 minutos, aproximadamente en condiciones óptimas (Coyne, 2000).

Alexander (1980), indica que las condiciones ambientales afectan la densidad y composición de la flora: los factores abióticos pueden alterar significativamente a la comunidad y a su potencial bioquímico. Entre las variables principales del ambiente que influyen sobre las bacterias del suelo destacan la humedad, aireación, temperatura, materia orgánica y suministro de nutrientes inorgánicos.

- La humedad controla la actividad microbiana; cuando la humedad es excesiva la proliferación microbiana se detiene no a causa del exceso de agua, sino porque dicho exceso limita el intercambio gaseoso y disminuye el suministro de O₂ disponible, creando así un ambiente anaeróbico; el nivel óptimo para la actividad de las bacterias aerobias frecuentemente es del 50 al 75% de la capacidad de retención de humedad en el suelo.
- La inundación del suelo trae consigo una diminución en la abundancia de las bacterias que se desarrollan en presencia de aire, algunas veces después de un breve incremento inicial en el número de aerobios se estimulan paralelamente a los anaerobios estrictos.
- La temperatura rige todos los procesos biológicos, es un factor de interés en relación a las bacterias. Los microorganismos tienen una temperatura óptima de crecimiento y un intervalo fuera del cual se detiene. La mayoría de los microorganismos son mesófilos, con una temperatura óptima de crecimiento cercana a los 25 °C y 30 °C y una capacidad de crecimiento entre 15 °C y 45 °C.
- El tamaño de la comunidad en suelos minerales está relacionada directamente con el contenido de materia orgánica, por lo que en localidades ricas en humus las bacterias son numerosas. La adición del material carbonáceo tiene influencia en el número de actividades bacterianas; la incorporación de abonos vegetales o residuos de cultivo inicia una rápida respuesta microbiológica.
- Las condiciones altamente ácidas o alcalinas inhiben a muchas bacterias comunes, ya que para la mayoría de las especies, el óptimo está cercano a la neutralidad. Mientras mayor es la concentración de iones de hidrogeno, el tamaño de la comunidad bacteriana es menor. Consecuentemente el

- encalado aumenta la densidad de la comunidad bacteriana. Aun así suelos, con pH 3.0 tienen un alto contenido de bacterias.
- Las prácticas de cultivo ejercen también efectos biológicos directos o indirectos. Las operaciones de labranza son tratamientos ambientales que generalmente causan alteraciones biológicas. Tales cambios varían con el tipo de operaciones, profundidad del suelo y principalmente el tipo de residuos de cultivo que se incorpora. Un decremento en el pH afecta el tamaño, composición y la actividad de la microbiología del suelo (Wei y Xiang, 2012; Jin et al., 2010).
- La estación del año es una variable ecológica secundaria, está compuesta de diferentes variables importantes, como la temperatura, precipitación pluvial, residuos de cosecha y efectos directos o indirectos de las raíces de las plantas. Debido a estas variables, la influencia total de las estaciones del año no es fácil de determinar.
- La profundidad es otra variable ecológica secundaria que afecta a las bacterias. En zonas templadas, casi todos estos organismos se encuentran en el primer metro de profundidad, principalmente en los primero centímetros. En la parte más superficial de campos agrícolas, la comunidad es escasa como resultado de una inadecuada humedad y la posible acción bactericida de la luz solar.

Los microorganismos son divididos en dos grupos con respecto a sus fuentes de energía y de carbono: heterotróficos (o quimioorganotróficos), los cuales requieren de nutrientes orgánicos preformados que sirvan como fuente de energía y de carbono; microorganismos autotróficos (o litotróficos), los cuales obtienen energía de la luz del sol o por la oxidación de compuestos inorgánicos, su carbono de la asimilación proviene del CO₂ (Buckman, 1994).

Los hongos, protozoarios, todos los animales y la mayoría de las bacterias son heterotróficos. Debe mencionarse que muchos y posiblemente todos los heterótrofos asimilan pequeñas cantidades de CO₂, pero los autótrofos usan CO₂ como fuente de carbono. Los autótrofos son de dos tipos: (1) los fotoautótrofos (o

fotolitótrofos) cuya energía se deriva de la luz solar; y (2) los quimioautótrofos (o quimiolitótrofos) que obtienen la energía necesaria para su crecimiento y reacciones biosintéticas de la oxidación de materiales inorgánicos. Las algas, plantas superiores y algunos géneros de bacterias tienen una nutrición fotoautotrófica (Porta, 2003).

El carácter único de los quimioautótrofos se basa en dos atributos: (1) su habilidad para utilizar la energía obtenida de la transformación de materiales inorgánicos; y (2) su capacidad de hacer uso de CO₂ para satisfacer sus necesidades de carbono. Algunas especies están limitadas a oxidaciones inorgánicas y están consideradas como quimioautótrofos obligados o estrictos; otros, los autótrofos facultativos pueden obtener energía de la oxidación de materiales inorgánicos, como de carbono orgánico (Buckman, 1994).

Los quimioautótrofos obligados son específicos para sus fuentes de energía y utilizan solamente uno o un pequeño grupo de compuestos relacionados. Como ejemplo: *Nitrobacter, Nitrosomas y Thiobacillus* (FitzPatrick, 1996).

En opinión de Porta (2003), en la biología del suelo la mayor parte son heterótrofos, con gran versatilidad bioquímica, degradando y mineralizando componentes orgánicos, poco eficaces frente a las sustancias húmicas. A manera de ejemplo:

- Pseudomonas. Metabolizan un amplio intervalo de compuestos incluyendo los pesticidas.
- Nitrobacter: Solo son capaces de extraer energía de la oxidación de los nitritos a nitratos.
- Thiobacillus ferrooxidans. Su energía produce la oxidación de los sulfuros y hierro ferroso.
- > **Streptomyces.** Producen antibióticos;

La mayoría son aerobios, también existen anaerobios y anaerobios facultativos. Por ejemplo:

- Nitrosomas: Anaerobios, con pocas exigencias de pH y temperatura, su acción óptima es entre 30 y 35 °C (mesófilos).
- Nitrobacter. Aerobios, prefieren suelos neutros o básicos. Son mesófilos.
- Clostridium. Anaerobios. Pueden producir reacciones del C-orgánico a metano. Algunos son patógenos para el hombre, por ejemplo: C. tetani que producen el tétanos.
- Actinomicetos. Bacterias con hifas productoras de micelios. Por su morfología micelar recuerdan a los hongos, son más próximos a las bacterias. Son abundantes en los suelos, siendo los géneros más comunes Streptomyces y Nocardia. Son heterótrofos y aerobios; con poca tolerancia a la acidez. Los Streptomyces están adaptados a condiciones de sequía; su papel en la degradación y mineralización no es tan importante como las bacterias y hongos, su papel deriva de su eficacia en la degradación de sustancia húmicas y de su aptitud para sintetizar sustancia bióticas (vitaminas) y antibióticos.
- Cianobacterias (anteriormente conocidas como algas verde-azuladas).
 Viven en o cerca de la superficie del suelo requieren luz para la fotosíntesis;
 prefieren medios neutros o básicos. Los géneros Nostoc y Anabaena
 pueden fijar el N₂-atmosferico e incorporarlo a los aminoácidos.

2.7.3 Hongos del suelo

Los hongos son los principales agentes de la descomposición de la materia orgánica; una de las funciones es descomponer moléculas complejas como celulosa, hemicelulosa, pectinas, almidón y lignina otra función es que constituyen un depósito de nutrientes, forman el grueso de la biomasa microbiana (Porta, 2003). Ayudan a formar los agregados del suelo, ponen a disposición de otros organismos nutrientes mediante la descomposición de la materia orgánica; pueden ser agentes patógenos de animales y plantas (Monge, 2002).

Presentan las siguientes características, están compuestos de finos filamentos llamados hifas, tienen un diámetro de 3 a 8 mm, pueden ser septadas (al estar divididas en compartimentos por unas paredes cruzadas) o no septadas

(cenocíticas, es decir, no divididas por paredes cruzadas); las hifas pueden ser vegetativas o fértiles. Los hongos se reproducen por esporas sexuadas, esporas asexuadas y por fragmentación. Colectivamente, la hifas componen el micelio, el cual puede no ser diferenciado o estar organizado en un cuerpo carnoso cuyo diámetro puede superar los 10 cm (Coyne, 2000).

Los hongos presentan características benéficas y perjudiciales al mismo tiempo. En primer lugar, son distintos de las bacterias, son más grandes, eucariotas, generalmente filamentosos, presentan morfologías diversas, pueden ser microscópicos y unicelulares como las levaduras, o bien formar grandes cuerpos carnosos (Parkinson, 1994). Existen varios filos: mixomicetos, oomicetos, zigomicetos, ascomicetos, basidiomicetos y deuteromicetos. Los ambientes bien ventilados con gran contenido de materia orgánica favorecen el crecimiento de la mayor parte de los hongos del suelo, éstos son fundamentalmente saprofitos, desarrollan un crecimiento competitivo y rápido, produciendo antibióticos; resulta difícil aislarlos, teniendo en cuenta que existen numerosas variedades, los cultivos puros de hongos exigen el uso de agentes bacteriostáticos y ambientes ácidos (Monge, 2002).

Alexander (1980), señala que los hongos ocupan el porcentaje más alto de la biomasa microbiana en el suelo, representan un depósito de nutrientes para el crecimiento potencial de microorganismos. Los hongos existen en el suelo mediante una serie de mecanismos, entre los que destacan las esporas y estructuras en reposo. Las esporas son de clases diversas, se dispersan por varios mecanismos. Unos cuantos hongos se han adaptado a una alimentación a base de nematodos, mientras que otros son cosechados o cultivados por el hombre para su consumo.

Porta (2003), indica que los hongos se desarrollan en todos los suelos, toleran la acidez, donde crecen mejor al faltar la competencia de las bacterias. Viven en horizontes superficiales ricos en materia orgánica. Algunos son capaces de descomponer la lignina, por ejemplo: Ascomicetes (*Penicillium*, *Aspergillus*, *Peziza y Morchella*); Basidiomicetes (*Russula*, *Boletus*, *Amanita* y *Cantharellus*).

Los hongos, según la clasificación de Parkinson (1994), se describen de la siguiente manera:

- Cienos (mixomicetos). Se encuentran debajo de la materia orgánica en descomposición, son organismos multinucleados ameboides; pueden agruparse, formando estructuras carnosas más complejas.
- Hongos flagelados (oomicetos). Dos especies caracterizan a este grupo que son el *Phytium*, que ocasiona la enfermedad de la podredumbre de las plantas; y *Phytophthora*, responsable de la enfermedad de la papa.
- Hongos del azúcar. Rhizopusnigricans, el moho del pan.
- Hongos más complejos. Destacan los ascomicetos, hongos como las levaduras, las morillas y las trufas; también se incluyen basidiomicetos.
- Hongos imperfectos. Estos incluyen hongos como los deuteromicetos, entre los cuales están el *Penicillium*.
- Micelios estériles. Son hongos que se reproducen exclusivamente por la fragmentación de hifas.

2.7.4 Protozoarios

Los protozoarios son organismos microscópicos, unicelulares eucariotas; heterótrofos, fagótrofos, depredadores o detritívoros, a veces mixótrofos (parcialmente autótrofos); que viven en ambientes húmedos o directamente en medios acuáticos, en aguas saladas o aguas dulces (Cavalier *et al.*, 1993)

Son los invertebrados más abundantes que se distinguen principalmente por ser los animales más simples. El ciclo de vida de muchos protozoarios consta de: (a) una fase activa o *trofozoito*, en la cual el animal se alimenta y se multiplica; (b) una fase de reposo o *quiste* donde la célula produce una cubierta gruesa que la cubre. En condiciones de quiste, pueden resistir influencias ambientales adversas por varios años. La reproducción generalmente es asexual, se realiza por fisión de la célula madre en dos células hijas, proceso que ocurre por división longitudinal o transversal. Son pocos los protozoarios que se reproducen sexualmente. (Alexander, 1980).

Los protozoarios del suelo se clasifican en base a sus medios de locomoción. Algunos se desplazan por medio de uno o más *flagelos* largos, otros por medio de pequeños *cilios* y otros por organelos temporales conocidos como *pseudópodos*. Los representantes subterráneos del Phylum Protozoa se dividen en tres grupos:

- (a).- Mastigosphora o flagelados;
- (b).- Sarcodina;
- (c).- Ciliophora o ciliados.

Mastigosphora o flagelados. Poseen de uno a cuatro flagelos, aunque algunos grupos llegan a poseer más de cuatro. Las especies encontradas en el suelo, son muy pequeñas, de 5 a 20 μm de longitud. Se separan en dos grupos, los Phytomastigophora y los Zoomastigophora; los primeros contienen Clorofila y carecen de pigmentos verdes y están limitados por lo tanto a una existencia heterotrófica, por ejemplo: *Allantion, Bodo, Cercobodo, Cercocomas, Entosiphon, Heteromita, Monas, Oikomonas, Sainouran, Spirominas, Spongomonas Y Tetramitus* (Cavalier *et al.*, 1993)

Sarcodina. De acuerdo con Gallego (2006), se caracteriza por que se mueven por prolongaciones protoplasmáticas temporales de la pared del cuerpo, debido a que la superficie externa no es rígida, la forma del cuerpo es anual cambia constantemente conforme mueve sus pseudópodos; sarcodina se diferencia notablemente de los ciliados y flagelados, en los cuales los organelos de locomoción son esencialmente estructuras permanentes. Se clasifican en dos tipos: algunos tienen estructura en forma de concha que redondea el cuerpo (o teca) y otros no presentan ninguna estructura. Los representantes de esta clase son: Acanthomoeba, Amoeba, Biomyxa, Difflugia, Euglypha, Hartmanella, Lecythium, Naegleria, Nucleria y Trinema.

Ciliophora. Es resultado de la acción de cilios vibrantes situación alrededor de la célula protozoaria, son cortos y numerosos pudiéndose encontrar miles de ellos en un solo individuo; los ciliados terrestres son pequeños frecuentemente oscilan de

10 μm a 80 μm de longitud; las especies acuáticas son más grandes y alcanzan un tamaño de 2 mm de longitud. Por ejemplo; *Balantiophorus, Colpidium, Colpoda, Enchelys, Gastrostyla, Halteria, Oxytricha, Pleurotricha, Uroleptus y Vorticella* (Sandon, 1927).

La energía necesaria para el crecimiento de los protozoarios se obtiene de varias maneras. Los protozoarios fotosintéticos, aquellos flagelados que sintetizan su protoplasma a partir del CO₂ utilizan la energía derivada de la luz solar; sin embargo la fotoautotrofía es rara en el reino animal y los fitoflagelados que contienen clorofila son los únicos que tiene la capacidad de llevar a cabo la fotosíntesis. La mayoría dependen de la materia orgánica preformada alimentándose en forma sapróbica, obteniendo sus nutrientes de sustancias insolubles, tanto inorgánicas como orgánicas, o por una nutrición fagotrófica caracteriza por una alimentación directa de las células microbianas u otras partículas (Lousier, 1974)

Los protozoarios se encuentran en gran abundancia cerca de la superficie del suelo, particularmente arriba de los 15 cm, son escasos en el subsuelo aunque se pueden obtener ocasionalmente aislamientos de profundidades de un metro o más. La población es más densa donde son numerosas las bacterias, se puede dar una explicación similar a la mayor cantidad de protozoarios en las parcelas abonadas más que en las parcelas no abonadas; la aplicación de materia orgánica permite el desarrollo de una microflora más grande, la cual sirve como nutriente para los micropredadores. Junto con el efecto benéfico de fertilizar, está el resultado de una estimulación microbiológica directa producida por un sistema radicular extenso desarrollado como consecuencia del *status* de fertilidad mejorado.

Alexander (1980), reporta que el nivel de humedad tiene importancia cualitativa y cuantitativamente, frecuentemente se ha establecido y con justificación que el contenido de agua del ambiente es una limitación principal para la proliferación de protozoarios. Un suministro adecuado de agua es esencial para la actividad fisiológica y movimiento lateral o vertical, los flagelados son tolerantes a poca

humedad y pueden desarrollarse en condiciones secas más que otro tipo de microfauna; los ciliados son abundantes solo si el nivel de humedad es alta, cuando el suministro de agua es muy bajo para los procesos vitales, los protozoarios se enquistan y permanecen en esa forma hasta que el medio ambiente empieza a ser más adecuado para su crecimiento, apareciendo nuevamente en esa época dos trofozoitos.

Existen pocos estudios con respecto a la influencia de la aireación, concentración de hidrogeno y temperatura en los protozoarios. El metabolismo aeróbico es la regla general para estos organismos, pero algunas especies crecen a bajas presiones parciales de O_2 o en completa anaerobiosis.

La mayoría de los protozoarios presentan una marcada sensibilidad al pH siempre se puede establecer un óptimo. En cultivos puros, algunas especies proliferaran a un pH de 3.5 y otras en valores arriba de 9 (Gallego, 2006).

La temperatura es otra determinante ecológica importante, los ambientes frescos y húmedos son los más favorables, mientras que un calor excesivo es dañino. La influencia de humedad, aireación, pH y temperatura son complejas y no pueden explicarse totalmente en base al suministro de células bacterianas (Alexander, 1980).

A pesar de la ubicuidad y abundancia de los protozoarios, se sabe poco de su función en el suelo; la falta de conocimiento es problemática, su gran número y gran talla indican que estos organismos deben de ser miembros importantes de la comunidad microscópica. El papel principal postulado para estos organismos se basa en sus hábitos alimenticios enriquecidos: regula el tamaño de la comunidad bacteriana (Sandon, 1927), ello es importante en la ecología microbiana.

Otro papel que pueden desempañar estos microorganismos es permitir la coexistencia de bacterias competidoras en un suelo en el cual si no estuvieran presentes una de las especies de bacterias eliminaría a su cercana. Existe evidencia de que los protozoarios estimulan ciertas transformaciones bacterianas, tales como la utilización de N_2 o la degradación de materiales orgánicos que

contienen fósforo, no es claro si tales acrecentamientos toman lugar en el suelo mismo o cual es el mecanismo de estimulación (Cavalier *et al.*, 1993).

2.7.5 Algas verdes o Cromista

Las características comunes de los cromistas son las siguientes: (a) son eucariotas (presentan un núcleo celular); (b) tienen cloroplastos asociados al retículo endoplasmático; y (c) disponen de uno o más flagelos. Un cromista debe reunir una o las dos últimas características. Las algas son organismos fotosintetizadores que fabrican oxígeno, disponen de clorofilas similares a las plantas y otros pigmentos fotosintéticos. Su tamaño resulta extremadamente variable, desde las algas marinas, que forman filamentos de 40 metros de longitud, a las especies microscópicas que viven en el suelo. Por ejemplo: Chlorella tiene un diámetro de 2 a 3 mm. Las algas son plantas comunes y extendidas (Tortora *et al.*, 2007).

En el transcurso del tiempo geológico, las algas fueron importantes debido a que causaron un cambio geoquímico sustancial en la tierra. El oxígeno que produjeron durante la fotosíntesis transformó la atmósfera del planeta, enriqueciendo su contenido de oxígeno. Las algas contribuyeron a la eliminación del dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera mediante la formación de CaCO₃ y la generación de materia orgánica durante la fotosíntesis (Alexander, 1980).

Las algas cumplen una importante función como colonizadoras de ecosistemas desérticos, cálidos y fríos, allí donde las plantas tienen dificultades para sobrevivir; estos organismos se asocian a los hongos para formar organismos complejos denominados líquenes. Estos contribuyen a la mejora biológica de los silicatos mediante la excreción de ácidos orgánicos; se sitúan casi al comienzo de la cadena alimenticia, son consumidas por los protozoos, los nematodos, los ácaros y las lombrices de tierra. Por consecuencia los pesticidas y los insecticidas pueden estimular el florecimiento de las algas al eliminar los insectos y la Microfauna depredadora (Metting *et al.*, 1988).

Existen tres grupos principales de algas:

- 1. Algas verdes (clorófitas)
- 2. Diatomeas
- 3. Algas verde amarillentas (xantófitas)

Algas verdes. Según Campbell (2007), las algas verdes contienen clorofila a y b, disponen de una pared de celulosa que contiene otros polisacáridos como el ácido algínico. Pueden ser unicelulares, formar colonias de múltiples células, o bien formar largos filamentos de células como cuentas de un collar. La reproducción sexual se realiza por fusión y la asexual por división (fisión), formación de zoosporas o fragmentación. Las algas verdes almacenan sus productos fotosintéticos en forma de almidón, similar a lo que ocurre con plantas más complejas. Este último detalle constituye una de las mayores diferencias entre las algas verdes, que pueden considerarse plantas, y las diatomeas o las algas verdeamarillentas, que cabe clasificar en el reino de los cromistas. Los organismos fotosintetizadores del grupo cromista no almacenan almidón.

Diatomeas. Las diatomeas contienen pigmentos fotosintéticos como las clorofilas, los carotenos y los xantófilos, su aspecto es en general, de color marrón debido a que las clorofilas son enmascaradas por los demás pigmentos; el producto de la fotosíntesis es almacenado en forma de aceite (Coyne, 2000). Las diatomeas son unicelulares, se reproducen sexualmente por fusión y asexualmente por fisión y formación de zoosporas. Las diatomeas son organismos interesantes debido a su particular estructura y reproducción, no necesariamente por que afecten significativamente a las propiedades del suelo o a la productividad. Tienen un exoesqueleto de sílice y pectina que resiste la degradación. Cuando las diatomeas mueren, las paredes celulares permanecen relativamente intactas y pueden acumularse con el tiempo. El suelo diatomáceo es rico en estas huecas paredes celulares. La mayor parte de los depósitos de tierras diatomáceas resulta de la elevación de antiguos lechos marinos sobre los cuales se acumularon diatomeas (Baglione, 2011), son útiles en el manejo de plagas del suelo.

La tierra diatomácea presenta utilidad como material de filtración, aislante y agente pulimentador, se usa también como insecticida no químico. Las paredes celulares

de sílice son duras, más que los exoesqueletos de los insectos, cuando la tierra diatomácea es vertida alrededor de las plantas y los insectos se acercan a éstas, las paredes celulares de sílice cortan el exoesqueleto y exponen los fluidos internos de los insectos a las bacterias (Coyne 2000).

La pared celular de las diatomeas se conoce como frústulo, está compuesta por dos mitades, llamadas válvulas, plegadas una sobre otra; cuando las diatomeas se reproducen, se dividen y sintetizan dos nuevas válvulas que encajan dentro de las válvulas existentes.

La diatomea es un organismo diploide (por que presenta dos conjuntos de cromosomas, al igual que la especie humana), experimenta una división meiótica para formar núcleos haploides (con un conjunto de cromosomas, al igual que ocurre con los óvulos y los espermatozoides, nuestras células reproductivas, que son haploides). La pared celular es mudada y los núcleos haploides de las mismas u otras diatomeas se funden (recuperando su estructura diploide), aumentan de tamaño y reconstituyen la pared celular (Dodd, 1977)

Algas verde-amarillentas. Las algas verde-amarillentas contienen xantófilos, carotenos y clorofila. Tienen una pared celular formada por pectina, si bien algunas contienen sílice. Estas algas se encuentras como organismos unicelulares o formando filamentos. Se reproducen por fusión, por fisión, mediante la formación de zoosporas o simplemente por fragmentación. Las algas verde-amarillentas almacenan el producto de la fotosíntesis en forma de aceite (Coyne, 2000).

Las poblaciones de algas varían, dependiendo del tipo de suelo; en suelos templados, las algas verdes son más numerosas que las diatomeas, las cuales a su vez son más numerosas que las algas verde-amarillentas. Las algas verdes son predominantes en suelos ácidos, mientras que las diatomeas crecen mejor en suelos neutros.

Las algas se encuentran en las capas superiores del suelo provistas de agua y luz, asimismo, pueden ser endolíticas (encontrándose dentro de las rocas). Las que habitan en las profundidades del suelo llegan hasta él al ser transportadas por el

agua o por las excavaciones de los organismos, permaneciendo allí, en estado de reposo, hasta que regresan a la superficie (Alexander, 1980).

La temperatura es un factor determinante: las algas pierden actividad durante el invierno, existen ciertas algas que prefieren frio y proliferan a temperaturas cercanas a los 2°C. El agua es otro factor regulador, de hecho, las algas florecen después de la lluvia. La sal es otro factor importante, las algas pueden adaptarse a los ambientes con elevado contenido de sal mediante el bombeo de iones de (Na⁺) extraídos de la célula y el bombeo de iones de potasio (K⁺) al interior de ésta. El potasio es mucho menos dañino para las algas, proporcionándoles un equilibrio osmótico, ayudando a las células a retener agua en ambientes salinos. Las algas verdes pueden convertir el almidón en glicerol (hasta un 30% del peso seco de las algas); el glicerol es un soluto no iónico hidrosoluble. Los herbicidas también reducen las poblaciones de algas en el suelo; la respuesta de las algas de la capa superficial del agua a la limitación de nutrientes, particularmente el fósforo, es uno de los factores que conducen a la eutroficación de estos ambientes (Coyne, 2000).

2.8 Relieve

El relieve como factor formador de suelos, influye sobre la profundidad del *solum*, erosión, color, pH y en general sobre los procesos formativos, especialmente en cuanto a las adiciones, pérdidas y translocación de materiales en el perfil. De acuerdo con Ortiz (1973), este factor modifica el desarrollo del perfil del suelo de tres maneras: (1) por efecto del volumen de precipitación absorbida y retenida en el suelo, que afecta las relaciones de humedad; (2) por efecto de la remoción del suelo debido a la erosiona; y (3) por el movimiento de los materiales en suspensión de un área a otra.

El relieve de una región cambia permanentemente, está condicionado por los materiales geológicos, las condiciones climáticas y la vegetación. El estudio de las causas, de los resultados y del cambio en sí, es una ciencia completa denominada geomorfología (Porta, 2003).

La erosión asociada al relieve de una zona se opone al alcance del clímax pedológico, modifica al suelo constantemente mediante la pérdida de los materiales provenientes de su alteración. La pendiente afecta la evolución y morfología del suelo por influir en las pérdidas de materiales o su translocación oblicua dentro de la masa del suelo. La acción de este factor influye también sobre la acumulación de materia orgánica y los fenómenos asociados con la presencia del nivel freático (Morgan, 2005).

La salinidad es otro efecto relacionado con la acción del relieve sobre la evolución del suelo. En áreas en donde la evapotranspiración es mayor que la precipitación o en zonas en donde el nivel freático se presenta cerca de la superficie ocurre el ascenso de sales solubles, mediante acción capilar, que se depositan en la superficie cuando el agua se evapora (Flores et al., 1996).

De acuerdo a la información del INEGI (2004), el estado de Oaxaca se divide en cinco Provincias Fisiográficas; el área de estudio se encuentra ubicada dentro de la provincia Sierra Madre del sur, ocupando las subprovincias Costa del Sur y Cordillera costera del sur. La Sierra Madre del Sur En Oaxaca abarca parte de los Distritos de Jamiltepec, Juquila, Miahuatlán, Pochutla, Yautepec y Tehuantepec; colinda al norte con las subprovincias cordillera costeras del sur y Sierras Orientales, al este con la discontinuidad fisiográfica llanuras del Istmo y al sur con el Océano Pacífico. La zona está conformada por sierras, lomeríos y llanuras; las primeras se localizan a lo largo del límite norte de la subprovincia, se aproximan al litoral cerca de San Pedro Pochutla y Salina Cruz. Las llanuras se encuentran a lo largo de la franja costera. Las sierras bajas forman unidades pequeñas entre la sierra baja compleja. Tal es el caso de las proximidades de Santa María Huatulco y al este de San Miguel del Puerto. Las llanuras costeras con lomeríos, se encuentran ubicadas al sur de Santa María Colotepec y San Pedro Pochutla. La llanura costera de piso rocoso o cementado con lomeríos se encuentran alrededor de San Pedro Mixtepec (INEGI, 2004)

El relieve como factor de formación del suelo se relaciona con algunos otros factores, pueden generar un microclima de acuerdo con las caracyeristicas del

relieve, puede influir sobre la parte viva del suelo y consecuentemente sobre el tiempo de formación de suelo a causa de los factores anteriores que se generan a partir del relieve, también puede incrementar el escurrimiento y acelerar el proceso. En el Cuadro 3, reporta los efectos que tienen las laderas en la formación de suelos.

Cuadro 3. Efecto de las laderas en la formación de suelos.

Características de ladera	Efecto sobre el suelo						
	Radiación recibida						
Inclinación	Velocidad de escorrentía						
Inclinación	Erosión						
	Depósito de minerales						
Longitud	Escorrentía						
Lorigitad	Erosión						
	Efecto Solana-Umbría (sobra)						
	Temperatura del suelo						
	Exposición a la lluvia						
Orientación	Humedad en el suelo						
	Vegetación, Infiltración, escorrentía						
	Erosión						
	Contenido de materia orgánica y espesor del horizonte A						
	Morfología del perfil						
	Erosión, depósito						
	Características de los materiales depositados						
Posición	Condiciones de drenaje						
	Profundidad capa freática: estacionalidad						
	Morfología del suelo						
	Profundidad del suelo						
	Contenido de sales solubles						

Fuente: Porta, 2003.

En diferentes regiones geográficas se ha descubierto que algunas propiedades de los suelo se relación con el relieve. Por ejemplo: (1) profundidad del suelo; (2) espesor del horizonte A y contenido de materia orgánica; (3) reacción del suelo → pH; (4) contenido de sales solubles; (5) tipo y grado de desarrollo de agregados; (6) temperatura; y (7) tipo inicial material inicial (Boul *et al., 1973*).

El relieve influye en la distribución de las fuerzas climáticas y los agentes de los materiales del suelo. Las variación de aspecto y elevación influyen en las distribución de la energía, el agua pluvial, los nutrientes de las plantas u la vegetación, mediante (a) condiciones variables de actividades orgánicas, como la exposición directa de la flora y la fauna del suelo a los rayos directos del sol, la mezcla de materiales minerales del suelo y materias orgánicas por los animales; (b) la exposición del suelo al viento; (c) la exposición del suelo a las precipitaciones, incluyendo nevadas y ventiscas; (d) las condiciones de drenaje natural, incluyendo la profundidad del nivel freático; (e) las condiciones de corrientes de agua y erosión; y (f) las condiciones para la acumulación y retiro de depósitos por el viento (Boul *et al.*, 1973).

2.8.1 Subprovincia Costa del Sur

En Oaxaca abarca parte de los Distritos de Jamiltepec, Juquila, Miahuatlán, Pochutla, Yautepec y Tehuantepec; colinda al norte con las subprovincias cordillera costeras del sur y Sierras Orientales, al este con la discontinuidad fisiográfica llanuras del Istmo y al sur con el Océano Pacífico. La zona está conformada por sierras, lomeríos y llanuras; las primeras se localizan a lo largo del límite norte de la subprovincia, se aproximan al litoral cerca de San Pedro Pochutla y Salina Cruz. Las llanuras se encuentran a lo largo de la franja costera. Las sierras bajas forman unidades pequeñas entre la sierra baja compleja. Tal es el caso de las proximidades de Santa María Huatulco y al este de San Miguel del Puerto. Las llanuras costeras con lomeríos, se encuentran ubicadas al sur de Santa María Colotepec y San Pedro Pochutla. La llanura costera de piso rocoso o cementado con lomeríos se encuentran alrededor de San Pedro Mixtepec (INEGI, 2004)

2.8.2 Subprovincia Cordillera Costera del Sur

La complejidad de esta sierra escarpada se extiende de oeste-noroeste y estesureste, cuyo pie queda próximo al Océano Pacífico. Muchas corrientes cortas bajan sobre sus laderas sur. Presenta en varios puntos alturas excedentes a los 2,000 msnm con un máximo de 3600 msnm. Los sistemas pertenecientes a la subprovincia ubicada en Oaxaca son sierras altas complejas, sierras de cumbres tendidas, sierras bajas y lomeríos y valles intermontanos.

2.9 Tiempo

El tiempo es una dimensión que con la del espacio hace posible la presencia y ubicación de cualquier fenómeno. El tiempo geológicamente considerado, ha sido estudiado en eras, periodos y épocas, como se muestra en la Cuadro 4.

Cuadro 4. Tiempo geológico.

Tiempo	Era	Periodo	Época	Condiciones geológicas /climáticas				
Hace 10 000 años hasta la fecha		Cuaternario	Holoceno	Fin de la última glaciación; clima más cálido; nivel del mar más alto a medida que se fundían los glaciares.				
2			Pleistoceno	Múltiples glaciaciones: glaciares en el hemisferio norte				
5	Cenozoica	Terciario	Plioceno	Levantamiento y formación de montañas; volcanes, clima mucho más frío; se unen Norteamérica y Sudamérica en el Istmo de Panamá.				
25			Mioceno	Formación de montañas, clima más seco y más frío.				
38			Oligoceno	Ascenso de los Alpes e Himalayas; la mayor parte de las tierras son bajas; actividad volcánica en las montañas Rocosas; clima frío y seco.				
55			Eoceno	Clima más cálido.				
65			Paleoceno	Desaparecen los mares continentales; clima templado a frío y húmedo.				
144		Cretácico Jurásico Triásico		Se separan los continentes; la mayor parte de los continentes son tierras bajas; grandes mares interiores y pantanosos; clima cálido.				
213	Mesozoica			Los continentes son tierras bajas; mares interiores; formación de montañas; comienza la deriva continental; clima templado.				
248				Se forman muchas montañas; grandes desiertos; clima cálido y seco.				
286		Pérmico		Glaciares; se elevan los continentes y se unen en Pangea; clima variable.				
360		Carbo	Carbonífero Tierras bajas y pantanosas; clima cáli húmedo; enfriamiento posterior.					
408	Paleozoica	Devónico		Glaciares; mares interiores.				
438		Silúrico		La mayor parte de los continentes están cubiertos por mares; clima cálido.				
505		Ordovícico		El mar cubre la mayor parte de los continentes.				
570		Cámbrico		Rocas más antiguas con abundantes fósiles; tierras bajas; clima templado y húmedo.				

Fuente: Berg, 2011.

Desde el punto de vista pedológico, el periodo Cuaternario es el más importante; se presentan pocos suelos sobre materiales más antiguos al Terciario. Al estudiar el tiempo como factor de formación del suelo, debe tenerse en cuenta que los procesos pedogenéticos que actúan en la actualidad lo hicieron también en el pasado dando origen a la morfología del medio como una síntesis integrada de la acción de dichos procesos a través del tiempo y del espacio. De estos conceptos se deduce que la Paleopedología, en muchos casos representa la única manera de entender el suelo en su morfología actual. Durante el Cuaternario se ha presentado una serie de eventos de importancia fundamental en la superficie de la tierra, eventos que influyeron decisivamente en la dinámica de formación del suelo, con el aporte de materiales mediante erosión y con su transporte y depositación bajo la acción de condiciones climáticas (Malagon, 1975).

De acuerdo con el tiempo de origen de las rocas dominantes que son gneis en la Sierra Madre del Sur, la época de formación fue en el Mesozoico el cual sucedió hace 230 millones de años, aunque el gneis como el material de origen no es estrictamente necesario, pues también es posible encontrar algunos otros materiales como lo son de características sedimentarias (Lett y Judson, 1968).

2.10 Procesos de formación del suelo

El punto de partida en la formación del suelo lo constituyen las rocas situadas en la superficie terrestre (en su mayoría rocas ígneas y sedimentarias), las cuales con el tiempo y a través de un conjunto de procesos que se engloban en el concepto meteorización, son desintegradas y alteradas por la acción de diversos agentes de naturaleza física, química y biológica (Navarro, 2003).

2.10.1 Procesos químicos

Entre los principales procesos químicos se incluyen: la hidratación, hidrolisis, la solución, la formación de arcillas, la oxidación y la reducción.

(1) *Hidratación.* Es el proceso mediante el cual las sustancias absorben agua. Durante las primeras etapas de meteorización, pocos minerales primarios son hidratables. La excepción más importante es la biotita, que absorbe agua

entre sus capas, se expande y finalmente se separa. La hidratación es un proceso secundario que afecta a los productos de la descomposición, como los óxidos de hierro y aluminio (Ortiz, 1980). Ejemplo:

Sulfato de Calcio + Agua → Sulfato de Calcio Hidratado

$$Fe_2O_3 + nH_2O \rightarrow Fe_2O_3.nH_2O$$

Oxido Férrico + Agua → Oxido Férrico Hidratado

(2) Hidrólisis. Es probablemente, el proceso más importante, participa en la transformación de los minerales y en la formación del suelo. Además, actúa en la sustitución de los cationes de calcio, sodio y potasio presentes en la estructura de los silicatos primarios, por iones de hidrogeno presentes en la solución del suelo; lo anterior conduce, en algunas ocasiones, a la descomposición completa de los minerales. Los productos de la hidrolisis, como el calcio, se encuentran entonces disponibles para que las plantas los absorban y sean removidos por el flujo del agua que fluye a través del suelo o se precipiten fuera de la solución (FitzPatrick, 1996). Ejemplo.

Ortoclasa + Agua →Ortoclasa + Hidróxido de potasio

(3) Oxidación y Reducción. Es conveniente considerar juntos estos dos procesos, debido a que uno es el inverso del otro. El hierro es la sustancia más afectada por estos procesos, constituye uno de los pocos elementos que por lo general se encuentra en estado de reducción en los minerales primarios. En consecuencia, cuando se libera por hidrolisis y entra a una atmósfera aeróbica, se oxida rápidamente, pasa al estado férrico (Fe⁺³) y se precipita como un hidróxido de color amarillo o café. En cambio, si el hierro se libera a un ambiente anaeróbico, permanece en su estado ferroso (Fe⁺²). Los suelos que contienen hierro varían en color, cambiando de azul a gris, a verde olivo o negro,

dependiendo precisamente del compuesto formado; la vivianita o fosfato ferroso, produce coloraciones azules, en tanto que los colores negros indican sulfuros, que se forman en pantanos y estuarios. A menudo la formación de horizontes por reducción parcial o completa se denomina gleización (FitzPatrick, 1996).

También ocurre oxidación y reducción biológica. El ocre, algunas veces depositado en drenajes y dentro de corrientes lentas y poco profundas, es un ejemplo de oxidación microbiológica producida por el hierro.

En condiciones anaeróbicas el nitrógeno en forma de amoniaco o nitrato es reducida de N_2O o N_2 y se pierde en la atmósfera. Esto puede ser significativo en algunos suelos dando lugar al uso ineficiente de fertilizantes (FitzPatrick, 1996).

En el caso de la oxidación, el O₂ es un elemento activo, se combina libremente con muchos otros elementos. Este es un proceso común de intemperización. Una considerable cantidad de Fe en lo minerales primarios está en forma reducida o ferrosa. Una de las reacciones que más difícilmente ocurren en la intemperización es la oxidación del Fe al estado férrico.

$$4\text{FeO+O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3$$

Oxido ferroso → óxido férrico (hematita)

El S es igual y fácilmente oxidado en los suelos para formar H₂SO₄. En algunos suelos no muy comunes, altos en FeS, esta reacción de oxidación causa condiciones fuertemente ácidas que las plantas mueren (Ortiz, 1980).

La reducción es un proceso opuesto a la oxidación, se produce cuando el oxígeno, un aceptor común de electrones en el suelo está en cantidades limitadas. En suelos pantanosos el Fe férrico puede aceptar un electrón y ser biológicamente reducido; al mismo tiempo que el C puede ser anaeróbicamente oxidado.

$$2Fe_2O_3+O_2 \rightarrow 4FeO$$

Hematita→óxido ferroso

Este proceso es activo a mayor profundidad de la corteza terrestre en condiciones de drenaje deficiente, donde el agua ocupa el espacio poroso del suelo, en el interior de grupos compactos de partículas muy finas de suelo, donde el aire penetra muy lentamente, donde el suelo tenga una aeración deficiente. La evolución del CO₂ de la Materia Orgánica que se descompone rápidamente puede reducir el abastecimiento de O₂ y producir una reducción (Ortiz, 1980).

(4) Carbonatación. En la descomposición de la materia orgánica en el suelo y la respiración de la materia orgánica, las plantas liberan grandes cantidades de CO₂ a la atmósfera del suelo. Este gas fácilmente se combina con gases produciendo carbonatos y bicarbonatos. Por ejemplo. El Ca (OH)₂ y KOH liberado por la reacción de hidrolisis fácilmente se combinan con el CO₂ como sigue:

Ca
$$(OH)_2+2CO_2 \rightarrow Ca (HCO_3)_2$$

Hidróxido de Calcio + Dióxido de Carbono → Bicarbonato Cálcico

2KOH +
$$CO_2 \rightarrow K_2CO_3 + H_2O$$

Hidróxido de Potasio + Dióxido de Carbono → Carbonato Potásico

Este proceso es uno de los más efectivos en descomponer los minerales del suelo. Debido a que los bicarbonatos de calcio y magnesio son moderadamente solubles, la solución es el primer proceso en la intemperización de la caliza. Los suelos formados bajo esta influencia están compuestos principalmente de residuos insolubles. El aire del suelo contiene aproximadamente 10 veces más CO₂ que el aire atmosférico. Posteriormente la película de agua inmediata a la superficie de las partículas finas del suelo está altamente cargada con este gas. Con esta asociación de O₂, H₂O y CO₂ en contacto con las partículas minerales no pueden esperarse que cada una de esas sustancias actúe independientemente sobre los minerales del suelo. Por otra parte la oxidación, hidratación y carbonatación usualmente actúan en conjunto o en estrecha asociación, las acciones individuales no son fácilmente observables (Ortiz, 1980).

(5) Solución. Solo algunas de las sustancias presentes en el suelo son solubles en agua o en solución de ácido carbónico. Los nitratos, cloruros y fosfatos son solubles en agua, pero únicamente en la zonas áridas se presentan en cantidades significativas. La calcita y dolomita son menos solubles en agua, pero se encuentran distribuidas más ampliamente, son los principales constituyentes de la roca caliza, del yeso y de algunos materiales originales muy característicos por ser casi totalmente solubles en ácido carbónico, por lo que después de la solución quedan pocos residuos. En consecuencia, los suelos que se forman de estos materiales, son por lo regular delgados (FitzPatrick, 1996).

Este proceso también es una fuerza química de la descomposición mineral, pero debido a que el agua pura es un solvente débil para la mayoría de los minerales del suelo la solución llega a manifestarse a través de una solución conjunta del CO₂ y el H₂O o por el agua que contiene trazas de ácidos minerales y orgánicos o por soluciones salinas. Los principales ácidos minerales desarrollados en el suelo a través de agentes químicos y biológicos son: HNO₂, HNO₃, H₂SO₄ y H₂SO₃. Comúnmente estos ácidos ocurren solamente en trazas, pero su formación continua en últimos casos, produce una considerable descomposición de minerales. La actividad de organismos del suelo tales como bacterias y hongos produce CO₂ y compuestos orgánicos complejos de naturaleza ácida. Esto ayuda en el proceso de solución. Las soluciones de sales tienen gran acción solvente para los minerales en comparación con el agua pura, por ello que en algunas áreas donde las sales son abundantes el proceso de solución puede ser acelerado (Ortiz, 1980).

$$NaCl + H2O <==> Cl^{-} + Na^{+} + H2O$$

Cloruro de Sodio + Agua → Ion Cloro (Cl⁻) + Catión Sodio (Na⁺) + Agua

2.10.2 Procesos Físicos

Los principales procesos físicos en la meteorización son: agregación, translocación, congelamiento y deshielo, expansión y contracción, erosión y acción de plantas, animales y del hombre.

Agregación. Es el proceso mediante el cual las partículas se agrupan o se unen, dan lugar a unidades discretas y características (FitzPatrick, 1996).

Translocación. Muchos procesos relacionados con la formación de suelos y con la diferenciación con los horizontes están relacionados principalmente con el movimiento, la reorganización y redistribución del material de los dos primeros metros, de la corteza terrestre.

El agua en volúmenes grandes se filtra a través del suelo, al desplazarse hacia abajo acarrea el material disuelto, parte del cual puede ser transportado hacia un horizonte inferior o perderse con el agua de drenaje. En las tierras con pendientes parte de la humedad se desplaza lateralmente, enriquece con sustancias solubles los suelos de las partes más bajas. Algunas veces todo el suelo se satura con agua que se desplaza lateralmente y aparece acumulada en la superficie, esta condición se conoce como terraza de aluvión. Por lo general, mantiene una comunidad vegetal indicadora de un ambiente húmedo. Las partículas finas de los materiales coloidales a menudo se desplazan de un lugar a otro del sistema del suelo en suspensión. Tal vez la manifestación más evidente de este proceso es la remoción de partículas menores de 0.5µ (micras) de diámetro de los horizontes superiores de algunos suelos, que se depositan en una posición intermedia y forman revestimientos de arcilla. Esto puede causar variaciones mayores al 20% en el contenido de arcilla en los horizontes adyacentes.

Muchas especies de la mesofauna y algunos mamíferos pequeños intervienen en la redistribución de grandes cantidades de material dentro del suelo (FitzPatrick, 1996).

Congelamiento y deshielo. Estos procesos se presentan en grados diferentes en una extensa área de los suelos. Durante el descongelamiento se desarrollan diversas estructuras de hielo determinadas por diferentes factores. El hielo con forma de aguja se forma cerca de la superficie de la tierra y ocasiona el afloramiento de las rocas y la descomposición de los terrones grandes; por esto, conviene arar el terreno antes de que comience el invierno. Debajo de la

superficie, el congelamiento provoca la formación de lentejas de hielo, en las áreas polares el congelamiento y deshielo periódico provocan perturbaciones en el suelo y el desarrollo de patrones característicos, como polígonos de rocas y de lodo.

El congelamiento y deshielo también provocan la fragmentación de las rocas, lo cual conduce al desarrollo de extensas áreas de piedras con fragmentos angulares en las áreas polares ocasionan un alto grado de solifluxión. Este proceso también provoca rupturas en los basamentos de los edificios y la desalineación de las vías del ferrocarril (Ortiz, 1980).

Expansión y contracción. Estos procesos ocurren principalmente como resultado del humedecimiento y secado, son importantes en los suelos que contienen una proporción alta de arcilla con estructura reticular, como la montmorillonita. Se presentan, principalmente, en los suelos de climas cálidos, con estaciones húmedas y secas alternadas. La contracción, probablemente, es el proceso de mayor relevancia, origina grietas anchas y profundas que causan el estiramiento y rompimiento de las raíces de las plantas. Durante la expansión se desarrollan altas presiones dentro de los suelos, que provocan la ruptura y el deslizamiento de bloques y la formación de terrones con caras lisas, denominados slickensides. La expansión y contracción conducen a la formación de relieves micro topográficos conocidos con el nombre de gilgai. Asimismo pueden fracturar el cimiento de los edificios (Porta, 2003).

Erosión. Los sedimentos en suspensión acarreados por el agua ejercen una acción desgastante que hace a las partículas más finas. La erosión eólica actúa en forma similar (Ortiz, 1980).

Acción de plantas, de animales y del hombre. Las plantas crecen entre las rocas fragmentándolas. Los animales constantemente alteran las rocas y esa acción en las rocas suaves ayuda a su desintegración. El hombre en la labranza y cultivar la tierra produce una acción que resulta en fragmentos más finos de rocas y minerales (Navarro, 2003; Zeng *et al., 2012*).

2.10.3 Procesos biológicos

Los procesos biológicos más importantes que se desarrollan dentro del suelo son: (a) la descomposición de la materia orgánica o humificación; (b) las transformaciones del nitrógeno; y (c) desplazamiento del material de un lugar a otro (FitzPatrick, 1996).

Cuando se inicia la formación del suelo, la contribución de microorganismos muertos, particularmente algas, es importante para dar comienzo a los ciclos biogeoquímicos, especialmente el del nitrógeno.

Humificación. La descomposición de la materia orgánica o humificación, es un proceso complejo que involucra a diversos organismos: hongos, bacterias, actinomicetos, lombrices y termitas. Se ha demostrado que el proceso es lento en las agujas aciculares del pino, el material se descompone gradualmente, formando sustancias de color obscuro conocidas como humus. El proceso dura entre siete y diez años (Fitz Patrick, 1996).

De acuerdo con la FAO, la descomposición de la materia orgánica es un proceso biológico que ocurre naturalmente. Su velocidad es determinada por tres factores principales:

- ✓ La composición de los organismos del suelo.
- ✓ El entorno físico (oxígeno, humedad y temperatura).
- ✓ La calidad de la materia orgánica.

Los microorganismos, como las bacterias, y los invertebrados de gran tamaño como las lombrices de tierra y los insectos, ayudan a descomponer los residuos de los cultivos mediante su ingestión y mezcla con el mineral madre del suelo, en el proceso reciclan energía y nutrientes de las plantas.

De acuerdo con Navarro (2003), si las condiciones son apropiadas, todos los tejidos orgánicos que llegan al suelo en forma de restos de plantas y animales quedan sometidos inmediatamente a una transformación química y bioquímica. En estas transformaciones participan todos los organismos que viven en el suelo:

microorganismos, vegetales y animales; animales inferiores y superiores. Estos últimos cooperan activamente en los primeros momentos, mezclando aquellos materiales con las partículas inorgánicas del suelo, favoreciendo de esta forma su desintegración y transformación por los microorganismos que viven en él, especialmente bacterias y hongos.

Ortiz (2010), menciona que la materia orgánica suministra energía y nutrientes para todas las formas de vida en el suelo. La descomposición de la materia orgánica es en primer lugar un proceso biológico que implica a los organismos de suelo. Algunas actividades químicas, tales como hidrólisis, solución y cambios físicos, también ocurren. Las clases de organismos del suelo activo en el proceso de descomposición son gobernadas por la naturaleza química de los residuos orgánicos y condiciones del suelo. La descomposición de la materia orgánica continua hasta que llega a un estado constante al que se le llama humus.

El humus es la fracción activa de la materia orgánica del suelo; para los suelos agrícolas se define como la porción bien descompuesta y estabilizada. El humus de un suelo agrícola comprende a todo material orgánico en descomposición en el suelo, está compuesto de tres grupos de compuestos orgánicos: (a) lignina, la cual es resistente a la descomposición microbiana; (b) la proteínas que están protegidas por la lignina y arcilla; (c) los poliurónidos que son sintetizados por organismos del suelo.

Transformación del nitrógeno. El nitrógeno presente en suelos agrícolas procede de materiales diversos: restos de cultivos, abonos verdes, estiércol, fertilizantes comerciales y nitratos aportados por lluvias, así como por la fijación del nitrógeno atmosférico realizada por los bacterias fijadoras de nitrógeno (Navarro, 2003).

Los principales procesos que intervienen en la transformación del nitrógeno son: (a) amonificación; (b) nitrificación; (c) fijación. La amonificación es el proceso mediante el cual los compuestos nitrogenados de los tejidos de las plantas y de los animales se descomponen y producen amonio; mediante la nitrificación, se

convierte en nitrito y posteriormente en nitrato. En cada etapa intervienen microorganismos específicos (Fitz Patrick, 1996).

Gran parte del nitrógeno así incorporado al suelo sufre transformaciones antes de ser utilizado por los vegetales superiores. Las proteínas son degradadas, originando productos de descomposición más sencillos; finalmente, parte del nitrógeno aparece en forma de nitrato.

Las pérdidas se deben a la absorción del cultivo, a la erosión, lixiviación; volatilización en condición gaseosa, tanto en forma elemental como en forma de óxidos o de amoniaco. La dinámica del nitrógeno en el suelo está influenciada por tres procesos, cada uno de los cuales depende de un conjunto de secuencias íntimamente ligadas entre sí. La distribución de estos procesos puede sintetizarse en la forma siguiente:

1. Ganancias de nitrógeno por el suelo

- (a).- Fijación del nitrógeno atmosférico por microorganismos que viven libremente en el suelo.
- (b).- Fijación del nitrógeno atmosférico por *Rhizobium* u otras bacterias simbióticas.
- (c).- Aportes por el agua de lluvia y nieve.
- (d).- Aportaciones de nitrógeno en fertilizantes, estiércol y plantas verdes.

2. Transformaciones del nitrógeno en el suelo

- (a).- Amonificación o degradación bioquímica de las proteínas y otros compuestos complejos nitrogenados en aminoácidos y aminas.
- (b).- Amonificación o transformación bioquímica de los aminoácidos y aminas en amoniaco.
- (c).- Nitrificación u oxidación bioquímica del amoniaco a ácido nítrico.

(d).- Síntesis proteica de los microorganismos del suelo, a partir de los compuestos que se originan en el transcurso de los anteriores procesos.

Translocación. Es necesario enfatizar los procesos biológicos mediante los cuales se realiza la mezcla y translocación. La manifestación más evidente de este proceso la realizan los vertebrados que viven dentro del suelo, pero probablemente la mayor actividad corresponde a las lombrices y termitas. En conclusión, es necesario resaltar la enorme participación de la flora y la fauna del suelo en la conservación del equilibrio biológico de la naturaleza, sin ella los residuos de las plantas y los animales llegarían a formar grandes depósitos. Esto queda demostrado en la formación de turba, producto de la acumulación de la materia orgánica bajo condiciones anaeróbicas no favorables para los organismos encargados de la descomposición de este material (Fitz Patrick, 1996).

2.11 Calcio

El elemento químico calcio, con las características mostradas en el Cuadro 5, es el quinto elemento más abundante en la corteza terrestre. Su concentración es de 36.4 g/kg, lo cual es mayor que la concentración de la mayoría de los nutrimentos de las plantas superiores (Mengel y Kirkby, 2001)

El metal es trimorfo, más duro que el sodio, pero más blando que el aluminio. Al igual que el berilio y el aluminio, pero a diferencia de los metales alcalinos, no causa quemaduras sobre la piel, es menos reactivo químicamente que los metales alcalinos y que los otros metales alcalinotérreos. La distribución del calcio es muy amplia; se encuentra en casi todas las áreas terrestres del mundo. Este elemento es esencial para la vida de las plantas y animales, ya que está presente en el esqueleto de los animales, en los dientes, en la cáscara de los huevos, en el coral y el suelo. En el suelo se encuentra en varios minerales primarios, tales como los feldespatos y los anfíboles, los fosfatos de calcio (apatita) y los carbonatos de calcio (calcita) (Mengel y Kirkby, 2001)

Cuadro 5. Características generales, atómicas y físicas.

Nombre	Calcio				
Número atómico	20				
Valencia	2				
Estado de oxidación	+2				
Electronegatividad	1,0				
Radio covalente (Å)	1,74				
Radio iónico (Å)	0,99				
Radio atómico (Å)	1,97				
Configuración electronica	[Ar]4s ²				
Primer potecial de ionización (eV)	6,15				
Masa atómica (g/mol)	40,08				
Densidad (g/ml)	1,55				
Punto de ebullición (°C)	1440				
Punto de Fusion (°C)	838				
Descubridor	Sir Humphrey Davy (1808)				

Fuente: http://www.lenntech.es/periodica/elementos/ca.htm

La dinámica de las distintas formas de calcio en el suelo y su conexión con los procesos que se presentan en la naturaleza se muestran de forma esquemática en la Figura 3.

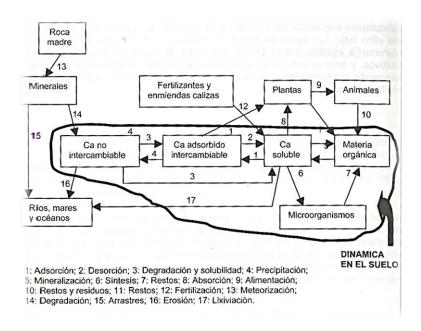


Figura 3.- Ciclo del calcio en la naturaleza (Navarro, 2003).

2.11.1 El calcio en el suelo

El calcio (Ca) es el catión más abundante en los suelos, raramente ha constituido un factor limitante para la producción de las cosechas; salvo en suelos ácidos con lluvias abundantes, donde resulta necesario el aporte de materiales cálcicos, principalmente carbonatos que eleven el pH (Cajuste, 1977; Núñez, 1964). Los contenidos de calcio en la corteza terrestre es de 3.6% (Mengel y Kirkby, 2001). El Ca²⁺ presente en el suelo, aparte del añadido como fertilizantes diversos, o como enmiendas, procede de las rocas y de los minerales de los que el suelo está formado, y su contenido total puede variar ampliamente.

Los compuestos que pueden señalarse como más importantes son los carbonatos: calcita (CO₃Ca) y dolomita (CO₃Ca•CO₃Mg), en segundo lugar los fosfatos: flúorapatita (3(PO₄)2Ca₃•F₂Ca), hidroxiapatita (3(PO₄)₂Ca₃•Ca(OH)₂), oxiapatita (3(PO₄)2Ca•CaO) y carbonato apatita (3(PO₄)₂Ca₃•CO₃Ca); y finalmente sulfato de calcio (SO₄Ca) y silicatos aluminicos diversos: feldespatos y anfíboles (Navarro 2003; Cajuste, 1977). El calcio se encuentra también en el suelo formando parte de la materia orgánica o combinada con los ácidos húmicos y fosfórica en los humatos y fosfohumatos cálcicos (Navarro, 2003). Por efecto de la meteorización, estos minerales van liberando calcio, que al ser solubilizado puede tener diversos destinos: pérdida por lixiviación, absorbido por los organismos del suelo, adsorbido por el complejo coloidal, o reprecipitado como compuestos cálcicos secundarios, sobre todo en suelos situados en zonas áridas. En estas regiones, su contenido generalmente alto, como consecuencia de una pluviometría débil y poca lixiviación. En la mayoría de ellos, el Ca²⁺ se halla presente en una cantidad máxima en el complejo de intercambio, y en sus distintos perfiles se aprecian depósitos importantes de carbonato o sulfato de calcio.

De acuerdo con Monge (1994), este elemento es el catión más abundante en el complejo de cambio del suelo, pero la proporción utilizable depende del grado de saturación. En numerosos suelos, el calcio fijado en el complejo coloidal y el unido a los compuestos húmicos son las formas naturales más abundantes. Incluso en suelos ácidos casi siempre existen cantidades suficientes para la adecuada

nutrición de las plantas cultivadas, sobre todo cuando las especies son poco exigentes. En general para regiones templadas, el calcio intercambiable es diez veces más abundante que el potasio cambiable.

La meteorización de los minerales primarios que contienen Ca²⁺ depende considerablemente de la formación de H⁺ en el suelo, los iones hidrogeno y probablemente también agentes quelantes, atacan al Ca²⁺ de las redes cristalinas de los minerales, provocando así la disolución del mineral y liberando al Ca²⁺ (Mengel y Kirkby, 2001). Es así que en los suelos tropicales altamente meteorizados, la concentración de Ca²⁺ puede alcanzar valores tan pequeños como 0.1%. Sin embargo, los suelos desarrollados sobre materiales primarios calcáreos pueden contener de 20% hasta 50% de Ca (Núñez, 1964).

El contenido de iones totales en la solución del suelo varía según el tipo del mismo pero, en la mayoría de los casos, del 60% al 80% del total de estos casos se encuentra como Ca²⁺, aunque las raíces aprovechan menos del 3% del calcio disponible, esta cantidad es suficiente para satisfacer las demandas, por ejemplo en los frutales (Barber *et al.*, 1963).

En los suelos ácidos, normalmente situados en zonas sometidas a una alta pluviometría, el movimiento de este elemento es más amplio. Se encuentra fundamentalmente adsorbido a los coloides en forma intercambiable y como minerales secundarios no descompuestos. Su contenido, sobre todo en suelos de textura gruesa, es pequeño, ya que al estar sometidos a un continuo y amplio lavado, el agua disuelve las bases solubles que se pierden por lixiviación en gran proporción. Junto a ello hay que añadir el calcio que es desplazado del complejo adsorbente por el hidrogeno y también el captado por las plantas; y aunque parte de estas pérdidas son compensadas por la meteorización de los minerales del suelo, el resultado en un plazo más o menos amplio es el empobrecimiento en el contenido del elemento. Incluso en aquellos suelos formados por rocas calizas, debido a las circunstancias expuestas, presentan normalmente en su capa superficial esta situación (Megel y Kirkby, 2001).

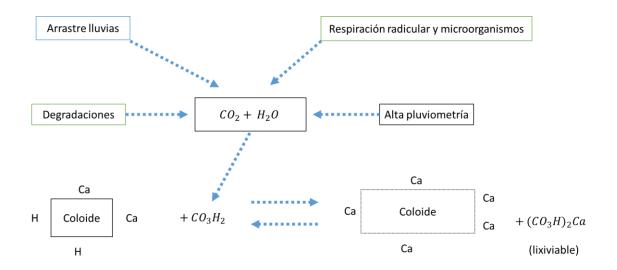


Figura 4.- Proceso de esquematizado sobre la lixiviación de calcio en el suelo (Navarro, 2003)

La aplicación periódica de cales agrícolas (carbonatos, óxidos o hidróxidos de calcio y magnesio) a estos suelos es la vía más conveniente para corregir los problemas de acidez.

Este empobrecimiento en calcio, que como es lógico repercute en la captación del elemento por la planta, está notablemente influenciado por el tipo de coloide predominante en el suelo, y por el porcentaje de calcio intercambiable que contenga.

De la Figura 4, se deduce que en la mayor parte de los suelos, las pérdidas de Ca2+ depende grandemente de la mayor o menor facilidad de liberación del calcio adsorbido. Al igual que cualquier otro catión, en este caso las formas intercambiables y en disolución se hallan en equilibrio dinámico:



Figura 5, Disolución de calcio en el suelo (Navarro, 2003).

Por lo tanto, si disminuye el contenido de calcio en la disolución, como puede ocurrir por lixiviación o consumo por la planta, parte del calcio adsorbido tiene a pasar a la disolución para restablecer el equilibrio.

Para que este desplazamiento se produzca, las arcillas 1:1 requieren un grado de saturación en calcio mucho menor que aquellas otras tipo 2:1. Las arcillas caoliniticas precisan tan solo una saturación del 40-50% para que el elemento sea fácilmente liberado, mientras que las montmorilloníticas requieren unas saturación del 70% o más para el mismo fin (Millaway y Wiersholm, 1979).

El calcio y magnesio constituyen la fracción importante del complejo de cambio catiónico, en tanto que los cationes monovalentes se encuentran en menor proporción. Entre estos últimos, el potasio está retenido más fuertemente que el sodio por lo que su lixiviado es escaso y por lo tanto su nivel, en los suelos regularmente fertilizados, es más elevado. Incluso a lo largo del tiempo, puede provocarse un enriquecimiento en potasio, con el consiguiente efecto antagónico sobre el aprovechamiento de calcio y de magnesio por parte de las raíces.

De acuerdo con los resultados obtenidos por Jackobsen (1993), el antagonismo potasio-calcio se hace particularmente evidente cuando, durante el crecimiento del fruto, el valor de la relación entre ambos nutrientes en el extracto acuoso del suelo (1:2) es superior a 10, los iones calcio, por otra parte, pueden reaccionar con los iones fosfato del suelo formando precipitados de distinta solubilidad (Jackobsen 1993):

Ca
$$(H_2PO_4)_2 + Ca^{++} \rightarrow 2CaHPO_4 + 2H^+$$

Fosfato monocálcico+ Calcio → Fosfato dicálcico + Hidrógeno

$$3CaHPO_4 + Ca^{++} \rightarrow Ca_4H (PO_4)_3 + 2H^+$$

Fosfato tricálcico + Calcio → Fosfato octocálcico + Hidrógeno

$$Ca_4H (PO_4)_3 + Ca^{++} \rightarrow Ca_4 (OH) (PO_4)_3 + 2H^+$$

Fosfato octocálcico +Calcio → Hidroxifosfato de calcio + Hidrógeno

Malagon (1975), indica que la dinámica de estos dos elementos es importante en suelos de zonas donde la precipitación no es muy alta y especialmente en climas áridos, semiáridos e incluso subhúmedos. Los suelos calcáreos, salinos y algunos llamados "magnésicos" o de relación Ca²⁺ y Mg²⁺ "invertida", están dominados por estos elementos. Algunas características de su dinámica en el suelo son:

- (a).- Calcio y magnesio. Generalmente están asociados con sulfatos y formas carbonatadas, bicarbonatadas, (o de sulfatos) sin embargo, pueden presentarse también los cloruros correspondientes. Dentro de estas formas, los bicarbonatos son los que generalmente determinan la movilidad en el medio, siendo considerados importantes factores de migración.
- **(b).- El pH.** Generalmente en suelos bajo influencia de CaCO₃, está asociado con la presión de CO₂ en el medio y los sistemas determinados (CO₃⁼, HCO₃⁻), dependen en gran escala de los factores que la afecten. Si la presión de CO₂ determina la concentración de CO₃⁼, HCO₃⁻ en el medio, la solubilidad del calcio está influenciada por la presencia de estos radicales en el suelo. El calcio en solución y la presión del CO₂, son los factores más importantes para controlar el pH en el medio.
- **(c).- Precipitación.** El CaCO₃ precipita a partir del (HCO₃)₂Ca, cuando hay descenso en la presión de CO₂ en el medio destruyéndose el equilibrio; a su vez, dicho descenso está en función de la temperatura, agitación del agua, presencia de plantas, otros.
- (d).- La forma de SO₄Ca. Ocasiona una mayor concentración de calcio en el sistema que la forma carbonatada, ya que para la primera se presenta una solubilidad de 6.4 *10⁻⁵ moles/l, mientras que el CO₃Ca alcanza sólo 0.87*10⁻⁸ moles/l.

Las rocas son un conjunto de minerales; conociéndolas, aprendiendo a molerlas y a solubilizarlas, se tendrá un poder muy fuerte: el de remineralizar y nutrir el suelo para conservay mejorar la fertilidad del mismo. La restauración y el rejuvenecimiento de los suelos por medio de la utilización de los polvos de piedras o harina de rocas es un procedimiento sano (Restrepo, 2009).

2.11.2 Funciones del Ca en las plantas

El Ca se absorbe en forma de catión Ca²⁺ divalente. En proporciones mucho menores, también es absorbido mediante un intercambio directo entre los pelos radiculares y el complejo coloidal al que se encuentra absorbido (Navarro, 2003; Marschner, P., 2012).

Una de las principales funciones del calcio en la planta es la de actuar formando parte de la estructura de la protopectina, como agente cementante para mantener las células unidas. La protopectina está localizada en la lámina media y en la pared celular, cuando se degrada se originan productos más simples principalmente pectato cálcicos insolubles (Kinzel, 1989; Reddy y Reddy, 2002; Blanco y Broadley de 2003; Hirschi, 2004; Epstein y Bloom, 2005). Esta función parece tener particular importancia, puesto que si el calcio se reemplazase por otros elementos esenciales, tales como potasio o magnesio, entonces los compuestos orgánicos y las sales minerales no se retendrían por las membranas en la forma más conveniente (Navarro, 2003).

El calcio es muy importante para el desarrollo de las raíces, en las cuales ejerce una triple función: (1) multiplicación celular, (2) crecimiento celular y (3) neutralización de los iones hidrogeno (Mengel y Kirkby, 2001). Muchos investigadores consideran que la alteración del sistema radicular es un síntoma común de la deficiencia de este elemento. Otras funciones atribuidas al calcio son: (a) regula la absorción de nitrógeno; (b) actúa sobre la traslocación de los hidratos de carbono y proteínas en el interior de la planta; (c) neutraliza los ácidos orgánicos que se pueden originar en el metabolismo vegetal, tal cual ocurre con el ácido oxálico; y (d) activa algunas enzimas como amilasa y fosfolipasa; regula la absorción o contrarresta los efectos perjudiciales debidos al exceso o acumulación de otros elementos como el potasio, sodio o magnesio (Salisbury, 2000). Y está demostrada la influencia favorable en la formación de nódulos en las leguminosas.

A diferencia de lo que sucede con el Mg, parece que el Ca²⁺ no puede cargarse en las células transportadoras de floema, el resultado es que los síntomas de deficiencia siempre son más remarcados en los tejidos jóvenes (Salisbury, 2000;

Mengel y Kirkby, 2001). Las zonas meristemáticas de las raíces, los tallos y las hojas, donde existen divisiones celulares, son las más susceptibles, quizás porque necesita calcio para que se forme una nueva laminilla media en la placa celular que aparece entre las células hijas; los tejidos retorcidos y deformados se producen por la deficiencia de calcio, por lo que las zonas meristemáticas suelen morir en estas etapas tempranas (Kirby y Pilbeam, 1984).

Recientemente el calcio está recibiendo mayor atención porque en la actualidad se reconoce que todos los organismos mantienen concentraciones inesperadamente bajas de Ca²⁺ libre en el citosol, habitualmente menores de 1µM (Hanson, 1984; Hepler y Wayne, 1985; Trewavas, 1986; Leonard y Hepler, 1990). Esto resulta cierto incluso cuando el calcio es tan abundante en muchas plantas, sobre todo leguminosas, como el fósforo, el azufre y el magnesio.

Una parte importante del calcio existe en el citosol se une de forma reversible a una pequeña proteína llamada calmodulina (Cheung, 1982; Roberts *et al.*, 1986). Esta unión modifica la estructura de la calmodulina activando varias enzimas. En la actualidad se está investigando intensamente la relación que tienen el calcio y la calmodulina con la actividad enzimática de las plantas (Roberts *et al.*, 1986; Allan y trwavas, 1987; Poovaiah y Reddy, 1987; Ferguson y Drobak, 1988; Gilroy *et al.*, 1987; Marmé, 1989). Salisbury (2000), reitera que es muy posible que el Ca²⁺ efectúe una función de activador enzimático, especialmente cuando el ión se encuentra unido a la calmodulina o a proteínas muy afines.

En opinión de Mengel y Kirkby (2001), el calcio aparece en tejidos vegetales, como Ca²⁺ libre y como Ca²⁺ absorbido a iones no difusibles como grupos carboxílicos, fosforílicos e hidroxifenólicos; también se presenta en forma de oxalatos, carbonatos y fosfatos de calcio, principalmente se encuentran como depósitos en las vacuolas celulares; la mayor parte del calcio presente en los tejidos vegetales está localizado en el apoplasto y en las vacuolas; la concentración en el citoplasma es baja.

La función más importante del calcio citoplasmático solo puede entenderse en relación a la calmodulina, un polipéptido cuyo papel universal se ha comprendido recientemente (Cheung, 1980). La calmodulina es ubicua en células animales y vegetales siendo una proteína esencial en las células eucarioticas; está compuesto por 148 aminoácidos, siendo estable al calor e insensible a los cambios de pH. Es capaz de unir cuatro iones de Ca²⁺ formando una estructura compacta por cambio de conformación y desplazando una sección hidrofóbica de la cadena de polipéptido. Esta parte hidrofóbica del complejo Ca-calmodulina puede ser adsorbido a proteínas enzimáticas y puede activar enzimas por inducción alostérica. En la Figura 6, se ilustra la estructura de la calmodulina dentro de las plantas.

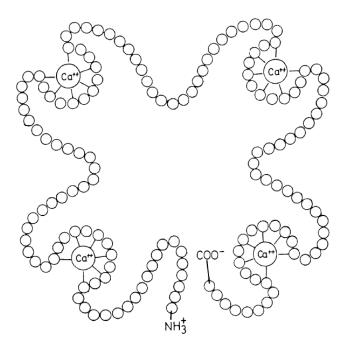


Figura 6.- Calmodulina, formada por una cadena polipeptidica compuesta por 148 aminoácidos, el cual el Ca²⁺ está unido en cuatro puntos (Mengel y Kirkby, 2001).

Algunas enzimas, como la nucleótido fosfodiesterasa cíclica, la adenilato ciclasa, la ATPasa de Ca²⁺ ligada a membranas, o la NAD-quinasa, se activan de esta forma.

Según Veleuthambi y Poovalah (1984) la calmodulina activa la fosforilación de las proteínas solubles unidas a las membranas. Como la Ca^{2+} -ATPasa provoca la extrusión activa de Ca^{2+} a través del plasmalema, cualquier aumento en la concentración de Ca^{2+} en el citoplasma para el Ca^{2+} entre el apoplasto y el citoplasma favorece el flujo entrante pasivo de Ca^{2+} en el apoplasto o la vacuola, o en ambos. Resultados de Mitsui *et al.* (1980) suponen evidencias de que la calmodulina participa en la síntesis de α -amilasa y en su secreción al escutelo de semillas de arroz.

Las concentraciones de calcio en las mitocondrias son mucho mayores que en el citoplasma. Marmé (1983) sugiere que las enzimas de las mitocondrias pueden ser activadas directamente por el Ca²⁺ sin la ayuda de la calmodulina. Una de las enzimas que aparece en la mitocondria es el glutamato deshidrogenasa que provoca la desanimación de los aminoácidos. (Cheung, 1980; Maemé, 1983; Klee *et al., 1980;* Dieter, 1984).

2.11.3 Demanda, absorción y translocación

El contenido de calcio en las plantas varía entre 0.1 y el 0.5% de su peso seco, dependiendo de la especie, del órgano y de las condiciones de crecimiento. Por otro lado los niveles de Ca²⁺ libre en el citoplasma y en los cloroplastos deben ser muy bajos para evitar la precipitación de fósforo inorgánico y la inactivación incontrolada de enzimas como la fosfolipasa y la NAD-quinasa (Dieter, 1984). Estos niveles de calcio celular se consiguen de las membranas plasmáticas que actuarían de barrera frente a la penetración de iones Ca²⁺, como consecuencia la concentración de este elemento en el citosol se realiza a través de la Calmodulina (Dieter, 1984), proteína de bajo peso molecular a la que se une el calcio de forma reversible con alta afinidad y selectividad.

La formación de oxalato cálcico en las vacuolas ayuda a mantener un nivel bajo del calcio libre en el citosol y en el cloroplasto, lo que permite la regulación de la presión osmótica.

A nivel celular, las plantas son genotípicamente diferentes en su demanda de calcio (absorción, transporte y partimentación). Esta se encuentra relacionada con la capacidad de cambio catiónico que presentan las paredes celulares, especialmente con la cantidad de grupos carboxílicos libres (ácido poligalacturónico). En general, las plantas dicotiledóneas presentan mayor capacidad de cambio catiónico y mayor demanda de calcio. Esta es una de las razones por las que la deficiencia de calcio se manifiesta casi exclusivamente en plantas dicotiledóneas. En los vegetales que producen gran cantidad de oxalato, la disponibilidad de calcio para otras funciones, especialmente para la estabilidad de las membranas, decrece considerablemente.

Para que los minerales del suelo sean absorbidos por las plantas deben en primer lugar, pasar de la solución del suelo al interior de las células de la raíz. El calcio absorbido atraviesa la epidermis, el parénquima cortical a través de los canales citoplasmáticos que conectan las células, la endodermis y el parénquima vascular, penetrando en los vasos leñosos del xilema.

Las raíces toman el calcio del suelo en forma iónica, y su absorción depende de factores exógenos y endógenos. Entre los primeros destacan los del suelo: contenido de agua, pH, grado de aireación, temperatura, concentración de Ca²⁺ y proporción de otros elementos. De los factores endógenos merecen señalarse los relacionados con la pared celular, respiración, fotosíntesis, transpiración y efectos específicos (antagonismo y/o sinergismo) de otros iones.

La absorción de calcio y su distribución por los distintos órganos se incrementa a medida que lo hace la tasa de transpiración. Por el contrario, la inhibición de esta transpiración disminuye la translocación de calcio, especialmente a los brotes apicales y a los frutos, aunque también puede hacerlo al resto de la planta (Armstrong y Kirkby, 1979).

Marschner, (1983), ha reportado que la movilidad del calcio es mucho mayor en la compartimentación extracelular de la planta, constituida por el apoplasto (conjunto de las paredes celulares, incluidas las células del xilema) que en la

compartimentación intracelular, el simplasto (comunidad de protoplastos vivos, incluidos los tubos del floema).

El transporte de calcio a las hojas parece estar más relacionado con la tasa de crecimiento de las raíces que con la de los brotes (Scaife y Clarkson, 1978). Por otra parte, el calcio tiende a reducir la permeabilidad de las raíces jóvenes, lo que provoca la expansión de éstas, también la de sus pelillos radiculares, lo que potencia una mayor y más eficaz exploración del suelo.

Los iones calcio y boro son transportados casi exclusivamente por los vasos del xilema, mientras que potasio, magnesio, compuestos nitrogenados y fosforados, son transportados principalmente por el floema. El análisis de las savias del floema y del xilema, han demostrado que la traslocación se produce principalmente a través de este último, en forma iónica o acomplejado con ácidos málico o cítrico (Vang-Petersen, 1980).

La concentración de calcio en el floema es muy baja, su traslocación muy lenta y no responde ni a niveles hormonales ni a un exceso de transpiración. Teniendo en cuenta la elevada concentración de fosfatos en la savia del floema y su pH (7-8), la solubilidad del Ca²+ en este fluido se ha calculado inferior a 0,5 mM (Goor y Wieresma, 1974), aunque su concentración puede también depender de la presencia de agentes acomplejantes. Las fluctuaciones en el estado hídrico de los distintos órganos de una planta están correlacionadas con la dinámica del transporte de calcio (Wiebe et al., 1977). Así, los órganos con amplia superficie (hojas frente a frutos) o los que están más directamente expuestos al medio ambiente (hojas exteriores frente a las interiores) reciben agua y calcio a través del xilema. Este abastecimiento hídrico está influenciado por la presión osmótica de la solución del suelo, así como por las condiciones que favorecen una alta tasa de transpiración; por lo tanto, el transporte de agua y calcio, vía xilema a hojas y frutos puede quedar temporal o permanentemente (caso de sustratos salinos) restringido (Ende et al., 1975).

La tasa de traslocación del calcio en el xilema viene regulada por el intercambio catiónico más que por el flujo hídrico, respondiendo a los distintos gradientes de humedad, así como a las diferentes concentraciones de nutrientes (principalmente nitrógeno). Sin embargo, este flujo no está correlacionado con la cantidad de calcio transportado (Marschner, 1983).

2.11.4 Necesidades de calcio en el cultivo de cafeto

De acuerdo con la literatura, el requerimiento por la cosecha de café varía según la especie. Así, en cuanto a nitrógeno, las especies *Coffea arabica* y *C. canephora* aparentemente tienen una exigencia similar; las especies *C.excelsa* y *C. liberica*, extraen menos (Castellanos, 2000). En cuanto a fósforo, *C. arabica* requiere, menos que las demás especies. El requerimiento de potasio aparece mayor en *C. arabica* y *C. liberica* y disminuye notablemente en las otras dos especies, especialmente en *C. excelsa*.

Mehlich (1965), reportó la composición mineral promedio del cafeto (*C. arabica*), indica que el cálculo aproximado del requerimiento de minerales por el arbusto completo puede ser obtenido utilizando los datos de crecimiento hallados por *Wormer* en plantas de café de tres años de edad. En el Cuadro 6 aparece la exigencia de elementos mayores derivados de los estudios mencionados.

Cuadro 6. Requerimiento de nutrimentos por cafetos *C. arabica* de tres años de edad.

	Kg/Ha							
Parte de la planta	N	Р	K	Ca	Mg	S		
Órganos hipogeos + tallo	19.3	2.8	32.9	11.8	2.8	2.8		
Ramas	17.9	2.5	23.9	7.5	4.2	1.5		
Follaje	66.4	12.6	56.8	23.6	8.5	3.5		
Frutos maduros	37.0	3.3	43.3	4.1	4.2	3.1		
Totales	140.6	14.2	156.9	47.0	19.7	10.9		

^{*}Los datos indican los requerimientos a una densidad de siembra de 1345 arbustos/ha u una producción estimada en 1255kg de café limpio; Fuente: Menlich, 1965.

En opinión de Bertsch (2009), la demanda nutrimental debe ser calculada en base a las concentraciones que marcan las curvas de absorción y el peso seco. En el Cuadro 7, se presentan los datos obtenidos para la variedad Costa Rica-95.

Cuadro 7. Demanda nutrimental del cultivo de café variedad Costa Rica-95.

	Cantidad absorbida											
		Kg/ha						g/ha				
	Sección	N	Р	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	В
Cosecha	Frutos	64	4.7	98	12	6	5	265	66	31	167	54
	Hojas	119	6.9	108	75	18	9	1437	93	70	1364	384
Parte	Bandolas	27	3.3	26	32	6	2	362	106	84	213	73
vegetativa	Tallo +	32	6.6	24	23	5	3	709	58	9	70	97
	raíz	32	0.0	24	23	5	3	709	36	9	70	91
TOTAL		242	22	258	141	34	19	2773	323	194	1814	608
COSECHA		64	5	98	12	6	5	265	66	31	167	54
% del total		27%	22%	38%	8%	16%	27%	10%	20%	16%	9%	9%

Fuente: Bertsch, 2009.

2.11.5 Acidificación de suelos tropicales

Los cultivos cuando se encuentran cultivados en suelos que presentan acidez, disminuyen su capacidad productiva (Pillati *et al.*, 2008; Bernier y Alfaro, 2006). La acidez del suelo limita la producción agrícola a nivel mundial. Los suelos ácidos plantean muchos esfuerzos a las plantas, pero el factor principal que afecta el crecimiento de la planta es el aluminio; ocasiona daños a las células de la raíz en el apoplasto y en el citosol ocasionando la inhibición rápida del crecimiento de las raíces. Las plantas han desarrollado mecanismos que evitan o minimizan las interacciones perjudiciales mediante la exclusión de Al de las raíces y las hojas o por la desintoxicación de manera eficiente de cualquier Al que entra en el citosol (Ryan y Delhaize, 2013). La acidez del suelo es un problema conocido desde hace muchos años, tanto así que este ha sido uno de los principales criterios empleados en los sistemas de clasificación de suelos, sea estimado como pH, saturación de bases, o simplemente dominancia de elementos como Al y Fe (Alvarado, 2004).

2.11.6 pH

El pH es una medida utilizada para evaluar la acidez o la alcalinidad de una solución. Por lo general, la medida se realiza en estado líquido, también se puede utilizar para gases (Esteripharma, 2013)

Según el Diccionario de la Real Academia Española pH se define como el índice que expresa el grado de acidez o alcalinidad de una disolución; los valores de 0-7 representan que la solución es ácida; de 7-14 que es básica. En la Figura 7 se muestra la escala de pH con base en el diagrama de troug, en el que se observa la disponibilidad de los nutrientes en el suelo dependiendo del rango de pH en el que se encuentran.

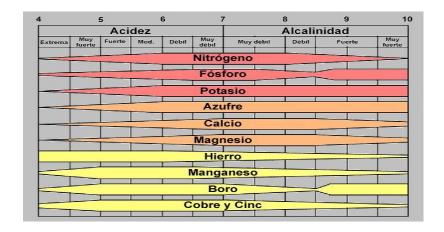


Figura 7. Escala de pH con base en el diagrama de troug (Fuente: http://www.madrimasd.org/)

De acuerdo con Chang (2002), el pH de una disolución se define como el logaritmo negativo de la concentración del ion hidrogeno (en mol/l).

$$pH = -log[H^+]$$

La ecuación anterior está establecida para obtener un número conveniente con el cual podemos trabajar; el logaritmo negativo proporciona un número positivo para el pH, de otra manera, sería negativo debido al pequeño valor de [H⁺]. En la ecuación anterior solo corresponde a la parte numérica de la expresión para la concentración del ion hidrogeno, ya que no se puede tomar el logaritmo de las

unidades; entonces, al igual que la constante de equilibrio, el pH de una disolución es una cantidad adimensional.

En general, el calcio es fácilmente disponible para la mayoría de las plantas en un amplio rango de pH. Es un componente de muchos minerales primarios y secundarios en los suelos, pero su disponibilidad para las plantas sólo se produce en forma de Ca²⁺ soluble. En ambos suelos muy ácidos y alcalinos, la forma libre Ca²⁺ suele ser baja, pero por diferentes razones (Ryan y Delhaize, 2012).

A pH bajo, la mayoría de los suelos son deficientes de Ca²⁺, debido a la lixiviación de cationes básicos del suelo. También en suelos ácidos, hay una reducción en la carga de los cationes polivalentes en el apoplasto de las células corticales de la raíz, no sólo Ca²⁺ sino también de Mg, Zn y Mn (Marschner, 1995). Además, con la disminución del pH, se inhibe la absorción de cationes por raíces de las plantas a causa de la alteración de la extrusión neta de H⁺ por el plasma unido a la membrana H⁺ - ATPasa (Marschner, 1995).

A pH alto, por otro lado, el contenido total de calcio en la mayoría de los suelos alcalinos es generalmente muy alto, pero el Ca²⁺ libre es bajo debido a la formación de minerales basados en compuestos insolubles de Ca²⁺ tales como fosfatos y carbonatos. En suelos altamente ácidos y altamente alcalinos pueden existir deficiencias de Ca²⁺.

En ambos casos, la deficiencia de Ca se expresa en los meristemos apicales, presentándose en hojas jóvenes, los pH extremos conducen a distorsiones en las puntas de crecimiento y retraso en el desarrollo del cultivo (Epstein y Bloom, 2005). La deficiencia de calcio puede ocurrir en condiciones alcalinas donde los suelos son también salino-sódicos. Se ha demostrado que los iones de sodio causan anomalías en la asimilación del calcio (Lauchli y Grattan, 2012). Trastornos nutricionales que involucran otros elementos pueden estar relacionados con los efectos de la salinidad en el transporte y metabolismo del calcio (Knight *et al.*, 1997).

Las altas concentraciones de Ca²⁺ externo, puede mitigar los efectos de las condiciones salino-sódicos. Las concentraciones inadecuadas de Ca pueden afectar negativamente a la función y el crecimiento de la membrana a pocos minutos de la aplicación de Na (Epstein, 1961; Lauchli y Epstein, 1970; Cramer *et al.*, 1988). Diferentes genotipos pueden tener muy diferentes respuestas con las interacciones de calcio (Lauchli y Grattan, 2012). A nivel celular, el Ca está implicado en una red de señalización, que regula la concentración de Na en el citosol en respuesta al nivel externo Na (Hirschi, 2004). En esta red de señalización de Ca está implicada indirectamente en la regulación de una Na AP - antiportador en la membrana plasmática, que es medida para transportar el Na del citoplasma al exterior de la célula. Este Na- antiportador está probablemente influenciado por el pH externo en el sustrato (Maathuis, 2007; Lauchli y Grattan, 2012).

La corrección de los trastornos de calcio puede resolverse fácilmente, pero está relacionado con el tipo de deficiencia que se presente, es decir, si existe en un suelo acido o en un alcalino. Las correcciones más comunes se pueden hacer con la aplicación de los proveedores de calcio directos o indirectos (Hanson *et al.*, 2006).

En suelos ácidos, la adición de suplementos de calcio de bajo costo (proveedores de Ca²⁺ directa) tales como cal o yeso proporcionan una fuente fácilmente disponible de Ca²⁺ (Gómez *et al.*, 2013; Molina y Rojas, 2005) La cal se disolverá en el suelo ácido, elevando el pH y proporcionara que exista Ca²⁺ en forma libre en la solución del suelo. Otra modificación puede ser nitrato de calcio cuando ambos nutrientes (calcio y nitrógeno) son deficientes. En suelos alcalinos el uso de enmiendas acidificantes (proveedores de calcio de forma indirecta) es a menudo la opción más correcta; estas enmiendas forman ácido que solubiliza los minerales de calcio, liberándolo a la solución del suelo. Hay una serie de enmiendas acidificantes incluyendo ácidos fuertes tales como ácido sulfúrico (Ryan y Delhaize, 2012).

Otras enmiendas, como el azufre elemental que acidifica gradualmente el suelo a través de las transformaciones microbianas. Tanto la adición de cal a suelos ácidos y acidificantes a suelos alcalinos son estrategias eficaces para la corrección de los problemas causados por el pH extremos de algunos suelos (Bernier y Alfaro, 2006).

2.12 Acidificación natural

En opinión de Ortega (1981), en una región donde la precipitación excede a la evapotranspiración, da por resultado el lavado del suelo. Este lavado elimina gradualmente las sales solubles, a los minerales del suelo fácilmente solubilizables y a las bases (cationes no ácidos).

El principal agente acidificante de los suelos se encuentra en la atmósfera en forma de dióxido de carbono, $CO_{2, (g)}$. El agua de lluvia en contacto con el $CO_{2, (g)}$ genera una solución muy diluida de ácido carbónico, H_2CO_3 , con una concentración cerca de $10^{-5}M$. La acidificación causada por la presencia de CO_2 , tanto en la atmósfera, como en la solución del suelo es atribuida también a la actividad metabólica de las raíces de las plantas y al proceso de respiración de los microorganismos, además de otros organismos vivientes en el suelo. Estos procesos metabólicos generan CO_2 y (aniones de) ácidos orgánicos solubles de reacción ácida débil en el suelo. Cuando el agua se encuentra en equilibrio con la atmósfera (del suelo), la presión parcial del CO_2 en el aire del suelo, pCO_2 , controla la concentración total de CO_2 disuelto, que puede presentarse ya sea como $CO_{2(ac)}$ o CO_2 . H_2O o en forma de H_2CO_3 (Aguirre, 2001). La forma combinada de estas dos especies químicas es usualmente representada como H_2CO_3 es dada por:

$$[H_2CO_3]=K_Hp_{CO2}$$

Donde K_H es la constante de Henry para el equilibrio de la disolución del CO_{2 (g)}.

Esta acidez generada desplaza cationes básicos de los sitios de intercambio e incorpora iones H⁺ por medio de reacciones del tipo:

$$CO_{2(g)} + H_2O \longleftrightarrow H_2CO_{3(ac)}$$

$$H_2CO_3 + \frac{1}{2} Ca_{arcilla}^{2+} \leftarrow \rightarrow \frac{1}{2} Ca(HCO_3)_2 + H^+_{arcilla}$$

Los cationes básicos (Ca, Mg, k y Na) liberados del complejo de intercambio por esta reacción, entonces son lixiviados del suelo en forma de sales de bicarbonato y de ácidos orgánicos.

2.12.1 Nitrificación

La materia orgánica presente en los suelos es una fuente potencial de un ácido más fuerte que el carbónico y/o los ácidos orgánicos, es el ácido nítrico: HNO₃ (Porta, 2003). El ácido nítrico, producto del proceso de nitrificación del N-orgánico mineralizado, puede generar acidez, y conducir a la larga a la acidificación del suelo, según la reacción siguiente:

$$NH_{4 (ac)}^{+} + 2O_{2,(q)} \leftarrow \rightarrow NO_{3, (ac)}^{-} + 2H_{(ac)}^{+} + H_{2}O_{(l)}$$

Donde por cada mol de ion NH₄⁺ oxidado, se genera un mol de NO₃⁻ y dos moles de H⁺, provocando, momentáneamente la acidificación del sistema y la caída del pH. Aunque podría a primera vista, concluirse que los iones H⁺ ciertamente decrecen la alcalinidad de la solución, y que el decremento de [NH₃] y el incremento [N₂O₅], alteran el balance acido-base de los sólidos del sistema, el valor total de la capacidad de neutralización (ANC_m) permanece sin cambio. Esto último como consecuencia de procesos como los de absorción e intercambio iónico, donde los iones H⁺ pueden remplazar del complejo de intercambio cationes alcalinos en cantidades equimolares, liberándolos a la solución, según reacciones del tipo siguiente:

$$2H^{+}_{(ac)} + Ca^{2+}_{(ad)}X_{(s)} \leftarrow \rightarrow Ca^{2+}_{(ac)} + 2H^{+}_{(ad)}X_{(s)}$$

Ion hidrógeno + Calcio
$$X_{(s)} \leftarrow \rightarrow$$
 Calcio + Hidrógeno $X_{(s)}$

En esta ecuación se observa que la acidez producida en forma de 2 moles de H⁺ es consumida por una reacción de intercambio catiónico, donde se libera tanta

alcalinidad (aumento en [CaO]), como acidez es consumida (decrece [H⁺]), esto en términos de iones de Ca²⁺ producidos en la reacción, conservando con esto el balance acido-base del medio. Esta reacción de nitrificación entonces, no conducirá a un proceso de acidificación causado por el HNO₃.

2.12.2 Asimilación por la biota

No considerando las especies de nitrógeno que son relativamente insignificantes en el suelo mineral y normalmente despreciables como agentes acidificantes debido al intenso proceso de reciclaje de nitrógeno en los ecosistemas, las plantas asimilan más componentes básicos que ácidos. Como consecuencia de esto, los ecosistemas al producir biomasa acidifican el suelo. En ecosistemas en estado estacionario, la mineralización es igual a la asimilación, manteniendo constante el estado acido- base del suelo. Sin embargo, el proceso de cosecha y la exportación de biomasa, por otro lado, conducen a una posterior y posiblemente permanente acidificación de los suelos, causada por la eliminación de los álcalis (bases) que son incorporados por la vegetación.

2.12.3 Acidificación antropogénica

Van Breemen (1983), reporta que a las principales fuentes antropogénicas de acidificación de los suelos incluyen a los fertilizantes (amoniacales y fosfatados), los mejoradores químicos (azufre) y la lluvia acida (óxidos de S y N).

2.12.4 Fertilizantes de reacción acida

Algunos fertilizantes dejan un residuo ácido, otro básico y otro neutro. Sin embargo los fertilizantes amoniacales y los fosfatados son los que presentan un mayor ejemplo en el pH de los suelos.

1. Fertilizantes amoniacales. El ion amonio es un compuesto potencialmente acidificante, en este caso debido a la adición de fertilizantes amoniacales, tales como el nitrato de amonio, NH₄NO₃, que es un explosivo prohibido en algunos países, cloruro de amonio, (NH₄Cl), Sulfato de amonio [(NH₄)₂SO₄] y fosfato de amonio, [(NH₄)₃PO₄], principalmente aún el amoniaco, (NH₃), asperjado o líquido, que inicialmente da una reacción alcalina al entrar en contacto con el suelo, según la reacción:

$$NH_{3 (ac)} + H_2O_{(I)} \leftarrow \rightarrow NH^+_{4 (ac)} + OH^-_{(ac)}$$

Amoníaco + agua ← → Amonio + Ion hidroxilo

Produce acidez de acuerdo con la reacción de nitrificación

$$NH^{+}_{4(ac)} + 2O_{2(g)} \leftarrow \rightarrow NO^{-}_{3(ac)} + 2H^{+}_{(ac)} + H_{2}O_{(l)}$$

Amonio + Oxígeno ← → Nitrato + Ion hidrógeno + agua

El efecto potencial neto de acidificación es la generación de un mol de H⁺ por cada mol de NH₃ aplicado. De nuevo, esta acidificación depende del destino final del nitrato formado por nitrificación.

Grandes cantidades de HNO₃ y H₂SO₄, provenientes del fertilizante (NH₄)₂SO₄ pueden ser acumuladas, como consecuencia de la oxidación (microbiana) del NH₄⁺ a NO₃⁻. El pH resultante puede alcanzar valores por debajo de 4, ocurriendo paralelamente una rápida perdida de bases intercambiables, principalmente de los iones Ca²⁺ y Mg²⁺. Este efecto puede ser especialmente delicado en suelos de poca capacidad reguladora de pH y en sistemas de cero labranza.

2. **Fertilizantes fosfatados.** La aplicación de sales de o-fosfato, (PO₄³⁻), en los procesos de fertilización puede acidificar los suelos en el largo plazo. El ácido ortofosfórico (H3PO4) producido de la disolución de los fertilizantes fosfatados, tales como el superfosfato de calcio, u o-fosfato monocálcico, Ca (H₂PO₄)₂ y el o-fosfato de monoamonio u o-fosfato diácido de amonio, (NH₄H₂PO₄), puede acidificar el suelo (Aguirre, 2001). Tomando por ejemplo el fertilizante superfosfato de calcio, [Ca (H₂PO₄)₂], también conocido químicamente como o-fosfato diácido de calcio, su disolución en agua produce:

Ca
$$(H_2PO_4)_2 \leftarrow \rightarrow Ca^{2+} + 2H_2PO_2$$

Fosfato monocálcico ← → Catión Calcio + Ion dihidrogenofosfato

Puesto que la disociación del H₂PO₄ ocurre a pH=7.2, según la reacción:

$$H_2PO_4^- \leftarrow \rightarrow HPO_4^{2-} + H^+$$

Fosfato diácido ←→ Fosfato monoácido

Esta sal de *o*-fosfato no acidifica el suelo en forma inmediata. Sin embargo, un mineral fosfatado menos soluble puede, eventualmente, precipitarse produciendo acidez. En suelos no ácidos la reacción probablemente sería del tipo:

$$2H_2PO_2^- + 3Ca^{2+} \leftarrow \rightarrow Ca_3 (PO_4)_{2(s)} + 4H^+$$

lon dihidrogenofosfato + calcio ← → Fosfato de calcio + lon hidrógeno

Mientras que en suelos de reacción ácida podría ser similar a:

$$H_2PO_4^- + Al^{3+} \leftarrow \rightarrow AlPO_{4(s)} + 2H^+$$

Fosfato diácido + aluminio ← → Fosfato de aluminio + Ion hidrógeno

Así los fertilizantes de fósforo altamente solubles pueden precipitar al Al^{3+} del suelo en forma del mineral varística, de formula $AlPO_{l,(s)}$, e inactivar los efectos fitotóxicos de los iones $Al (OH)^{2+}$ y Al^{3+} , en suelos muy ácidos, contrarrestando su toxicidad sin aumentar el pH.

Los efectos de acidificación por fertilización con *o*-fosfatos pueden ser locales y especialmente intensos cuando el fertilizante es aplicado en banda, según la reacción de hidrólisis del fertilizante Ca (H₂PO₄)₂ que reacciona con el agua de la manera siguiente:

Ca
$$(H_2PO_4)_{2,(s)} + H_2O_{(l)} \leftarrow \rightarrow CaHPO_{4,(s)} + H_3PO_{4, (ac)}$$

Fosfato monocálcico + agua ←→ hidrógenofosfato de calcio + Ácido Fosfórico

El ácido o-fosfórico formado se difunde lejos del sitio de aplicación produciendo una banda alrededor del fertilizante donde el valor de pH puede caer a niveles de hasta 1.5. Esta solución extremadamente ácida puede disolver minerales del suelo liberando elementos como Al, Fe y Mn. Estos efectos son temporales y en pocas semanas el pH puede aumentar de nuevo a valores de pH cercanos al original. Sin embargo la acción, del H₃PO₄, concentrado, producido por el fertilizante, puede

causar una drástica disolución de minerales, dando lugar a la formación de las nuevas fases sólidas (reacción de neoformación de minerales).

2.12.5 Mejoradores químicos

Algunas veces, ciertos materiales son incorporados a los suelos en forma deliberada para acidificarlo. Estos materiales incluyen al azufre elemental (S), que gradualmente se oxida para producir ácido sulfúrico (H_2SO_4), el aluminio y el hierro en forma de Al_2 (SO_4)₃ y de Fe_2 (SO_4)₃, respectivamente. Estos últimos compuestos generan iones H^+ (acidez), una vez que el Al (OH)₃ o el Fe (OH)₃ son precipitados en forma amorfa en el suelo, según la reacción siguiente:

$$M_2 (SO_4)_{3, (s)} + H_2O_{(l)} \leftarrow \rightarrow M (OH)_{3, (s)} + 6H^+_{(ac)} + 3SO^{2-}_{4, (ac)}$$

Sulfato de hierro o aluminio + agua ← → Hidróxido férrico o de aluminio + sulfato

Donde M representa al Al³⁺ o al Fe³⁺.

El azufre elemental y los polisulfuros, pueden ser oxidados en el suelo por medios químicos, sin embargo, esta oxidación química es lenta y menos importante, en comparación con la oxidación microbiana. La rapidez de oxidación del azufre, mediada por los microorganismos, depende de la población microbiana, de las características del material acidulante y de las condiciones ambientales, de donde destaca la temperatura, la humedad, la aireación y el pH, entre otros factores (Breemen, 1983).

2.12.6 Lluvia ácida

El concepto de lluvia ácida engloba cualquier forma de precipitación que presente elevadas concentraciones de ácido sulfúrico y nítrico. También puede mostrarse en forma de nieve, niebla y partículas de material seco que se posan sobre la Tierra. La capa vegetal en descomposición y los volcanes en erupción liberan algunos químicos a la atmósfera que pueden originar lluvia ácida, pero la mayor parte de estas precipitaciones son el resultado de la acción humana. El mayor responsable de este fenómeno es la quema de combustibles fósiles procedentes de plantas de carbón generadoras de electricidad, las fábricas y los escapes.

La adición de agua ácida (o básica), así como la deposición atmosférica de HNO_3 , H_2SO_4 y SO_4 puede alterar el estado ácido-base del suelo. La quema urbana e industrial de los combustibles usados en los automóviles, plantas generadores de energía, otros, reducen óxidos de azufre y de nitrógeno, simbolizados como SO_x y NO_x , respectivamente. Estos óxidos, tras una serie de reacciones que involucran la oxidación atmosférica mediada por la presencia de $O_{2, (g)}$ y/o por radicales libres de $O_{(g)}$, producidos por la presencia de ozono en el llamado smog fotoquímico, generan la lluvia ácida (Aguirre, 2001).

2.12.7 **Óxidos de Azufre.** Debido a que la deposición seca del SO_2 , (g) es normalmente transformada en H_2SO_4 este compuesto es incluida dentro de la lluvia acida. El dióxido de azufre gaseoso (SO_2 , (g)) puede entonces ser disuelto en la solución acuosa del suelo para formar el ion bisulfito, que tras una posterior oxidación producirá el ion sulfato (SO_4) al pH usual de los suelos. El proceso de disolución del SO_2 , (g), es dependiente del pH, su solubilidad decrece a medida que el pH disminuye. La mayoría de las "nubes sulfatadas" contienen especies químicas derivadas del azufre en estados de oxidación del ion sulfito (SO_4^{2-}) (Singh, 1995).

La correspondiente reacción de formación del H₂SO₄ sería:

$$SO_{2,(g)} + \frac{1}{2} O_{2,(g)} \leftarrow \rightarrow SO_{3,(g)}$$

Dióxido de azufre + oxígeno ← → Trióxido de azufre

$$SO_{3,(q)} + H_2O_{(l)} \leftarrow \rightarrow H_2SO_{4,(ac)}$$

Trióxido de azufre ←→ Ácido sulfúrico

Después de la adición de ácido sulfúrico, lluvia acida, el valor de ANC_(M)(Capacidad de Neutralización Ácida) puede decrecer en dos maneras. Si el ácido sulfúrico es retenido en el suelo, ya sea por la adsorción o por precipitación en forma de sulfatos básicos de hierro o aluminio, el valor de ANC _(M) decrecerá por causa del incremento neto del valor [SO₃] en las relaciones de acidificación.

Aguirre (2001), indica que el azufre puede también ser incorporado en los suelos en forma de complejos orgánicos. Por ejemplo, se conoce que el formaldehído (H₂CO), disuelto en agua forma complejos con algunas especies de S (IV), el SO₂, estabilizándolo en tal forma que resulte inmune a la oxidación e incrementando su solubilidad en forma considerable.

2.12.8 **Óxidos de Nitrógeno**. De acuerdo con Aguirre (1993), la combustión interna de los motores de gasolina de los automóviles producen nitrógeno, a muy altas temperaturas, por el efecto del O2 (g), la oxidación del "inerte" gas N2,(g), a óxido nítrico NO2(g), el cual a su vez también, es oxidado por el O2, (g) a dióxido de nitrógeno, NO2,(g), por medio de las relaciones esquematizadas a continuación:

$$N_{2,(g)} + O_{2,(g)} \leftarrow \rightarrow 2NO_{(g)}$$

Nitrógeno + oxigeno $\leftarrow \rightarrow$ óxido nítrico
 $2NO_{(g)} + O_{2,(g)} \leftarrow \rightarrow 2NO_{2,(g)}$

Óxido nítrico + oxígeno ← → dióxido de nitrógeno

2.12.9 Inestabilidad del hidrogeno en los suelos y en las arcillas

Los suelos y las arcillas saturados con hidrógeno preparados mediante la percolación de un ácido fuerte o mediante diálisis, se descomponen rápidamente a materiales saturados con Al y Fe. La vida media de esta reacción que depende de la temperatura, es de sólo unas cuantas horas para muchos minerales.

La vermiculita es susceptible a la descomposición bajo condiciones ácidas. Esta susceptibilidad se ha ofrecido como una explicación para los contenidos relativamente bajos de vermiculita en las superficies de suelos ligeramente ácidos de regiones áridas o semiáridas (Ortega, 1981).

2.13 Conclusiones de la revisión de literatura.

De acuerdo a la revisión de literatura la pérdida de Calcio (Ca²⁺) en el suelo se puede originar de diferentes formas: natural y antropogénica.

De manera natural, se considera que el principal agente acidificante del suelo, es el CO₂ (atmosférico) que al interactuar con la lluvia forma una solución diluida de ácido carbónico (H₂CO₃); éste al estar en contacto con el suelo, los cationes básicos (Ca, Mg, k y Na) son liberados del complejo de intercambio, pueden entonces ser lixiviados del suelo en forma de sales de bicarbonato y de ácidos orgánicos.

La antropogénica, considera que las fuentes de acidificación del suelo, incluyen principalmente los fertilizantes amoniacales y fosfatados, los mejoradores químicos y la lluvia ácida.

Los fertilizantes amoniacales cuentan con un compuesto potencialmente acidificante, el ion amonio; el cual puede disminuir el pH del suelo a valores menores de 4, ocasionando paralelamente una pérdida rápida de bases intercambiables, principalmente de Ca²⁺ y Mg²⁺, esto se presenta por una acumulación de HNO₃ y H₂SO₄. La aplicación de fertilizantes fosfatados en el suelo, tienen como respuesta la liberación de ácido fosfórico, el cual puede bajar el pH del suelo hasta valores de 1.5, este efecto es temporal y en pocas semanas puede regresar a un pH cercano al original. Sin embargo la lenta acumulación del ácido fosfórico puede causar una drástica disolución de minerales, que dan lugar a las reacciones de neoformación de los nuevos minerales.

Los mejoradores químicos que contienen azufre (S), son compuestos que al oxidarse producen ácido sulfúrico, este reacciona con el aluminio (Al) y el hierro (Fe) formando Al_2 (SO_4)₃ y Fe_2 (SO_4)₃, respectivamente; los cuales son compuestos que generan acidez.

La lluvia ácida puede alterar el estado ácido-base del suelo, contienen compuestos reducidos de óxido de azufre y de nitrógeno, producidos por la quema urbana e industrial de combustibles fósiles.

La pérdida de calcio es un fenómeno multifactorial e inminente, aunado a esto que la acción del hombre ha contribuido a la aceleración de este proceso. En las zonas tropicales, particularmente cafetaleras, la precipitación pluvial es un factor determinante.

El hidrogeno es muy activo en el complejo de intercambio debido a los procesos de hidrolisis en el cual la molécula de agua puede liberar un H⁺ y este a su vez puede sustituir otro catión como K⁺, NH₄⁺, entre otros. En algunas ocasiones la unión del H⁺ con otros aniones como Cl⁻, SO₄²⁻,PO₃³⁻ y formar ácidos como son: ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, ácido fosfórico aunque no todos puedan presentarse en los suelos realmente. Además la presencia de H⁺ libre en algunos suelos inundandos puede reducir al Fe³⁺.

El Calcio en los suelos se pierde por tres vías: (a) lixiviación en las zonas tropicales; (b) absorción por la planta; y (c) erosión.

3 OBJETIVOS E HIPÓTESIS

3.1 Objetivo general

Cuantificar la pérdida de calcio en suelos cafetaleros de la Región Loxicha, ocasionada por el evento meteorológico huracán Carlota.

3.1.1 Objetivos específicos

- Evaluar el efecto del huracán "Carlota" sobre los cambios en la pérdida de Ca en el suelo.
- Proponer una solución al problema de remoción de Calcio y acidificación de los suelos cafetaleros.
- Explicar el principio de remineralización de suelos en la región Loxicha,
 Oaxaca.

3.2 Hipótesis

Ho: no hay pérdida significativa de Calcio con el paso del huracán "Carlota ".

Ha: hay pérdida significativa de Calcio con el paso del huracán "Carlota".

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Localización

El Estado de Oaxaca se encuentra ubicado en una porción meridional de la república mexicana, limita al norte con Veracruz y Puebla, al este con Chiapas, al sur con el Océano Pacifico y al oeste con Guerrero; sus coordenadas son: al norte 18°39', al sur 15°39' de latitud norte; al este 93°52', al oeste 98°32' de longitud oeste. Cuenta con una superficie de 95364 Km², representa 4.8% del territorio nacional.

El área de estudio se ubica en la región Costa de Oaxaca, limita al sur con el Océano Pacifico y al norte con la Sierra Madre del Sur. Se encuentra en la cuenca del rio Copalita; el área monitoreada corresponde al municipio de San Agustín Loxicha. En la Figura 8, se muestra la localización de área de estudio.

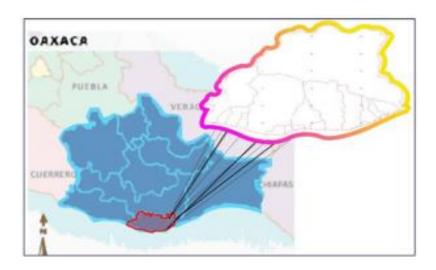


Figura 8. Localización del área de estudio (Flores, 2012).

4.1.1 Cuenca del Rio Copalita

Ubicada en las coordenadas UTM (756917.83, 1795091.48), (815449.47, 1747698.44), (816891.85, 174811.19) y (816940.08, 1747985.24). Posee la mayor superficie en el área de estudio con 342,658.03 ha representan el 44.41% de la superficie explorada, se clasifica en la categoría de cuenca. En este territorio se ubican 19 municipios que se reportan en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Municipios ubicados en la cuenca Rio Copalita.

N°	Municipio	Estado
1	San Marcial Ozolotepec	Oaxaca
2	Santa María Ozolotepec	Oaxaca
3	Santa María Huatulco	Oaxaca
4	San Sebastián Rio Hondo	Oaxaca
5	San Pedro Pochutla	Oaxaca
6	San Pedro Mixtepec	Oaxaca
7	San Pedro el Alto	Oaxaca
8	San Miguel Suchixtepec	Oaxaca
9	San Miguel del Puerto	Oaxaca
10	San Mateo Rio Hondo	Oaxaca
11	San Mateo de Piñas	Oaxaca
12	San Juan Mixtepec	Oaxaca
13	San Agustín Loxicha	Oaxaca
14	Pluma Hidalgo	Oaxaca
15	Calendaría Loxicha	Oaxaca
16	San Juan Ozolotepec	Oaxaca
17	San Francisco Ozolotepec	Oaxaca
18	Santo Domingo Ozolotepec	Oaxaca
19	Santiago Xanica	Oaxaca

Fuente: www.inegi.gob.mx

El punto más alto corresponde a 3750 msnm. La cuenca presenta en 90% áreas de pendientes altas y muy altas debido a que se distribuye a lo largo de la zona serrana. El relieve en la cuenca en su zona norte es escarpado. En la Cuenca Copalita se identifican cinco unidades de suelos como se reportan en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Unidad de suelo y distribución en la Cuenca Rio Copalita.

Tipo de Suelo	Superficie (ha)	(%)
Acrisol	135,653.66	39.58%
Cambisol	53,618.32	15.64%
Feozem	19,959.08	5.28%
Litosol	48.30	0.01%
Regosol	129,468.27	37.78%
Rendzina	3910.37	1.14%
Total	342658.02	100%

Fuente: Flores, 2009.

Los Acrisoles son dominantes en la región, ocupan 135,653.66 hectáreas (39.58 %), se asocian a una topografía ondulada o colinada.

La Cuenca del Río Copalita tiene siete zonas pluviométricas como se muestra en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Distribución de la precipitación en la Cuenca Río Copalita.

Precipitación anual	Superficie (ha)	Porciento (%)
800 mm	956.36	0.62%
1000 mm	22331.36	14.67%
1200 mm	45014.60	29.57%
1500 mm	21340.92	14.02%
2000 mm	21801.93	14.32%
2500 mm	38137.53	25.05%
3000 mm	2622.65	1.72%
	Total	100%

Fuente: Flores, 2009.

La cuenca Río Copalita posee diversidad climática, se distribuye de los 0 a 3750 msnm asociado una topografía accidentada que favorece distintos rangos de humedad. En el Cuadro 11, se reporta la distribución de la cobertura vegetal dentro de la cuenca rio Copalita.

Cuadro 11. Distribución de la cobertura vegetal en la cuenca Río Copalita.

N°	Tipo de Cobertura	Superficie (ha)	(%)
1	Bosque de oyamel	141.10	0.09%
2	Bosque de pino – encino	33079.68	21.73%
3	Agrícola – pecuaria - forestal	25344.14	16.65%
4	Pastizal inducido	6137.64	4.03%
5	Selva mediana caducifolia	11952.5	7.85%
6	Bosque mesófilo de montaña	23227.34	15.26%
7	Bosque de pino	35165.53	23.10%
8	Selva mediana subperennifolia	10981.05	7.21%
9	Sabanoide	1502.65	0.98%
10	Selva galería	333.90	0.21%
11	Selva mediana subperennifolia	4339.78	2.85%

Fuente: Flores, 2009.

La coberturas con la mayor distribución es el bosque de pino, abarca 35,165.53 hectáreas (23.10%); sigue el pino encino con 33,079.68 (21.73%), en tercer lugar las prácticas agrícolas pecuarias forestales con 25,344.14 (16.65%); el bosque mesófilo de montaña con 23,227.34 hectáreas (15.26%).

La distribución en las coberturas vegetales naturales está relacionada a la altitud del relieve.

La cobertura vegetal de la cuenca Rio Copalita presenta perturbación en su cobertura natural en 20% de su superficie. La distribución de dichas áreas repercute en la región por la pendiente y sus valores de agresividad climática.

De acuerdo con Flores (2012), al dividir las cuencas de acuerdo a su tamaño se observa que el área está conformada en dos cuencas, cuatro subcuencas y diez microcuencas, como se ilustra en la Figura 9, se muestra la región de la cuenca del rio Copalita que abarca un área aproximada de 342,658.03 hectáreas.

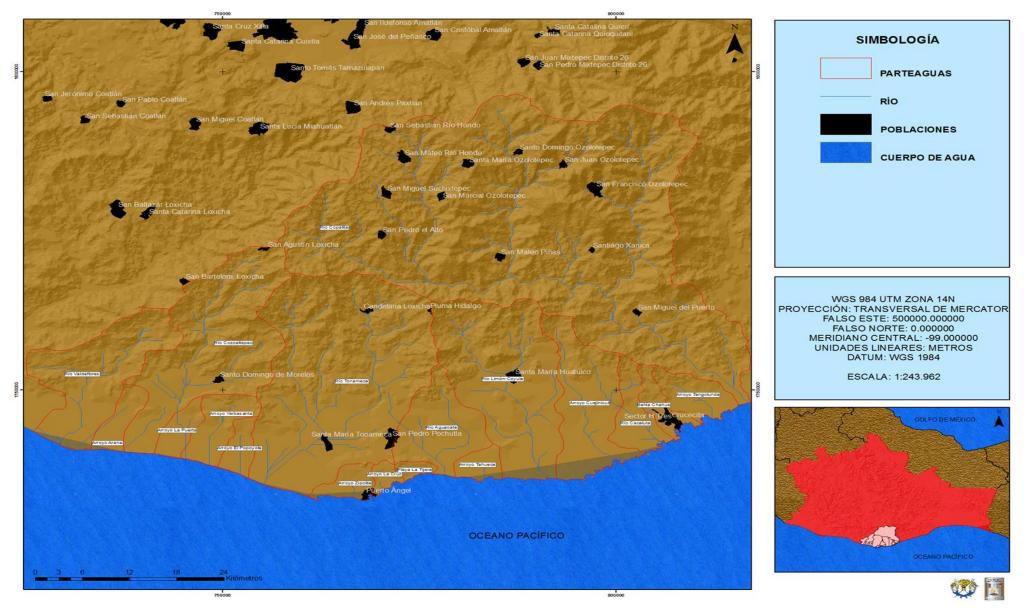


Figura 9. Región de la cuenca del rio Copalita, Oaxaca, México (Flores, 2013).

4.1.2 Geología

A finales del Jurásico, entre los 159 y 144 millones de años, el mar invadió algunas zonas de Oaxaca. Se desconoce dónde se inició este avance del mar hacia el continente con exactitud, aparentemente se inicia en el norte-noroeste y en el istmo, desplazándose hacia el sur y centro del estado (UNAM, 2004). Para el Cretácico, aparentemente la mayor parte de la entidad se encontraba cubierto por un mar somero y cálido, similar al de las costas actuales de Yucatán. Estas condiciones prevalecieron por más de 50 millones de años, entre el Cretácico temprano, hace 144 M.a., y el Cretácico tardío, hace 93 M.a. (UNAM, 2004)

En ese tiempo, las rocas que hoy dan lugar al Terreno Xolapa se formaron en un arco volcánico submarino activo durante el Cretácico, debido a un fuerte levantamiento de la zona, en la actualidad se observan las rocas que cristalizaron a gran profundidad, que representan las raíces de los edificios volcánicos, cuyas litologías más abundantes son granitos y migmátitas, con escasas localidades de rocas metasedimentarias y metavolcanicas. Estas rocas se encontraban a varios kilómetros al noreste de su posición actual y se desplazaron hacia el sur durante el Terciario (UNAM, 2004).

4.1.3 Clima

En 7% de la superficie del estado de Oaxaca los climas son semicálido – húmedos, se distribuyen en las laderas de las montañas de la Sierra Madre de Oaxaca expuestas al Golfo de México, así como en la porción occidental de las laderas de la Sierra Madre del Sur orientadas hacia el Pacífico.

En la cuenca de estudio, según la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García se identifican tipos de climas y subclimas: como se muestra a continuación:

 Cb´(w₂): Templado subhúmedo con verano suave e invierno seco. La temperatura promedio en el mes más cálido no rebasa los 22°C. La temperatura media supera los 10 °C al menos cuatro meses al año.

- 2. Cw₂: Templado subhúmedo con temperatura media del mes más frío menor de 18 °C y superior a -3 °C; temperatura del mes más cálido superior a 10 °C invierno seco. El más húmedo de los subhúmedos.
- 3. (A)C(w₂): Semicálido sub-húmedo; temperatura media anual mayor de 18°C invierno seco. El más húmedo de los subhúmedos
- 4. Aw₁: Cálido sub-húmedo; temperatura media anual mayor de 22°C, Invierno Seco
- 5. Aw₀: Cálido Sub-húmedo; temperatura media anual mayor de 22°C, invierno seco. El más seco de los sub-húmedos.

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA,) elaboró una extensión para el software Google Earth, en la que se observa la localización de la red de estaciones meteorológicas nacional, con los datos de los años 1981-2010; para el presente estudio se encontraron las estaciones más cercanas de la zona, están representadas con las claves: 20324, 20308, 20021 y la 20089.

La estación meteorológica activa es la **20089**, pertenece a la comunidad de Pluma Hidalgo y la **20308** perteneciente a San Mateo Rio Hondo; de ella se reportan los datos de temperatura y precipitación. En la Figura 10, se muestra la ubicación de las estaciones meteorológicas de la zona.



Figura 10.- Localización de las estaciones meteorológicas más cercanas al municipio de San Agustín Loxicha, Oaxaca (Fuente: http://smn.cna.gob.mx/)

4.1.4 Precipitación media

En la estación 20089 la precipitación pluvial promedio en el municipio es de 2,823.70 mm, en los meses más secos hay una precipitación inferior a 60 mm, el porcentaje de precipitación invernal es inferior a 5 % de la anual con presencia de canícula; para la 20308 presenta una precipitación media anual es de 1147.80 mm, en los meses más secos hay una precipitación menor a 30 mm; donde el porcentaje de precipitación invernal es inferior a 3% de la anual con presencia de canícula. En el Cuadro 12, se muestran los datos de precipitación según la base de datos de la red de estaciones meteorológicas de la CONAGUA.

Cuadro 12. Precipitación media de la zona de estudio.

Meses	P (mm) Estación 20089	P (mm) Estación 20308
Enero	34.8	2.9
Febrero	36.4	11.9
Marzo	50.7	14.5
Abril	70.6	29.5
Mayo	247.1	105.5
Junio	527.1	220.9
Julio	405	206.1
Agosto	481.2	211.7
Septiembre	531.9	203.9
Octubre	296.4	111.1
Noviembre	87.7	19.1
Diciembre	54.8	10.7
Anual	2,823.70	1,147.80

Fuente: http://smn.cna.gob.mx/

Para poder tener una idea precisa del comportamiento de la precipitación media, se realizó una gráfica relacionando los mm con los meses. En la Figura 11 y 12, se ilustra el comportamiento resultante de los datos de las estaciones 20089 y 20308.



Figura 11.- Comportamiento de la precipitación media en la estación 20089. (Fuente: http://smn.cna.gob.mx/).

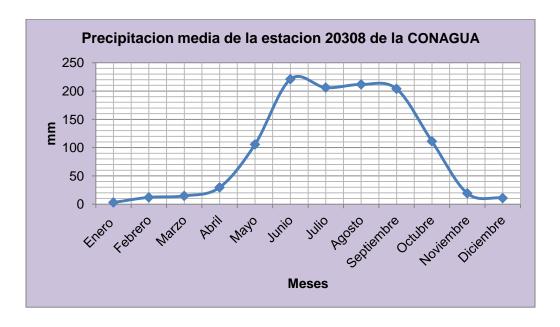


Figura 12.- Comportamiento de la precipitación media en la estación 20308. (Fuente: http://smn.cna.gob.mx/).

Como se puede observar en la Figura 11, el periodo de menor precipitación son los meses de Noviembre a Abril, donde la precipitación desciende a 34.8 mm en el mes de Enero y la más alta es de 531.9 mm en el mes de Septiembre. Según la

Figura 12, los periodos de menor precipitación son similares a los de la estación 20089, también podemos ver que la precipitación más baja es de 2.9 mm en el mes de Enero y la de mayor precipitación es de 220.9 mm a mediados del mes de Junio.

4.1.5 Temperatura media

La temperatura promedio de la zona con base a la estación 20089 es de 20.8°C, se ha registrado temperaturas mayores a 25.1°C y mínimas de 16.7°C; en la estación 20308 la temperatura media oscila alrededor de los 15 °C, teniendo temperaturas mayores a los 21.6 °C y menores a 9.3 °. La variación térmica se debe un gradiente térmico que está relacionado con la altura de las estaciones. En la Cuadro 13 y 14 se muestran los comportamientos de la temperatura según las estaciones de la CONAGUA.

Cuadro 13. Temperatura de la estación 20089.

Meses	T °C (máx.)	T °C (med.)	T °C (mín.)
Enero	25.1	20.7	16.2
Febrero	25.2	20.7	16.2
Marzo	25.3	21	16.7
Abril	25.9	21.4	17
Mayo	25.8	21.6	17.5
Junio	24.6	20.7	16.8
Julio	24.7	20.7	16.7
Agosto	24.8	20.8	16.7
Septiembre	24.2	20.4	16.6
Octubre	24.5	20.5	16.5
Noviembre	24.9	20.7	16.6
Diciembre	25.1	20.8	16.4
Promedio	25	20.8	16.7

Fuente: Elaboración propia, 2013

Cuadro 14. Temperatura de la estación 20308.

Meses	T (° C) Máx.	T (° C) Med.	T (° C) Mín.
Enero	21.3	14.2	7
Febrero	22.3	14.8	7.3
Marzo	23.1	15.7	8.3
Abril	23.6	16.7	9.7
Mayo	22.6	16.6	10.5
Junio	20.9	16	11
Julio	20.5	15.4	10.3
Agosto	20.5	15.4	10.4
Septiembre	20.4	15.5	10.6
Octubre	20.9	15.4	10
Noviembre	21.4	15	8.7
Diciembre	21.4	14.5	7.7
Promedio	21.58	15.43	9.29

Fuente: Elaboración propia, 2013.

Al igual que en la precipitación se graficó los datos de la estación para mejor entendimiento sobre el comportamiento de ambas estaciones. En la Figura 13 y 14, se muestra el comportamiento observado con los datos de la estaciones 20089 y 20308.



Figura 13.- Comportamiento de la temperatura media de la zona de estudio. (Fuente: http://smn.cna.gob.mx/).

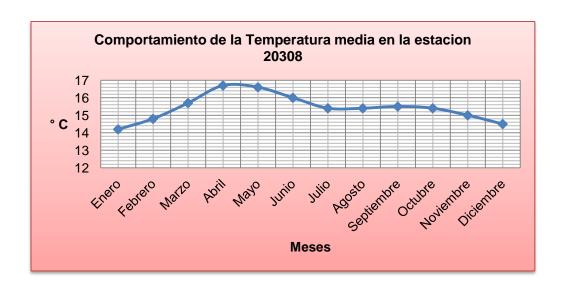


Figura 14.- Comportamiento de la temperatura media de la estación 20308. (Fuente: http://smn.cna.gob.mx/).

La Figura 13, indica que la temperatura media en la estación 20089 del comunidad de pluma hidalgo, en el mes de mayo se presenta la mayor temperatura en la región alcanza los 21.6 °C; y en los meses posteriores desciende hasta llegar a los 20.4 °C en el mes de septiembre. La Figura 14 se ilustra el comportamiento de la temperatura media de la estación 20308 de la comunidad de San Mateo Rio Hondo, muestra que la temperatura media más alta se encuentra en el mes de abril en donde alcanza los 16.7 °C, y la temperatura desciende para los meses posteriores hasta llegar a 14.2 °C en el mes de enero.

4.1.6 Periodo de crecimiento

El periodo de crecimiento es el número de días consecutivos durante el año en los que existe disponibilidad de agua y temperatura favorable para el desarrollo de cultivos; el cálculo del periodo de crecimiento se basa en un modelo simple de balance de agua comparando las precipitaciones (P), con la evapotranspiración potencial (ETP) y la 0.5 ETP (Ortiz, 2007). En la Figura 15 y 16 se ilustra el comportamiento de las variables P (mm), ETP (mm) y 0.5ETP (mm)

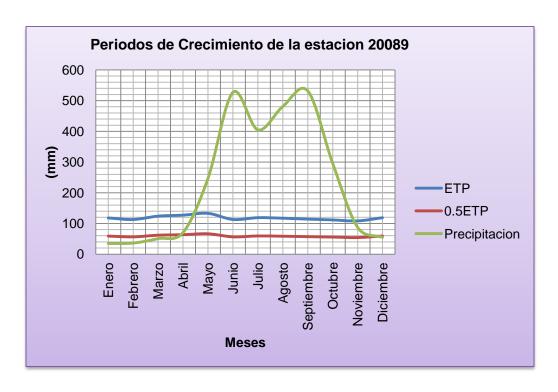


Figura 15. Periodo de crecimiento para la estación 20089 (Elaboración propia, 2013).

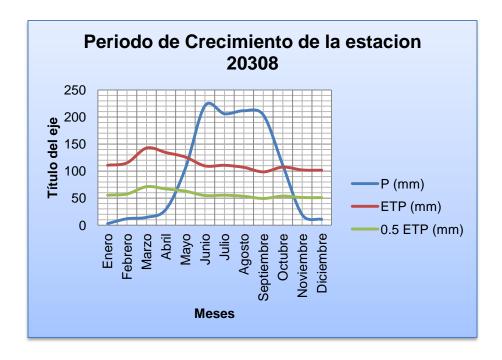


Figura 16. Periodo de crecimiento para la estación 20308 (Elaboración propia, 2013).

El periodo de crecimiento es húmedo en todo el año, la precipitación excede a ETP y el 0.5 ETP. Este fenómeno concuerda con las características ambientales de la zona de estudio, es una región tropical húmeda. Para identificar la fecha del inicio del periodo de crecimiento, se calculó usando la ecuación punto-pendiente.

Cuadro 15. Datos para estimación del inicio y termino de los periodos de crecimiento para la estación 20089 de la CONAGUA.

ETP	0.5ETP	Precipitación
118	59	34.8
113	56.5	36.4
123.9	61.95	50.7
127.1	63.55	70.6
132.9	66.45	247.1
113.1	56.55	527.1
118.9	59.45	405
117.1	58.55	481.2
114.2	57.1	531.9
111.6	55.8	296.4
108.4	54.2	87.7
118.8	59.4	54.8
	118 113 123.9 127.1 132.9 113.1 118.9 117.1 114.2 111.6 108.4	118 59 113 56.5 123.9 61.95 127.1 63.55 132.9 66.45 113.1 56.55 118.9 59.45 117.1 58.55 114.2 57.1 111.6 55.8 108.4 54.2

Fuente: Elaboración propia, 2013.

Inicio del periodo de crecimiento.

Para identificar los valores de ETP, se graficó el periodo de crecimiento, se identificó que inicia entre el mes de marzo y abril, por ello para poder establecer el sistema de ecuaciones que identifique el día en que inicia el periodo de crecimiento, al mes de marzo le corresponderá la variable X1 con un valor equivalente al mes que le corresponde, marzo es el mes número 3 del año, por elloo este será su valor; el mes de abril le corresponde la variable X2, su valor será 4. Para las variables Y1 y Y2 su valor corresponderá con 0.5ETP de los meses seleccionados; como se ejemplifica a continuación.

X1= MARZO (3) Y1=61.95 mm 0.5 ETP X2= ABRIL (4) Y2=63.55 mm 0.5 ETP

La ecuación punto-pendiente se utilizó para el sistema de ecuaciones, como se muestra:

Posteriormente se sustituyeron los valores; y se resolvió la ecuación:

_____ Ecuación 1

Para identificar los valores de precipitación pluvial, se consideró el mes de marzo y abril para construir la ecuación número 2 del sistema de ecuaciones y se repitió el procedimiento:

_____ Ecuación 2

Resolviendo el sistema de ecuaciones

Ecuación 1, relativa a 0.5ETP.

Ecuación 2, relativa a P(mm)

Sustituyendo.

Ecuación 3

Inicio del periodo de crecimiento:

En el supuesto que los valores enteros representan a un mes; entonces los decimales le corresponderán a los días del mes. Como el valor para el inicio del periodo de crecimiento es de 3.61, ello indica que inicia en el mes de Marzo; y se transforma el 0.61 al multiplicarlo por el número de días del mes, en este caso Abril cuenta con 30 días, obteniendo:

$$0.61 * 31 = 18 días$$

Entonces, el inicio del periodo del temporal para la región Loxicha es el 18 de marzo.

Termino del periodo de crecimiento.

La Figura 14, ilustra el periodo de crecimiento, se construyó la ecuación correspondiente para el cálculo de 0.5 ETP

X1= NOVIEMBRE (11) Y1= 54.2 0.5 ETP

X2= DICIEMBRE (12) Y2= 59.4 0.5 ETP

Ecuación 4

Se obtiene la siguiente ecuación	utilizando los valore	s de precipitación o	de los
meses Noviembre y Diciembre.			

X1= NOVIEMBRE (11)	Y1=87.7 mm P
X2= DICIEMBRE (12)	Y2=54.8 mm P
	Ecuación 5
Resolviendo el sistema de ecuaciones	5.
Ecuación 1.	
Ecuación 2.	
Sustituyendo.	
	Ecuación 6
	_

Termino del periodo de crecimiento

El valor para el término del periodo de crecimiento es de 11.87, indica que termina en el mes de Noviembre; se transforma 0.87 multiplicando por el número de días del mes, en este caso Noviembre cuenta con 30 días, quedando:

$$0.87 * 30 = 26 días$$

Cuadro 16. Número de días húmedos y secos para la región Loxicha.

Meses	Días	Días húmedos	Días secos
Enero	31	0	31
Febrero	28	0	28
Marzo	31	13	18
Abril	30	30	0
Mayo	31	31	0
Junio	30	30	0
Julio	31	31	0
Agosto	31	31	0
Septiembre	30	30	0
Octubre	31	31	0
Noviembre	30	26	4
Diciembre	31	0	31
Total	365	253	112

Fuente: Elaboración propia, 2013.

El periodo de crecimiento para la zona de pluma hidalgo inicia el 18 de Marzo y termina el 26 de Noviembre; 253 días son húmedos y 112 días secos.

Para la estación 20308 se realizó el mismo procedimiento que en la estación 20089, de la cual se obtuvo que la humedad necesaria para el establecimiento de cultivos comienza el 14 de abril y termina el 10 de octubre.

Cuadro 17. Número de días con humedad y secos para la región de San Mateo Rio Hondo.

Meses	Días	Días húmedos	Días secos
Enero	31	0	31
Febrero	28	0	28
Marzo	31	0	31
Abril	30	16	14
Mayo	31	31	0
Junio	30	30	0
Julio	31	31	0
Agosto	31	31	0
Septiembre	30	30	0
Octubre	31	19	12
Noviembre	30	0	30
Diciembre	31	0	31
Total	365	188	177

Fuente: Elaboración propia, 2014.

Entonces para la zona de San Mateo Rio Hondo en todo el año existen 188 días con humedad y 177 días secos.

4.1.7 Uso del suelo

Bosque de Pino. Comunidad vegetal siempre verde, formadas en su mayoría por diferentes especies de coníferas. Se trata de una población que posee un crecimiento relativamente rápido; de gran importancia económica, constituyen el recurso forestal por excelencia. Ocupan las partes altas de los sistemas montañosos con una superficie de 35165.53 ha.

Bosque de Pino Encino. Comunidad de bosque ampliamente distribuida, casi en la totalidad de estos bosques se localizan en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur. Crece en ambientes influenciados por climas templados subhúmedos y semicálidos subhúmedos, ocupa una superficie de 33079.68 ha.

Bosque Mesófilo de Montaña. Cubre amplios espacios de sierra, sobre todo los que se encuentran a barlovento, atrapan los vientos húmedos provenientes del

Pacífico. La vegetación es siempre verde, de crecimiento denso, es notable la mezcla de especies de clima templado y tropical, cubre laderas de sierra en niveles altitudinales no muy altos y siempre de alta humedad atmosférica. El área que se tiene es de 23227.34 ha.

Bosque de Encino. Constituido por diversas especies de *Quercus*, prospera entre los 2500 msnm y pueden descender hasta los 200 msnm. En la subprovincia cordillera del sur los encinares ocupan las partes inferiores de la sierra, donde colindan con selva mediana subcaducifolia y selva baja caducifolia.

Selva Mediana Subperenifolia. Se desarrolla en suelos de escasa profundidad, con precipitación entre los 1000 y 1500 mm con una época de sequía bien marcada, el clima corresponde a ambientes cálidos; estas selvas pueden llegar a medir hasta 30 m, su característica distintiva es la pérdida de follaje de al menos el 25% de los elementos arbóreos durante la época seca del año, que coincide con la época de floración de muchos de sus elementos. Con una superficie de 11952.50 ha.

Vegetación secundaria de Selva Mediana Subperenifolia. Selva mediana perturbada donde los estratos remanentes son arbustivos en su mayoría.

Selva Mediana Subcaducifolia. Presenta una altura no mayor a los 20-25 m de altura en la parte arbórea. Prospera en sitios con temperatura altas, libre de heladas, con precipitaciones menores a la selva mediana subperenifolia y con una época de sequía mucho más prolongada, donde hasta tres cuartas partes de la población arbórea pierden sus hojas 4339.78 ha.

Selva Mediana Caducifolia. Comunidad conformada por árboles de 15 y 20 m de altura estrechamente relacionada con la selva mediana subcaducifolia y selva baja caducifolia. En ella más de tres cuartas partes de los elementos arbóreos pierden su follaje durante la época seca del año. Su distribución no es amplia se presenta en las inmediaciones de San Pedro Pochutla hasta 500 msnm. Sujetos a la influencia de climas cálidos subhúmedos, con precipitaciones cercanas a los 1000 mm.

Manglar. En costas de Oaxaca su presencia es limitada. La fisonomía que presenta este tipo de vegetación puede ser arbórea o arbustiva, el crecimiento suele ser denso y sus componentes poseen hojas perennes y carnosas.

Selva mediana subcaducifolia. Presenta una altura no mayor a los 20-25 m de altura en la parte arbórea. Prospera en sitios con temperaturas altas, libres de heladas con precipitaciones menores a la selva mediana subperenifolia, con una época de sequía mucho más prolongada donde hasta tres cuartas partes de la población arbórea pierden sus hojas. En la lista de uso de suelo en la parte alta se tiene pastizal inducido, Sabana, Agricultura de Temporal. En la parte media de la cuenca una pequeña sección de pastizal inducido. En la parte baja los usos del suelo varían entre Agricultura de Temporal, de humedad o de riego. Cabe destacar que las coberturas vegetales no presentan una perturbación aguda, sus coberturas en el dosel oscilan entre el 80 y 90% y el mayor grado de perturbación dentro de la cuenca se puede ubicar en la parte baja. En la Figura 17, se puede observar el uso de los suelos en la cuenca del rio Copalita.

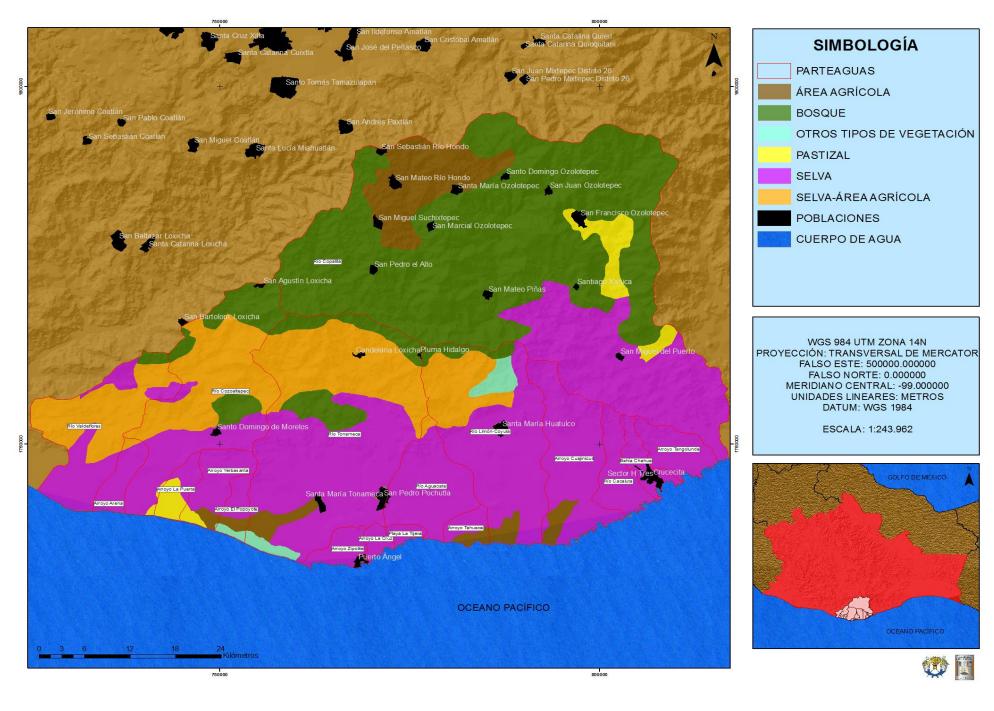


Figura 17. Distribución del uso de suelo en la región de la cuenca rio Copalita, Oaxaca, México (Flores, 2013)

4.1.8 Suelos

El área de estudio posee cinco unidades de suelo dominantes de acuerdo a la clasificación FAO/UNESCO Figura 10, muestra la distribución:

- Acrisol húmico. Abarca la parte Alta del área de estudio. Son suelos ácidos, con una topografía ondulada o colinada, con un clima tropical húmedo o subtropical. Presenta un horizonte oscuro, con materia orgánica poco descompuesta. Se distribuye en 135,653.66 ha.
- Cambisol eutrico. Cubre la parte Este del área de estudio. Son suelos jóvenes con proceso inicial de acumulación de arcilla pueden ser rico en nutrientes (Ca, Mg, K y Na) en los 125 cm de profundidad Se consideran los mejores suelos para la agricultura en la región, ocupa 53,618.32 ha.
- Feozem háplico: Se identifican con moderada presencia en la parte central del área de estudio. Son suelos con igual o mayor fertilidad que los Vertisoles, ricos en materia orgánica, textura media, buen drenaje y ventilación, son poco profundos, casi siempre pedregosos y muy inestables, restringiendo por ello su uso en la agricultura permanente. Se recomienda mantenerlos con vegetación perenne. Se encuentra en 19,959.08 ha.
- Regosol eútrico: Abarcan La zona central y oeste del área de estudio. Son suelos ácidos, jóvenes y poco evolucionados, Comunes en el trópico Seco, inestables por lo que son fácilmente erosionables, muy pobres en materia orgánica, ricos en nutrientes como Ca, Mg, K y Na. Se asocia a 129,468.27 ha.
- Rendzina: Cubren una zona reducida en la parte alta del área de estudio.
 Son suelos jóvenes establecidos sobre roca caliza son poco profundo, presenta un horizonte de aproximadamente 50 cm de profundidad, ricos en materia orgánica. Ocupan 3910.37 ha.

En la Figura 18, se observa la distribución de los suelos en la región de estudio.

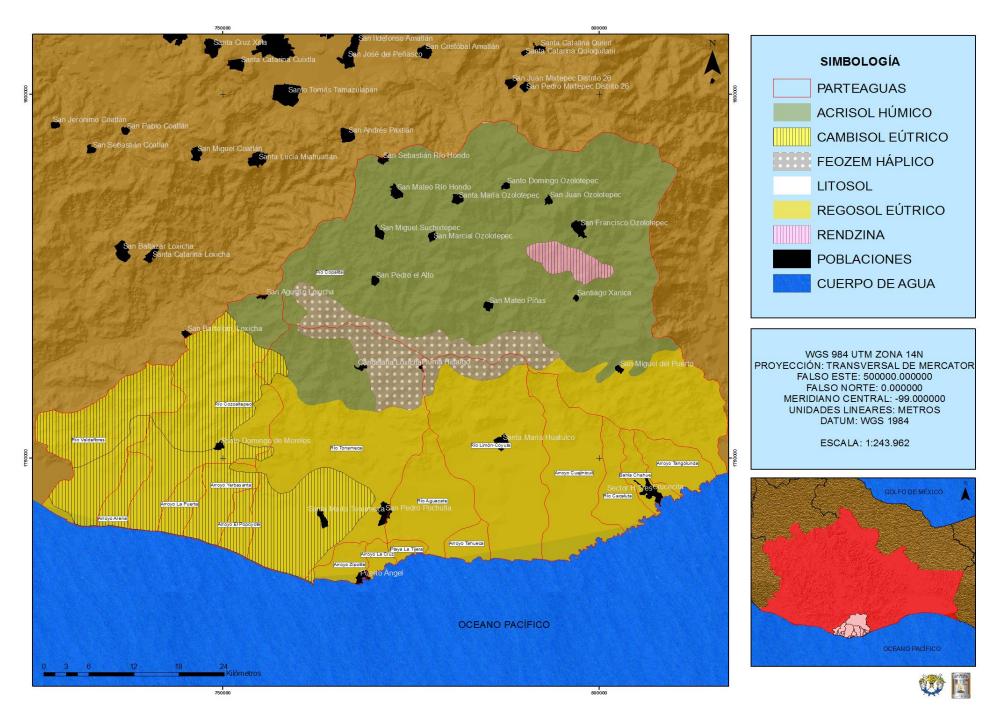


Figura 18. Distribución de los suelos en la región de la cuenca rio Copalita, Oaxaca, México (Flores, 2013)

4.1.9 Fisiografía y geomorfología

La región costa se puede dividir en dos áreas: la occidental, de relieve más suave, en donde se distinguen llanuras, lagunas y lomeríos que finalizan en puerto Ángel; por el lado oriental, consiste en un relieve premontañoso y de elevaciones medias y bajas que descienden hasta el mar con una línea de costa mixta, de promotorios rocosos en los que se intercalan playas arenosas. En la distribución superficial de las pendientes predomina el valor de 55.4%.

Esta zona está prácticamente cubierta por rocas metamórficas del Cretácico e intrusivas de carácter granítico; solo de manera local existen afloramientos de calizas. El cuaternario aluvial está localizado en las desembocaduras de los ríos Verde, Copalita y otros. El relieve es acumulativo en la porción occidental, mientras que en la oriental es de erosión y de denudación área o laminar, modelando las terrazas estructurales y niveles premontañosos ya diseccionados por la red fluvial.

En esta unidad geomorfológica se distingue claramente el escalonamiento del relieve debido a la influencia neotectonica, ascendiendo por saltos hacia el interior del continente, en correspondencia con el desarrollo general del relieve en las zonas de subducción.

4.1.10 Municipios

Según datos de censo poblacional 2010 publicado por INEGI, la población total de los 22 municipios ubicados en la cuenca suma 218,584 habitantes. Pero de acuerdo con Flores (2012), los datos de INEGI están sobreestimados y según sus resultados al ubicar el territorio de los municipios dentro de la cuenca, se encontró una población de 187,000 habitantes. En la Figura 19, se muestra la distribución municipal de la región cuenca río Copalita.

Cuadro 18. Población estimada dentro de la zona de estudio.

No.	Municipio	Habitantes	No.	Municipio	Habitantes		
1	Candelaria Loxicha	9,860	12	Santo Domingo	913		
				Ozolotepec			
2	Pluma Hidalgo	3,060	13	San Miguel Suchixtepec	2,911		
3	San Agustín Loxicha	22,565	14	San Pedro el Alto	3,903		
4	San Bartolomé Loxicha	2,422	15	San Pedro Mixtepec Dto.	1,099		
				26			
5	San Francisco	1,945	16	San Pedro Pochutla	43,860		
	Ozolotepec						
6	San Juan Mixtepec Dto.	711	17	San Sebastián Rio Hondo	3,664		
	26						
7	San Juan Ozolotepec	3,168	18	Santa María Huatulco	38,629		
8	San Marcial Ozolotepec	1,525	19	Santa María Ozolotepec	3,992		
9	San Mateo Piñas	2,226	20	Santa María Tonameca	24,318		
10	San Mateo Rio Hondo	3,308	21	Santiago Xanica	2,884		
11	San Miguel del Puerto	8,481	22	Santo Domingo de	10,547		
				Morelos			
	Total de Habitantes para los 22 municipios 195,991						

Fuente: Elaboración propia, 2013

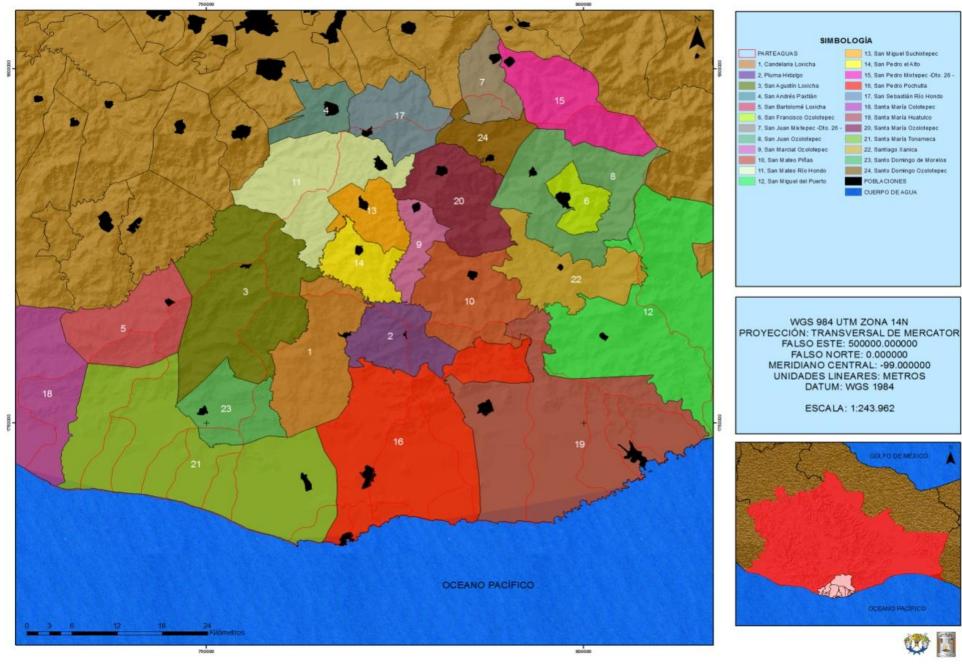


Figura 19. Distribución municipal de la región cuenca rio Copalita, Oaxaca, México (Flores, 2013).

4.1.11 Economía regional

De acuerdo a datos proporcionados por E-local.gob en colaboración con INEGI (2013), las actividades económicas en los distintos municipios que conforman la región Costa del Distrito Pochutla son las siguientes.

- San Mateo Piña. La mayoría de la población se orienta a la agricultura. El 3% de la población se dedica al comercio.
- San Pedro Pochutla. El cultivo del cafeto es la fuente principal que genera el empleo rural e ingresos; el producto es de buena calidad, se exporta. También se cultivan cocoteros, de donde se extrae el aceite de coco y las esencias; la producción de ciruelo tropical se encuentra en grandes cantidades con la desventaja que es un producto de cosecha anual, al igual que el mango, producto propio de la región. El 50 % de la población de este municipio se dedica al comercio.
- Candelaria Loxicha. El 90% de la población se dedica a la agricultura, sobre todo al cultivo del café, jamaica, guanábana y plátano. El 10% de la población realiza actividades comerciales.
- San Agustín Loxicha. El 80% de la población se dedica al cultivo del café; el 20 % de la población se dedica al comercio.
- San Bartolomé Loxicha. Más del 60% de la población se dedica a la agricultura; el 30% de la actividad en la ganadería y el 10% en el comercio.
- San Miguel del Puerto. El 40% de la población se dedica a la agricultura; el 20% a la ganadería. El restante 40% se divide entre la explotación forestal, la minería, la industria, el comercio y el turismo.
- San Pedro el Alto. Los principales rubros se dividen entre actividades agrícolas cultivando los siguientes productos: café, frijol, caña, calabaza, maíz y frutas como el plátano, capulines, guayabas, entre otros y actividades ganaderas; un 10% se dedica al comercio.
- Santa María Huatulco. Una de las actividades más importantes en este municipio es el cultivo del café, esta actividad se desarrolla en un 30% de su población. La más importante y sobresaliente es la actividad turística, de ella

- depende la mayoría de la población empleada y dedicada al comercio, esta actividad se desarrolla en un 40%. Un tercer rubro es la actividad pesquera desarrollada por un 20% de la población.
- Santa María Tonameca. La actividad agrícola se desarrolla en un 55 %, cultivándose: maíz, fríjol, cacahuate, ajonjolí, sorgo, sandía, melón, pepino, calabaza, papaya, entre otros. La actividad ganadera se desarrolla en un 15%, dedicándose a la cría de ganado vacuno, bovino, porcino y aves de corral. Al comercio se dedican en un 20%. La pesca y el turismo también están presentes en este municipio, con un 5% respectivamente.

4.2 MÉTODO

Se tomó como referencia el huracán Carlota ocurrido en el año 2012; previo al meteoro se realizó un muestreo de suelos, posteriormente al evento meteorológico se realizó un segundo muestreo de suelos en los mismos sitios georreferenciados.

Se realizaron los análisis de suelos en el Laboratorio Central Universitario de Suelos, para la determinación del Calcio se utilizó como referencia a la NOM-021-RECNAT-2000; usando el método determinación de bases intercambiables (Ca, Mg, Na y K) de los suelos ácidos y calcáreos, empleando acetato de amonio 1N, pH 7.0, como solución saturante, el cual se describe a continuación:

4.2.1 Descripción de la metodología

- **4.2.1.1 Principio y aplicación.** Se utilizó el método para la determinación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y bases intercambiables (Ca2+, Mg2+, Na+ y K+) de los suelos, empleando acetato de amonio 1N, pH 7.0, como solución saturante. El método para la determinación consiste en la saturación de la superficie de intercambio con un catión índice con potasio y determinación del amonio mediante destilación. El amonio se emplea como catión índice debido a su fácil determinación, poca presencia en los suelos y porque no precipita al entrar en contacto con el suelo. La concentración normal que se usa asegura una completa saturación de la superficie de intercambio y como está amortiguada a pH 7.0, se logra mantener un cierto valor de pH. El lavado con alcohol pretende desplazar el exceso de saturante y minimizar la pérdida del amonio adsorbido.
- 4.2.2 **Reactivos.** Los reactivos fueron de grado analítico, se ocupó agua destilada. Las soluciones para este análisis se almacenaron en recipientes de polietileno.
 - Solución de acetato de amonio 1.0 N, pH 7.0. Diluir 57 ml de ácido acético glacial (99.5%) con agua a un volumen de aproximadamente 500 ml. Agregar 60 ml de hidróxido de amonio concentrado, diluir con agua a un volumen de 990 ml, mezclar completamente, ajustar a pH 7.0 y diluir a un volumen final de 1 litro con agua.

- 2. Una alternativa en el punto anterior consiste en pesar y disolver 77 g de acetato de amonio (NH₄C₂H₃O₂) en 900 ml de agua y debe ser necesario ajustar a pH 7.0 y entonces completar a un litro con agua.
- 3. Alcohol etílico, usar CH₃CH₂OH grado industrial.
- 4. Solución de cloruro de sodio al 10%. Pesar 100 g de cloruro de sodio grado analítico y disolver en 1 L de agua empleando un matraz aforado.
- Solución de cloruro de amonio 1 N. Pesar 53.50 g de NH₄Cl y disolver en agua. Ajustar a pH 7.0 con hidróxido de amonio y diluir a 1 litro empleando un matraz aforado.
- Solución de cloruro de amonio 0.25 N. Pesar 13.38 g de NH₄Cl y disolver en agua. Ajustar a pH 7.0 con hidróxido de amonio y diluir a 1 litro empleando un matraz aforado.
- 7. Indicador mixto. Mezcla de volúmenes iguales de rojo de metilo al 0.66% y verde de bromocresol al 0.99%. Ambos disueltos en etanol al 95%.
- 8. Solución de ácido bórico. Usar H₃BO₃ en agua destilada que contenga 10 ml del indicador por litro.
- Ácido clorhídrico diluido. Usar HCL al 0.01 N.
- 10. Hidróxido de sodio al 40%. Disolver 400 g de NaOH en agua destilada y llevar a 1000 ml.
- 11. Solución de lantano acidificada. Pesar 7.742 g de La(NO₃)₃•6H₂O en un matraz volumétrico de 250 ml con agua destilada añadir 17.5 ml de HNO₃ concentrado y aforar.
- 12. Solución diluida de lantano acidificada. Tomar 50 ml de la solución de lantano acidificada en un matraz volumétrico de 500 ml y aforar con agua destilada.
- 13. Solución de cloruro de cesio acidificada. Disolver 11.12 g de CsCl y 250 ml de Al(NO₃)₃•9H₂O en 500 ml de agua en un matraz volumétrico de 1000 ml, añadir 20 ml de HNO₃ 2 M y aforar con agua.
- 14. Solución de ácido nítrico 2 M. Diluir 7 ml de HNO₃ concentrado en agua, aforar a 100 ml en un matraz volumétrico.

4.2.3 Material

- 1. Tubos de centrifuga de 50 ml con fondo redondo.
- 2. Agitador mecánico.
- 3. Centrifuga con capacidad para 8 a 16 tubos.
- 4. Matraces volumétricos de 100 ml.
- 5. Matraces Erlenmeyer de 125 ml.
- 6. Aparato de destilación.

4.2.4 Procedimiento

- 1. Pipetear 0.5 ml de la solución A en un tubo de ensaye.
- 2. Añadir 9.5 ml de la solución diluida de lantano y mezclar.
- 3. Medir la concentración de Ca y Mg en las series estándar, el blanco y la muestra por espectrofotometría de absorción atómica a una longitud de onda de 422.7 y 285.2 nm, respectivamente, usando una flama de aire-acetileno.

4.2.5	Cálculos			

Dónde:

a= Concentración de Ca o Mg medido en la muestra (mg*L⁻¹).

b= Concentración de Ca o Mg medido en el blanco (mg*L-1)

w= Peso del suelo seco (g)

4.2.6 Interpretación de resultados de calcio, magnesio y potasio (Ca, Mg y K).

Los resultados de los análisis de las bases intercambiables pueden interpretarse en el Cuadro 19.

Cuadro 19. Tabla de interpretación para los cationes de cambio.

CLASE	Ca	Mg	K	
OL/ (OL	Cmol (+) Kg ⁻¹			
Muy baja	Menor -2	Menor - 0.5	Menor – 0.2	
Baja	2-5	0.5 – 1.3	0.2 – 0.3	
Media	5 – 10	1.3 – 3.0	0.3 – 0.6	
Alta	Mayor - 10	Mayor – 3.0	Mayor – 0.6	

Fuente: NOM-021-RECNAT-2000, 2013

De los datos de laboratorio se procedió a realizar la conversión a kg/ha, a manera de ejemplo:

Datos

$$Ca = 1214 \text{ mg/kg}$$

Profundidad de muestreo = 0.2 m

Densidad aparente =1.05 T/m³

Cálculos

4.2.7 Relación Ca/Mg

Debido a que en el laboratorio los resultados se expresan en ppm o mg/kg, es necesario realizar la conversión a Cmol/kg para poder estimar los valores de la relación Ca/Mg. De acuerdo con Castellanos (2000), para poder realizar la conversión es necesario dividir el valor de ppm entre un factor de conversión para algunos cationes de cambio. En el Cuadro 20 se puede reportan algunos factores de conversión.

Cuadro 20. Factores de conversión para transformar de ppm a cmol/kg de algunos cationes de cambio.

Cationes de cambio	Factor de conversión de ppm a cmol/kg
Potasio	391
Calcio	200
Magnesio	122
Sodio	230
Aluminio	90

Fuente: Castellanos, 2000.

Usando los resultados de laboratorio de S. la Galera para el ejemplo, entonces se reportan en el Cuadro 21.

Cuadro 21. Resultados de laboratorio

Núm.	Sitio de muestreo	2012		
		Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	
1	S. La Galera	253	70	

Fuente: Elaboración propia, 2014.

Utilizando los valores de conversión para cada catión, se obtiene lo siguiente:

Calcio (cmol/kg) = (253 mg/kg) / 200

Calcio (cmol/kg) = 1.27

Convirtiendo los valores de magnesio (Mg):

Magnesio (cmol/kg) =
$$(70 \text{ mg/kg}) / 122$$

Se dividen ambos datos que ya transformamos a cmol/kg para obtener la relación Ca/Mg que existe.

$$Ca/Mg = 2.23$$

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 El cultivo de café en la región

5.1.1 Generalidades del Cultivo de Café

La mayoría de los cafetales en la región Loxicha, en el caso de San Vicente Yongondoy y se cultivan en un rango de altitud de 1440 a 1475 msnm y en un relieve montañoso, de pendiente pronunciada de 45%, teniendo alto riesgo de erosión siendo la erosión hídrica la más común; con pedregosidad media.

La textura del suelo en los cafetales es arcillo-limosa; de color obscuro. Estos suelos son llamados comúnmente por los productores como "suelo negro. La profundidad del suelo con color obscuro es de los 15 a 20 cm.

Los cafetales de los productores son de cuatro a siete hectáreas. Los terrenos con regularidad se ubican próximos a las viviendas, estando las más lejanas a dos horas de la comunidad a pie.

5.1.2 Evolución del Uso de la Parcela

Anteriormente los terrenos eran selva, con la introducción del café en 1981, los terrenos se cambiaron de uso al cultivo del café, con este cambio de uso de suelos se generó una fuente económica para la comunidad; el rendimiento descendió.

En un principio la mayoría de los cafetaleros, cultivaban en la variedad criolla, la mayoría la siguen cultivando, pero en años recientes se han introducido variedades, como: garnica, caturra (cerezo amarillo). Los cafetaleros, tienen una producción de tipo artesanal, la producción es pequeña, con nula industrialización; son raros los terrenos donde se han quitado los cafetales para cultivar alguna otra especie (maíz y frijol), ahora los cafetaleros, se preocupan no solo por los rendimientos de su parcela, sino que se puede percibir en ellos una preocupación por el ambiente, por lo cual algunos acuden a talleres de actualización sobre el cultivo del café, mejorando sus prácticas agrícolas cuidando de antemano el medio ambiente.

5.1.3 Semilleros o Almácigos

Los productores seleccionan granos de café de plantas madre con características dominantes, como son: granos grandes, plantas productores de muchos granos, el

color intenso, con mucha ramificación con hojas abundantes y de color verde obscuro.

La siembra de la semilla se realiza después de la pizca del café, aproximadamente a finales de enero y febrero, se puede sembrar en cereza o despulparlo y sembrar en pergamino; las camas donde se siembra la semilla son hechas de una composta que realizan los campesinos, con estiércol de tierra de monte, desechos orgánicos como cascarilla de café, pastos, hierbas y hojarasca.

La semilla es sembrada directamente después de seleccionarla de la planta, se realiza en las casas que se encuentran cerca de la parcela; el semillero alcanza una dimensión de hasta 12 x 8 m. La semilla comienza a germinar a las 6 semanas, para que esto suceda bien, el riego debe ser constante y cada semana.

5.1.4 Viveros

El vivero se lleva a cabo cuando las plantas tienen las suficientes dimensiones para poderlas pasar a bolas de plástico negro. Se realizan en zonas cercanas al terreno donde se va a trasplantar. Cuando las plantas crecen en bolsas de plástico; el riego es cada semana; se realizan actividades de deshierbe manual y solo a las plantas que se la aparecen. El vivero se coloca a la sombra de árboles frondosos, que pueden tapizar bien el techo.

5.1.5 Establecimiento del Cafetal

Los productores identifican dos tipos de tierra, la de primera es de color negro y con abundante hojarasca, son tierras que se encuentra con frecuencia en lugares bajos, como pequeños valles; la tierra de segunda es de color rojizo, con cubierta vegetal, se encuentra en lugares accidentados y en las partes altas de la montaña, los productores buscan lugares en los terrenos que no existen cafetales y que tengan árboles de sombra para que se produzca buena materia orgánica; el cafetal para establecerlo se comienza haciendo capas de 2 dimensiones que pueden ser de 40 x 40 x 50 cm; o de 50 x 50 x 60 cm. El hoyo o cepa se realiza con instrumentos de labranza como lo es la pala, pico y azadón, el hoyo se le agrega, hojarasca que se toma de los alrededores de la cepa cuando se puede se le agrega estiércol de mula al momento se coloca la planta de café y se tapa con la tierra que salió hasta el ras

del suelo, se pisotea bien la tierra en todo el alrededor de la planta para que la humedad dure más tiempo y el crecimiento sea bueno.

5.1.6 Manejo de Cafetales establecidos

La densidad de plantas es de 2200 plantas/ha aproximadamente, con plantaciones de marco real a 2.0 metros en hileras. Los árboles de sombra son más de 400 a 600 árboles/ha aproximadamente. Aunque solo unas cuantas especies dominan con mayor cantidad de individuos.

El manejo que se le da al cafetal es la regulación de la sombra, la poda de sanidad y la poda total. La poda de sanidad comprende cortar todas las ramas de las plantas que ya no son productivas, ya que estos están consumiendo nutrientes y dejará a las ramas que si producen sin los nutrientes requeridos. La poda total comprende quitar toda la planta para la renovación, esto implica cortar el cafeto a la altura de 40 a 50 cm, desde la base y esperar que retoñen para la nueva planta. Para retener la materia orgánica del suelo de cafetal se realizan barreras vivas y barreras muertas dependiendo cual es el material a utilizar y que sea abundante en donde se utilice. En las barreras muertas se utilizan troncos, escombros, etc., para la retención de la materia orgánica y servirá de materia orgánica cuando se descomponga.

El manejo de malezas se realiza desde que se introducen los cafetales. En la parcela se presentan problemas de hierbas y arbustos en las épocas de lluvia (más frecuentes), las malezas son monocotiledóneas y dicotiledóneas. El control de la maleza se realiza con limpia (deshierbes) en las temporadas o finales de la lluvia, en los meses de junio, julio y octubre.

El matopalo es una de las malezas que afecta a los arboles de sombra y el cafeto (es una especie de enredadera). El costo del control de la maleza es de \$ 300.00 pesos M.N y no se mantiene un registro para este control ya que año tras año varía. Al año asciende el costo de \$ 600.00 a \$ 900.00 pesos. Ya que en ocasiones realiza de dos a tres veces la limpia.

El costo de los deshierbes varía en diferentes cafetales ya que no todas las parcelas crecen las mismas malezas, hay algunas que solamente realizan en una sola vez el

deshierbe y en otras parcelas realizan hasta tres veces. En la misma parcela a veces se hacen una sola vez el deshierbe y en otras áreas del mismo cafetal se hacen hasta tres veces esta práctica.

5.1.7 Plan de Manejo de Plagas

Las plagas que se presentan en el cafetal son: la broca y el barrenador actualmente no mantienen un método de control a dichas plagas.

Otra plaga es la broca, el método que se utiliza para controlar esta plaga es con la ayuda de un bote que contiene un polvo con hongos, esta se le cuelga a la planta y la utilizan cada año en los meses de junio y agosto, en estos meses la plaga es más común en algunos casos.

Aunque algunos productores reciben pláticas sobre métodos de control de plagas en la ciudad de Oaxaca, aun no los aplican en su parcela.

Los productores no aplican ningún método de control químico, debido a que son productores orgánicos.

5.1.8 Plan de Manejo de Enfermedades

Se presenta en el cultivo unas manchas en las hojas y es conocido en la región con el nombre de "guachin" que consiste en que la mitad del café se seque y la otra no, no se aplica nada para controlarla, no existe un control de la enfermedad.

Existen otras enfermedades comunes en el cafetal como la roya y el ojo de gallo, que actualmente no aplica ningún método de control.

5.1.9 Regulación de Sombra

La mayoría de los productores en la comunidad han estado regulando la sombra desde hace varios años con la reforestación con las especies de: palo mujer macahuite y cuil principalmente; varios realizan poda de los árboles de sombra (podan las ramas), para que estos crezcan adecuadamente y hacia arriba.

La temporada en que realizan la poda de los árboles de sombra es después del corte de café y los realizan los cafetaleros y los jornaleros, los instrumentos con los que realizan la poda son machete, en varias ocasiones se recoge la leña para el autoconsumo, pero también se puede quedar en el terreno y sirve como materia orgánica.

5.1.10 Poda del Cafeto

Los productores realizan dos podas, una poda de sanidad y la otra poda completa, la primera consiste en cortar las ramas del café que ya no producen para evitar que estas ramas absorban nutrientes, quitando ramas secas etc. Y la segunda es cortar toda la planta que es improductiva después de varias podas de sanidad. Esto lo realizan en épocas o días antes de la lluvia (marzo y abril). Las podas se realizan con machete.

5.1.11 Abonado del Cafeto

Esta labor se realiza comúnmente con abonos orgánicos que pueden estar compuestos desde cascara de café, hojarasca, estiércol de animales de carga y en algunos casos de ceniza, todos con un porcentaje de humedad mínima.

Normalmente se prepara con un año de antelación, haciéndose en su momento una mezcla de los ingredientes, anteriormente citados, originando una masa homogénea, de variante calidad almacenándose en contenedores de diferentes tamaños y de fácil acceso; es aplicado preferentemente, en la época de hacer el trasplante coincidiendo en los meses de junio-julio, con una dosis de 70 gramos por planta.

La labor se realiza manualmente con ayuda de herramienta de campo pala, coa carretilla para su traslado. Con la fertilización, el porcentaje de rendimiento llega aumentar, sin embargo no todos los productores lo hacen debido al gasto extra que significa su elaboración, aunque éste sea relativamente poco.

5.1.12 Cosecha

La floración del cafetal, se da a los tres años de edad, después de esto se realiza cada año en los meses de junio, siendo la cosecha en el mes de enero. La flor es de una coloración blanca y de olor agradable, su recolección del grano, se realiza de acuerdo a las demandas del mercado, pues se tienen varios criterios de cereza:

Cerezo verde

Este cerezo, se corta para ser guardado en cestos, donde tiende a terminar de madurar, para después ser comercializado.

Cerezo rojo

Por lo contrario al verde, este va directamente a la despulpadora y al beneficio de secado, para después ser trasladado.

El tiempo en que se realiza la cosecha, depende de la mano de obra que se requiera, y es pagada a \$ 30.00 pesos por cubeta equivalente a un canasto y medio; usualmente se realizan dos cortes, esto porque no todas maduran al mismo tiempo, utilizando recipientes llamados "pizcadores", pero de poco volumen para facilitar la carga a los recolectores. Después son trasladados de las plantas de donde se cortan a las orillas del camino en carretillas, para después ser almacenados en lugares secos en costales de 30 kilogramos de capacidad aproximadamente.

5.1.13 Beneficio

El abastecimiento de agua es sólo a partir de agua entubada en la comunidad, esta proviene de un manantial que lleva por nombre el "Duraznal", tiene conexión con el rio Yongondoy que cruza parte de la comunidad y termina desembocando en la costa en la "Barra de Colotepec".

Por otro lado la fermentación requiere de recipientes grande, cuidando que los granos tengan el mismo grado de fermentación con ello se toma la precaución de que sea tapado para disminuir el tiempo del proceso.

Las despulpadoras son para el manejo del café, ya que es el único cultivo de los que se manejan en la comunidad, que lo requiere y para disminuir el porcentaje de humedad se extiende para posteriormente practicar el secado. Otro punto son las aguas residuales producidas durante el manejo de preparación del café para después mandarlo al mercado, son almacenados en pozos de aproximadamente un metro de profundidad y que se utilizara para la administración de abono a las plantas ya sembradas.

5.1.14 Secado del Café

El secado del café, se lleva a cabo en enero, en patios con piso de cemento, en estos patios el café dura de cuatro a seis días dependiendo del clima, pero también se puede hacer en los techos o en tinas donde se asolee este durante 4 o 6 días.

5.1.15 Manejo de Pos Cosecha

El café, después de despulparse, limpiarse, seleccionarse y secarse es recogido para almacenarlo en costales que sólo son usados para café, estos deben de permitir el paso del aire y ser muy secos para mantener el café bien seco, al igual que el café debe de estar bien seco y en un lugar seco para evitar la incidencia de hongos, se almacena solo por un mes.

5.1.16 Comercialización

Cuando el café está listo para ser vendido y la producción del café es baja, este, en primera instancia es abastecido en las tiendas de la propia comunidad, donde existen alrededor de 7. Es importante señalar que los productores que son socios de la Coordinadora Estatal de Productores de Café de Oaxaca A.C. (CEPCCO A.C.), entregan su café a este órgano y lo convierte en café oro para después exportarlo al extranjero; sin embargo la mayor parte de los productores trasportan su producción, a San Agustín Loxicha, donde los compradores locales y también los llamados "coyotes", acaparan una parte de producción.

5.2 Eventos Hidrometeorológicos

Unisys es una compañía mundial de tecnología de la información que diseña, construye y gestiona entornos de misión crítica para compañías comerciales como para instituciones gubernamentales. Integra las ofertas y funcionalidades en servicios de subcontratación (outsourcing), integración de sistemas, servicios de consultoría, servicios de infraestructura, servicios de mantenimiento y tecnología de servidor de alto nivel. La empresa está presente en más de 100 países.

De 1950 a 1980, periodo normal en meteorología, se identifican 72 eventos; mientras que de 81 a 2010 se identifican 124 eventos, incluso ciclones con categoría 5. Esto es una evidencia del cambio climático por el mayor número de eventos y de su intensidad, lo que indica que la zona es vulnerable a este tipo de eventos, ahí radica

la importancia del agroecosistema cafetalero, cuya cubierta vegetal protege a la Cuenca de los riesgos propios de un huracán: alta escorrentía, deslizamiento de laderas, erosión hídrica, sedimentación en la parte baja, otras.

Las consecuencias del cambio climático también repercuten en el sector social y económico; debido a la destrucción que lo huracanes generan a su paso por las comunidades, los costos de reparación de viviendas cada vez son más altos; en el aspecto social las poblaciones migran de sus comunidades para buscar una mejor calidad de vida. Resultado de esta acción es el abandono de las parcelas y posteriormente con el paso del tiempo la degradación de esos terrenos.

Según UNISYS, se han registrado 212 fenómenos hidrometeorológicos desde 1949 al 2013, se incluyen: huracanes, depresiones y tormentas tropicales en la costa del pacifico sur mexicano, abarcando los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero. Los fenómenos hidrometeorológicos se presentan en el Cuadro 22.

Cuadro 22. Fenómenos hidrometeorológicos registrados desde 1949 al 2013.

Núm.	Año	Fecha	Evento	Categoría	Entidad afectada
1	1950	14 al 19 de Jun	Huracán-11	1	Oaxaca y Guerrero
2	1951	01 al 02 de Jun	Huracán- 12	1	Oaxaca y Guerrero
3	1951	26 al 27 de Jun	Tormenta tropical 3	TS	Guerrero
4	1951	24 al 29 de Ago	Tormenta tropical 6	TS	Guerrero
5	1952	12 al 16 de Jun	Tormenta tropical 2	TS	Oaxaca y Guerrero
6	1954	18 al 22 de Jun	Tormenta tropical 1	TS	Oaxaca y Guerrero
7	1954	12 al 17 de Jul	Huracán-1 3	1	Chiapas, Oaxaca y Guerrero
8	1954	27 de Sep al 01 de Oct	Huracán- 19	1	Chiapas y Oaxaca
9	1954	12 al 14 de Oct	Tormenta tropical 10	TS	Chiapas
10	1954	26 de Oct al 01 de Nov	Huracán-1 11	1	Chiapas, Oaxaca y Guerrero
11	1957	17 al 18 de Sep	Huracán-15	1	Oaxaca y Guerrero
12	1958	13 al 15 de Jun	Tormenta tropical 2	TS	Oaxaca y Chiapas
13	1958	26 al 30 de Jul	Tormenta tropical 5	TS	Guerrero
14	1958	30 de Sep al 06 de Oct	Huracán-1 10	1	Guerrero
15	1959	04 al 11 de Sep	Huracán-19	1	Chiapas, Oaxaca y Guerrero
16	1959	29 al 30 de Jul	Tormenta tropical 5	TS	Guerrero
17	1959	23 al 29 de Oct	Huracán-5 12	5	Oaxaca y Guerrero

40	4000	00 -142 -1-1	-	TC	10
18	1960	09 al 12 de Jul	Tormenta tropical ANNET	TS	Oaxaca y Guerrero
19	1960	17 al 20 de Ago	Huracán DIANA	1	Oaxaca y Guerrero
20	1960	29 de Ago al 09 de Sep	Huracán -1 ESTELLE	1	Chiapas, Oaxaca y Guerrero
21	1960	03 al 08 de Sep	Huracán-1 FERNANDA	1	Oaxaca y Guerrero
22	1961	15 al 19 de Jul	Tormenta tropical LIZA	TS	Oaxaca y Guerrero
23	1961	01 al 03 de Nov	Tormenta tropical SIMONE	TS	Oaxaca y Guerrero
24	1961	10 al 12 de Nov	Huracán-1 TARA	1	Guerrero
25	1963	29 al 30 de Jun	Huracán-1 EMILY	1	Guerrero
26	1963	09 al18 de Sep	Tormenta tropical JEN-KATH	TS	Oaxaca y Guerrero
27	1965	17 al 18 de Jun	Tormenta tropical WALLIE	TS	Oaxaca y Guerrero
28	1966	20 al 24 de Jun	Huracán-1 ADELE	1	Guerrero
29	1966	11 al 13 de Sep	Tormenta tropical IONE	TS	Guerrero
30	1967	16 al 16 de Jun	Tormenta tropical BRIDGET	TS	Guerrero
31	1968	20 al 22 de Jun	Tormenta tropical ANNETTE	TS	Guerrero
32	1968	06 al 11 de Oct	Huracán-1 REBECCA	1	Oaxaca y Guerrero
33	1968	18 al 19 de Oct	Tormenta tropical SIMONE	TS	Chiapas
34	1969	01 al 08 de Jul	Tormenta tropical AVA	TS	Chiapas, Oaxaca y Guerrero
35	1969	08 al 12 de Sep	Huracán-1 GLENDA	1	Guerrero
36	1970	26 al 30 de Jun	Tormenta tropical EILEEN	TS	Guerrero
37	1970	05 al 08 de Ago	Tormenta tropical KRISTEN	TS	Guerrero
38	1970	07 al 09 de Sep	Tormenta tropical ORLENE	TS	Chiapas y Oaxaca
39	1971	21 al 25 de May	Huracán-2 AGATHA	2	Oaxaca y Guerrero
40	1971	14 al 20 de Jun	Huracán-2 BRIDGET	2	Chiapas, Oaxaca y Guerrero
41	1971	08 al 13 de Ago	Tormenta tropical KATRINA	TS	Oaxaca y Guerrero
42	1971	28 de Ago al 01 de Sep	Huracán -1 LILY	1	Oaxaca y Guerrero
43	1971	03 al 09 de Sep	Huracán-2 NANETTE	2	Oaxaca y Guerrero
44	1971	20 de Sep al 01 de Oct	Huracán-3 OLIVIA	3	Chiapas, Oaxaca y Guerrero
45	1971	06 al 13 de Oct	Huracán-3 PRISCILLA	3	Oaxaca y Guerrero

			1		T _
46	1973	02 al 12 de Jun	Huracán-5 AVA	5	Oaxaca y Guerrero
47	1973	22 al 23 de Jun	Tormenta tropical BERNICE	TS	Guerrero
48	1973	26 al 30 de Jun	Tormenta tropical CLAUDIA	TS	Guerrero
49	1973	21 al 28 de Jul	Huracán-4 EMILY	4	Oaxaca y Guerrero
50	1973	25 al 30 de Jul	Huracán-1 FLORENCE	1	Oaxaca y Guerrero
51	1973	31 de Ago al 01 de Sep	Tormenta tropical HEATHER	TS	Chiapas
52	1974	14 al 17 de Jun	Huracán-1 DOLORES	1	Guerrero
53	1974	09 al 10 de Sep	Huracán-1 NORMA	1	Guerrero
54	1974	21 al 24 de Sep	Huracán-2 ORLENE	2	Oaxaca y Guerrero
55	1975	10 al 12 de Jul	Tormenta tropical ELEANOR	TS	Guerrero
56	1975	18 al 26 Ago	Huracán-2 ILSA	2	Oaxaca y Guerrero
57	1975	24 al 31 de Ago	Huracán-1 JEWEL	1	Guerrero
58	1976	03 al 14 de Jun	Huracán-4 ANNETTE	4	Oaxaca y Guerrero
59	1976	26 al 29 de Jun	Huracán-1 BONNY	1	Guerrero
60	1976	24 de Ago al 02 de Sep	Huracán-4 IVA	4	Oaxaca y Guerrero
61	1976	29 de Sep al 08 de Oct	Huracán-4 MADELINE	4	Guerrero
62	1978	30 de May al 01 de Jun	Huracán-1 ALETTA	1	Guerrero
63	1978	26 de Jun al 03 de Jul	Huracán-3 DANIEL	3	Guerrero
64	1978	22 al 29 de Jul	Huracán-4 HECTOR	4	Guerrero
65	1978	30 de Ago al 07 de Sep	Huracán-4 NORMAN	4	Oaxaca y Guerrero
66	1978	20 al 23 de Sep	Huracán-1 OLIVIA	1	Chiapas y Oaxaca
67	1978	23 al 27 de Sep	Tormenta tropical PAUL	TS	Guerrero
68	1979	31 de May al 04 de Jun	Huracán-2 ANDRES	2	Guerrero
69	1979	21 al 25 de Ago	Huracán-3 FEFA	3	Guerrero
70	1979	08 al 13 de Sep	Huracán GUILLERMO	1	Guerrero
71	1980	06 al 11 de Ago	Huracán ISIS	2	Guerrero
72	1980	16 al 30 de Sep	Huracán KAY	4	Guerrero
73	1981	30 de May al 04 de Jun	Tormenta tropical ADRIAN	TS	Oaxaca
74	1981	24 al 30 de Oct	Huracán-1 OTIS	1	Guerrero
75	1982	20 al 29 de Mayo	Tormenta tropical ALETTA	TS	Guerrero
76	1982	18 al 25 de Sep	Huracán-4 OLIVIA	4	Guerrero
77	1982	18 al 30 de Sep	Huracán-2 PAUL	2	Chiapas y Oaxaca
78	1982	30 de Sep al 06 de Oct	Tormenta tropical ROSA	TS	Oaxaca y Guerrero
79	1982	14 al 23 de Oct	Huracán-3 SERGIO	3	Oaxaca y Guerrero
80	1983	21 al 28 de May	Huracán-2 ADOLPH	2	Guerrero

81	1983	23 de Jul al 05 de Ago	Huracán-1 GIL	1	Guerrero
82	1983	27 de Jul al 06 de Ago	Huracán-4 HENRIETTE	4	Guerrero
83	1983	31 de Ago al 09 de Sep	Huracán-4 KIKO	4	Guerrero
84	1983	06 al 14 de Sep	Huracán-3 LORENA	3	Guerrero
85	1983	12 al 20 de Sep	Huracán-3 MANUEL	3	Guerrero
86	1983	11 al 19 de Oct	Huracán-4 TICO	4	Guerrero
87	1983	04 al 07 de Dic	Huracán-WINNIE	1	Guerrero
88	1984	28 de May al 18 de Jun	Huracán-1 BORIS	1	Guerrero
89	1984	17 al 26 de Jun	Huracán-2 CRISTINA	2	Guerrero
90	1984	07 al 14 de Jul	Huracán-3 GENEVIEVE	3	Guerrero
91	1984	03 al 12 de Ago	Huracán-4 ISELLE	4	Oaxaca y Guerrero
92	1984	15 al 20 de Ago	Tormenta tropical JULIO	TS	Oaxaca y Guerrero
93	1984	17 al 23 de Sep	Huracán-2 ODILE	2	Guerrero
94	1984	26 de Sep al 03 de Oct	Huracán-3 POLO	3	Oaxaca
95	1984	31 de Oct al 08 de Nov	Tormenta tropical SIMON	TS	Guerrero
96	1985	05 al 12 de Jun	Tormenta tropical ANDRES	TS	Guerrero
97	1985	06 al 16 de Jun	Huracán-3 BLANCA	3	Oaxaca y Guerrero
98	1985	05 al 17 de Sep	Huracán-3 SANDRA	3	Guerrero
99	1985	15 al 24 de Sep	Huracán-3 TERRY	3	Guerrero
100	1986	22 al 29 de May	Huracán-1 AGATHA	1	Oaxaca y Guerrero
101	1986	18 al 24 de Sep	Huracán-1 NEWTON	1	Oaxaca y Guerrero
102	1987	07 al 09 de Jun	Tormenta tropical ADRIAN	TS	Oaxaca y Guerrero
103	1987	22 al 26 de Jul	Huracán-2 EUGENE	2	Guerrero
104	1987	31 de Jul al 09 de Ago	Huracán-3 HILARY	3	Oaxaca y Guerrero
105	1987	03 al 09 de Ago	Tormenta tropical IRWIN	TS	Oaxaca y Guerrero
106	1988	16 al 21 de Jun	Tormenta tropical ALETTA	TS	Guerrero
107	1988	20 al 22 de Jun	Tormenta tropical BUD	TS	Oaxaca y Guerrero
108	1988	05 al 13 de Ago	Huracán-2 IVA	2	Oaxaca y Guerrero
109	1988	29 de Ago al 06 de Sep	Huracán-1 KRISTY	1	Oaxaca y Guerrero
110	1988	21 al 30 de Sep	Huracán-2 LANE	2	Oaxaca y Guerrero
111	1988	23 de Oct al 02 de Nov	Tormenta tropical MIRIAM	TS	Chiapas
112	1989	18 al 23 de Jun	Huracán-1 COSME	1	Oaxaca y Guerrero
113	1989	30 de Jul al 05 de Ago	Huracán-1 GIL	1	Guerrero
114	1989	14 al 25 de Ago	Huracán-3 ISMAEL	3	Guerrero
115	1989	28 al 31 de Ago	Tormenta tropical	TS	Oaxaca y Guerrero
		·			•

			MANUEL		
116	1989	03 al 08 de Sep	Tormenta Tropical NARDA	TS	Oaxaca y Guerrero
117	1989	25 al 27 de Sep	Depresión Tropical 20	TD	Chiapas
118	1989	25 de Sep al 05 de Oct	Huracán-4 RAYMOND	4	Guerrero
119	1990	19 al 23 de Jun	Tormenta tropical DOUGLAS	TS	Guerrero
120	1990	26 de Jun al 02 de Jul	Huracán-1 ELIDA	1	Guerrero
121	1990	06 al 12 de Jul	Huracán-1 FAUSTO	1	Guerrero
122	1990	10 al 18 de Jul	Huracán-2 GENEVIEVE	2	Guerrero
123	1990	20 al 30 de Jul	Huracán-3 ISELLE	3	Guerrero
124	1990	23 de Ago al 01 de Sep	Huracán-1 LOWELL	1	Chiapas, Oaxaca y Guerrero
125	1990	27 de Sep al 03 de Oct	Tormenta tropical RACHEL	TS	Guerrero
126	1990	21 al 31 de Oct	Huracán-2 VANCE	2	Guerrero
127	1991	16 al 27 de Jun	Huracán-3 CARLOS	3	Oaxaca y Guerrero
128	1991	22 al 28 de Jun	Huracán-1 DELORES	1	Guerrero
129	1991	18 al 30 de Jun	Depresión Tropical 5	TD	Oaxaca y Chiapas
130	1991	04 al 10 de Ago	Huracán-1 GUILLERMO	1	Guerrero
131	1991	25 de Sep al 12 de Oct	Huracán-4 KEVIN	4	Chiapas, Oaxaca y Guerrero
132	1991	07 al 18 de Oct	Huracán-1 MARTY	1	Chiapas, Oaxaca y Guerrero
133	1992	22 de Jun al 04 de Jul	Huracán-4 CELIA	4	Chiapas, Oaxaca y Guerrero
134	1992	02 al 10 de Jul	Huracán-3 DARBY	3	Oaxaca y Guerrero
135	1992	14 al 26 de Jul	Huracán-2 GEORGETTE	2	Oaxaca y Guerrero
136	1992	01 al 05 de Oct	Huracán-4 VIRGIL	4	Guerrero
137	1992	06 al 10 de Oct	Huracán-3 WINIFRIED	3	Guerrero
138	1993	18 al 20 de Jun	Tormenta tropical BEATRIZ	TS	Oaxaca y Guerrero
139	1993	27 de Jun al 02 de Jul	Depresión Tropical 3	TD	Oaxaca y Guerrero
140	1993	04 al 09 de Jul	Huracán-2 CALVIN	2	Guerrero
141	1993	15 al 28 de Ago	Huracán-4 GREG	4	Guerrero
142	1993	17 al 27 Ago	Huracán-3 HILARY	3	Chiapas, Oaxaca y Guerrero
143	1993	21 al 22 Ago	Tormenta tropical IRWIN	TS	Guerrero
144	1993	29 de Ago al 05 de Sep	Huracán-4 JOVA	4	Chiapas, Oaxaca y Guerrero
145	1993	08 al 14 de Sep	Huracán-4 LIDIA	4	Oaxaca y Guerrero

146	1994	11 de Ago al 10 de Sep	Huracán-5 JHON	5	Oaxaca y Guerrero
147	1995	20 al 27 de Ago	Tormenta tropical GIL	TS	Oaxaca y Guerrero
148	1996	20 al 27 de Jun	Huracán-2 ALMA	2	Guerrero
149	1996	27 de Jun al 01 de Jul	Huracán-1 BORIS	1	Chiapas, Oaxaca y Guerrero
150	1996	01 al 03 de Jul	Tormenta tropical CRISTINA	TS	Chiapas y Oaxaca
151	1996	29 de Jul al 06 de Ago	Huracán-4 DOUGLAS	4	Chiapas, Oaxaca y Guerrero
152	1996	10 al 14 de Sep	Hurancan-3 FAUSTO	3	Guerrero
153	1996	30 de Sep al 04 de Oct	Huracán-1 HERNAN	1	Guerrero
154	1997	01 al 07 de Jun	Tormenta tropical ANDRES	TS	Chiapas, Oaxaca y Guerrero
155	1997	09 al 12 de Jun	Tormenta tropical BLANCA	TS	Chiapas, Oaxaca y Guerrero
156	1997	30 de Jul al 24 de Ago	Huracán-5 GUILLERMO	5	Oaxaca y Guerrero
157	1997	16 al 26 de Sep	Huracán-4 NORA	4	Guerrero
158	1997	26 de Sep al 12 de Oct	Tormenta tropical OLAF	TS	Chiapas, Oaxaca y Guerrero
159	1997	05 al 10 de Oct	Huracán-4 PAULINE	4	Chiapas, Oaxaca y Guerrero
160	1997	07 al 10 Nov	Huracán-2 RICK	2	Chiapas, Oaxaca y Guerrero
161	1998	22 al 30 de Jun	Huracán-4 BLAS	4	Guerrero
162	1998	29 de Jul al 08 de Ago	Huracán-4 ESTELLE	4	Oaxaca y Guerrero
163	1998	15 al 26 de Oct	Huracán-3 LESTER	3	Chiapas, Oaxaca y Guerrero
164	1999	18 al 22 de Jun	Huracán-2 ADRIAN	2	Oaxaca y Guerrero
165	2000	22 al 28 de May	Huracán-2 ALETTA	2	Guerrero
166	2000	18 al 25 de Jun	Huracán-4 CARLOTA	4	Chiapas, Oaxaca y Guerrero
167	2000	02 al 10 de Oct	Tormenta tropical OLIVIA	TS	Guerrero
168	2000	03 al 08 de Nov	Tormenta tropical ROSA	TS	Oaxaca y Chiapas
169	2001	25 de May al 01 de Jun	Huracán-4 ADOLPH	4	Oaxaca y Guerrero
170	2001	21 al 28 de Jul	Huracán-1 DALIA	1	Oaxaca y Guerrero
171	2001	10 al 15 Sep	Tormenta tropical IVO	TS	Oaxaca y Guerrero
172	2001	21 de Sep al 03 de Oct	Huracán-4 JULIETTE	4	Chiapas, Oaxaca y Guerrero
173	2001	10 al 18 de Oct	Tormenta tropical MANUEL	TS	Oaxaca y Guerrero
174	2002	08 al 12 de Jun	Tormenta tropical	TS	Guerrero

			BORIS		
175	2002	23 al 31 de Jul	Huracán-5 ELIDA	5	Guerrero
176	2002	25 al 26 de Sep	Tormenta tropical JULIO	TS	Guerrero
177	2003	26 al 28 de Jun	Tormenta tropical CARLOS	TS	Oaxaca y Guerrero
178	2004	11 al 13 de Oct	Tormenta tropical LESTER	TS	Oaxaca y Guerrero
179	2005	26 de Jun al 03 de Jul	Tormenta tropical CALVIN	TS	Oaxaca y Guerrero
180	2005	04 al 06 de Jul	Tormenta tropical DORA	TS	Oaxaca y Guerrero
181	2005	19 al 28 de Ago	Huracán-2 HILARY	2	Oaxaca y Guerrero
182	2006	27 al 31 de May	Tormenta tropical ALLETA	TS	Guerrero
183	2006	28 de Ago al 04 Sep	Huracán-4 JOHN	4	Chiapas, Oaxaca y Guerrero
184	2006	13 al 17 Sep	Huracán-3 LANE	3	Guerrero
185	2006	13 al 20 de Nov	Huracán-2 SERGIO	2	Guerrero
186	2007	29 de May al 02 de Jun	Tormenta tropical BARBARA	TS	Oaxaca y Chiapas
187	2007	30 de Ago al 06 de Sep	Huracán-1 HENRIETTE	1	Chiapas, Oaxaca y Guerrero
188	2008	05 al 07 de Jul	Depresión tropical FIVE	TD	Guerrero
189	2008	11 al 21 de Jul	Huracán-2 ELIDA	2	Oaxaca y Guerrero
190	2008	21 al 31 de Jul	Huracán-1 GENEVIEVE	1	Guerrero
191	2008	04 al 12 de Oct	Hurcan-4 NORBERT	4	Oaxaca y Guerrero
192	2008	08 al 13 de Oct	Tormenta tropical ODILE	TS	Chiapas, Oaxaca y Guerrero
193	2009	21 al 24 de Jun	Huracán-1 ANDRES	1	Guerrero
194	2009	28 de Ago al 05 de Sep	Huracán-4 JIMENA	4	Oaxaca y Guerrero
195	2009	15 al 21 de Oct	Huracán-5 RICK	5	Oaxaca y Guerrero
196	2010	28 al 30 de Ago	Tormenta tropical AGATHA	TS	Chiapas
197	2010	16 al 17 de Jun	Depresión tropical TWO	TD	Chiapas y Oaxaca
198	2010	18 al 30 de Jun	Huracán-5 Celia	5	Chiapas y Oaxaca
199	2010	20 al 29 de Jun	Huracán-3 DARBY	3	Chiapas, Oaxaca y Guerrero
200	2010	04 al 10 de Ago	Tormenta tropical ESTELLE	TS	Chiapas, Oaxaca y Guerrero
201	2010	21 al 29 Ago	Huracán-1 FRANK	1	Chiapas, Oaxaca y Guerrero

202	2010	03 al 04 de Sep	Depresión tropical ELEVEN	TD	Guerrero
203	2011	18 al 22 de Jun	Huracán-1 BEATRIZ	1	Guerrero
204	2011	07 al 14 de Jul	Huracán-1 CALVIN	1	Oaxaca y Guerrero
205	2011	18 al 26 de Jul	Huracán-4 DORA	4	Oaxaca y Guerrero
206	2011	16 al 23 de Ago	Huracán-1 GREG	1	Guerrero
207	2011	31 de Ago al 02 de Sep	Depresión tropical 8	TD	Guerrero
208	2011	21 de Sep al 03 de Oct	Huracán-4 HILARY	4	Oaxaca y Guerrero
209	2011	06 al 13 de Oct	Depresión Tropical 12	TD	Chiapas y Oaxaca
210	2012	13 al 17 de Jun	Huracán-2 CARLOTA	2	Chiapas, Oaxaca y
					Guerrero
211	2013	28 al 31 de May	Huracán-1 BARBARA	1	Chiapas, Oaxaca y
					Guerrero
212	2013	13 al 20 del Sep	Huracán-1 MANUEL	1	Guerrero
213	2013	20 al 30 de Oct	Huracán-3 Raymond	3	Guerrero

En donde:

TD = Depresión tropical.

TS = Tormenta tropical

1 al 5 = Categoría del huracán según la clasificación Saffir-Simpson.

5.3 Precipitación en eventos hidrometeorológicos

De los 213 eventos hidrometeorológicos que afectaron la cuenca del Rio Copalita, se tomaron 34 eventos de los últimos 8 años; donde se observa que la precipitación máxima fue de 449.1 mm como un fenómeno extraordinario y la mínima de 8.1 mm. Con los datos en el Cuadro 23, se asegura que cada año se reciben eventos que aportan una precipitación promedio 128.23 mm, que ocasionan la remoción y la pérdida del catión Calcio (Ca²⁺).

Cuadro 23. Precipitación aportada por evento hidrometeorológico de los últimos 8 años en la estación Pluma hidalgo.

Núm. Año Fecha Evento Categoria Precipitación (mm) 179 2005 26 de Jun al 03 de Jul Tormenta tropical CALVIN TS 77.20 180 2005 04 al 06 de Jul Tormenta tropical DORA TS 33.20 181 2005 19 al 28 de Ago Huracan-2 HILARY 2 15.00 182 2006 27 al 31 de May Tormenta tropical ALLETA TS 99.50 183 2006 28 de Ago al 04 Sep Huracan-3 LANE 3 19.50 184 2006 13 al 17 Sep Huracan-3 LANE 3 19.50 185 2006 13 al 20 de Nov Huracan-3 LENERIGIO 2 23.0 186 2007 29 de May al 02 de Jun Tormenta tropical BARBARA TS 8.10 187 2007 30 de Ago al 06 de Sep Huracan-1 ELIDA 2 67.10 188 2008 05 al 07 de Jul Depresión tropical FIVE TD 57.90 189 2008 11 al 21 de Dot Hura						
180 2005 04 al 06 de Jul Tormenta tropical DORA TS 33.20 181 2005 19 al 28 de Ago Huracan-2 HILARY 2 15.00 182 2006 27 al 31 de May Tormenta tropical ALLETA TS 99.50 183 2006 28 de Ago al 04 Sep Huracan-4 JOHN 4 99.50 184 2006 13 al 17 Sep Huracan-1 AINE 3 19.50 185 2006 13 al 20 de Nov Huracan-2 SERGIO 2 23.0 186 2007 29 de May al 02 de Jun Tormenta tropical BARBARA TS 8.10 187 2007 30 de Ago al 06 de Sep Huracan-1 HENRIETTE 1 179.40 188 2008 05 al 07 de Jul Depresión tropical FIVE TD 57.90 189 2008 11 al 21 de Jul Huracan-2 ELIDA 2 67.10 189 2008 11 al 22 de Oct Huracan-1 SEREVIEVE 1 24.00 191 2008 08 al 13 de Oct Tormenta tropical	Núm.	Año	Fecha	Evento	Categoría	Precipitación (mm)
181 2005 19 al 28 de Ago Huracan-2 HILARY 2 15.00 182 2006 27 al 31 de May Tormenta tropical ALLETA TS 99.50 183 2006 28 de Ago al 04 Sep Huracan-4 JOHN 4 99.50 184 2006 13 al 17 Sep Huracan-3 LANE 3 19.50 185 2006 13 al 20 de Nov Huracan-2 SERGIO 2 23.0 186 2007 29 de May al 02 de Jun Tormenta tropical BARBARA TS 8.10 187 2007 30 de Ago al 06 de Sep Huracan-1 HENRIETTE 1 179.40 188 2008 05 al 07 de Jul Depresión tropical FIVE TD 57.90 189 2008 11 al 21 de Jul Huracan-2 ELIDA 2 67.10 190 2008 21 al 31 de Oct Huracan-1 GENEVIEVE 1 24.00 191 2008 08 al 13 de Oct Tormenta tropical ODILE TS 93.20 192 2008 08 al 13 de Oct Tormenta tropica	179	2005	26 de Jun al 03 de Jul	Tormenta tropical CALVIN	TS	77.20
182 2006 27 al 31 de May Tormenta tropical ALLETA TS 99.50 183 2006 28 de Ago al 04 Sep Huracan-4 JOHN 4 99.50 184 2006 13 al 17 Sep Huracan-3 LANE 3 19.50 185 2006 13 al 20 de Nov Huracan-2 SERGIO 2 23.0 186 2007 29 de May al 02 de Jun Tormenta tropical BARBARA TS 8.10 187 2007 30 de Ago al 06 de Sep Huracan-1 HENRIETTE 1 179.40 188 2008 05 al 07 de Jul Depresión tropical FIVE TD 57.90 189 2008 05 al 07 de Jul Huracan-2 ELIDA 2 67.10 190 2008 21 al 31 de Jul Huracan-1 GENEVIEVE 1 24.00 191 2008 08 al 13 de Oct Tormenta tropical ODILE TS 93.20 192 2008 08 al 13 de Oct Tormenta tropical ODILE TS 93.20 193 2009 21 al 24 de Jun Huracan-	180	2005	04 al 06 de Jul	Tormenta tropical DORA	TS	33.20
183 2006 28 de Ago al O4 Sep Huracan-4 JOHN 4 99.50 184 2006 13 al 17 Sep Huracan-3 LANE 3 19.50 185 2006 13 al 20 de Nov Huracan-2 SERGIO 2 23.0 186 2007 29 de May al 02 de Jun Tormenta tropical BARBARA TS 8.10 187 2007 30 de Ago al 06 de Sep Huracan-1 HENRIETTE 1 179.40 188 2008 05 al 07 de Jul Depresión tropical FIVE TD 57.90 189 2008 05 al 07 de Jul Huracan-2 telDA 2 67.10 190 2008 01 al 21 de Jul Huracan-2 telDA 2 67.10 190 2008 21 al 31 de Jul Huracan-1 GENEVIEVE 1 24.00 191 2008 08 al 13 de Oct Tormenta tropical ODILE TS 93.20 192 2008 08 al 13 de Oct Tormenta tropical ODILE TS 93.20 193 2009 21 al 24 de Jun Huracan-3 JMRES <td>181</td> <td>2005</td> <td>19 al 28 de Ago</td> <td>Huracan-2 HILARY</td> <td>2</td> <td>15.00</td>	181	2005	19 al 28 de Ago	Huracan-2 HILARY	2	15.00
184 2006 13 al 17 Sep Huracan-3 LANE 3 19.50 185 2006 13 al 20 de Nov Huracan-2 SERGIO 2 23.0 186 2007 29 de May al 02 de Jun Tormenta tropical BARBARA TS 8.10 187 2007 30 de Ago al 06 de Sep Huracan-1 HENRIETTE 1 179.40 188 2008 05 al 07 de Jul Depresión tropical FIVE TD 57.90 189 2008 11 al 21 de Jul Huracan-1 ELDA 2 67.10 190 2008 21 al 31 de Jul Huracan-2 ELIDA 2 67.10 190 2008 04 al 12 de Oct Huracan-1 GENEVIEVE 1 24.00 191 2008 04 al 13 de Oct Tormenta tropical ODILE TS 93.20 192 2008 08 al 13 de Oct Tormenta tropical ODILE TS 93.20 193 2009 21 al 24 de Jun Huracan-3 PARBES 1 29.70 194 2009 28 de Ago al 05 de Sep Huracan-1 SEIC	182	2006	27 al 31 de May	Tormenta tropical ALLETA	TS	99.50
185 2006 13 al 20 de Nov Huracan-2 SERGIO 2 23.0 186 2007 29 de May al 02 de Jun Tormenta tropical BARBARA TS 8.10 187 2007 30 de Ago al 06 de Sep Huracan-1 HENRIETTE 1 179.40 188 2008 05 al 07 de Jul Depresión tropical FIVE TD 57.90 189 2008 11 al 21 de Jul Huracan-2 ELIDA 2 67.10 190 2008 21 al 31 de Jul Huracan-1 GENEVIEVE 1 24.00 191 2008 04 al 12 de Oct Huracan-1 ANDRES 1 29.70 192 2008 08 al 13 de Oct Tormenta tropical ODILE TS 93.20 193 2009 21 al 24 de Jun Huracan-1 ANDRES 1 29.70 194 2009 28 de Ago al 05 de Sep Huracan-1 ANDRES 1 29.70 194 2009 15 al 21 de Oct Huracan-1 SEICK 5 128.10 195 2009 15 al 20 de Oct Huracan-1 SEICK	183	2006	28 de Ago al 04 Sep	Huracan-4 JOHN	4	99.50
186 2007 29 de May al 02 de Jun Tormenta tropical BARBARA TS 8.10 187 2007 30 de Ago al 06 de Sep Huracan-1 HENRIETTE 1 179.40 188 2008 05 al 07 de Jul Depresión tropical FIVE TD 57.90 189 2008 11 al 21 de Jul Huracan-2 ELIDA 2 67.10 190 2008 21 al 31 de Jul Huracan-1 GENEVIEVE 1 24.00 191 2008 04 al 12 de Oct Huracan-4 NORBERT 4 104.20 192 2008 08 al 13 de Oct Tormenta tropical ODILE TS 93.20 193 2009 21 al 24 de Jun Huracan-1 ANDRES 1 29.70 194 2009 28 de Ago al 05 de Sep Huracan-1 AJIMENA 4 60.10 195 2009 15 al 21 de Oct Huracan-5 RICK 5 128.10 195 2010 28 al 30 de Ago Tormenta tropical AGATHA TS 215.20 197 2010 16 al 17 de Jun De	184	2006	13 al 17 Sep	Huracan-3 LANE	3	19.50
187 2007 30 de Ago al 06 de Sep Huracan-1 HENRIETTE 1 179.40 188 2008 05 al 07 de Jul Depresión tropical FIVE TD 57.90 189 2008 11 al 21 de Jul Huracan-2 ELIDA 2 67.10 190 2008 21 al 31 de Jul Huracan-1 GENEVIEVE 1 24.00 191 2008 04 al 12 de Oct Huracan-4 NORBERT 4 104.20 192 2008 08 al 13 de Oct Tormenta tropical ODILE TS 93.20 193 2009 21 al 24 de Jun Huracan-1 ANDRES 1 29.70 194 2009 28 de Ago al 05 de Sep Huracan-3 LIMENA 4 60.10 195 2009 15 al 21 de Oct Huracan-5 RICK 5 128.10 196 2010 28 al 30 de Ago Tormenta tropical AGATHA TS 215.20 197 2010 16 al 17 de Jun Depresión tropical TWO TD 53.20 198 2010 18 al 30 de Jun Huracan-12 C	185	2006	13 al 20 de Nov	Huracan-2 SERGIO	2	23.0
188 2008 05 al 07 de Jul Depresión tropical FIVE TD 57.90 189 2008 11 al 21 de Jul Huracan-2 ELIDA 2 67.10 190 2008 21 al 31 de Jul Huracan-1 GENEVIEVE 1 24.00 191 2008 04 al 12 de Oct Huracan-1 GENEVIEVE 1 24.00 192 2008 08 al 13 de Oct Tormenta tropical ODILE TS 93.20 193 2009 21 al 24 de Jun Huracan-1 ANDRES 1 29.70 194 2009 28 de Ago al 05 de Sep Huracan-5 RICK 5 128.10 195 2009 15 al 21 de Oct Huracan-5 RICK 5 128.10 196 2010 28 al 30 de Ago Tormenta tropical AGATHA TS 215.20 197 2010 16 al 17 de Jun Depresión tropical TWO TD 53.20 198 2010 18 al 30 de Jun Huracan-15 Celia 5 184.30 199 2010 20 al 29 de Jun Huracan-2 ESTELLE	186	2007	29 de May al 02 de Jun	Tormenta tropical BARBARA	TS	8.10
189 2008 11 al 21 de Jul Huracan-1 GENEVIEVE 1 24.00 190 2008 21 al 31 de Jul Huracan-1 GENEVIEVE 1 24.00 191 2008 04 al 12 de Oct Huracan-1 ANDREST 4 104.20 192 2008 08 al 13 de Oct Tormenta tropical ODILE TS 93.20 193 2009 21 al 24 de Jun Huracan-1 ANDRES 1 29.70 194 2009 28 de Ago al 05 de Sep Huracan-2 HIMENA 4 60.10 195 2009 15 al 21 de Oct Huracan-5 RICK 5 128.10 196 2010 28 al 30 de Ago Tormenta tropical AGATHA TS 215.20 197 2010 16 al 17 de Jun Depresión tropical TWO TD 53.20 198 2010 18 al 30 de Jun Huracan-5 Celia 5 184.30 199 2010 20 al 29 de Jun Huracan-1 ESTELLE TS 112.30 201 2010 04 al 10 de Ago Tormenta tropical ESTELL	187	2007	30 de Ago al 06 de Sep	Huracan-1 HENRIETTE	1	179.40
190 2008 21 al 31 de Jul Huracan-1 GENEVIEVE 1 24.00 191 2008 04 al 12 de Oct Hurcan-4 NORBERT 4 104.20 192 2008 08 al 13 de Oct Tormenta tropical ODILE TS 93.20 193 2009 21 al 24 de Jun Huracan-1 ANDRES 1 29.70 194 2009 28 de Ago al 05 de Sep Huracan-4 JIMENA 4 60.10 195 2009 15 al 21 de Oct Huracan-5 RICK 5 128.10 196 2010 28 al 30 de Ago Tormenta tropical AGATHA TS 215.20 197 2010 16 al 17 de Jun Depresión tropical TWO TD 53.20 198 2010 18 al 30 de Jun Huracan-5 Celia 5 184.30 199 2010 20 al 29 de Jun Huracan-1 FRANK 1 311.60 200 2010 04 al 10 de Ago Tormenta tropical ESTELLE TS 112.30 201 2010 21 al 29 Ago Huracan-1 FRANK	188	2008	05 al 07 de Jul	Depresión tropical FIVE	TD	57.90
191 2008 04 al 12 de Oct Hurcan-4 NORBERT 4 104.20 192 2008 08 al 13 de Oct Tormenta tropical ODILE TS 93.20 193 2009 21 al 24 de Jun Huracan-1 ANDRES 1 29.70 194 2009 28 de Ago al 05 de Sep Huracan-4 JIMENA 4 60.10 195 2009 15 al 21 de Oct Huracan-5 RICK 5 128.10 195 2000 28 al 30 de Ago Tormenta tropical AGATHA TS 215.20 197 2010 16 al 17 de Jun Depresión tropical TWO TD 53.20 198 2010 18 al 30 de Jun Huracan-5 Celia 5 184.30 199 2010 20 al 29 de Jun Huracan-5 DARBY 3 14.60 200 2010 04 al 10 de Ago Tormenta tropical ESTELLE TS 112.30 201 2010 04 al 10 de Ago Tormenta tropical ESTELLE TS 112.30 201 2010 03 al 04 de Sep Depresión tro	189	2008	11 al 21 de Jul	Huracan-2 ELIDA	2	67.10
192 2008 08 al 13 de Oct Tormenta tropical ODILE TS 93.20 193 2009 21 al 24 de Jun Huracan-1 ANDRES 1 29.70 194 2009 28 de Ago al 05 de Sep Huracan-4 JIMENA 4 60.10 195 2009 15 al 21 de Oct Huracan-5 RICK 5 128.10 196 2010 28 al 30 de Ago Tormenta tropical AGATHA TS 215.20 197 2010 16 al 17 de Jun Depresión tropical AGATHA TS 215.20 197 2010 16 al 17 de Jun Depresión tropical TWO TD 53.20 198 2010 18 al 30 de Jun Huracan-5 Celia 5 184.30 199 2010 20 al 29 de Jun Huracan-3 DARBY 3 14.60 200 2010 04 al 10 de Ago Tormenta tropical ESTELLE TS 112.30 201 2010 03 al 04 de Sep Depresión tropical ELEVEN 1 311.60 202 2010 03 al 04 de Sep Depr	190	2008	21 al 31 de Jul	Huracan-1 GENEVIEVE	1	24.00
193 2009 21 al 24 de Jun Huracan-1 ANDRES 1 29.70 194 2009 28 de Ago al 05 de Sep Huracan-4 JIMENA 4 60.10 195 2009 15 al 21 de Oct Huracan-5 RICK 5 128.10 196 2010 28 al 30 de Ago Tormenta tropical AGATHA TS 215.20 197 2010 16 al 17 de Jun Depresión tropical TWO TD 53.20 198 2010 18 al 30 de Jun Huracan-5 Celia 5 184.30 199 2010 20 al 29 de Jun Huracan-3 DARBY 3 14.60 200 2010 04 al 10 de Ago Tormenta tropical ESTELLE TS 112.30 201 2010 04 al 10 de Ago Tormenta tropical ESTELLE TS 112.30 201 2010 04 al 10 de Ago Tormenta tropical ESTELLE TS 112.30 201 2010 03 al 04 de Sep Depresión tropical ESTELLE TD 49.50 202 2010 03 al 04 de Sep	191	2008	04 al 12 de Oct	Hurcan-4 NORBERT	4	104.20
194 2009 28 de Ago al 05 de Sep Huracan-4 JIMENA 4 60.10 195 2009 15 al 21 de Oct Huracan-5 RICK 5 128.10 196 2010 28 al 30 de Ago Tormenta tropical AGATHA TS 215.20 197 2010 16 al 17 de Jun Depresión tropical TWO TD 53.20 198 2010 18 al 30 de Jun Huracan-5 Celia 5 184.30 199 2010 20 al 29 de Jun Huracan-3 DARBY 3 14.60 200 2010 04 al 10 de Ago Tormenta tropical ESTELLE TS 112.30 201 2010 04 al 10 de Ago Tormenta tropical ESTELLE TS 112.30 201 2010 21 al 29 Ago Huracan-1 FRANK 1 311.60 202 2010 03 al 04 de Sep Depresión tropical ELEVEN TD 49.50 203 2011 18 al 22 de Jun Huracan-1 BEATRIZ 1 359.80 204 2011 07 al 14 de Jul Huracan-1 DAD	192	2008	08 al 13 de Oct	Tormenta tropical ODILE	TS	93.20
195 2009 15 al 21 de Oct Huracan-5 RICK 5 128.10 196 2010 28 al 30 de Ago Tormenta tropical AGATHA TS 215.20 197 2010 16 al 17 de Jun Depresión tropical TWO TD 53.20 198 2010 18 al 30 de Jun Huracan-5 Celia 5 184.30 199 2010 20 al 29 de Jun Huracan-3 DARBY 3 14.60 200 2010 04 al 10 de Ago Tormenta tropical ESTELLE TS 112.30 201 2010 21 al 29 Ago Huracan-1 FRANK 1 311.60 202 2010 03 al 04 de Sep Depresión tropical ELEVEN TD 49.50 203 2011 18 al 22 de Jun Huracan-1 BEATRIZ 1 359.80 204 2011 07 al 14 de Jul Huracan-1 CALVIN 1 233.40 205 2011 18 al 26 de Jul Huracan-1 GREG 1 260.00 207 2011 16 al 23 de Ago Huracan-1 GREG <td< td=""><td>193</td><td>2009</td><td>21 al 24 de Jun</td><td>Huracan-1 ANDRES</td><td>1</td><td>29.70</td></td<>	193	2009	21 al 24 de Jun	Huracan-1 ANDRES	1	29.70
196 2010 28 al 30 de Ago Tormenta tropical AGATHA TS 215.20 197 2010 16 al 17 de Jun Depresión tropical TWO TD 53.20 198 2010 18 al 30 de Jun Huracan-5 Celia 5 184.30 199 2010 20 al 29 de Jun Huracan-3 DARBY 3 14.60 200 2010 04 al 10 de Ago Tormenta tropical ESTELLE TS 112.30 201 2010 21 al 29 Ago Huracan-1 FRANK 1 311.60 202 2010 03 al 04 de Sep Depresión tropical ELEVEN TD 49.50 203 2011 18 al 22 de Jun Huracan-1 BEATRIZ 1 359.80 204 2011 07 al 14 de Jul Huracan-1 CALVIN 1 233.40 205 2011 18 al 26 de Jul Huracan-4 DORA 4 49.00 206 2011 16 al 23 de Ago Huracan-1 GREG 1 260.00 207 2011 31 de Ago al 02 de Sep Depresión tropical 8	194	2009	28 de Ago al 05 de Sep	Huracan-4 JIMENA	4	60.10
197 2010 16 al 17 de Jun Depresión tropical TWO TD 53.20 198 2010 18 al 30 de Jun Huracan-5 Celia 5 184.30 199 2010 20 al 29 de Jun Huracan-3 DARBY 3 14.60 200 2010 04 al 10 de Ago Tormenta tropical ESTELLE TS 112.30 201 2010 21 al 29 Ago Huracan-1 FRANK 1 311.60 202 2010 03 al 04 de Sep Depresión tropical ELEVEN TD 49.50 203 2011 18 al 22 de Jun Huracan-1 BEATRIZ 1 359.80 204 2011 07 al 14 de Jul Huracan-1 CALVIN 1 233.40 205 2011 18 al 26 de Jul Huracan-1 GREG 1 260.00 206 2011 16 al 23 de Ago Huracan-1 GREG 1 260.00 207 2011 31 de Ago al 02 de Sep Depresión tropical 8 TD 63.20 208 2011 21 de Sep al 03 de Oct Huracan-2 CARLOTTA <td>195</td> <td>2009</td> <td>15 al 21 de Oct</td> <td>Huracan-5 RICK</td> <td>5</td> <td>128.10</td>	195	2009	15 al 21 de Oct	Huracan-5 RICK	5	128.10
198 2010 18 al 30 de Jun Huracan-5 Celia 5 184.30 199 2010 20 al 29 de Jun Huracan-3 DARBY 3 14.60 200 2010 04 al 10 de Ago Tormenta tropical ESTELLE TS 112.30 201 2010 21 al 29 Ago Huracan-1 FRANK 1 311.60 202 2010 03 al 04 de Sep Depresión tropical ELEVEN TD 49.50 203 2011 18 al 22 de Jun Huracan-1 BEATRIZ 1 359.80 204 2011 07 al 14 de Jul Huracan-1 CALVIN 1 233.40 205 2011 18 al 26 de Jul Huracan-4 DORA 4 49.00 206 2011 16 al 23 de Ago Huracan-1 GREG 1 260.00 207 2011 31 de Ago al 02 de Sep Depresión tropical 8 TD 63.20 208 2011 21 de Sep al 03 de Oct Huracan-4 HILARY 4 34.10 209 2011 06 al 13 de Oct Depresión Tropical 12	196	2010	28 al 30 de Ago	Tormenta tropical AGATHA	TS	215.20
199 2010 20 al 29 de Jun Huracan-3 DARBY 3 14.60 200 2010 04 al 10 de Ago Tormenta tropical ESTELLE TS 112.30 201 2010 21 al 29 Ago Huracan-1 FRANK 1 311.60 202 2010 03 al 04 de Sep Depresión tropical ELEVEN TD 49.50 203 2011 18 al 22 de Jun Huracan-1 BEATRIZ 1 359.80 204 2011 07 al 14 de Jul Huracan-1 CALVIN 1 233.40 205 2011 18 al 26 de Jul Huracan-4 DORA 4 49.00 206 2011 16 al 23 de Ago Huracan-1 GREG 1 260.00 207 2011 31 de Ago al 02 de Sep Depresión tropical 8 TD 63.20 208 2011 21 de Sep al 03 de Oct Huracan-4 HILARY 4 34.10 209 2011 06 al 13 de Oct Depresión Tropical 12 TD 57.40 210 2012 13 al 17 de Jun Huracan-1 BARBARA	197	2010	16 al 17 de Jun	Depresión tropical TWO	TD	53.20
200 2010 04 al 10 de Ago Tormenta tropical ESTELLE TS 112.30 201 2010 21 al 29 Ago Huracan-1 FRANK 1 311.60 202 2010 03 al 04 de Sep Depresión tropical ELEVEN TD 49.50 203 2011 18 al 22 de Jun Huracan-1 BEATRIZ 1 359.80 204 2011 07 al 14 de Jul Huracan-1 CALVIN 1 233.40 205 2011 18 al 26 de Jul Huracan-4 DORA 4 49.00 206 2011 16 al 23 de Ago Huracan-1 GREG 1 260.00 207 2011 31 de Ago al 02 de Sep Depresión tropical 8 TD 63.20 208 2011 21 de Sep al 03 de Oct Huracan-4 HILARY 4 34.10 209 2011 06 al 13 de Oct Depresión Tropical 12 TD 57.40 210 2012 13 al 17 de Jun Huracan-1 BARBARA 1 182.80 211 2013 28 al 31 de May Huracan-1 BARBARA <td>198</td> <td>2010</td> <td>18 al 30 de Jun</td> <td>Huracan-5 Celia</td> <td>5</td> <td>184.30</td>	198	2010	18 al 30 de Jun	Huracan-5 Celia	5	184.30
201 2010 21 al 29 Ago Huracan-1 FRANK 1 311.60 202 2010 03 al 04 de Sep Depresión tropical ELEVEN TD 49.50 203 2011 18 al 22 de Jun Huracan-1 BEATRIZ 1 359.80 204 2011 07 al 14 de Jul Huracan-1 CALVIN 1 233.40 205 2011 18 al 26 de Jul Huracan-4 DORA 4 49.00 206 2011 16 al 23 de Ago Huracan-1 GREG 1 260.00 207 2011 31 de Ago al 02 de Sep Depresión tropical 8 TD 63.20 208 2011 21 de Sep al 03 de Oct Huracan-4 HILARY 4 34.10 209 2011 06 al 13 de Oct Depresión Tropical 12 TD 57.40 210 2012 13 al 17 de Jun Huracan-2 CARLOTTA 2 310.00 211 2013 28 al 31 de May Huracan-1 BARBARA 1 182.80 212 2013 13 al 20 del Sep Huracán-3 RAYMOND	199	2010	20 al 29 de Jun	Huracan-3 DARBY	3	14.60
202 2010 03 al 04 de Sep Depresión tropical ELEVEN TD 49.50 203 2011 18 al 22 de Jun Huracan-1 BEATRIZ 1 359.80 204 2011 07 al 14 de Jul Huracan-1 CALVIN 1 233.40 205 2011 18 al 26 de Jul Huracan-4 DORA 4 49.00 206 2011 16 al 23 de Ago Huracan-1 GREG 1 260.00 207 2011 31 de Ago al 02 de Sep Depresión tropical 8 TD 63.20 208 2011 21 de Sep al 03 de Oct Huracan-4 HILARY 4 34.10 209 2011 06 al 13 de Oct Depresión Tropical 12 TD 57.40 210 2012 13 al 17 de Jun Huracan-2 CARLOTTA 2 310.00 211 2013 28 al 31 de May Huracan-1 BARBARA 1 182.80 212 2013 13 al 20 del Sep Huracán-3 RAYMOND 3 438.00	200	2010	04 al 10 de Ago	Tormenta tropical ESTELLE	TS	112.30
203 2011 18 al 22 de Jun Huracan-1 BEATRIZ 1 359.80 204 2011 07 al 14 de Jul Huracan-1 CALVIN 1 233.40 205 2011 18 al 26 de Jul Huracan-4 DORA 4 49.00 206 2011 16 al 23 de Ago Huracan-1 GREG 1 260.00 207 2011 31 de Ago al 02 de Sep Depresión tropical 8 TD 63.20 208 2011 21 de Sep al 03 de Oct Huracan-4 HILARY 4 34.10 209 2011 06 al 13 de Oct Depresión Tropical 12 TD 57.40 210 2012 13 al 17 de Jun Huracan-2 CARLOTTA 2 310.00 211 2013 28 al 31 de May Huracan-1 BARBARA 1 182.80 212 2013 13 al 20 del Sep Huracan-1 MANUEL 1 449.10 213 2013 20 al 30 de Oct Huracán-3 RAYMOND 3 438.00	201	2010	21 al 29 Ago	Huracan-1 FRANK	1	311.60
204 2011 07 al 14 de Jul Huracan-1 CALVIN 1 233.40 205 2011 18 al 26 de Jul Huracan-4 DORA 4 49.00 206 2011 16 al 23 de Ago Huracan-1 GREG 1 260.00 207 2011 31 de Ago al 02 de Sep Depresión tropical 8 TD 63.20 208 2011 21 de Sep al 03 de Oct Huracan-4 HILARY 4 34.10 209 2011 06 al 13 de Oct Depresión Tropical 12 TD 57.40 210 2012 13 al 17 de Jun Huracan-2 CARLOTTA 2 310.00 211 2013 28 al 31 de May Huracan-1 BARBARA 1 182.80 212 2013 13 al 20 del Sep Huracan-1 MANUEL 1 449.10 213 2013 20 al 30 de Oct Huracán-3 RAYMOND 3 438.00	202	2010	03 al 04 de Sep	Depresión tropical ELEVEN	TD	49.50
205 2011 18 al 26 de Jul Huracan-4 DORA 4 49.00 206 2011 16 al 23 de Ago Huracan-1 GREG 1 260.00 207 2011 31 de Ago al 02 de Sep Depresión tropical 8 TD 63.20 208 2011 21 de Sep al 03 de Oct Huracan-4 HILARY 4 34.10 209 2011 06 al 13 de Oct Depresión Tropical 12 TD 57.40 210 2012 13 al 17 de Jun Huracan-2 CARLOTTA 2 310.00 211 2013 28 al 31 de May Huracan-1 BARBARA 1 182.80 212 2013 13 al 20 del Sep Huracan-1 MANUEL 1 449.10 213 2013 20 al 30 de Oct Huracán-3 RAYMOND 3 438.00	203	2011	18 al 22 de Jun	Huracan-1 BEATRIZ	1	359.80
206 2011 16 al 23 de Ago Huracan-1 GREG 1 260.00 207 2011 31 de Ago al 02 de Sep Depresión tropical 8 TD 63.20 208 2011 21 de Sep al 03 de Oct Huracan-4 HILARY 4 34.10 209 2011 06 al 13 de Oct Depresión Tropical 12 TD 57.40 210 2012 13 al 17 de Jun Huracan-2 CARLOTTA 2 310.00 211 2013 28 al 31 de May Huracan-1 BARBARA 1 182.80 212 2013 13 al 20 del Sep Huracan-1 MANUEL 1 449.10 213 2013 20 al 30 de Oct Huracán-3 RAYMOND 3 438.00	204	2011	07 al 14 de Jul	Huracan-1 CALVIN	1	233.40
207 2011 31 de Ago al 02 de Sep Depresión tropical 8 TD 63.20 208 2011 21 de Sep al 03 de Oct Huracan-4 HILARY 4 34.10 209 2011 06 al 13 de Oct Depresión Tropical 12 TD 57.40 210 2012 13 al 17 de Jun Huracan-2 CARLOTTA 2 310.00 211 2013 28 al 31 de May Huracan-1 BARBARA 1 182.80 212 2013 13 al 20 del Sep Huracan-1 MANUEL 1 449.10 213 2013 20 al 30 de Oct Huracán-3 RAYMOND 3 438.00	205	2011	18 al 26 de Jul	Huracan-4 DORA	4	49.00
208 2011 21 de Sep al 03 de Oct Huracan-4 HILARY 4 34.10 209 2011 06 al 13 de Oct Depresión Tropical 12 TD 57.40 210 2012 13 al 17 de Jun Huracan-2 CARLOTTA 2 310.00 211 2013 28 al 31 de May Huracan-1 BARBARA 1 182.80 212 2013 13 al 20 del Sep Huracan-1 MANUEL 1 449.10 213 2013 20 al 30 de Oct Huracán-3 RAYMOND 3 438.00	206	2011	16 al 23 de Ago	Huracan-1 GREG	1	260.00
209 2011 06 al 13 de Oct Depresión Tropical 12 TD 57.40 210 2012 13 al 17 de Jun Huracan-2 CARLOTTA 2 310.00 211 2013 28 al 31 de May Huracan-1 BARBARA 1 182.80 212 2013 13 al 20 del Sep Huracan-1 MANUEL 1 449.10 213 2013 20 al 30 de Oct Huracán-3 RAYMOND 3 438.00	207	2011	31 de Ago al 02 de Sep	Depresión tropical 8	TD	63.20
210 2012 13 al 17 de Jun Huracan-2 CARLOTTA 2 310.00 211 2013 28 al 31 de May Huracan-1 BARBARA 1 182.80 212 2013 13 al 20 del Sep Huracan-1 MANUEL 1 449.10 213 2013 20 al 30 de Oct Huracán-3 RAYMOND 3 438.00	208	2011	21 de Sep al 03 de Oct	Huracan-4 HILARY	4	34.10
211 2013 28 al 31 de May Huracan-1 BARBARA 1 182.80 212 2013 13 al 20 del Sep Huracan-1 MANUEL 1 449.10 213 2013 20 al 30 de Oct Huracán-3 RAYMOND 3 438.00	209	2011	06 al 13 de Oct	Depresión Tropical 12	TD	57.40
212 2013 13 al 20 del Sep Huracan-1 MANUEL 1 449.10 213 2013 20 al 30 de Oct Huracán-3 RAYMOND 3 438.00	210	2012	13 al 17 de Jun	Huracan-2 CARLOTTA	2	310.00
213 2013 20 al 30 de Oct Huracán-3 RAYMOND 3 438.00	211	2013	28 al 31 de May	Huracan-1 BARBARA	1	182.80
	212	2013	13 al 20 del Sep	Huracan-1 MANUEL	1	449.10
Promedio = 128.23	213	2013	20 al 30 de Oct	Huracán-3 RAYMOND	3	438.00
					Promedio =	128.23

Fuente: Elaboración propia, 2013

5.4 Huracán Carlota

El reporte de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), indica que el 13 de junio de 2012 por la noche se originó la depresión tropical No. 3-E de la temporada de ciclones tropicales en el Océano Pacífico Nororiental, a partir de un sistema de baja presión ubicado a 560 km al Sur de Tapachula, Chiapas, la depresión tropical presentó vientos máximos sostenidos de 55 km/h, rachas de 75 km/h y desplazamiento hacia el Noroeste a 15 km/h. En la madrugada del día 14, cuando se encontraba a 480 km al Sur de Tapachula, Chiapas, la DT-3 (Depresión tropical – 3) se desarrolló a la tormenta tropical "Carlota" con vientos máximos sostenidos de 65 km/h y rachas de 85 km/h. Este huracán fue el número 3 de la temporada 2012.

Durante el resto del día 14, la tormenta tropical "Carlota" siguió moviéndose con rumbo hacia la costa de Oaxaca, mientras aumentaba la fuerza de sus vientos , por lo que el día 15 por la mañana se ubicó a 255 km al Sur-Sureste de Puerto Ángel, Oaxaca, con vientos máximos sostenidos de 110 km/h y rachas de 140 km/h. Unas horas después, a las 10:00 horas tiempo local, cuando se encontraba a 195 km al Sur-Sureste de Puerto Ángel, Oaxaca, "Carlota" se intensificó a huracán alcanzando vientos máximos sostenidos de 130 km/h y rachas de 155 km/h.

El sistema siguió ganando fuerza y por la tarde de este mismo día, cuando se encontraba a 100 km al Sur-Sureste de Puerto Ángel, Oaxaca, "Carlota" alcanzó la categoría II de la escala Saffir-Simpson, con vientos máximos sostenidos de 165 km/h y rachas de 205 km/h.

A medida que se acercaba a tierra y debido a que las bandas nubosas del sistema estaban impactando sobre el terreno accidentado de la Sierra de Oaxaca, "Carlota" empezó a perder fuerza, así, a las 22:00 horas local del día 15, se ubicó frente a la costa a 15 km al Noroeste de Puerto Escondido, Oaxaca, con vientos máximos sostenidos de 150 km/h y rachas de 185 km/h, como huracán de categoría I, misma fuerza con la que unos minutos después tocó tierra aproximadamente a 20 km al Noroeste de Puerto Escondido, Oaxaca a partir de ese momento, el huracán "Carlota" aceleró su pérdida de fuerza como consecuencia de la fricción con el terreno montañoso que recorría sobre territorio del Suroeste de Oaxaca.

Por esta razón, tres horas después ya se encontraba con vientos máximos sostenidos de 130 km/h y rachas de 155 km/h a 70 km al Este de Punta Maldonado, Oaxaca y a las 4:00 horas con vientos máximos sostenidos de 120 km/h y rachas de 150 km/h, todavía como huracán de categoría I de la escala Saffir-Simpson, a 40 km al Nor-Noreste de la población antes mencionada.

"Carlota" siguió debilitándose mientras avanzaba hacia el Oeste-Noroeste, ahora sobre territorio también montañoso del estado de Guerrero y a las 7:00 horas local ya se encontraba como tormenta tropical a 70 km al Noreste de Acapulco, Guerrero, con vientos máximos sostenidos de 75 km/h y rachas de 85 km/h. Finalmente, el día 16 de junio por la mañana, "Carlota" se degradó a depresión tropical con vientos máximos sostenidos de 55 k m/h y rachas de 65 km/h mientras seguía su trayecto sobre territorio del estado de Guerrero a una distancia de 80 km al Noreste de Acapulco, donde más tarde iniciaría su proceso de disipación.

El huracán "Carlota" presentó una trayectoria que permitió el aporte de humedad hacia los estados del Centro, Sur y Sureste del país con importantes registros de lluvia en varios estados del país, que coinciden principalmente con la etapa de aproximación a la costa Sur de Oaxaca y después de su entrada a tierra. Varios de estos registros el 15 de junio superaron los 100.0 mm de lluvia máxima puntual en 24 horas, ellos son los siguientes: 139.0 mm en Santo Domingo; Oaxaca, 130.0 mm en Cuajinicuilapa, Guerrero; 126.8 mm en Tres Picos, Chiapas; 113.2 mm en La Joya, Veracruz; el día 16 de junio alcanzó; 350.0 mm en Tuxtepec, Oaxaca; 280.0 mm en Coyuquilla, Guerrero; 219.0 mm en Presa La Villita, Michoacán; 161.0 mm en Villa Azueta, Veracruz: 144.5 mm en Cuetzalan, Puebla; y 106.0 mm en Buenavista, Colima, el día 17 de junio 167.0 mm en Presa La Villita, Michoacan; 139.0 mm en Jacatepec, Oaxaca; y 110.1 mm en Manzanillo, Colima, el día 17 de junio.

La trayectoria total de "Carlota" tuvo una duración de 60 horas, tiempo en el que recorrió una distancia aproximada de 1,100 km a velocidad promedio de 18 km/h. El Servicio Meteorológico Nacional en coordinación con el Centro Nacional de Huracanes en Miami, Florida estableció zonas de alerta a lo largo de la costa Sur del país en los lugares de posible impacto con el propósito de hacer el seguimiento y

prevención ante el posible impacto del ciclón tropical "Carlota" cuya vigilancia se llevó a cabo mediante la emisión de 20 avisos de ciclón tropical y 7 boletines de vigilancia permanente. En la Figura 20 y 21 se ilustra la trayectoria del huracán carlota en el 2012.

Cuadro 24. Seguimiento de ciclón tropical "Carlota"

RESUMEN Y SEGUIMIENTO DE LA TRAYECTORIA						
CICLON	Huracán "Carlota"					
TROPICAL	Haracan Ganota					
Periodo de	Del 13 al 17 de junio de 2012					
ocurrencia	Del 10 di 17 de junio de 2012					
Total de avisos	20					
del SMN						
D	Etapas de evolución					
Depresión tropical	13 de junio 22:00 horas local (03 GMT) Aviso No. 1					
Tormenta tropical	14 de junio 04:00 horas local (09 GMT) Aviso No. 2					
Huracán I	15 de junio 10:00 horas local (15 GMT) Aviso No. 12					
Huracán II	15 de junio 16:00 horas local (21 GMT) Aviso No. 14					
Huracán I	15 de junio 22:00 horas local (03 GMT) Aviso No. 16					
Tormenta tropical	16 de junio 07:00 horas local (12 GMT) Aviso No. 19					
Depresión tropical	16 de junio 10:00 horas local (15 GMT) Aviso No. 20					
	Resumen del ciclón tropical					
Recorrido	1.100 Km					
Duración	60 horas					
Intensidad						
máxima de	165 Km/h con rachas de 295 Km/h					
vientos						
Presión mínima central	976 hPa					
	A 20 Km al Noreste de Puerto Escondido Oaxaca con vientos					
Impactos en	máximos sostenidos de 150 Km/h y rachas de 185 Km/h como					
tierra en México	huracán de categoría 1 de la escala Saffir-Simpson, el día 1 de junio del 2012 poco después de las 22 horas.					
Estados	Colima, Chiapas, Distrito Federal, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo,					
afectados	Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla,					
directamente	Querétaro, Tabasco, Tlaxcala y Sur de Veracruz.					
Lluvia máxima reportada	350.0 mm en Tuxtepec, Oaxaca, el día 16 de junio de 2012.					

Fuente: CNA-CGSMN GOES.

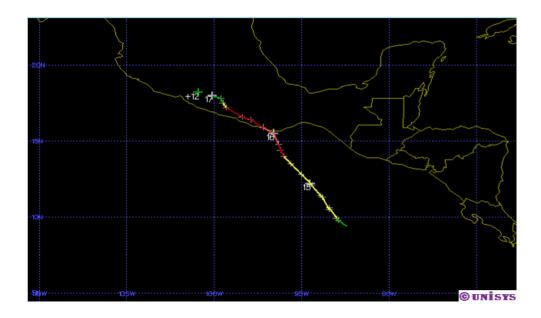


Figura 20. Trayectoria final del huracán "Carlota". (Fuente: CNA-CGSMN GOES).



Figura 21. Imagen de satélite. (Fuente: CNA-CGSMN GOES 13 IR4 15/Jun/2012 2:45 GTM).

5.5 Pérdida de Calcio

La pérdida de calcio se cuantificó de la siguiente manera:

- De las 21 muestras de suelo obtenidas en campo, se usaron sólo 11, esto fue porque se contaba con la muestra del 2011 y la de 2012 para poder hacer una comparación.
- La pérdida promedio de calcio fue de 1046.91 kg/ha, causado por el huracán
 Carlota que tuvo una precipitación de 310 mm.

En el Cuadro 25, se puede observar los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio y la estimación del calcio pérdido a causa del huracán Carlota, por la demanda de Calcio (Ca) del cultivo de Café, en la cuenca del rio Copalita de la región Loxicha, Oaxaca.

Cuadro 25. Pérdida de Calcio producida por el paso de huracán Carlota y por la demanda de Calcio (Ca) del cultivo de Café, en la cuenca del rio Copalita de la región Loxicha, Oaxaca.

Núm.	Sitio	Coordenadas				2011	2012	Ca (2011)	Ca (2012)	Pérdida		
		Latitud N		Longitud O		mg/kg	mg/kg	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha		
1	S. La Galera	15°	58′	23.6"	96°	28′	43.8"	657.00	253.00	1,379.70	531.30	848.40
2	S. La Galera	15°	58′	10.9"	96°	28′	32.5"	2,428.00	1,276.00	5,098.80	2,679.60	2,419.20
3	San Bartolomé L.	15°	58′	48.5"	96°	41′	57.1"	905.00	378.00	1,900.50	793.80	1,106.70
4	San Bartolomé L.	15°	57´	53.9"	96°	42´	20.2"	2,476.00	1,088.00	5,199.60	2,284.80	2,914.80
5	San Bartolomé L.	15°	57´	47.6"	96°	42´	07.5"	727.00	617.00	1,526.70	1,295.70	231.00
6	San Bartolomé L.	15°	58′	31.7"	96°	41′	39.29"	350.00	237.00	735.00	497.70	237.30
7	San Bartolomé L.	15°	58′	14.47"	96°	43′	06.5"	898.00	414.00	1,885.80	869.40	1,016.40
8	San Bartolomé L.	15°	58′	42.9"	96°	43´	29.1"	1,746.00	1,011.00	3,666.60	2,123.10	1,543.50
9	San Bartolomé L.	15°	58′	37.9"	96°	42´	28.3"	2,155.00	1,783.00	4,525.50	3,744.30	781.20
10	San V. Yongondoy	16°	04′	52′′	96°	37′	5.9′′	1,214.00	1,084.00	2,549.40	2,276.40	273.00
11	San V. Yongondoy	16°	03′	38.9′′	96°	36′	27.3′′	1,194.00	879.00	2,507.40	1,845.90	661.50
											Promedio	1,093.91

Fuente: Elaboración propia, 2013.

Considerando que el café tiene una demanda de 47 kg/ha de Calcio (Ca) por año, entonces la diferencia obtenida varia, como se muestra en el Cuadro 26.

Cuadro 26. Perdida de Calcio ocasionada por el paso del huracán Carlota.

Núm.	Sitio	Pérdida (kg/ha)
1	S. La Galera	801.4
2	S. La Galera	2372.2
3	San Bartolomé L.	1059.7
4	San Bartolomé L.	2867.8
5	San Bartolomé L.	184
6	San Bartolomé L.	190.3
7	San Bartolomé L.	969.4
8	San Bartolomé L.	1496.5
9	San Bartolomé L.	734.2
10	San V. Yongondoy	226
11	San V. Yongondoy	614.5
	Promedio =	1046.91

La pérdida atribuible por lixiviación del huracán Carlota, que produjo una precipitación pluvial promedio de 310 mm, en las 342,658 ha, conduce a estimar la pérdida total para la cuenca del Rio Copalita, que asciende a 358,732.08 toneladas de calcio.

5.6 Acidez del suelo

En la química del suelo el calcio (Ca²⁺) desempeña un rol en neutralizar la acidez de la solución del suelo; participa en el mecanismo de intercambio catiónico entre la solución del suelo y el complejo, por ello influye en la fertilidad del suelo, en consecuencia en la nutrición de los cultivos; también participa elevando el potencial redóx del suelo.

El comportamiento del pH se muestra en el Cuadro 27, donde los resultados indican que los 11 sitios que han servido de control en la Cuenca del Rio Copalita tuvieron un descenso del pH de 0.47 en promedio.

Cuadro 27. Comportamiento del pH después del paso del huracán Carlota.

Núm.	Sitio	2011	2012	Diferencia
		рН	рН	
1	S. La Galera	5.09	4.7	0.39
2	S. La Galera	5.82	5.2	0.62
3	San Bartolomé L.	5.67	5	0.67
4	San Bartolomé L.	5.66	5.72	0.06
5	San Bartolomé L.	5.08	5.39	0.31
6	San Bartolomé L.	5.86	5.13	0.73
7	San Bartolomé L.	5.6	4.94	0.66
8	San Bartolomé L.	6.75	6.25	0.5
9	San Bartolomé L.	6.78	5.72	1.06
10	San V. Yongondoy	5.3	5.51	0.21
11	San V. Yongondoy	5.15	4	1.15
			Promedio =	0.47

Los valores máximos de acidificación alcanzan 1.15, en donde el sitio que sufrió una acidificación considerable con respecto a las demás muestras, fue el sitio número 11 en San Vicente Yogondoy, muestra colectada en un cafetal cercano a una carretera además que el cafetal estaba bajo sombra.

5.7 Relación Ca / Mg

Castellanos et al. (2000), señala que una alta concentración de calcio provoca una deficiencia de magnesio cuando el valor es mayor a 10, pero de acuerdo con Rodríguez (2013), el uso de proporción catiónica es de 3 a 7; estas relaciones se reportan en cmol/kg. Esta relación se analiza porque el calcio es antagonista del Mg. En los Cuadros 28 y 29, se reporta la relación Ca/ Mg de la región Loxicha de Oaxaca; de acuerdo con lo mencionado por Rodríguez (2013), entonces los resultados obtenidos quedan por debajo de 3, que indica que es necesario aplicar Calcio (Ca), pero como los valores no son altos entonces podemos realizar también aplicación de Magnesio (Mg), ello justifica el uso de dolomita como material principal para restaurar el Ca y el Mg lixiviado.

Cuadro 28. Relación Ca/Mg para el año 2011 en la región Loxicha, Oaxaca.

		2011		2011				
Núm.	Sitio	Ca	Mg	Ca	ı	Mg	i	Relación Ca/mg
		(mg/kg)	(mg/kg)	(cmol/kg)	Į Į	(cmol/kg)	'	
1	S. La Galera	657	141	3.29	В	1.16	М	2.84
2	S. La Galera	2428	517	12.14	Α	4.24	Α	2.86
3	San Bartolomé L.	905	303	4.53	В	2.48	М	1.82
4	San Bartolomé L.	2476	386	12.38	Α	3.16	Α	3.91
5	San Bartolomé L.	727	293	3.64	В	2.40	Μ	1.51
6	San Bartolomé L.	350	103	1.75	MB	0.84	В	2.07
7	San Bartolomé L.	898	153	4.49	В	1.25	В	3.58
8	San Bartolomé L.	1746	336	8.73	М	2.75	М	3.17
9	San Bartolomé L.	2155	527	10.78	Α	4.32	Α	2.49
10	San V. Yongondoy	1214	283	6.07	М	2.32	В	2.62
11	San V. Yongondoy	1194	263	5.97	М	2.16	В	2.77
I = INTE	RPRETACIÓN; MB = N	лиу ваја;	B = BAJA; N	I = MEDIA; A :	= ALTA		•	

Cuadro 29. Relación Ca/Mg para el año 2012 en la región Loxicha, Oaxaca.

			2012		2012			
Núm.	Sitio	Ca	Mg	Ca	ı	Mg	1	Relación Ca/mg
		(mg/kg)	(mg/kg)	(cmol/kg)	ı	(cmol/kg)	'	
1	S. La Galera	253	70	1.27	MB	0.57	В	2.20
2	S. La Galera	1276	353	6.38	M	2.89	М	2.20
3	San Bartolomé L.	378	117	1.89	MB	0.96	В	1.97
4	San Bartolomé L.	1088	331	5.44	M	2.71	М	2.01
5	San Bartolomé L.	617	58	3.09	В	0.48	MB	6.49
6	San Bartolomé L.	237	69	1.19	MB	0.57	В	2.10
7	San Bartolomé L.	414	112	2.07	В	0.92	В	2.25
8	San Bartolomé L.	1011	199	5.06	M	1.63	М	3.10
9	San Bartolomé L.	1783	477	8.92	M	3.91	Α	2.28
10	San V. Yongondoy	1084	289	5.42	M	2.37	М	2.29
11	San V. Yongondoy	879	386	4.40	В	3.16	Α	1.39
I = INTE	I = INTERPRETACIÓN; MB = MUY BAJA; B = BAJA; M = MEDIA; A = ALTA							

Fuente: Elaboración propia, 2013.

Al revisar la comparación de la relación Ca/Mg de los años 2011 y 2012 el cual corresponde al periodo en el que se presentó el huracán Carlota; los resultados se muestran en la Cuadro 30.

Cuadro 30.- Comparación de la relación Ca/Mg entre los años 2011 y 2012 correspondientes al periodo en que el que se presentó el huracán Carlota.

Núm.	Sitio	Relación Ca/Mg (2011)	Relación Ca/Mg (2012)	Diferencia	Interpretación
1	S. La Galera	2.84	2.20	0.64	Pérdida
2	S. La Galera	2.86	2.20	0.66	Pérdida
3	San Bartolomé L.	1.82	1.97	0.15	Aumento
4	San Bartolomé L.	3.91	2.01	1.91	Pérdida
5	San Bartolomé L.	1.51	6.49	4.98	Aumento
6	San Bartolomé L.	2.07	2.10	0.02	Aumento
7	San Bartolomé L.	3.58	2.25	1.33	Pérdida
8	San Bartolomé L.	3.17	3.10	0.07	Pérdida
9	San Bartolomé L.	2.49	2.28	0.21	Pérdida
10	San V. Yongondoy	2.62	2.29	0.33	Pérdida
11	San V. Yongondoy	2.77	1.39	1.38	Pérdida
	Promedio =	2.69	2.57	0.12	Pérdida

Fuente: Elaboración propia, 2013.

La relación Ca /Mg promedio para el año 2011 es de 2.69 y para el 2012 disminuyó a 2.57 esto se puede explicar, por la pérdida de calcio en el suelo debido a la lixiviación del huracán Carlota en la región Loxicha.

Como se observa en el Cuadro 30 algunos de los sitios de muestreo no cumplen la relación de Ca / Mg más común en el suelo de 2:1, en estos casos la presencia de un valor bajo de Mg ocasionado por una pérdida a causa de la lixiviación explica un aumento en la relación de Ca /Mg, pero no significa que existan adiciones de calcio las cuales expliquen este ascenso. La disminución del Mg fue causada por el huracán carlota, el cual ocasionó que se lixiviara. Se debe de considerar que aunque se tenga una relación Ca/Mg por arriba de 3 no quiere decir que sea correcta, porque aun así pueden existir deficiencias de ambos cationes, el cual se traduce que para seguir usando dicha relación como un indicador de buen balance nutrimental se deberá resolver primero la deficiencia de Ca²⁺ como de Mg²⁺ con algún material que las aporte.

5.8 Requerimientos de encalado

El calcio generalmente se atiende mediante encalados de corrección y conservación, lo cual permite mantener condiciones óptimas del suelo. El propósito del encalado es mantener el estado cálcico del suelo.

Para resolver el problema de la pérdida de calcio en la cuenca de rio Copalita, se propone hacer uso de la cal dolomítica que es un mineral bastante común en las rocas sedimentarias continentales y marinas, se puede encontrar en capas de varios cientos de metros y es uno de los minerales más difundidos en las rocas sedimentarias carbonatadas; que fue formado por la acción del agua rica en magnesio, sobre depósitos calcáreos, en donde se produce una progresiva substitución del calcio por el magnesio. En el Cuadro 31, se muestra la composición química de la cal dolomítica.

Cuadro 31. Composición química de una muestra de mineral secundario (Cal dolomítica), Distribuida por la empresa Nutre y Fortalece de México S.A. de C.V.

		1	1
Elemento	Símbolo	Unidad	Contenido
Carbono	С	%	9.01
Oxigeno	0	%	55.74
Sodio	Na	%	0.16
Magnesio	Mg	%	7.43
Aluminio	Al	%	1.62
Silicio	Si	%	10.85
Azufre	S	%	0.09
Potasio	K	%	0.52
calcio	Ca	%	13.86
Hierro	Fe	%	0.86
Titanio	Ti	ppm	0.76
Bromo	Br	ppm	2.07
рН			8.54
CE			1140
Densidad	1.95		
	25.8		
	34.6		

Fuente: Elaboración propia, 2013.

Partiendo de la premisa que la cal dolomítica tiene el 13.86% de Calcio (Ca), entonces los cálculos indican:

(1000kg de dolomita * 13.86) / 100 = 138.6 kg de Ca

1 T de dolomita →138.6 kg de Ca

X →1046.91kg de Ca

X= (1T de dolomita * 1046.91 kg de Ca) / 138.6 kg de Ca

X= 1046.91 / 138.6

X= 7.55 T de dolomita por aplicar /ha

En el Cuadro 32, se presenta las cantidades de dolomita que se deberán aplicar con la finalidad de restaurar el calcio lixiviado a causa del huracán Carlota.

Cuadro 32. Material que se deberá aplicar para restaurar el calcio lixiviado en la zona Loxicha.

Núm.	Sitio de Muestreo	Dolomita (T)
1	S. La Galera	5.78
2	S. La Galera	17.12
3	San Bartolomé L.	7.65
4	San Bartolomé L.	20.69
5	San Bartolomé L.	1.33
6	San Bartolomé L.	1.37
7	San Bartolomé L.	6.99
8	San Bartolomé L.	10.80
9	San Bartolomé L.	5.30
10	San V. Yongondoy	1.63
11	San V. Yongondoy	4.43
_		

Fuente: Elaboración propia, 2013.

Pero el volumen calculado, es económicamente inviable, también no es de interés del productor recuperar el calcio donde no están los cafetos, es decir, el espacio entre cafetos. De acuerdo con la revisión, la densidad de plantación es de 2200 cafetos /ha; el área de goteo que se utilizará es de 50 cm de radio. Por lo tanto, el área mínima a restaurar, es la siguiente:

Densidad de plantación = 2200 Cafetos / ha

Área de goteo =
$$3.1416 * r^2 = 3.1416 * (0.5)^2 = 0.7854 m^2$$

Entonces:

Al calcular el volumen de Cal dolomítica requerido por hectárea cultivada de cafeto, el Cuadro 33, se muestra la cantidad de Cal Dolomítica que se debe de aplicar por cada cafeto.

Cuadro 33. Dosis de Cal Dolomítica que se deberá de aplicar a los cafetos para poder restaurar el nivel de Calcio (Ca²⁺) lixiviado por el huracán Carlota.

Núm.	Sitio de Muestreo	Dolomita (t)	Área m²	t/ha	kg/cafeto
1	S. La Galera	5.78	1,727.88	1.00	0.45
2	S. La Galera	17.12	1,727.88	2.96	1.34
3	San Bartolomé L.	7.65	1,727.88	1.32	0.60
4	San Bartolomé L.	20.69	1,727.88	3.58	1.63
5	San Bartolomé L.	1.33	1,727.88	0.23	0.10
6	San Bartolomé L.	1.37	1,727.88	0.24	0.11
7	San Bartolomé L.	6.99	1,727.88	1.21	0.55
8	San Bartolomé L.	10.80	1,727.88	1.87	0.85
9	San Bartolomé L.	5.30	1,727.88	0.92	0.42
10	San V. Yongondoy	1.63	1,727.88	0.28	0.13
11	San V. Yongondoy	4.43	1,727.88	0.77	0.35
	Promedio =	7.55	1727.88	1.31	0.5

Fuente: Elaboración propia, 2013.

La gestión de los suelos cafetaleros en la región Loxicha desde una perspectiva ecológica debe incluir la aplicación de calcio en los cafetales, lo que contribuirá al mantenimiento de los suelos, mejorará la capacidad agronómica y ambiental de los suelos cafetaleros, así como disminuir la acidez del suelo. La dolomita es un material que aporta dos cationes metálicos: calcio y magnesio.

La incorporación de dolomita, como fuente de calcio, tiene beneficios: (1) físicos, particularmente en la estructura granular; (2) químicos, destacando la disminución de los iones H⁺; (3) biológicos, mejorando la actividad de la materia orgánica y del ciclo del nitrógeno, particularmente la nitrificación que exige la presencia de cationes metálicos.

Las altas tasas de precipitación favorecidas por eventos hidrometeorológicos como Carlota, lixivia cantidades importantes de bases intercambiables como el calcio.

En procesos de lixiviación generados como el caso de Carlota, las bases son reemplazadas del complejo coloidal, eso aumenta la acidez al remover los cationes metálicos que luego compiten con el hidrogeno en el complejo coloidal.

6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El presente estudio se enfocó a determinar los cambios de Calcio (Ca) en el suelo después del paso del huracán Carlota en la región Loxicha de Oaxaca. Los resultados del periodo de crecimiento indican que la precipitación media anual es suficiente para que el cafeto se desarrolle completamente, sin ningún tipo de estrés hídrico que lo limite. Una explicación a este fenómeno, es que el periodo de crecimiento inicia el 18 de Marzo y termina el 26 de Noviembre, coincidiendo con la temporada de huracanes, la falta de agua es nula, esto con fundamento en los resultados de la cuantificación de los fenómenos hidrometeorológicos de la zona, en el periodo 1949 al 2013. También se puede observar que usando como criterio a la precipitación para evaluar la pérdida de calcio en el suelo; en la estación 20089 existe un mayor ingreso de agua al sistema que lo que se pierde por evapotranspiración (ETP) entonces de acuerdo con la literatura esto implica que existe una mayor lixiviación de las bases intercambiables existentes en la solución del suelo.

De acuerdo con los datos obtenidos de la estación 20308, la precipitación disminuye considerablemente pero no es menor que la ETP por lo que el riesgo de perder las bases intercambiables por efecto de la lluvia para esta zona disminuye, una explicación de este fenómeno refiere a que es por efecto del relieve y la altitud, es decir sucede un efecto similar al de barlovento y sotavento en la que la mayor precipitación cae en las partes bajas que sería la región costa abarcando Puerto Ángel, San Pedro Pochutla, Santa María Huatulco y Santa María Tonameca hasta llegar a la base de Calendaría Loxicha; conforme va ascendiendo la cantidad de agua es menor porque precipita sobre la primer zona montañosa que para nuestro caso es la región de pluma hidalgo, posteriormente seguirá perdiendo fuerza hasta llegar a San Mateo Rio Hondo.

Con base en los resultados de las pruebas de laboratorio, las muestras de la región de San Bartolomé Loxicha, Oaxaca muestran una mayor pérdida de calcio debido a la cercanía que tiene con la costa, existe una mayor entrada de agua la cual hace que exista una mayor lixiviación de cationes; la pendiente de la región también ayuda a que se efectué con mayor intensidad el lavado de Ca, Mg y K.

Sin en cambio las muestras de S. la Galera dan un panorama distinto, pues existe una pérdida de 2372.2 kg/ha y en otra de 801.40 kg/ha las variaciones pueden ser explicadas por el manejo de las parcelas muestreadas y también la pendiente; aunque en comparación a San Bartolomé Loxicha en esta zona la precipitación es menor por lo que debería existir un menor lavado. Pero en San Vicente Yongondoy si se observa el efecto en la disminución de la precipitación esto es conforme se adentra a la sierra, la lixiviación de cationes es menor en comparación a San Bartolomé Loxicha, pues se obtuvo que la pérdida fue de 226.0 kg/ha y 614.5 kg/ha; es importante recalcar que en toda la zona de estudio se tiene un manejo orgánico sobre las parcelas lo que ayuda en mayor o en menor medida a que disminuya la lixiviación de cationes intercambiables que se tienen en el suelo.

Los cambios en el pH indican la adición de agua por un periodo corto tiene un efecto significativo en el aumento de la acidez del suelo, esto trae consigo muchos cambios en la química de la solución del suelo; uno de ellos es la toxicidad por aluminio la cual afecta el crecimiento de las plantas, también hay daño en la biología del suelo pues los ambientes ácidos inhiben la presencia de algunas bacterias, hongos y organismos benéficos que participan activamente en la formación del suelo así como en la disponibilidad de nutrientes asimilables por las plantas.

La comparativa en la relación Ca/Mg de los años 2011 y 2012, indican que no solo existió una pérdida de Ca²⁺, también se presentó un lavado considerable de Mg en algunos puntos muestreados, ocasionando que la relación entre estos cationes se eleve 0.02, 0.15, 4.98 unidades en algunos casos. Esto se presentó en las muestras de San Bartolomé Loxicha en donde ya comentamos que la precipitación de la zona es mayor en comparación a los otros sitios; es importante mencionar que en algunos sitios de muestreo la relación Ca/Mg en un valor optimo como lo indica la literatura pero aun así existe la deficiencia de ambos elementos, entonces se deberá resolver en primera instancia la deficiencia nutrimental existente en el suelo con el uso de enmiendas que aporten ambos cationes y así poder seguir usando la relación Ca/Mg como indicador de un buen balance nutrimental. Es importante mencionar que La disponibilidad de calcio (Ca) para las plantas, no solo depende de su contenido en el

complejo de cambio y en la solución, sino también de la competencia que se puede presentar entre estos elementos; comportamiento que varía de acuerdo a la selectividad catiónica de los suelos.

Los compuestos de calcio importantes son los carbonatos: calcita y dolomita; los fosfatos; flúorapatita, hidroxiapatita, oxiapatita, carbonato apatita; el sulfato de calcio y silicatos; feldespatos y anfíboles. Todos estos materiales por la meteorización liberan calcio, que una vez solubilizado puede ocurrir: precipitada como compuestos cálcicos particularmente en zonas de baja precipitación. Al respecto, se ofrece una amplia discusión.

Aproximadamente 3.6% de la litosfera está compuesta por calcio, el contenido promedio de los suelos es en promedio de 1.37%. El calcio es variable en los suelos, donde su contenido es altamente influenciado por el material parental y la lluvia. Los suelos que se desarrollan a partir de material madre de origen calcáreo, muchas veces tienen carbonato de calcio en el perfil. Con la lixiviación por la alta precipitación pluvial, el carbonato de calcio y la mayoría de otros minerales de calcio, desaparecen del perfil del suelo.

El trabajo permite señalar que la estabilidad de varios minerales de calcio y de soluciones complejas al ser valoradas ofrece referencias a la solubilidad de Ca²⁺ tanto para los suelos calcáreos y no calcáreos. La relación de solubilidad de fosfatos de calcio, sulfatos y molibdatos deben ser examinados en el futuro, ya que los aniones de estos minerales generalmente existen en menor cantidad en los suelos que el calcio, no se espera que estos minerales puedan controlar la solubilidad de Ca²⁺. De acuerdo con la literatura Linsay (1979), ofrece un diagrama sobre la solubilidad de los minerales de calcio en relación con el pH en la Figura 22.

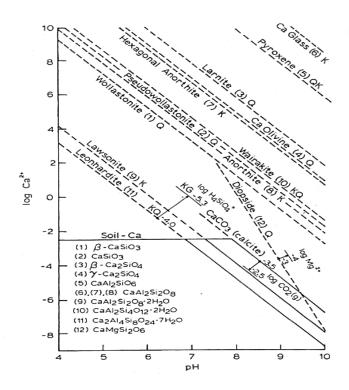


Figura 22.- Solubilidad de algunos minerales de Calcio en equilibrio con la caolinita (k), cuarzo (Q) y la gibsita (G) (Linsay, 1979).

Todos los minerales incluidos son inestables en suelos ácidos, pueden disolverse eventualmente. En suelos alcalinos, calcita, leonardita y lawsonita aparecen como otros posibles minerales estables. La línea de Ca²+ diseñada en Ca²+=10 – 2.5 M da como una referencia de actividad de Ca²+ en suelos ácidos y casi neutros. En tales suelos, el Ca²+ se disuelve en su mayoría por calcio intercambiable. A medida que las bases intercambiables se desgastan en los suelos, el pH baja, causando que el H+ y el Al³+ penetren los sitios de intercambio desplazando al Ca²+ a través de un vasto rango de pH. Es una práctica común en la agricultura incorporar enmiendas (cal) en los suelos que son demasiado ácidos. Los dos beneficios de incorporar estos materiales son: (1) neutralizar la acidez del suelo; y (2) reponer el Ca²+ intercambiable. Las reacciones de la cal se pueden presentar de la siguiente manera:

CaCO₃ (c) + 2H⁺ -intercambiable
$$\longrightarrow$$
 Ca²⁺ -intercambiable + CO₂(g) + H₂O CaCO₃(c) + 0.66Al³⁺ -intercambiable \longrightarrow Ca²⁺ -intercambiable + 0.66 Al(OH)₃ (solido) + CO₂(g) + H₂O

Los silicatos de calcio y aluminosilicatos, actúan como agentes limitantes, su equivalente en cal se determina solo por las bases presentes, las cuales no incluyen aluminio. Por ejemplo, el píroxeno reacciona de la forma siguiente:

$$CaAl_2SiO_6$$
 (Piroxeno) + $2H^+$ \longleftrightarrow Ca^{2+} (intercambiable) + SiO_2 (sólido) + $2Al$ (OH)₃ . (sólido) + $2H_2O$

Por lo tanto un mol de piroxeno equivale solo a un mol de CaCO₃. Basado en la solubilidad de la información usada para desarrollar la Figura 22, la leonardita y 2lawsonita parecerían ser más estables que la calcita. Sin embargo, la evidencia experimental que apoya estas conclusiones no ha sido descubierta. Al contrario, el carbonato de calcio generalmente se acumula en los suelos alcalinos. Posiblemente las mediciones termodinámicas usadas para calcular las solubilidades de la lawsonita y leonardita tal vez no sean lo suficientemente exactas para permitir una interpretación tan precisa. Aumentar el CO₂ (g) por encima de lo que existe en la atmosfera suprime la solubilidad de las líneas de calcita en la Figura 22. También, la solubilidad de la leonardita aumenta a medida que el sílice se desgasta en los suelos y la actividad del H₄SiO₄ disminuye por debajo de 10⁻⁴M. Por esas razones, la calcita a una presión parcial designada de CO₂ (g) es utilizada en la fase solida con mayor posibilidad de controlar la solubilidad del Ca²⁺ en suelos alcalinos.

Las solubilidades de varios otros minerales de calcio son dadas por las reacciones expresadas anteriormente, la siguiente figura muestra la solubilidad de varios minerales de calcio.

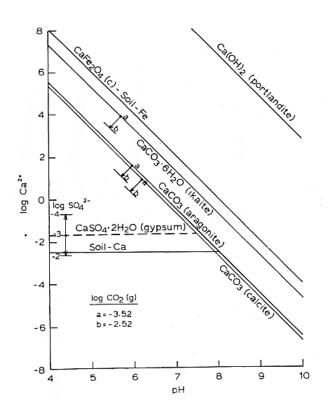


Figura 23.- La solubilidad de varios minerales de calcio en el suelo (Linsay, 1979).

La calcita es el mineral de carbonato de calcio menos soluble y el CaCO₃ (aragonita) solo es un poco más soluble. Tomando en cuenta las solubilidades similares, ambos minerales pueden ocurrir juntos bajo ciertas condiciones. El mineral hidratado CaCO₃•6H₂O (ikaita) es considerablemente más soluble y no se espera que esté en los suelos.

El mineral CaO₂ contenido en los limos es mucho más soluble para persistir en los suelos, es hasta demasiado soluble para aparecer en la Figura 23. El nivel de CO₂(g) al cual la calcita y portlandita pueden coexistir es calculado de la siguiente manera:

$$\log K^{\circ}$$

$$\operatorname{Ca}^{2+} + 2\operatorname{H}_{2}\operatorname{O} \longleftrightarrow \operatorname{Ca}(\operatorname{OH})_{2} \text{ (portlandita)} + 2\operatorname{H}^{+}$$

$$\operatorname{CaCO}_{3} \text{ (calcita)} + 2\operatorname{H}^{+} \longleftrightarrow \operatorname{Ca}^{2+} + \operatorname{CO}_{2}(g) + \operatorname{H}_{2}\operatorname{O}$$

$$\operatorname{CaCO3} \text{ (calcita)} + \operatorname{H}_{2}\operatorname{O} \longleftrightarrow \operatorname{Ca}(\operatorname{OH})_{2} \text{ (portlandita)} + \operatorname{CO}_{2}(g)$$

$$-13.06$$

Desde el que

$$CO_2(g) = 10^{-13.06}$$

Por lo tanto, cuando el CO₂ (g) baja 10^{-13.06} atm, tanto la calcita como la portlandita, pueden coexistir. Si el CO₂ (g) disminuye por debajo de este nivel, la calcita se hace *metaestable* a la portlandita (al contrario de lo que pasa en suelos).

De los cuatro minerales de sulfatos incluidos en la discusión, el CaSO₄•2H₂O (yeso) es el más estable. La solubilidad puede apreciarse en la Figura 23.

La solubilidad de cal por yeso se aprecia en la Figura 23, es una actividad de sulfato de 10⁻³ M que muestra movimientos hacia arriba y hacia abajo. El yeso es demasiado soluble para persistir en los suelos a no ser que SO²⁻₄ se aproxime de 10⁻² M. Generalmente el yeso ocurre solo en suelos áridos ricos en sulfatos (SO²⁻₄) que se oxidan para liberar grandes cantidades de SO²⁻₄, como pasa con los suelos de Holanda.

La aplicación del yeso a suelos afectados por el sodio en el rango de pH entre 8.5 y 10 aumenta el Ca²⁺ soluble arriba de lo que es la calcita y genera la precipitación de la calcita con la liberación de protones:

Entonces el pH baja a un rango de 7.5 - 8.0 donde el yeso y la calcita coexisten. De esta manera el Ca²⁺ se restaura aproximadamente al 10^{-2.5}, manteniendo los coloides del suelo floculados predominantemente saturados con calcio. El Na⁺ desplazado entonces puede ser drenado.

La solubilidad de CaF (fluorita) en equilibrio con el Ca-suelo puede representarse como:

	log K°
CaF ₂ (fluorita) ←→Ca ²⁺ + 2F	-10.41
Ca ²⁺ ←→ Suelo-Ca	2.50
CaF ₂ (fluorita) ←→ 2F ⁻ + Suelo-Ca	-7.91

Lo cual arroja:

$$\log F = -3.96$$

La presencia de la fluorita en suelos limita la actividad de F⁻ a 10⁻⁴ M. Mayor consideración debería darse a KMg₃AlSi₃O₁₀F₂ (fluorphologopite) y Ca₅(PO₄)₃F (fluorapatita) como otros potenciales minerales aportadores de flúor en los suelos.

Solución de complejos de calcio

A veces es necesario conocer las formas iónicas de un elemento en la solución del suelo. Varios complejos inorgánicos de Ca²⁺ ya se ofrecieron. Las reacciones descritas por estas ecuaciones se pueden ver en las Figuras 22 y 23. Los rangos de la actividad anionica usados para desarrollar estos gráficos son los que normalmente se encuentran en los suelos.

La Figura 24 muestra que los complejos de cloruro y nitrato de calcio contribuyen muy poco al calcio soluble total. Las actividades de Cl⁻ y NO⁻₃ afectan la estabilidad de estos complejos, tanto en la presencia de Ca-suelo como calcita. En el caso de calcita, las líneas y flechas extras fueron omitidas para no crear confusión en el diagrama. El ion CaHCO⁺₃ y disminuyen el Ca²⁺.

En la presencia de calcita se incrementa el CO₂ (g) 10 veces más disminuye, el log Ca²⁺, CaCl⁺, CaCl⁺, CaCl⁺, CaNO⁺₃ y Ca(NO₃)₂ por unidad logarítmica.

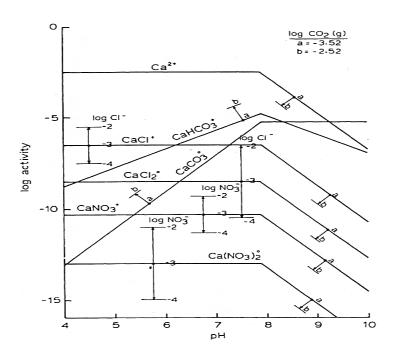


Figura 24. Complejos de cloruro, nitrato y bicarbonato de Ca²⁺ en equilibrio con el Ca-suelo o calcita afectada por actividades anionicas y pH (Linsay, 1979).

La actividad de $CaCO_3$ es constante en la presencia de calcita. Por lo tanto la calcita la pareja neutra de iones $CaCO_3$ al $10^{-5.27}$ el cual es independientemente de $CO_2(g)$ y del pH.

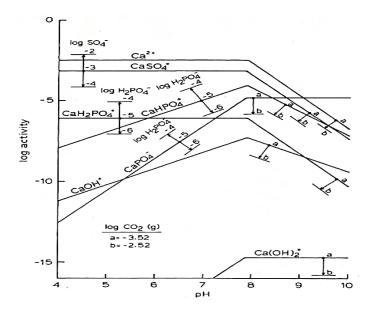


Figura 25.- Sulfato, fosfatos e hidróxidos complejos de calcio en equilibrio con suelo-Ca o calcita (Linsay, 1979).

La Figura 25 muestra que el CaSO₄ contribuye de manera significante al calcio total en la solución si el SO $^{-2}_4$ es > 10^{-4} M. Los complejos de fosfato de Ca $^{2+}$ incluyen CaH₂PO $^+_4$ y C₂HPO $^-_4$. En suelos ácidos y calcáreos ninguno de estos complejos contribuye significativamente al calcio soluble total. En suelos neutros y calcáreos CaH₂PO $^+_4$ y C₂HPO $^-_4$ son significantes especialmente cuando la actividad de H₂PO $^-_4$ es > 10^{-5} M. En la presencia de calcita y todos los complejos descritos anteriormente disminuyen una unidad log por cada aumento de 10 veces en CO₂ (g) pero sus posiciones relativas se quedan sin cambiarse. Los cambios en SO $^{-2}_4$ y H₂PO $^-_4$ afectan la estabilidad de los complejos de calcio en la presencia de la calcita y Casuelo.

El sistema CaCO₃ – CO₂ – H₂O

$$\log \text{Ca}^{2+} + 2 \text{ pH} = 8.28 - \log \text{H}_2\text{CO}_3$$

En términos de HCO₃

	log <i>K</i> °
$CaCO_3$ (calcita) + $2H^+ \leftarrow \rightarrow Ca^{2+} + CO_2$ (g) + H_2O	9.74
$CO_2 (g) + H_2O + H^+ + HCO_3^-$	-7.82
CaCO ₃ (calcita) + H ⁺ ←→ Ca ²⁺ + HCO ₃	1.92
$\log \operatorname{Ca}^{2+} + \operatorname{pH} + \mathbf{+} \mathbf{+} 1.92 - \log \operatorname{HCO}^{-2}$	

En términos de CO²⁻3

	log <i>K</i> °
$CaCO_3$ (calcita) + $2H^+ \leftarrow \rightarrow Ca^{2+} + CO_2$ (g) + H_2O	9.74
$CO_2 (g) + H_2O + 2H^+ + CO^{2-}_3$	-18.15
$CaCO_3$ (calcita) $\leftarrow \rightarrow Ca^{2+} + CO^{2-}_3$	-8.41

En las ecuaciones anteriores se muestran todas las expresiones que suceden en el proceso de solubilización de la calcita. Reordenando las ecuaciones anteriores.

$$pH - 0.5 pCa = 4.87 - 0.5 log CO_2 (g)$$

Una parte de la presentación de las ecuaciones muestra las relaciones de equilibrio de calcita en diversos niveles de CO₂ (g) como se puede ver en la Figura 25. Este grafico muestra las relaciones entre las variables: pH, log Ca²⁺ y CO₂ (g). La línea de solubilidad para calcita se mueve hacia arriba a medida que el CO₂ (g) disminuye y hacia abajo cuando aumenta. Como se ha mostrado antes, la línea de calcita se mueve hacia arriba por coincidir con la de Ca(OH)₂ (portlandita) cuando el CO₂ (g) baja a 10-13.06 atm. La curva que cruza las líneas de calcita corresponde a las composiciones de la solución de sistemas puros de CaO - CO₂ --- H₂O a medida que el CO₂ cambia. Derivemos la composición de este sistema puro de agua - calcita correspondiente a CO₂ (g) al 0.0003 atm. La ecuación de electro neutralidad aplicable para este sistema es:

$$2[Ca^{2+}] + [CaHCO_{3}^{+}] + [H^{+}] = [HCO_{3}^{-}] + 2[CO^{2-}] + [OH_{3}^{-}]$$

A pesar de que el contenido de calcio en la zona de estudio es suficiente como para abastecer un cultivo, se considera que debido a los cambios de pH en el suelo se deberán hacer aplicaciones de enmiendas para regular la acidez, así como reponer el calcio lixiviado y con eso evitar problemas con otros elementos.

Los suelos de la región Loxicha están localizados en regiones de alta precipitación, que al estar sometidos a un continuo y amplio lavado, sufren una ininterrumpida descalcificación por erosión y lixiviación. Estas pérdidas combinadas muy frecuentemente alcanzarían valores superiores a los que se producen por extracción de los cultivos. Como se ha visto existe una disminución del contenido de calcio en el suelo que provocará, que la descomposición de la materia orgánica se realiza mal o incompletamente; los suelos se seguirán acidificando y el porcentaje de saturación de bases del complejo de intercambio adsorbente va a reducirse; la actividad biológica y el aprovechamiento de nutrientes se estarán anulando de forma progresiva; la degradación de la actividad biologica del suelo se corrobora con los resultados de Wang *et al.* (2014), el cual estudio los efectos de fenómenos meteorológicos extremos que causa el cambio climatico sobre la microfauna del suelo.

7 CONCLUSIONES

- 1.- En el Pacífico Sur Mexicano de 1950 al 2013 se cuantificaron 213 eventos hidrometeorológicos; depresiones, tormentas y ciclones tropicales. En los 30 años recientes se han incrementado en número e intensidad.
- 2.- La Sierra Sur y la Costa del Pacífico Sur son vulnerables a los riesgos naturales y desastres provocados por los eventos hidrometeorológicos. Carlota aportó 310 mm en 60 horas.
- 3.- Durante el huracán Carlota en la Cuenca del Rio Copalita, Oaxaca ocurrió una lixiviación por la lluvia precipitada, con consecuentes arrastres de Ca²⁺ de 1093.91 kg/ha.
- 4.- El pH del suelo descendió 0.47 unidades, lo que coloca al suelo como moderadamente ácido.
- 5.- El encalado de restauración por el desequilibrio causado por el huracán Carlota es de 1.31 ton de dolomita/ha, promedio.
- 6.- Sobre la superficie cultivada con cafetos, considerando un radio de 50 cm, en 1728 m² / ha es conveniente restaurar las pérdidas de calcio, lo que significa que se perdieron 1046.91 kg/ha. En esa área debe aplicarse en promedio 0.50 kg de dolomita por cafetal
- 7.- La relación Ca/Mg promedio previo al huracán Carlota es de 2.67, posterior al huracán fue de 2.55. Esto significa que hubo una disminución de 0.12 unidades por el paso del evento hidrometeorológico.
- 8.- El huracán Carlota, tercero de la temporada 2012 ocurrió el 13 al 17 de Junio; donde el Gobierno atendió con 440.64 millones de pesos, lo cual se orientó al mantenimiento de infraestructura, a la industria y a la atención de damnificados. No se identifican acciones de restauración del recurso suelo que se hayan comprendido en correspondencia a los daños del huracán Carlota.

- 9.- La acidez del suelo provocada por la lixiviación de calcio durante el huracán Carlota, conduce al deterioro de la fertilidad del suelo y a la baja productividad del cafeto. Esto debe considerarse como parte del siniestro.
- 10.- La cuenca del Rio Copalita es un espacio geográfico de alto riesgo natural por el paso de eventos hidrometeorológicos como tormentas y ciclones tropicales, así lo revelan los 213 eventos ocurridos en el periodo 1949-2013.
- 11.- La acidez del suelo provocada por las tormentas y ciclones tropicales debe incluirse como parte del siniestro en las regiones afectadas por dichos eventos hidrometeorológicos, ya que inciden en la economía rural al afectar el rendimiento de los cultivos, por perder propiedades físicas y biológicas y químicas.
- 12.- Los compuestos de calcio: carbonatos, fosfatos, sulfatos de calcio y silicatos, por la meteorización liberan calcio, que una vez solubilizado en los suelos tropicales puede perderse por lixiviación, además en suelos ácidos estos minerales se vuelven más inestables. Estos minerales son útiles en la remineralización de suelos.
- 13.- El manejo ecológico de los suelos exige la restauración, por ello en los procesos de lixiviación generados por los eventos hidrometeorológicos debe promoverse la remineralización de los suelos, la restauración de la biología y de la materia orgánica para garantizar la productividad agrícola a largo plazo, caso contrario mermará la función biológica de los suelos.
- 14.-Los cafetales de la Selva Loxicha representan una estrategia importante para conservar suelos y proteger a las cuencas aguas abajo, en partícula de los polos turísticos: Huatulco, Puerto Ángel, Mazunte, Puerto Escondido, además de contribuir a mitigar el cambio climático al regular el escurrimiento superficial, la erosión hídrica, capturar CO₂, reciclar nutrientes, entre otros.

8 BIBLIOGRAFÍA

- AGUIRRE G. A., 1993, Química de Suelos Salinos y Sódicos, Ed. FES-Cuautitlán-UNAM, México.
- AGUIRRE, 2001, Química de Suelos Ácidos, Templados y Tropicales, UNAM, México, pag. 53-58.
- ALLAN, E. F. Y A. J. TREWAVAS. 1987. The role of calcium in metabolic control. pp. 117-149 en D. D. Davies (ed), The biochemestry of plants, Vol. 12, Physiology of Metabolism. Academic Press, Nueva York.
- ALVARADO A. 2004. La saturación de acidez y el encalado sobre el crecimiento de la Teca (Tectonia grandis L.f.) en suelos ácidos de costa rica. Agronomía Costarricense 28 (1): 81-87.
- 5. ALEXANDER M., 1980. Introducción a la microbiología del suelo, A.G.T.,PP. 491
- 6. ARIAS J. A., 2001, Suelos Tropicales, Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa rica, pp. 6-7.
- 7. ARMSTRONG MJ, KIRKBY EA, 1979, The influence of humidity on mineral composition of tomato plants with special reference to calcium distribution. Plant and Soil 52: 427-435.
- 8. B. ORTIZ V. *et al*, 1980, Edafología, Universidad Autónoma Chapingo, México, pag.329.
- BAGLIONE, 2011, Usos de la tierra diatomea, Revista Tecnicaña 27, pp.: 31-32.
- 10. BANGERTH F., 1974, Antagonism between calcium and other elements in the applefruit. Acta Hort. 45:49-52.
- 11.BANGERTH F., 1974, The function of calcium in the cell and in the subcellular units of applefruit. Acta Hort.45: 43-47.
- 12.BERNIER V.R., ALFARO V.M., 2006, Acidez en los suelos y efectos del encalado, INIA 151: 28-44.
- 13. BERG L.P., SOLOMON E.P., MARTIN W.D., 2011, BIOLOGÍA, Mc Graw-hill, E.U.A., pp. 5 7.

- 14. BLAIKIE P., *et al.*, 1996, Vulnerabilidad. El entorno Social, Político y Económico de los Desastres, Tercer Mundo Editores, Colombia.
- 15.BUOL S.W., 1973, Soil Genesis and Classification, The Iowa State Univ., Ed. Ames, pag.360.
- 16. CAJUSTE L.J., 1977, QUÍMICA DE SUELOS, Colpos-Chapingo, México, pag.277.
- 17. CAMPBELL, 2007, Biología, Ed. Medica Panamericana, Buenos Aires, Argentina, pag: 567-569.
- 18. CAVALIER *et al.*, 1993, kingdom protozoa and it's 18 phyla, Microbiol Rev. 57 (4), pag. 953-954
- 19. CEPEDA, 1999, Química de Suelos, Ed. Trillas, México D.F, pag. 29-32.
- 20. CHANG, 2002, Química 7ma edición, McGraw-Hill, Colombia, pag. 601-651.
- 21.CHEN W., LI A.H., SHEN X. 2012. Inluence of Soil Acidification on Soil Microorganisms in Pear Orcards. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 43:1833-1846.
- 22. COHEN, 1989, Manual de la Atención de Salud Mental para víctimas de desastres, Harla S.A. de C.V.
- 23. CRAMER, G.R., EPSTEIN, E. AND LAUCHLI, A. (1988) Kinetics of root elongation of maize in response to shortterm exposure to NaCl and elevated calcium concentration. Journal of Experimental Botany 39:1513-1522.
- 24. DODD, 1977, Course book ingenieral in general botany, Ames I.A., The Iowa State University Press.
- 25. FITZPATRICK E.A., 1996, Introducción a la ciencia de los suelos, Trillas, México DF, pag. 288.
- 26.ENDE VAN DER J, KOORNNEEF P, SONNEVELD C., 1975, Osmotic pressure of the soil solution. Determination and effects on some glass-house crops. Neth J. Agric. Sci. 23: 181-190.
- 27.EPSTEIN, E. (1961) The essential role of calcium in selective cation transport by plant cells. Plant Physiology 36:437-44

- 28.EPSTEIN, E. AND BLOOM, A.J. (2005) Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives, 2nd edn. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, 400 pp.
- 29. ESTÉBAMEZ P., *et al.*, 2005, Medicina humanitaria, Ed. Díaz de Santos, España.
- 30. FASSBENDER, 1987, Química de Suelos con énfasis en suelos de América latina, Ed. IICA, San José, Costa Rica, pag. 126-379.
- 31.FERGUSON, I. B. y B. K. DROBAK. 1988. Calcium and regulation of plant growth and senescence. HortScience 23: 262-266.
- 32.FLORES D.A., *et al.*, 1996.Salinidad: un nuevo concepto, Univ. De Colima, México, pp. 97.
- 33. GALLEGO, 2006, Manual de parasitología: morfología y biología de los parásitos de interés sanitario, Universidad de Barcelona, España, pag. 101-213.
- 34. GOMEZ P.C., *et al.*, 2013, Ca-amendment and tillage: Medium term synergies for improving key soil properties of acid soils, Soil and Tillage Research. 134: 195-206.
- 35. GILROY, s., D.P. BLOWERS y a. J. TREWAVAS. 1987. Calcium: A regulation system emerges in plant cells. Dwevelopment 100:181-184.
- 36.GOOR VAN BJ, WIERESMA D., 1974, Redistribution of potassium, calcium, magnesium and manganese in the plant. Physiol Plant. 31: 163-168.
- 37. GOZMANOVA, 2008, Microbiología Celular, Instituto de Biología Molecular y Biotecnología de la Fundación para la Investigación y la tecnología, Hevaklion, Grecia, vol. 10: 2168-2179.
- 38. HANSON, B.R., Grattan, S.R. and Fulton, A. (2006) Agricultural Salinity and Drainage. Division of Agriculture and Natural Resources Publication 3375. University of California, 164 pp (Revised edition).
- 39. HANSON, J.B. 1984. The function of calcium in plant nutrition. Advance in Plant Nutrition 1:149-208.
- 40.HEPLER P.K. y R.O. Wayne. 1985. Calcium and plant development. Annual Review of Plant Phyiology 36:397-439.

- 41.HIRSCHI, K.D. (2004) The calcium conundrum: both versatile nutrient and specific signal. Plant Physiology 136,2438-2442.
- 42. JAKOBSEN ST (1993a) Interaction between plant nutrients. III. Antagonism between Potassium, Magnesium and Calcium. Acta Agric. Scand. 43: 1-5.
- 43. JAKOBSEN ST (1993b) Interaction between plant nutrients. IV. Interaction between calcium and phosphate. Acta Agric. Scand. 43: 6-10.
- 44. JAVIER A. y OLCINA C., 2002, Riesgos naturales, Ed. Ariel S.A., Barcelona, España, pag. 54-58.
- 45. JESÚS G., MARTÍNEZ PONCE DE LEÓN, 2002, Introducción al análisis de riesgos, Ed. Limusa, México.
- 46.JIN H., SUN J.O., LIU J., 2010, Changes in soil microbial biomass and community structure with addition of contrasting types of plant litter in a semiarid grassland ecosystem, Journal Plant Ecology Oxford vol. 3 (3): 209-2017.
- 47. JORDÁN L.A., (2005), Manual de Edafología, Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química de la Universidad de Sevilla, pag.15.
- 48.KINZEL, H. 1989. Calcium in the vacuoles and cell walls of plant tissue. Flora 182:99-125.
- 49. KIRBY, E.A. y D.J. PILBEAM. 1984 Calcium as a plant nutrient. Plant, Cell and Environment 7:397-405.
- 50.KNIGHT, H., TREWAVAS, A.J. and Knight, M.R. (1997) Calcium signaling in Arabidopsis thaliana responding to drought and salinity. Plant Journal 12:1067-1078.
- 51.KOHLER ALOIS (LIU) JÜLICH SEBASTIA, BLOEMERTZ LENA, 2004, Manual El análisis de riesgo una base para la gestión de riesgo de desastres naturales Deutsche Gesellschaftfür Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbHEschborn.
- 52. Lett D. L. y Judson S. 1968. Fundamentos de geología física. Limusa. México.
- 53. LAUCHLI, A. AND EPSTEIN, E. (1970) Transport of potassium and rubidium in plant roots: the significance of calcium. Plant Physiology 45:639-641.

- 54. LAUCHLI, A. AND GRATTAN, S.R. (2012) Plant responses to saline and sodic conditions. In: Wallender, W.W. and Tanji, K.K. (eds) Agricultural Salinity Assessment and Management. ASCE manuals and reports on engineering practice No 71 (2nd edn). American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, pp. 169-205.
- 55.LEONARD, r.T. y P.K. HEPLER (eds). 1990. Calcium inPlant Growth and Development. American Society of Plant Physiologist, Rockville, Md. Lousier, 1974, Soil BiolChem, 6: 19-26
- 56.MAATHUIS, F.J.M. (2007) Root signaling in response to drought sand salinity. In: Jenks, M.A., Hasegawa, P.A. and Jain, S.M. (eds) Advances in Molecular Breeding Towards Salinity and Drought Tolerance. Springer, Dordrecht, the Netherlands, pp. 317-331.
- 57.MARMÉ, D. 1989. The role of calcium and calmodulina in signal transduction. Paginas 57-80 en W.F. Boss y D.J. Morré (eds.), Second Messengers in Plant Growth and Development. Aalan R. Liss, Nueva York.
- 58.MARSCHNER H., 1983, General Introduction to the mineral nutrition In: Inorganic Plant Nutrition (Laüchli A, Bieleski RL, eds.), Springer-Verlag, Berlin (Alemania) pp 5-60.
- 59.MARSCHNER, H. (1995) Mineral Nutrition of Higher Plants, 2nd edn. Academic Press, New York, 889 pp.
- 60. MARSCHNER, P., 2012. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. Third edition. Elsevier AP.
- 61. MEDENBACH O. et.al., 2005, Mineralien, Blume, Barcelona, España, pag. 26-27.
- 62.METTING *et al.*, 1988, Algae and Agriculture, Cambirdge University, Cambridge, England, pag. 333, 370.
- 63. MENGEL K., KIRKBY A.E., 2001, Principles of Plant Nutrition, International Potash Institute, 5th edition, 11: 455-480.
- 64. MILLER C. E., 1951, Fundamentos de la Ciencia del Suelo (*Fundamentals of Soil Science*), Compañía Continental S.A. de C.V., México, pag. 13-25.

- 65. MILLAWAY R.N., WIERSHOLM L., 1979, Calcium and metabolic disorders. Comm. Soil Sci Plant Anal., 10, 1.
- 66.MONGE N., et. al., 2002, Biología General, Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica, pag.74.
- 67.MOLINA E., ROJAS A., 2005, Efecto del encalado en el cultivo de la naranja valencia en la zona norte de costa rica, Agronomía Costarricense, 29 (3): 91-95.
- 68.MORGAN R.P.C., 2005, Soil erosion and Conservation, Blackwell, USA, pp. 11 65.
- 69. NAVARRO, 2003, Química Agrícola, Ed. Mundi-prensa, Madrid, España, pag. 15-32.
- 70. ORTEGA T., 1987, QUIMICA DE SUELOS, Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, pag. 10-415
- 71.ORTIZ T.E. 1981, Química de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, México, pag.275-364
- 72. PILLATI, M.A.; GRENON, D.A. Y CARRIZO, M.E. 2008. Información química de argiudoles del centro de Santa Fe (Argentina) 2) pH y cationes intercambiables, potasio, calcio y magnesio., Argentina. 129 pp.
- 73. POOVAIAH, B.W. y A.S.N. Reddy. 1987. Calcium Messenger system in plants. Critical Reviews in Plant Science 6:47-103.
- 74. PORTA J., 2003, Edafología para la agricultura y el medio ambiente, Mundi-Prensa, Madrid, España, pag. 860.
- 75. PRIMO, 1973, Química Agrícola, Ed. Alhambra, Madrid, España, pp. 22-35.
- 76.RESTREPO R., J. 2009. Agricultura orgánica. Harina de rocas y la salud del suelo al alcance de todos. Satyagraha Juquira Cadirú. Primera edición.
- 77.REDDY, A.J. And Reddy, V.S. (2002) Calcium as a second messenger in stress signal transduction. In: Pessarakli, M. (ed.) Handbook of Plant and Crop Physiology, 2nd edn. Dekker, New York, pp. 697-733.
- 78.RYAN R.P., DELHAIZE E., Adaptations to Aluminium Toxicity, Plant Stress Physiology 8: 171-193.

- 79. RODRÍGUEZ N. F., 2013, Fertilidad de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México. pp: 3-10.
- 80. SÁNCHEZ C. A., 2010, Enciclopedia de Conocimientos Fundamentales, UNAM, México.
- 81. SÁNCHEZ P., *et al.*, 2011, Métodos e indicadores para la evaluación de los servicios de salud., Universidad Autónoma de Barcelona, España.
- 82. SÁNCHEZ R. A. 2005, Principios y aplicaciones de mecánica de suelos, Universidad Autónoma Chapingo, México, pag.19-21.
- 83. SANDON, 1927, The composition and distribution of the protozoa fauna of the soils, Oliver and Boyd, London.
- 84. SCAIFE MA, CLARKSON DT, 1978, Calcium-related disordes in plants a possible explanation for the effect of weather. Plant Soil 50: 723-725.
- 85. TORTORA *et al.*, 2007, Introducción a la microbiología, Ed. Panamericana, Argentina, pp. 358-360.
- 86.TREWAVAS, A.J. (Ed.). 1986. Molecular and Cellular Aspects of Calcium in Plant Development. Plenum, Nueva York.
- 87. UNAM, 2004, Biodiversidad de Oaxaca, Fondo Oaxaqueño para la conservación de la naturaleza, pag. 29-51.
- 88. USDA-NRCS, 2010, Keys to Soil Taxonomy, USDA, E.U.A., pp. 1-3.
- 89. VANBREEMEN, 1983, Acidification and alkalinizatio in of soils, Plant and soil, Discroll, 75:282-302.
- 90. VANG-PETERSEN O., 1980, Calcium nutrition of apple trees: a review. Sci. Hort. 12: 1-9.
- 91.WANG F., et al., 2014. Species dependent responses of soil microbial properties to fresh leaf inputs in a subtropical forest soin in South China, Journal Plan Ecology. Vol. 7(1): 86-96.
- 92.WIEBE HJ, SCHÄTZLER HP, Kühn W., 1977, On the movement and distribution of calcium in white cabbage in dependence on water status. Plant Soil 48: 409-416.
- 93. WILLIAMSON, R.E.1984. Calcium and the plant cytoskeleton. Plant, Cell and Environment 7: 431-440.

94.ZENG L.S, *et al.*, 2012, Road effects on vegetation composition in a saline evironment. Journal Plant Ecology, vol. 5(2): 206-218.

Páginas consultadas en Internet.

- https://www.finanzasoaxaca.gob.mx/pdf/inversion_publica/pmds/08_10/012.pdf (16/Julio/2013)
- 2. http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75 (19/julio/2013).
- 3. http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/oax/territorio/relieve.aspx?tema =me&e=20 (19/julio/2013).
- 4. http://www.unisdr.org/2004/campaign/booklet-spa/page9-spa.pdf (25/agosto/2013)
- 5. http://asintes.org/blog-emergencias/emer-catast/124-catastrofes (24/agosto/2013)
- 6. www.cali.gov.co/gestiondelriego/publicaciones.php?id=734 (24/agosto/2013)
- 7. http://www.unisdr.org/2004/campaign/booklet-spa/page8-spa.pdf (25/agosto/2013)
- 8. http://smn.cna.gob.mx/ciclones/tempo2012/pacifico/Carlota-p2012.pdf (22/Agosto/2013)
- http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/05/09/65262 (12/Marzo/2014)
- 10. http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/calentamiento-global/acid-rain-overview (27/Agosto/2013)
- 11. http://edafologia.ugr.es/introeda/tema01/factform.htm (15/julio/2013)
- 12. http://helid.digicollection.org/es/d/Jops28s/4.3.html (23/Agosto/2013)
- 13. http://cmcirubide.blogspot.mx/2009/03/riesgos-naturales-y-su-clasificacion.html (25/agosto/2013)
- 14. http://smn.cna.gob.mx/ (19/ julio/ 2013).
- 15. http://lema.rae.es/ (23/Agosto/2013)
- 16. http://www.unesco.org/most/FULL2C.PDF (26/Agosto/2013)
- 17. http://weather.unisys.com/hurricane/index.php (04/Octubre/2013)
- 18. https://sites.google.com/site/desastresnaturalesencolombia/ (25/agosto/2013)
- 19. http://www.oaxaca-mio.com/atrac_turisticos/infooaxaca.htm (16/julio/2013)
- 20. http://www.wto.org/spanish/tratop_s/sps_s/sps_agreement_cbt_s/c2s5p1_s.htm (23/Agosto/2012)
- 21. http://www.lenntech.es/periodica/elementos/ca.htm (13/Marzo/2014)
- 22. http://www.inegi.org.mx/default.aspx (Noviembre, 2013).
- 23. http://www.mundomanz.com/meteo_p/byind?countr=MEXICO&ind=76855&year=2009 &month=10&day=21&n_days=10&time=all&trans=PA&action=display (04/Octubre/2013).

9 ANEXOS

Analisis mineral de Dolomita.



EL COLEGIO DE MICHOACAN, A.C.

Extensión La Piedad, Michoacán

LABORATORIO DE ANÁLISIS Y DIAGNOSTICO DEL PATRIMONIO

REPORTE DE ANALISIS DE MINERAL

RECEPCIÓN: JULIO 12

REPORTE: JULIO 16, 2011

EL ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN ELEMENTAL DE LA MUESTRA MINERAL SE REALIZO MEDIANTE LAS TÉCNICAS DE ESPECTROMETRÍA DE RAYOS X, DISPERSIÓN (EDS) Y FLUORESCENCIA (XRF) ACOPLADAS A UN MICROSCOPIO ELECTRONICO DE BARRIDO. LOS RESULTADOS SON LA CONCENTRACION TOTAL DEL ELEMENTO PRESENTE EN LA MUESTRA SOLIDA (molidas a un tamaño de particula homogénea de aproximadamente 1 micra) Y SECA (secado a 40 °C), CON UN MARGEN DE ERROR DE 0.5%. Los elementos que no aparecen se encuentran en niveles no aprovechables por los cultivos agrícolas.

Muestra Mir DOLOMITICA Tetitzintla, T Fortalece de	A, Loca ehuacán	lidad: San Productor:	Nicolás
ELEMENTO		UNIDAD	M614
CARBON	С	%	9.01
OXIGENO	0	%	55.74
SODIO	Na	%	0.16
MAGNESIO	Mg	%	7.43
ALUMINIO	Al	%	1.62
SILICIO	Si	%	10.85
AZUFRE	S	%	0.09
POTASIO	K	%	0.52
CALCIO	Ca	%	13.86
HIERRO	Fe	%	0.86
TITANIO	Ti	ppm	0.76
BROMO	Br	ppm	2.07
pН			8.54
ORP		mV	81
CE		μS cm ⁻¹	1140
Densidad par	rtícula	g cm ⁻³	1.95
MgCO ₃		%	25.8
CaCO ₃		%	34.6

pH, Concentración de protones H*; C.E., conductividad eléctrica, μS cm⁻¹ (para obtener los sólidos totales disueltos de la solución del suelo, multiplicar, C.E. x 0.64 = ppm); OPR, Potencial de Oxido Reducción, mV,

Diagnóstico Edgar Quero Gutierrez, Investigador Titular "C" El Colegio de Michoacán A.C. Análisis Esteban Sánchez Rodríguez