

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS

**CARACTERIZACIÓN DE LOS RECURSOS SUELO Y AGUA, EN EL AREA DE
RIEGO DEL PROYECTO NUESTRA SEÑORA DE CANDELARIA, BUXUP,
JACALTENANGO, HUEHUETENANGO.**

TESIS
PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
AGRONOMIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS

POR
EDUARDO LEONEL TOJIN US

En el acto de investidura como
INGENIERO AGRONOMO

EN
SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA
EN EL GRADO ACADEMICO DE
LICENCIADO

Guatemala, septiembre de 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA

RECTOR

M.V. LUIS ALFONSO LEAL MONTERROSO

JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Agr. PhD. ARIEL ABDERRAMAN ORTIZ LÓPEZ
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr. Alfredo Itzep Manuel
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Sanabria
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. Erberto Raúl Alfaro Ortiz
VOCAL CUARTO	Maestro Elmer Antonio Álvarez Castillo
VOCAL QUINTO	Perito Miriam Eugenia Espinosa Padilla
SECRETARIO	Ing. Agr. Pedro Peláez Reyes

Guatemala, octubre de 2004

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señores miembros:

De conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de tesis titulado:

**CARACTERIZACIÓN DE LOS RECURSOS SUELO Y AGUA, EN EL AREA DE
RIEGO DEL PROYECTO NUESTRA SEÑORA DE CANDELARIA, BUXUP,
JACALTENANGO, HUEHUETENANGO.**

Presentado como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado de Licenciado.

Esperando que la presente investigación llene los requisitos para su aprobación, me suscribo ante ustedes.

Eduardo Leonel Tojín us

ACTO QUE DEDICO**A:**

- DIOS Ser Supremo.
- MIS PADRES Apolonio Tojin Laynez e Isabel Us de Tojín, por todo lo bueno que me han brindado en mi formación humana y profesional.
- MIS ABUELOS Paternos: Margarito Tojín Lopez, Maria Laynez Reynoso y maternos: Juan Us y Juana Zapeta, todos que en paz descansan.
- MIS HERMANAS Y HERMANOS Por su amistad y apoyo en el desarrollo de mi vida
- MIS SOBRINOS Por las alegrías que nos brindan.
- MIS TIOS Por su Aprecio, especialmente a Maria Tojin Reynoso
- MIS PRIMOS Especialmente a Silvia Tojín Noriega, gracias
- Ing. Agr. Marco Antonio Najera Caal (Q.E.P.D)
- MIS AMIGOS Especialmente a Miguel Antonio López, Estuardo Roca Canet, Ivan Santos, José Miguel Barrios, Walter Ordoñez (Q.E.P.D.) y muchos otros gracias por su amistad.

TESIS QUE DEDICO

A:

Guatemala.

Universidad de San Carlos De Guatemala

Facultad de Agronomía

Mi familia

Santa Cruz De Quiche, Quiche

AGRADECIMIENTOS

A:

Mis asesores de tesis Ms. CC. Ivan Dimitri Santos Ing. Agr. Estuardo Roca Canet, por sus aportes al desarrollo adecuado del trabajo.

Ms. CC. Aníbal Sacbaja, por sus sugerencias en el desarrollo del trabajo.

Los Agricultores del Proyecto de Riego Nuestra Señora de Candelaria, Jacaltenango, Huehuetenango, por su colaboración en la fase de campo.

CONTENIDO GENERAL

Título	Página
INDICE DE CUADROS	ix
INDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xi
1. INTRODUCCION	1
2. DEFINICION DEL PROBLEMA	2
3. MARCO TEORICO	4
3.1. Marco Conceptual	4
3.1.1. El Suelo	
3.1.1.1. Conceptos de Suelos	4
3.1.1.2. Levantamientos de Suelos	12
3.1.1.3. Principios generales para el desarrollo de estrategias para el manejo de suelos	15
3.1.2. Aspectos del suelo relacionados con el riego	29
3.1.2.1. Relación suelo-agua	29
3.1.2.2. Relación suelo-agua-planta	31
3.1.3. El Agua	32
3.1.3.1 Estudio de La Calidad del Agua	32
3.1.3.2. El Muestreo del Agua para diagnosticar la calidad	32
3.1.3.3. Clasificación basada en la C.E. y RAS	32
3.2. Marco Referencial.	35
3.2.1. Localización geográfica del área de estudio	35
3.2.2. Geología	35
3.2.3. Fisiográfica	35
3.2.4. Suelos	35
3.2.5. Hidrografía	38
3.2.6. Clima	38
3.2.7. Zona de vida	38
3.3. Antecedentes de la agricultura Realizada en el área.	39
3.3.1. Agricultura pre riego	39
3.3.2. Agricultura post riego	39
4. OBJETIVOS	40
5. METODOLOGIA	41
5.1. Estudio del Recurso Suelo	41
5.1.1. Recopilación y Análisis de Información	41
5.1.2. Reconocimiento y Determinación del área de estudio.	41
5.1.3. Diferenciación de las áreas.	41
5.1.4. Apertura de calicatas y lectura de perfiles	41
5.1.5. Muestreo del suelo	42

5.1.6. Envío de las muestras al laboratorio	42
5.1.7. Clasificación de suelos	43
5.2. Estudio del Recurso Agua	43
5.2.1. Muestreo del Agua	43
5.2.2. Determinación de La Demanda Teórica de Los Cultivos	44
5.2.3. Caracterización del subsistema de aplicación	45
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
6.1. Descripción general del área	47
6.2. Descripción general de los suelos.	47
6.3. Características de las propiedades de los Suelos	49
6.3.1. Características de la fertilidad del suelo	50
6.4. Clasificación de las unidades de suelos	53
6.4.1. Clasificación de suelos por capacidad de uso y para riego	53
6.4.2. Clasificación en base a su fertilidad.	54
6.5. Características de clasificación y manejo	55
6.5.1. Clasificación de grupos de unidades formadas	55
6.5.2. Requerimiento de manejo de las unidades	57
6.6. Características del agua	57
6.6.1. Clasificación de aguas	57
6.6.2. Comportamiento de las sales del agua en el perfil	58
6.6.3. Demandas de Agua	59
6.7. Caracterización del Sistema Aplicación de riego	60
6.7.1. Descripción del sistema	60
6.7.2. Frecuencia de riego	60
6.7.3. Evaluación del sistema de riego utilizado	60
7. CONCLUSIONES	62
8. RECOMENDACIONES	64
9. BIBLIOGRAFIA	66
10. APENDICE	68

INDICE DE CUADROS

No.	Página
Cuadro 1. Dimensiones de las diferentes clase de partículas del suelo	7
Cuadro 2. Grupos texturales y las diferentes clase Texturales.	7
Cuadro 3. Clases de Salinidad y Sodicidad y las diferentes combinaciones de concentraciones que se pueden encontrar en una muestra de agua.	33
Cuadro 4. Métodos de laboratorio utilizados para la determinación de Características físicas y químicas de muestras recolectadas	43
Cuadro 5. Unidades de suelo y sectores de riego que abarca	49
Cuadro 6. Clasificación de los suelos por capacidad de uso de la tierra y su Uso para el riego	54
Cuadro 7. Clasificación de los suelos en base a su fertilidad	55
Cuadro 8. Características de Clasificación por capacidad de uso agrícola y para riego, así como la fertilidad de las unidades de suelos.	55
Cuadro 9. Practicas generales necesarias para el manejo adecuado del suelo en las diferentes unidades.	57
Cuadro 10. Resultados del análisis de la muestra de agua de riego.	57
Cuadro 11. Comportamiento de las sales del agua de riego en el perfil del suelo	59
Cuadro 12. Demandas evapotranspirativas diarias y mensuales en milímetros para los meses de noviembre a mayo	59
Cuadro 13. Tamaño de parcela, diámetro de tubería principal y número de aspersores utilizados para el riego por posición	60

INDICE DE FIGURAS

No.	Página
Figura 1: Matriz de Clasificación de Aguas para uso Agrícola del USDA	34
Figura 2: Localización y topografía del área de trabajo	37
Figura 3: Uso Actual del suelo	48
Figura 4: Unidades de suelos	50
Figura 5. Capacidad de uso del suelo, para el riego y en base a su fertilidad	56
Figura 6A: Grafica para el calculo de la ETo modificada por la FAO	69

CARACTERIZACIÓN DE LOS RECURSOS SUELOS Y AGUA, EN EL AREA DE RIEGO DEL PROYECTO NUESTRA SEÑORA DE CANDELARIA, BUXUP, JACALTENANGO, HUEHUETENANGO

SOIL AND WATER CHARACTERIZATION IN THE IRRIGATION AREA OF NUESTRA SEÑORA DE CANDELARIA PROJECT, BUXUP, JACALTENANGO, HUEHUETENANGO

RESUMEN

Actualmente los agricultores del proyecto de riego Nuestra Señora de Candelaria, Jacaltenango, Huehuetengo, practican una agricultura empírica, los cuales incluyen el manejo del suelo y agua, de los cuales se desconoce su potencial, en un área con condiciones especiales por la posición fisiográfica, el tipo de suelo y las condiciones climáticas. Los objetivos de la investigación fue el estudio de los recursos suelo y agua con el fin de generar información básica que nos permitiera conocer las características físicas y químicas de los recursos, y de esta manera determinar virtudes y limitantes en el manejo de los mismos para la implementación de un plan de manejo en base a tres sistemas de clasificación y Los principios generales para el desarrollo de estrategias para el manejo de suelo y agua propuestos por La FAO.

El estudio de investigación se ejecuto en el área de riego de la aldea Buxup, de marzo a julio de 2002. Para la ejecución del trabajo se requirió información existente como mapas, informes e investigaciones anteriores relacionados con la agricultura. Luego se formulo un plan de trabajo diseñado para determinar las unidades de suelo existentes. Se detectaron 6 unidades en las cuales se realizo una calicata en cada unidad para su respectivo estudio. Los aspectos a estudiar fueron: Físicos: pendiente, uso actual, pedregosidad, profundidad de los

horizontes, textura, densidad aparente y la capacidad de retención de humedad; químicos: pH, conductividad eléctrica, Capacidad de intercambio catiónico efectivo, contenido de nutrientes disponibles, contenido de materia orgánica y el porcentaje de bases saturadas.

Con el fin de establecer un uso racional del agua se determinaron las demandas teóricas de evapotranspiración, para 10 cultivos potenciales en el área. Se evaluó el sistema de riego, así mismo se determinó la calidad de agua que se utiliza.

Según los análisis de laboratorio, los suelos son arcillosos, con una CIC de más de 35 %, un pH que varía de 6.5 a 7.9, deficiencia de nutrientes como el fósforo, potasio y calcio, la conductividad eléctrica no es mayor a un Milimohos, una retención de humedad del suelo del 10% (35 mm de humedad aprovechable), la densidad aparente de 1 a 1.17 gramos /cc. La materia orgánica está sobre el 2 % mínimo aceptable, lo cual indica que se encuentra en cantidades adecuadas.

Los suelos pertenecen a la clase II(sw), II(swe) y III(swe) de acuerdo a la capacidad de uso de la tierra, lo cual significa que presentan limitaciones como mal drenaje y falta de aeración y problemas de suelo por las arcillas expansibles que lo componen y su profundidad y algunos con problemas de erosión. Pertenecen a la clase 2 y 3 en la clasificación con fines de riego, son tierras que tienen una profundidad media (de 45 cm. mínimo a 90 cm), la concentración de sales es despreciable, pero que en un futuro (a partir de 20 años) puede ser un problema considerable si no se da un drenaje natural, no hay presencia de sodio y el pH es menor de 9. En base a su fertilidad se puede decir que los suelos son fértiles dado a las cantidades efectivas altas de Capacidad de intercambio (más del 35 %), hay deficiencia de nutrientes, en algunos suelos problemas de alcalinidad y anegamiento en alguna temporada del año (ver cuadro 8).

En cuanto a la clase de aguas, según el sistema de clasificación USBR pertenecen a la clase C2S1, siendo de mediana calidad, en la cual se recomienda para su uso tierras con un buen drenaje natural, lo cual es una limitante en las diferentes unidades. De acuerdo a la evaluación realizada, se acepta el diseño del subsistema aplicación de agua del sistema de riego, el cual se puede mejorar reduciendo el impacto del viento.

1. INTRODUCCION

En la aldea Buxup, del departamento de Huehuetenango se encuentra El Comité de Riego Nuestra Señora de Candelaria, los cuales administran un sistema de riego para 87.5 hectáreas. Con el afán de asegurar la producción agrícola, se realizó un estudio de suelo y agua, con el propósito de conocer las características generales de los recursos y poder hacer planteamientos de manejo más eficientes de los mismos.

Para la ejecución del trabajo se recurrió a información agrícola general del área y los recursos, por medio de mapas, diagnósticos, tesis etc.. Se analizó toda la información a manera de determinar la posición fisiográfica del área, la serie de suelos, el uso actual, la cuenca a que pertenece y las características bioclimáticas del área. Seguidamente se procedió a realizar un reconocimiento del área y así poder definir el tipo del levantamiento a realizar que permitiera conocer las características de los suelos que se manejan en el área de riego y del agua.

Se definieron las unidades de suelos encontradas, a las cuales se les tomó lectura del perfil genético de cada una. Las muestras colectadas en cada perfil se le practicó un análisis físico y químico en el laboratorio de suelo y agua de la Facultad de Agronomía de la USAC. En base a los resultados de observaciones de campo y los resultados de laboratorio, se determinaron la Capacidad de uso de los suelos, la capacidad de uso para el riego, la capacidad en base a su fertilidad, las cuales permiten determinar las características de manejo para cada unidad.

Para el recurso agua, se tomaron muestras, las cuales fueron enviadas al mismo laboratorio para su análisis químico, y así poder determinar la calidad de aguas que se manejan. Así mismo se evaluó el sistema de aplicación de agua en la parcela, determinando la eficiencia de aplicación por medio del coeficiente de uniformidad del sistema.

Finalmente se determinan características de manejo para cada unidad o grupos de unidades que se formaron en el área para hacer más eficiente el uso de los recursos.

2. DEFINICION DEL PROBLEMA

Los agricultores de la aldea Buxup, Jacaltenango, Huehuetenango, desarrollan su agricultura en un área de aproximadamente 14 caballerías desde hace 80 años. El área se encuentra en una zona de recarga hídrica y los suelos son de clase especial por sus características arcillosas, originarios de aluviones cársticos. El área esta clasificada dentro de la categoría dos en cuanto al déficit hídrico durante el invierno. Como parte de la política de apoyo a la agricultura, a finales del 2001 el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación entrego un sistema de riego que cubre un área de 87.5 has, y beneficia 98 familias de las 325 que componen la aldea.

En general la agricultura se ha desarrollado basada en la producción de Maíz, Fríjol y Anís sin ninguna clase de tecnología agrícola. Al momento de la introducción del sistema de riego, se ha diversificado los sistemas de producción, con la introducción de nuevos cultivos, nuevos productos para el manejo de plagas y enfermedades, fertilización y algunos sistemas de siembra.

Por la posición fisiográfica del área, terraza sub reciente, en la época de invierno se produce inundaciones, y por consecuencia periodos de anegamiento y erosión laminar en la parte baja del área (unidades 3,2,5 y 6), lo que provoca la reducción en el rendimiento de los cultivos. Esta situación a provocado que el horizonte A se este reduciendo gradualmente, de tal manera que en algunos puntos ha desaparecido por completo.

A la fecha no existe información sistematizada de las características físicas y químicas de los suelos ni su potencial para riego. Se hace uso de dosis de fertilizantes que no son producto de recomendaciones técnicas basadas en las características químicas del suelo como el contenido de nutrientes del suelo, la demanda de los cultivos y otras como el pH del suelo y la capacidad de intercambio catiónico.

Por otro lado se riega con aguas de las cuales no se conoce su calidad y en cantidades empíricas, ya que no se conoce la demanda evapotranspirativa del lugar y la capacidad de retención de humedad del suelo.

Se riega con una frecuencia y un tiempo de riego sin fundamento. (Intensidad de precipitación de los aspersores, solape entre laterales y aspersores y el caudal del aspersor)

Esta modalidad de riego puede provocar problemas como aumento en la concentración de sodio intercambiable y de sales solubles en el suelo; la aplicación en cantidades inadecuadas de agua provocaría daños en los cultivos, de tal manera que ambos aspectos mal manejados reduciría considerablemente el rendimiento.

El no conocer el potencial productivo de estos suelos con la utilización del agua de riego, la demanda de fertilizantes y de agua de los cultivos, induce a prácticas inadecuadas las cuales repercuten en los recursos suelo, agua y en el potencial productivo de los cultivos.

Dada la problemática y sus efectos se considera importante conocer las características de los suelos y agua, para luego emitir juicios que conlleven a generar prácticas de manejo racional de los recursos para satisfacer las necesidades de los agricultores.

3. MARCO TEORICO

3.1. Marco Conceptual

3.1.1. El suelo

3.1.1.1. Conceptos de Suelo

A. Que es el Suelo y su Importancia

El suelo es un sistema heterogéneo, poli disperso, compuesto por fases sólida, líquida, y gaseosa, en diversas proporciones. Es un cuerpo independiente, dinámico, que adquiere sus propiedades de acuerdo a las fuerzas que actúan sobre él. En consecuencia se define como un sistema natural, abierto, que puede ganar y/o perder materia. Su formación depende del material parental, actividad de microorganismos, clima, vegetación, pendiente y tiempo (5).

El suelo puede definirse como un sistema natural desarrollado a partir de una mezcla de minerales y restos orgánicos bajo la influencia del clima y del medio biológico; se diferencia en horizontes y suministra en parte los nutrimentos y el sostén que necesitan las plantas, al contener cantidades apropiadas de aire y de agua

La importancia del suelo radica en la producción de alimentos, y este aspecto hizo imperativo dirigir la atención hacia el estudio de la composición química de éste en relación a las plantas cultivadas. Los químicos pioneros en este campo analizaron el contenido total de los diversos elementos minerales del suelo como punto de partida para la evaluación de la fertilidad. A demás analizaron las plantas cultivadas para determinar lo que ellas extraen del suelo (5,17).

B. Fertilidad del suelo

Se conoce como fertilidad a la capacidad del suelo de retener y ceder nutrientes a las plantas en cantidades y formas adecuadas, aportar un crecimiento adecuado de las raíces, retener una cantidad adecuada de agua.

La fertilidad del suelo depende de la capacidad de intercambio catiónico de la fase sólida a la fase líquida del suelo y del estado gaseoso. Entonces suelos que poseen buena capacidad de intercambio (20 a 35 meq/100 gr. de suelo) y una adecuada aeración se pueden considerar suelos fértiles. Suelos con un CIC por debajo de 20 meq/100 gr. de suelo se considera poco fértil (15, 22).

El pH mayor de 7.5 del suelo es un factor que condiciona la solubilidad de nutrientes y por lo tanto su concentración en la solución del suelo, en alguna medida, de todos los aniones intercambiables, mientras aumenta el pH la disponibilidad de nutrientes se reduce. Este problema se presenta en suelos calcáreos que tienen altas concentraciones de carbonato de calcio que no ha sido lixiviado hasta un punto considerable (13).

Otro factor determinante es la aireación, ya que ésta es la encargada de aportar el oxígeno necesario para la actividad microbiana, radicular y el potencial redox.

C. Efectos del uso intensivo de un Suelo

El utilizar constantemente un suelo con prácticas inadecuadas produce cambios en las características físicas, ya sea compactación o una excesiva soltura; cambios en las características químicas, provocarían alteraciones en la fertilidad del suelo, impermeabilidad, toxicidad, alcalinidad o acidez.

En cuanto a las propiedades físicas afectadas figuran la densidad aparente, reducción del espacio poroso, la velocidad de infiltración y los aspectos que determinan los cambios son: paso del sistema del arado, sistema de siembra, prácticas agronómicas del cultivo, intensidad de lluvia o riego y el contenido de materia orgánica. Las propiedades químicas; pH, contenidos de materia orgánica y nutrientes están influenciadas por el material parietal, el tipo y las cantidades de fertilizantes que se aplican, pesticidas utilizados, la calidad de las aguas de riego, cantidades aplicadas de materia orgánica y en algunos casos por las prácticas de preparación de algunos suelos (17).

D. Perfil del Suelo

La superficie de la tierra es el límite superior del suelo. Sus límites inferiores se definen por la profundidad a la que la desintegración del material madre haya sido efectiva y por la profundidad de

penetración de las raíces. Generalmente, el límite inferior no está claramente señalado. La sección o corte vertical se llama el perfil del suelo. El perfil está dividido en capas horizontales con diferentes características (17).

- (1) El terreno consta de diferentes tipos de suelo, cada tipo de suelo representa una parte de la topografía del terreno. Los límites de cada parte del terreno con un cierto tipo de suelo se muestran en un mapa de suelos.
- (2) Los suelos se componen de horizontes capas casi paralelos a la superficie de la tierra. Los principales horizontes desde la superficie hacia abajo se denominan A, B, y C. Para una investigación de las características de los horizontes, se debe cortar una sección vertical hasta la profundidad deseada.
- (3) Horizontes A. Es la capa más superficial. Se caracteriza por su gran actividad química y biológica con acumulación de materias orgánicas.
- (4) Horizontes B. Muestra grandes concentraciones de partículas finas tales como la arcilla y el limo.
- (5) Horizontes C. Está formado por los materiales madre debajo del horizonte B.

Las capas individuales varían en textura y estructura, en el contenido de nutrientes, en la retención del agua y del aire. Esto es muy importante para el crecimiento de las plantas, dado que las raíces al penetrar encuentran diferentes condiciones ambientales en cada uno de los horizontes subsecuentes.

La lixiviación y el transporte de los componentes solubles desde la superficie resulta con frecuencia en cambios de color en la parte baja del horizonte A, se subdivide en A₁ y en A₂.

El límite del perfil depende de la profundidad del suelo. Para la agricultura, la profundidad del suelo es la distancia vertical a la que las raíces, el agua y el aire pueden penetrar. Algunos suelos alcanzan varios metros abajo de la superficie mientras que otros no alcanzan más de 50 cm.

Los suelos profundos tienen zonas amplias para el desarrollo de cultivos con raíces profundas. Los suelos superficiales son aptos para cultivos de raíces poco profundas como los pastos.

E. Propiedades de Los Suelos

a. Propiedades Físicas

i. Textura

Es la proporción relativa de arena, limo y arcilla que contiene el suelo. Atendiendo su textura los suelos se clasifican en arenosos, limosos o arcillosos, dependiendo de las proporciones de cada uno de los distintos componentes. Se dice que un suelo es de textura franca cuando tiene una mezcla de arena, limo y arcillas en proporciones equilibrada. La textura indica la facilidad de cultivarlo, la cantidad de aire de vital importancia para el crecimiento radicular, e influenciará la fertilidad. Las dimensiones de las diferentes partículas de suelo se presentan en el cuadro 1 (5).

El análisis Granulométrico, que da los porcentajes de peso de arena, limo y arcilla, determina las distintas clases de textura, que vienen definidas en el triangulo textural . Existen varios tipos de textura según su composición mineralógica de partículas, las cuales se pueden ver en el cuadro 2 (5).

Cuadro 1. Dimensiones de las diferentes clase de partículas del suelo.

PARTICULA	RANGOS DE TAMAÑOS DE PARTICULAS
Arena fina	de 50 a 500 partículas por centímetro
Limo	de 500 a 5000 partículas por centímetro
Arcilla	más de 5000 partículas por centímetro

Cuadro 2. Grupos y clases texturales.

GRUPO TEXTURAL	CLASES TEXTURALES
Textura fina	Arcilla, Arcilla limosa, Arcilla arenosa
Text. moderadamente fina	Francoarcillo-limoso, Franco arcillosa, Franco arcilloso arenoso
Textura media	Franca, Franco limoso, Limo
Textura gruesa	Franco arenosa, Arena franca
Textura muy gruesa	Arena

El agua ocupa total o parcialmente los espacios o poros comprendidos entre partículas sólidas. Esta agua es absorbida por las raíces de las plantas, por lo que debe ser repuesta periódicamente por la lluvia o por

el agua de riego, por tanto, el suelo sirve de almacén. La capacidad del suelo para almacenar agua es uno de los principales factores que rigen la cantidad de agua de riego y la frecuencia de aplicación.

Los suelos de textura arcillosa tienen un gran número de micro poros, mientras que los macro poros predominan en los suelos de textura arenosa. El agua drena por gravedad en poros con diámetros mayores a 30 micras. La textura nos indica además la velocidad con que ocurren las reacciones químicas, el movimiento del agua, la circulación del aire y los gases, factores que son de gran importancia en el desarrollo vegetal si son bien manejados.

ii. Estructura

Es la forma en que están agrupadas las partículas primarias del suelo (arena, limo, arcilla), formando partículas compuestas llamadas agregados, separados por otros adyacentes por sus superficies débiles. Se puede considerar a la estructura una propiedad constante en cada horizonte o suelo homogéneo, pero cuando es sometida a diferentes condiciones climáticas y de manejo, puede experimentar una gran variabilidad en la misma. La importancia de la estructura radica es que afecta la velocidad de infiltración del agua, el movimiento del agua dentro del suelo y la penetración de raíces. La estructura de un suelo puede ser:

Laminar: Los agregados del suelo aparecen en forma de láminas delgadas horizontales o de morfología de ellas asimilable (5, 16).

1. Prismática: Se presenta esta estructura cuando los conglomerados de los horizontes forman columnas verticales y angulares. La altura de los prismas es variable, de 5 a 20 cm. Y sus anchura media oscila entre 5 y 12 cm. Estas estructuras indican suelos de muy baja porosidad, en especial cuando están mojados. En este caso es necesario observar el desarrollo radicular, con el objeto de cerciorarse de su capacidad para atravesar este horizonte, especialmente cuando se pretenden sembrar cultivos arbóreos.

2. Columnar. Se diferencia de la prismática en que las caras angulares son sustituidas por formas redondeadas. Algunas veces se encuentran recubiertas de humus lavado, y entonces parecen estar barnizadas. Estas formaciones son características de suelos Solonetz, representativo de un horizonte de acumulación de

arcilla en un estado de dispersión poco deseable. Los horizontes columnares son presagio de baja porosidad y mal avenamiento.

3. Bloque Angular: Es una estructura muy común en suelos algo pesados. Los conglomerados son muy firmes debido a la fracción de arcilla o a los geles de sesquióxidos, y sus ángulos son bien definidos. Su tamaño es muy variable, pudiendo oscilar entre 1 mm a 5 cm.

4. Bloque Subangular: Se diferencia de la anterior en que sus conglomerados forman una cara con sus aristas redondeadas. Generalmente estos conglomerados son más débiles en comparación de los angulares. A veces son tan frágiles que es imposible extraer un conglomerado aislado. En este caso conviene notar también la estabilidad de los conglomerados en agua. Con frecuencia se ven en arenas no húmicas de aluvión y en los suelos limo-arenosos. Cuando se presenta en el subsuelo es conveniente notar si la penetración de las raíces es la adecuada, de ser así, la estabilidad del agua de precolación es, para los fines agrícolas, a pesar de su debilidad mecánica. Por otro lado si esta estructura se encontrara en la superficie, sería indicio de tendencia al encharcamiento, lo cual puede comprobarse con facilidad observando si las superficies están dañadas y sus estructuras se han convertido en laminares.

5. Granular: Se caracteriza porque sus agregados son pequeños y fuertes. Se diferencia de la estructura blocosa en que existen espacios considerables entre los conglomerados. Por tanto, se considera que horizontes con esta estructuras estarán bien aireados y los espacios porosos son considerablemente mejores que en las estructuras blocosas, lo cual es, sin duda, muy deseable en el aspecto agrícola. Generalmente se encuentra encontrar este tipo de estructura en la capa húmica de las tierras de cultivo. La estructura de un suelo con estructura fuerte y blocosa, esta se convierte casi siempre en granular si los conglomerados tienen suficiente resistencia para conservar su identidad.

6. Migajosa: Es la estructura de los suelos agrícolas verdaderamente buenos. Se diferencia de la anterior en que sus granos son extremadamente porosos. Los suelos con esta estructura son verdaderamente permeables, muy bien aireados y no obstaculizan el desarrollo de raíces.

iii. Densidad Aparente

Se refiere a la relación que existe entre el peso del suelo seco y el volumen que ocupa éste suelo, incluyendo los poros, la cual se expresa en gramos/centímetro cúbico. Esta característica depende básicamente de la textura del suelo, pero puede ser modificada por la compactación. En un suelo compactado se reduce el volumen del espacio poroso y por consecuencia se afecta la capacidad de absorción y movimiento del agua dentro del suelo. Generalmente la densidad de los suelos no cultivados varía entre 1.0 a 1.6 gr/cc. aunque los suelos compactados pueden tener mayores densidades. Los suelos arcillosos contienen más poros que los francos y arenosos, lo cual hace que los valores de densidad sean mayores en estos dos últimos. Los valores medios de densidad aparente van de 1.0 a 1.3 gr/cc en suelos arcillosos, de 1.3 a 1.6 gr/cc para los francos y de 0.7 a 1.0 gr/cc en arenosos (11).

Agronómicamente la Densidad Aparente tiene una aplicación práctica en el diseño y operación de sistemas de riego, debido a que es dato importante para el cálculo de las cantidades de agua (lámina o volumen) a aplicar en cada riego.

b. Propiedades Químicas del Suelo

i. La reacción del suelo (pH):

La comprensión del fenómeno de la reacción del suelo, o sea su carácter ácido, básico o neutro requiere en primer lugar el conocimiento de los conceptos ácido y base. Antes se consideraba ácido, a toda sustancia que al disociar producía iones H; según teorías actuales electrónicas de valencia el efecto ácido de una sustancia se basa en que cede al agua protones para formar iones hidronio u oxonio, así un ácido es una sustancia que cede protones (9).

En forma equivalente se entiende por base una sustancia que al disociar recibe protones del agua actuando como ácido y origina la producción del ion hidróxido.

Para medir esta característica de la solución se usa el pH, la escala va de 0 a 14 con pH 7 como el punto neutro. A pH 7, la concentración de iones de hidrogeno (H^+) es igual a la concentración de iones Hidróxidos (OH^-). Un pH de 0 – 7 indica suelos ácidos, de 7 – 14 indica suelos alcalinos (básicos) (6,10).

El pH del suelo puede determinarse fácilmente y provee muchas pistas acerca de otras propiedades. El efecto del pH del suelo es grande en la solubilidad de los minerales. Suelos fuertemente ácidos (pH 4 – 5) generalmente tiene alta y tóxicas concentraciones de aluminio soluble y manganeso. El mayor efecto de un pH alcalino es reducir la solubilidad de todos los micro nutrientes, especialmente el hierro, zinc y manganeso (9).

ii. Materia Orgánica

La materia orgánica esta constituida por los compuestos de origen biológico que se presentan en el suelo. El edafón consiste en los organismos vivientes en el suelo o sea flora y fauna. El humus está compuesto por los restos postmortales vegetales y animales que se encuentran en el suelo y que están sometidos constantemente a procesos de descomposición, transformación y síntesis (9).

La materia orgánica proviene de la síntesis de los organismos vivos que combinan los distintos elementos en su funcionamiento metabólico y catabólico. En todo caso la fuente originaria de la materia orgánica y del humus son los restos animales y especialmente vegetales que se depositan en el suelo, tanto de los cultivos como de las plantas naturales y los llamados abonos verdes, los restos animales provienen de los animales muertos, tanto de la fauna general como de la fauna edáfica. Estos residuos son objeto de su degradación o descomposición hasta los componentes elementales de las proteínas, carbohidratos y otros, en el proceso de la mineralización (9,17).

La materia orgánica es la responsable de una buena estructura del suelo, aumenta la porosidad, mejora las relaciones de agua – aire y reduce la erosión hídrica y eólica, es la fuente de casi todo el nitrógeno, del 5 – 60% de fósforo, 80% de azufre y una pequeña parte de boro y molibdeno. El humus es un producto final temporal de la descomposición de los residuos de las plantas y animales (9).

iii. Capacidad de Intercambio Cationico

El intercambio cationico es una de las propiedades más importantes del suelo y tiene influencia sobre una gran cantidad de sus características. Se entiende por intercambio cationico, los procesos reversibles por

los cuales las partículas sólidas del suelo adsorben iones de la fase acuosa, desabsorben al mismo tiempo cantidades equivalentes de otros cationes y establecen un equilibrio entre ambas (9).

3.1.1.2. Levantamientos de Suelos

A. Que es un levantamiento de suelos y su importancia

Se consideran inventarios de suelos que constan de mapas, descripciones y algunos análisis químicos y físicos, inherentes a sus características de producción agrícola, propiedades de ingeniería y limitaciones para usos mayores. Los levantamientos nacieron a manera de responder a preguntas agronómicas prácticas sobre diferencias entre suelos y limitaciones importantes para aumentar la producción de cultivos (5).

A razón del crecimiento del conocimiento científico y la demanda por más información útil, los levantamientos de suelos se expandieron en detalles y conceptos. Actualmente los levantamientos incluyen información para obtener interpretaciones científicas acerca de cómo usar cada unidad de suelo mapeada para construcción, manejo forestal, desarrollo urbano, recreacional y deportivo, riego, impuesto y planificación de uso, como también las líneas tradicionales de la agricultura para aumentar la producción (5).

B. Tipos de levantamientos de suelos

Existen tres tipos principales, los cuales son: A nivel de reconocimiento, a nivel de semi detalle y al nivel de detalle. El tipo de levantamiento que se realice depende de los objetivos que se pretendan sobre el estudio de un área determinada. Los estudios de reconocimientos se realizan para ordenamiento territorial regional, en donde se determinan las series de suelos. Luego siguen los estudios a nivel de semi detalle de una serie de suelo específica, para una planificación de uso más específico. Luego sigue el estudio detallado, que se aplica a áreas que serán destinadas a un uso específico intensivo.

C. Métodos de levantamientos de suelos

Existen varios métodos para la preparación de un levantamiento de suelos, los cuales actualmente están siendo utilizados por organizaciones federales y firmas consultoras privadas o individuales.

De acuerdo a Vink, citado por Perdomo et al (17), las diferentes clases de levantamientos de suelos usados son los siguientes:

- a. El levantamiento de “cuadrícula dirigida”, que tiene observaciones de campo a intervalos determinados en ambas direcciones
- b. El levantamiento de “cuadrícula” con observaciones de campo en la correlación fisiográfica de suelos con observaciones adicionales de los mismos. Este método proporciona una descripción muy sistemática de los suelos si es utilizada por científicos de suelos capacitados, aunque es muy laboriosa. Este método proporciona límites de suelos más exactos.
- c. El tercer método es el levantamiento de “Cuadrícula” con algunas observaciones fisiográficas seguidas de foto-interpretación. El método es muy laborioso, muchas de las ventajas de la foto-interpretación de suelos se pierden debido a que es usada después de que los trabajos de campo han sido contemplados (17).
- d. Es el fisiográfico sin foto-interpretación pero con óptimo uso de mapas topográficos y sus curvas de nivel, mapas del uso de la tierra, mapas geológicos e hidrogeológicos, etc. Esta clase de levantamientos de suelos es adaptable a todos aquellos países que tienen material de alta calidad para información básica.
- e. Levantamiento de suelo con foto-interpretación usando cualquiera de los procedimientos anteriormente mencionados. Este método proporciona resultados eficientes en casi todas las ocasiones en las que se utiliza aereofotografías de buena calidad. El costo adicional de las fotografías aéreas, compensa con el aumento de la eficiencia en los levantamientos de suelos.

D. Unidades de Clasificación

Se conoce como unidad de suelo a un área que delimita a un tipo o tipos de suelo, la cual pueden mostrarse a una escala en un mapa. La unidad se define en el campo por las características únicas que definen a un área. El tamaño de las unidades depende del tipo de levantamiento que se este realizando.

Las unidades del mapa de suelo son identificados dentro de cada limite con un símbolo que consiste en números y letras cuya explicación se da en un cuadro titulado: “Guía de Unidades de Mapeo”. Las letras y los números corresponden a los sistemas de clasificación que se utilicen en el levantamiento.

E. Descripción de cada Unidad de Estudio

Consiste en describir las características externas en las cuales se desarrollo el suelo, como: material paretal, pendiente, ubicación geográfica, cobertura, localización, régimen de humedad y su posición fisiográfica. Luego se hace una lectura de cada horizonte que compone el perfil del suelo que se encuentre al momento de excavar la calicata de cada unidad determinada en el área de interés de estudio. En la lectura se estima la profundidad, el límite, el color, el moteado, el pH, la textura, estructura, la consistencia en seco y en mojado, la plasticidad, drenaje, pedregosidad, presencia de raíces y la presencia de cal (13, 21).

Luego se toma muestra de cada horizonte, el cual es enviado al laboratorio para su análisis físico y químico.

F. Análisis Químico de Suelos

Es un proceso que se realiza en el laboratorio para determinar las propiedades físicas y químicas de los suelos. La propiedades físicas que común mente se determinan son: Densidad aparente, constantes de humedad (Capacidad de Campo y Punto de Marchites Permanente), textura. Las propiedades químicas que pueden interesar en los estudios edafológicos son: contenido de nutrientes disponibles y totales (Macro nutrientes: N, P, K; micro nutrientes: Fe, Ca, Mg), Materia Orgánica, Capacidad de Intercambio Cationico, Conductividad Eléctrica (contenido de sales), pH, Bases intercambiables (16).

En el caso de las muestras de agua, los análisis dependen de cual sea el objetivo del trabajo, si es con fines agrícolas o para uso humano. En el caso de que el agua sea para uso agrícola, los análisis químicos que se realizan son: pH, conductividad eléctrica, contenido de sodio y elementos como el Ca, Fe, etc.

Los análisis que se hagan son requerimiento para cumplir los objetivos del trabajo que se esta planteando y de esta manera responder a las necesidades agrícolas u de otra índole.

G. Clasificación de Suelos

Existen varios sistemas de clasificación de suelos entre los que destacan la Clasificación Taxonómica, generado por la Soil Survey Estaf, del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Clasificación en base a La Capacidad de uso del Suelo, en base a la capacidad de riego, generados por el mismo departamento

norteamericano, y en base a su fertilidad. La clasificación que se adopte depende los objetivos del trabajo a realizar.

3.1.1.3. Principios generales para el desarrollo de estrategias para el manejo de suelos

A. Los objetivos del manejo de suelos para la agricultura

El objetivo principal del manejo de suelos para la agricultura es crear condiciones edafológicas favorables para el buen crecimiento de los cultivos, la germinación de las semillas, la emergencia de las plantas jóvenes, el crecimiento de las raíces, el desarrollo de las plantas, la formación del grano y la cosecha (1).

B. Las condiciones edafológicas deseables son

a. Condiciones físicas que favorezcan la germinación de las semillas (tamaño de agregados, humedad y temperatura)

El tamaño óptimo de los agregados varía con el tamaño de las semillas y debería ser de tal tamaño que haya un contacto máximo entre el suelo y la semilla para facilitar el movimiento de humedad del suelo a la misma sin sufrir falta de oxígeno; un exceso o falta de humedad y temperaturas extremas limitan seriamente la germinación; una estructura superficial que no impida la emergencia de las plantas jóvenes. La presencia de encostramientos fuertes restringe la emergencia de las plántulas; además, hay interacciones entre el espesor, la composición y el contenido de humedad de la costra y su fuerza, y entre el tamaño de la semilla, el tipo de cultivo, la profundidad de siembra y el vigor de la semilla; estructura, porosidad y consistencia del suelo en la primera capa que favorezcan el crecimiento inicial de la planta joven y de las raíces. Suelos arcillosos con agregados grandes y duros, y suelos arenosos que forman estructuras masivas y duras cuando se secan ("suelos duros") retrasan el crecimiento inicial de los cultivos; estructura, tamaño y continuidad de los poros en el subsuelo que permitan la libre penetración y desarrollo de las raíces. La presencia de capas compactadas originadas por las labranzas, u horizontes compactados debido a procesos naturales de compactación, restringen la penetración de las raíces y el volumen de suelo que las mismas pueden explorar

para absorber humedad y nutrimentos. Además, debilitarán la capacidad de enraizamiento y fijación de muchos cultivos.

b. Aporte Adecuado de Nutrimentos

Así mismo un suministro adecuado y oportuno de nutrimentos que coincida con la demanda del cultivo durante todo el ciclo de crecimiento. El sistema de manejo debería maximizar el reciclaje de los nutrimentos dentro del perfil y dentro de la finca, y minimizar la pérdida de nutrimentos por procesos naturales o por el manejo. La meta del sistema de manejo de nutrimentos debería aceptar que los únicos nutrimentos que se pierden de los suelos son aquellos que se exportan de la finca con las cosechas; una alta saturación de la capacidad efectiva de cationes intercambiables (CECI) con aluminio o manganeso, sales, o un exceso de sodio a niveles tóxicos para muchos cultivos; existe, sin embargo, mucha variación en la tolerancia de los cultivos a los mismos; un suministro adecuado y oportuno de humedad al cultivo durante todo su ciclo, y especialmente durante las etapas críticas del mismo. Un exceso de humedad en la etapa inicial del cultivo puede ser perjudicial para muchos cultivos, y viceversa su falta en las etapas más sensibles al déficit de humedad como la floración y la formación de grano pueden disminuir seriamente los rendimientos. Durante la cosecha, un exceso de humedad puede reducir el rendimiento debido al vuelco y a la pudrición del grano; además, en suelos mojados las cosechadoras pueden degradar la estructura y la porosidad del suelo; un suministro adecuado y oportuno de oxígeno a las raíces del cultivo y a los microorganismos del suelo. Condiciones de mal drenaje o drenaje deficiente causan una falta de oxígeno en el suelo debido a que el mismo se difunde unas 10,000 veces más lentamente a través del agua que a través del aire y de ese modo no puede satisfacer las demandas de oxígeno de las raíces ni de los microorganismos. La falta de oxígeno resulta en trastornos fisiológicos que afectan la absorción de nutrimentos por las plantas y en la producción de toxinas a causa de procesos de reducción microbiológica; una alta actividad biológica en el suelo. La diversidad de la fauna y de los microorganismos, y especialmente la población de la macrofauna, es muy importante para sostener la productividad de los suelos. La macrofauna tiene influencia sobre la porosidad del suelo y la incorporación y humificación de los residuos orgánicos.

c. Conservación de suelo y agua

Las condiciones estables para el área de cultivo, para que estos no sean perjudicados por inundaciones, erosión hídrica o vientos fuertes. Las inundaciones pueden causar daños físicos a los cultivos y una disminución en la tasa de difusión de oxígeno dentro del suelo. La erosión hídrica disminuye la fertilidad de los suelos y puede causar la pérdida de terreno por el desarrollo de cárcavas o deslizamientos de tierra. Los vientos fuertes pueden causar daños a los cultivos, y pérdidas de hojas y flores. Además, pueden acentuar los déficit de humedad al incrementar las tasas de evaporación y resultar en la erosión eólica. En épocas frías, la combinación de bajas temperaturas con vientos fuertes produce el efecto de temperaturas aún más bajas debido al efecto del enfriamiento, causando procesos fisiológicos adversos a los cultivos.

C. Principios para desarrollar estrategias sobre el manejo de suelos

Hay nueve principios generales que se deberían considerar como lineamientos básicos para desarrollar estrategias sobre los sistemas de manejo de suelos:

a. Aumentar la cobertura de los suelos

i. Beneficios de la cobertura del suelo

Es el principio más importante en el manejo sostenible de suelos porque conlleva múltiples beneficios:

- *Reduce la erosión hídrica y eólica*

Una cobertura sobre el suelo lo protege de la fuerza de las gotas de lluvia y disminuye la separación de las partículas de los agregados de suelo, que es el primer paso en el proceso de erosión hídrica. Existe evidencia que un 40% de cobertura del suelo reduce las pérdidas de suelo a valores menores de 10% de lo que ocurriría en el mismo suelo desnudo, si bien esto se refiere sólo a la erosión por salpicadura. Cuando la erosión es causada por una combinación de los procesos erosivos, como erosión por salpicadura y erosión en surcos, es muy probable que se requiera una cobertura más elevada del 40% para reducir las pérdidas de suelo a sólo 10% de lo que ocurriría en el mismo suelo desnudo. Investigaciones en Kenia sobre el efecto de

diferentes coberturas orgánicas sobre las pérdidas de suelo con lluvias simuladas que provocaron erosión por surcos y salpicadura, mostraron que se requiere entre 67 y 79% de cobertura para reducir las salpicaduras.

- *Aumenta la infiltración de la lluvia*

La protección del suelo debido a la cobertura evita la formación de costras y mantiene una mayor tasa de infiltración. La Figura 3 muestra la diferencia en las tasas de infiltración para un suelo en Nigeria con y sin cobertura (Lal, 1975).

- *Reduce la pérdida de humedad por evaporación y aumenta la humedad disponible*

La combinación de mayor infiltración y menor pérdida de humedad por evaporación resulta en mayor humedad disponible para el cultivo. El Cuadro 4 muestra como la presencia de una cobertura orgánica aumenta la cantidad de humedad almacenada en el suelo.

- *Baja la temperatura*

La presencia de una cobertura disminuirá sustancialmente la temperatura en los primeros 5 cm de profundidad del suelo; en zonas o épocas donde las temperaturas son muy altas, una cobertura tendrá efectos benéficos sobre la germinación de las semillas, la actividad biológica, los procesos microbiológicos y el crecimiento inicial del cultivo. Temperaturas superiores a 40° C inhiben la germinación de las semillas de muchos cultivos, y temperaturas superiores a 28-30° C a 5 cm de profundidad restringen el crecimiento de las plántulas de muchos cultivos.

- *Mejoran las condiciones de germinación*

La mayor humedad y las menores temperaturas crean mejores condiciones para la germinación de las semillas.

- *Aumenta el contenido de materia orgánica de la capa superficial*

La acumulación de materia orgánica en el suelo está directamente relacionado con la cantidad de residuos aplicados como cobertura. El mayor incremento en el contenido de materia orgánica se encuentra inicialmente en los primeros 15 mm de profundidad del suelo bajo labranza cero, y con el paso del tiempo el contenido de materia orgánica de los horizontes inferiores aumentará.

- Mejora la estabilidad estructural de los agregados superficiales

El aumento en el contenido de materia orgánica del suelo mejora la resistencia de los agregados a la erosión y al encostramiento.

- Estimula la actividad biológica del suelo

Las mejores condiciones de humedad y temperatura estimulan la actividad de los microorganismos y de la fauna; la macrofauna también requiere la presencia de una cobertura vegetal muerta sobre la superficie para su alimentación. Se ha demostrado la gran influencia de la aplicación de cobertura orgánica sobre la cantidad de lombrices en una parcela de maíz. Además, Lal, *et al.*, (1980) han obtenido una relación linear entre la actividad de las lombrices y la cantidad de cobertura aplicada.

- Aumenta la porosidad

El incremento en la actividad de la macrofauna resulta en mayor porosidad (Lal *et al.*, 1980), y especialmente en la macroporosidad que sirve como un control de circulación para el drenaje de gran parte de la lluvia. Esto resulta en menor lixiviación de los nutrientes del suelo más alejados de los macroporos. Otra consecuencia de la mejor porosidad debido a la actividad de la macrofauna es una mayor tasa de infiltración. Las mejores condiciones biológicas pueden estimular la proliferación de insectos predadores de plagas.

- Reduce el enmalezamiento

Por lo general una buena cobertura de los rastrojos ayuda a reducir sensiblemente la emergencia de muchas malezas; sin embargo, con cantidades insuficientes de cobertura pueden ocurrir problemas de malezas, especialmente de algunas especies.

ii. Los mecanismos para lograr una mayor cobertura son

Dejar todos los residuos de los cultivos dentro de la parcela, no quemarlos, no llevarlos fuera de la parcela y no pastorearlos o por lo menos reducir el pastoreo al mínimo; esto implica el cercamiento de las parcelas para poder controlar la intensidad del pastoreo. Si normalmente los agricultores retiran los rastrojos como forraje para su ganado, será necesario revisar todo el sistema de producción para identificar como se pueden producir fuentes alternativas de forraje para sustituir los rastrojos. Practicar un sistema de labranza

conservacionista que deje los rastrojos sobre la superficie del suelo y no los entierre como en los sistemas convencionales de labranza.

- *Aplicar abonos o cobertura orgánica para aumentar la cobertura del terreno*

- *Aumentar la producción de biomasa en la parcela*

Se logra por medio de la siembra de cultivos de cobertura, cultivos intercalados, cultivos de relevo y aumentar la densidad de siembra de los cultivos.

- *Aumentar la fertilidad química de los suelos*

Para producir mayores cantidades de biomasa por medio de aplicaciones de fertilizantes y abonos orgánicos.

- *Dejar las malezas muertas en la superficie como una cobertura*

Por medio del uso de herbicidas o por el control mecánico con cultivadoras de campo que arrancan las malezas y las dejan sobre el suelo, en lugar de arar para enterrarlas.

e. Dejar las piedras sobre el suelo porque sirven como una cobertura que aumenta la infiltración de la lluvia; esto es mejor que retirarlas para construir barreras muertas.

b. Aumentar la materia orgánica del suelo

Este principio está estrechamente relacionado con el principio anterior de aumentar la cobertura, porque al incrementar la cobertura del suelo con materiales orgánicos se incrementa el contenido de materia orgánica de los horizontes más superficiales. Es más difícil aumentar el contenido de materia orgánica de los horizontes inferiores, y especialmente de los horizontes del subsuelo.

i. Los efectos beneficiosos del aumento de la materia orgánica del suelo son

- *Incrementa la estabilidad de los agregados superficiales*

Esto resulta en mayor resistencia de los agregados al encostramiento, a la erosión hídrica y eólica, y una mayor tasa de infiltración.

- *Aumenta la capacidad de retención de humedad del suelo*

Este incremento es importante especialmente en suelos muy arenosos.

- Incrementa la capacidad del suelo para retener nutrimentos

Esto se atribuye al incremento en la capacidad de intercambio catiónico del suelo; como para la capacidad de retención de humedad, el incremento logrado a menudo no es importante excepto en suelos muy arenosos.

- Estimula la actividad biológica del suelo

Una mayor actividad de la macrofauna resultará en una mayor macro porosidad del suelo y mayor incorporación y humificación de los residuos orgánicos.

ii. Los mecanismos para incrementar la materia orgánica de los suelos son los mismos que para incrementar la cobertura de los suelos, con la excepción de dejar las piedras en la superficie.

c. Aumentar la infiltración y la retención de humedad

i. Los efectos beneficiosos de aumentar la infiltración y la retención de humedad de los suelos son

- Disminuir el déficit de humedad en los cultivos

- Incrementar el rendimiento y la producción de biomasa del cultivo

- Reducir la escorrentía

Esto resulta en menor pérdida de agua, suelo, fertilizantes, y menor uso de pesticidas que podrían provocar contaminación del ambiente.

ii. Los mecanismos para aumentar la infiltración y la retención de humedad en los suelos son

- Mantenimiento de cobertura vegetal

Mantener una cobertura protectora de residuos sobre el suelo para evitar la formación de costras superficiales que impidan la infiltración de la lluvia. La presencia de una cobertura protege el suelo del impacto de las gotas de lluvia y evita la degradación de los agregados y la formación de costras, facilitando así la infiltración del agua. Además, el contacto entre la cobertura de residuos y el suelo frena la escorrentía dando más tiempo a la lluvia para infiltrar; por lo tanto, se deberían dejar todos los rastrojos de los cultivos sobre la superficie del suelo y practicar un sistema de labranza conservacionista que no los entierre.

Reducir las pérdidas de humedad por evaporación reduciendo la velocidad del viento, lo que se puede lograr con cortinas rompevientos.

- *Labranza mínima superficial (Conservacionista)*

Crear una superficie rugosa entre las hileras de los cultivos para demorar la formación de las costras y promover así la infiltración de la lluvia. Para lograr este efecto se hace una labranza, normalmente una arada, que deja agregados grandes sobre la superficie para aumentar la porosidad de las capas superficiales de los suelos con problemas de encostramiento o compactación superficial y permitir así una mayor infiltración de las lluvias y crecimiento de las raíces. En África occidental se hace una arada al terminar la época de lluvias; esta práctica no deja rastrojos sobre la superficie pero deja una superficie rugosa que facilita la infiltración de la lluvia. Sería aún más conservacionista si hubiera rastrojos para proteger la superficie; Lal (1995) sugiere que se pueden lograr beneficios permanentes solamente por mejoras en los contenidos de materia orgánica de estos suelos ya sea por el uso de barbechos, pastoreo controlado y no quemando los rastrojos.

- *Pasar después de cada lluvia un cultivador de campo*

Sin embargo, si se hacen muchos laboreos se promueve la degradación biológica de los suelos y se dificulta el mantenimiento de una cobertura protectora de rastrojos sobre la superficie. Los problemas de encostramiento surgen mayormente donde no hay rastrojos y en suelos con altos contenidos de arena fina; los problemas de compactación superficial son más comunes en los suelos livianos a medianos.

- *Tiempo disponible para la infiltración*

Aumentar el tiempo disponible para la infiltración de la lluvia por medio de períodos de descanso del suelo antes de establecer el cultivo. Esto funciona mejor donde es factible tener dos cultivos por año y se sacrifica una de las dos épocas de siembra; es necesario controlar el crecimiento de la vegetación durante el período de descanso sin dejar el suelo desnudo, para no agotar la humedad que se acumula.

- *Crear micro-barreras* que impiden la escorrentía y dan mayor tiempo para la infiltración de la lluvia. Haciendo las labranzas y la siembra paralelas al contorno resultan pequeñas ondulaciones paralelas al mismo que dan mayor tiempo para la infiltración del agua de lluvia. De la misma manera la formación de camellones para formar el contorno, con o sin los surcos tapados, aumenta el tiempo disponible para la

infiltración; no es sin embargo, aconsejable en pendientes mayores de 7% debido a los riesgos del desborde y de la erosión.

- *Mejorar la permeabilidad de los horizontes impermeables*

Es necesario mejorar los horizontes superficiales y sub superficiales que impiden la percolación de la humedad hacia horizontes inferiores, para aumentar la capacidad de retención de humedad en el perfil. Para lograr esto se debe hacer una labranza profunda de modo de aflojar el horizonte impermeable e incrementar su porosidad.

- *Aplicar abonos orgánicos*

Es conveniente para incrementar la capacidad de retención de humedad del suelo. Normalmente se requieren grandes cantidades de abonos orgánicos; habrá mayor efecto en los suelos arenosos con valores bajos de disminuir la pendiente del terreno para dar más tiempo para la infiltración de la lluvia. La construcción de terrazas de campo, terrazas de huerta y terrazas individuales reducirá el grado de inclinación del terreno y se facilitará la infiltración.

d. Reducir la escorrentía

i. Los efectos beneficiosos de la reducción de la escorrentía son

- Reducir la pérdida de suelo, agua, nutrientes, fertilizantes y pesticidas; esto resulta en menor erosión de la parcela y menor contaminación ambiental aguas abajo;
- Aumentar el agua disponible para el cultivo, y con ello la producción de grano y de biomasa.

Hay una relación muy estrecha entre la infiltración del agua de lluvia y la iniciación de la escorrentía; por lo tanto los principios que influyen en la infiltración también influirán en la iniciación de la escorrentía.

ii. A continuación se discutirán los elementos útiles para reducir la escorrentía una vez que ha comenzado.

- *Recolectar la escorrentía en estructuras dentro de las que filtra el agua*

El tamaño, número, ubicación y distancia entre las estructuras, deben ser adecuados para recolectar toda la escorrentía y evitar desbordes que podrían causar erosión. Ejemplos son tinas o recipientes ciegos,

que son más aptos para cultivos perennes, y barreras muertas que son más apropiadas para sistemas mecanizados y de tracción animal y donde las piedras pueden dañar los implementos o dificultar las operaciones. Para sistemas manuales, es mejor dejar las piedras en la superficie como una cobertura para promover la infiltración de la lluvia, y no removerlas y dejar los suelos desnudos y más susceptibles a la erosión.

- Construir estructuras que recolectan y conducen la escorrentía fuera de la parcela

Las acequias de ladera y los canales interceptores hechos a mano o con maquinaria, colectan y conducen la escorrentía a velocidades reducidas fuera de la parcela. Es muy importante que las acequias tengan un grado de inclinación suficiente para conducir la escorrentía a una velocidad que no causará erosión de las acequias. También debe existir un curso de drenaje donde se puede descargar la escorrentía, y la descarga no debe causar ningún problema de erosión al punto de entrada ni a lo largo del curso de drenaje debido al flujo mayor.

- Establecer barreras permeables y paralelas al contorno

Que frenan la velocidad de la escorrentía, creando así condiciones más favorables para su infiltración, como barreras vegetativas (o barreras vivas). El tipo de vegetación de la barrera, su forma de crecimiento, su densidad (es decir, el grado de contacto entre el suelo y los tallos de la vegetación), el ancho de la barrera vegetativa, el largo de la pendiente, su inclinación, y la presencia de rastros superficiales en la parcela, influirán en la eficacia de la barrera vegetativa para reducir la escorrentía.

e. Mejorar las condiciones de enraizamiento

i Los efectos beneficiosos producidos por la mejora en las condiciones de enraizamiento son

- mejorar el desarrollo y crecimiento de las raíces y por eso la absorción de nutrientes y agua por las plantas

- Reducir las probabilidades de que los cultivos sufran una sequía

ii . Los mecanismos para mejorar las condiciones de enraizamiento de los cultivos son:

- **Aflojar los horizontes compactados y los horizontes endurecidos** que impiden la penetración de las raíces por medio de una labranza profunda. El aflojamiento de estos horizontes aumentará la porosidad y entonces las raíces podrán penetrar. En lo posible se debería utilizar una labranza conservacionista que no entierre los rastrojos ni traiga los agregados grandes del subsuelo a la superficie. En este caso el subsolador es mejor y más conservacionista que el arado de discos o el arado de vertedera. El arado de cinceles se puede usar en suelos que presentan una compactación incipiente; en suelos bien compactados se debe usar un subsolador.

- **Mejorar el drenaje por la instalación de canales en aquellos suelos mal drenados** o con drenaje deficiente y donde la falta de oxígeno impide el desarrollo de las raíces. La construcción de camellones elevados es otra práctica que incrementa la profundidad de la zona de enraizamiento sin problemas de drenaje; los surcos entre los camellones pueden ser hechos con una cierta inclinación para facilitar el drenaje superficial del exceso de agua.

- Mejorar **las condiciones químicas donde hayan una deficiencia o un desequilibrio nutricional**, o la presencia de tóxicos que inhiben el desarrollo de las raíces. Los problemas nutricionales más comunes para el crecimiento de las raíces son deficiencias de fósforo y niveles tóxicos de aluminio.

f. Mejorar la fertilidad química y la productividad

i. Los efectos beneficiosos causados por la mejora de la fertilidad química y la productividad de los suelos son:

- Incrementar la producción del rendimiento

- Incrementar la producción de la biomasa del cultivo

Mayores producciones de follaje y de raíces del cultivo darán más residuos, y por lo tanto una mayor cobertura al suelo y una devolución mayor de materia orgánica al mismo.

ii. Los mecanismos para aumentar la fertilidad química y la productividad de los suelos son

- **Superar cualquier deficiencia o desequilibrio nutricional identificados** a través de un diagnóstico cuidadoso del estado nutricional del suelo y preferentemente de la planta. El análisis foliar contribuye a la

interpretación del estado nutricional; es muy importante muestrear la parte apropiada en la época indicada para poder interpretar correctamente los análisis foliares. En cuanto a la fertilización inorgánica es importante saber la dosis de aplicación económica, la aplicación que corresponde a la producción máxima, la forma y la época oportuna de aplicación.

- **Aprovechar el uso de cualquier abono orgánico disponible** para el mejoramiento de la fertilidad de los suelos debido a sus efectos benéficos sobre las propiedades físicas y químicas.
- **Introducir rotaciones de cultivos para aumentar la productividad de los suelos** debido a los efectos benéficos sobre las infestaciones de malezas, las incidencias de enfermedades y plagas y sobre las competencias entre cultivos por la humedad y el nitrógeno. Las rotaciones de cultivos también tienden a rejuvenecer los suelos, especialmente los suelos "cansados."
- **Evitar el desperdicio de nutrimentos;** no permitir la quema de los rastrojos, ni la exportación de los nutrimentos fuera de la propiedad, y particularmente fuera de la parcela, con la excepción de aquellos nutrimentos extraídos por las cosechas.
- **Aumentar los niveles de materia orgánica,** especialmente en los suelos arenosos de baja fertilidad general, por medio de aplicaciones masivas de abonos orgánicos y materiales de cobertura, la siembra de leguminosas, los cultivos de cobertura, los cultivos intercalados, los cultivos de relevo, las rotaciones de cultivos, mayores densidades de población, y aumentos en la fertilidad química para lograr una alta producción de biomasa.
- **Intentar la sustitución al máximo del uso de fertilizantes nitrogenados** por la siembra de cultivos de leguminosas como cultivos de rotación, cultivos intercalados, cultivos de relevo y cultivos de cobertura.
- **Aprovechar de los procesos del reciclaje de nutrimentos** especialmente en zonas con problemas graves de lixiviación. Introducir cultivos con sistemas de raíces muy profundas que absorben nutrimentos de los horizontes profundos que están normalmente fuera del alcance de las raíces de la mayoría de los cultivos; de este modo los llevan a la superficie en forma de hojas y tallos muertos, para ser utilizados posteriormente por los otros cultivos. Se pueden introducir cultivos de enraizamiento profundo en las rotaciones de cultivos, en

sistemas agroforestales como cultivos en callejones, o en barbechos de vegetación natural o de vegetación natural enriquecida.

- Superar los problemas de toxicidad debido a altos niveles de aluminio o manganeso por la sustitución de los cultivos/variedades por otros cultivos/variedades más tolerantes, o por la sustitución de los cationes de aluminio y manganeso por calcio o magnesio, por medio de aplicaciones de cal, cal dolomítica o yeso.

g. Reducir los costos de producción

i. Los efectos positivos de las reducciones en los costos de producción son

- Incremento en la rentabilidad neta

- sistemas de producción más sostenibles

ii. Los principios o mecanismos para reducir los costos de producción son

- Utilizar en lo posible pesticidas biológicos y herbicidas botánicos o semibotánicos, y practicar el manejo integrado de plagas para reducir los costos de los pesticidas

- Sembrar cultivos de leguminosas que nodulan libremente sin necesidad de inoculantes, para reducir las necesidades de fertilizantes inorgánicos

- Aplicar roca fosfórica cuando esté disponible para reemplazar los fertilizantes inorgánicos.

- Aplicar dosis económicas de fertilizantes inorgánicos, en la forma y época más oportunas para maximizar su eficiencia.

- Aplicar abonos orgánicos, cuando están disponibles, para reducir el uso de fertilizantes inorgánicos.

En zonas donde la mano de obra es escasa o cara, introducir sembradoras y abonadoras manuales para acelerar las operaciones de siembra y aplicación de fertilizantes.

- Aprovechar al máximo aquellos sistemas de manejo que involucran el reciclaje de nutrimentos.

Utilizar cultivos de enraizamiento profundo en rotaciones de cultivos, como cultivos de descanso, y en sistemas agroforestales como cultivos en callejones y callejones forrajeros. Asegurar en lo posible que todos los residuos queden sean devueltos a la parcela y no quemados ni pastoreados.

h. Proteger las parcelas

Se deben proteger las parcelas de los efectos de las inundaciones, la erosión hídrica, los vientos fuertes, la erosión eólica, y los deslizamientos de tierra. Los vientos fuertes pueden provocar no solamente problemas de erosión eólica sino también problemas en la aplicación oportuna de los herbicidas e insecticidas.

i. Los principios para proteger las parcelas de las inundaciones son:

- **Instalar canales de diversión para captar la escorrentía que entra a la parcela;** trasladarla y descargarla en un canal de drenaje sin provocar erosión a la salida del canal ni a lo largo del canal de drenaje.

ii. Los principios para proteger la parcela de la erosión hídrica son:

- Llevar al máximo la cobertura del suelo, incrementar la tasa de infiltración y reducir la escorrentía.

iii. Los principios para proteger la parcela de erosión eólica y vientos fuertes son

- Instalar cortinas rompevientos para reducir la velocidad del viento, llevar al máximo la cobertura del suelo y crear una superficie irregular.

iv. Los principios para proteger la parcela de deslizamientos son

- **Introducir cultivos de árboles o cultivos en asociación con árboles de enraizamiento profundo;** las raíces profundas ayudan a estabilizar el suelo y aumentar la absorción de humedad por la transpiración de los árboles y los cultivos.

- **Instalar canales de diversión para reducir la entrada de aguas superficiales y subsuperficiales** dentro de la parcela que reducen la estabilidad de los suelos y facilitan los deslizamientos.

i. Reducir la contaminación del suelo y del ambiente

a. Los principios para reducir la contaminación de los suelos y del ambiente son

i. Aplicar el manejo integrado de plagas y de malezas en lugar de usar pesticidas; reemplazar en lo posible el uso de pesticidas tóxicos con pesticidas no tóxicos, o preferentemente con pesticidas biológicos o botánicos.

ii. Capacitar a los agricultores sobre la forma correcta de manejar los compuestos químicos para uso agrícola.

iii. Aplicar los fertilizantes en forma fraccionada según las necesidades del cultivo y la capacidad de retención de nutrientes del suelo para evitar la pérdida de estos en las aguas superficiales y subterráneas.

iv. Aplicar las prácticas de conservación de suelos para reducir al mínimo las cantidades de sedimentos y pesticidas en las aguas superficiales y subterráneas.

v. Supervisar la calidad de las aguas subterráneas y superficiales que servirá como pauta y base de datos para la práctica eficaz del manejo de los suelos.

3.1.2. Aspectos del suelo relacionados con el riego

3.1.2.1. Relación suelo-agua

A. Humedad del suelo

Se ha determinado que el suelo retiene el agua de dos formas: en los poros existentes en la matriz sólida (agua capilar) y sobre la superficie de ésta (agua absorbida).

Las partículas que forman la matriz sólida del suelo, son de forma muy irregular y variada, y dejan entre si unos huecos llamados poros, donde espacios relativamente amplios se comunican entre sí a través de otros espacios mucho más estrechos con claro efecto capilar (11).

El agua del suelo se presenta principalmente por películas delgadas, bien limitadas por partículas sólidas ó por fases gaseosas (meniscos de aire). Por lo anterior el agua se clasifica en tres clases:

a. Agua Higroscópica

Es el agua absorbida de una atmósfera de vapor de agua, como resultado de las fuerzas de atracción sobre las moléculas de agua de la superficie sólida de las partículas del suelo.

b. Agua capilar

Es el agua retenida en los poros pequeños del suelo, que poseen efecto capilar y que está retenida por tanto, por fuerzas debidas a la tensión superficial.

c. Agua Gravitacional

Es aquella que ocupa temporalmente el volumen de aireación y que fluye bajo la acción de la gravedad, al no poderla sostener el suelo.

d. Humedad equivalente.

Es el agua retenida por un suelo que se satura inicialmente con agua, de un centímetro de profundidad, cuando se le somete a una fuerza centrífuga de mil veces la aceleración de la gravedad (equivalente a una succión de 98 julios/kg. ó 0.98 bares)

e. Saturación

Es la cantidad de agua expresada en forma gravimétrica que un suelo contiene cuando todos sus poros están llenos de agua. Se suele determinar añadiendo agua a una muestra de suelo, hasta lograr una pasta saturada en la que se determina la humedad por el método gravimétrico (11).

La situación de saturación de un suelo se suele presentar después de una lluvia copiosa de un riego abundante ó cuando existe un estrato impermeable a poca profundidad. Cuando el estado saturado del suelo se prolonga, las raíces de las plantas no acuáticas se mueren por falta de oxígeno para la respiración (11).

B. Capacidad de campo

Se utiliza este concepto para designar la cantidad de agua, expresada como humedad gravimétrica expresada en porcentaje de un suelo que ha sido regado por lluvia o riego y después de drenar libremente, evitando las pérdidas por evapotranspiración, hasta que la intensidad de drenaje sea despreciable (11).

El concepto es de gran utilidad por ser el límite superior de agua aprovechable ó disponible para el desarrollo de las plantas y además porque es el porcentaje de humedad a que la zona radicular debe regarse para que no existan desperdicios, ni falta de agua a la planta.

La capacidad de campo de un suelo depende del tamaño de los macro poros, por cuyo motivo depende más de la textura que de la estructura. Se considera que es el estado más favorable para la planta, ya que tiene gran cantidad de agua retenida en el suelo a su disposición, que es fácilmente superada por la succión de las raíces, a la vez que disponen de aire abundante para la respiración de las raíces.

C. Punto de marchites permanente

Es el contenido de humedad que el suelo posee cuando la planta se marchita. El punto de marchites permanente, se define como el porcentaje ó contenido de humedad del suelo al cual las plantas no pueden obtener suficiente humedad para satisfacer sus requerimientos de transpiración. Las plantas pueden tomar

agua lentamente aún cuando el suelo esté más seco que el punto de marchites permanente, pero solo para sobrevivir, no para desarrollar y crecer (11).

Al igual que la capacidad de campo, depende de la textura que de la estructura del suelo.

D. Humedad disponible

Indica la cantidad de agua que se encuentra entre los límites máximo y mínimo de la humedad del suelo, que puede ser utilizada por los cultivos, ó se a que indica la cantidad de agua comprendida entre la capacidad de campo y punto de marchites permanente, expresado en términos gravimétricos ó volumétricos. La humedad del suelo puede ser expresada en base a peso del suelo seco (P_s en %), En base a volumen (V_p) y lámina de agua (cm) (11).

E. Déficit permitido de manejo

Es la humedad permitida que el suelo pierda en los intervalos de riego. Generalmente se usa el 50% aunque esto depende de las condiciones del suelo, cultivo y el clima.

3.1.2.2. Relación suelo-agua-planta

A. Evaporación

Es la pérdida de agua en forma de gas (vapor) que se encuentra en forma líquida en el suelo por acción de calor.

B. Transpiración

Es un proceso durante el cual el agua absorbida circula continuamente dentro de la planta desde las raíces hasta las hojas, impulsada por la acción capilar, un efecto de succión conocido como tensión de transpiración. Gran parte del agua atraviesa la planta y pasa al aire sin penetrar en las células. Es conocida como un mal necesario ya que en este proceso las plantas eliminan agua pero ganan nutrientes de la atmósfera, fenómeno conocido como Intercambio Gaseoso.

C. Evapotranspiración

Se conoce como el consumo de agua por el cultivo en constante crecimiento que cubre totalmente la superficie del suelo sin ninguna deficiencia durante su desarrollo. Teóricamente es la suma del agua que se pierde por evaporación y la que transpira la planta.

Las aplicaciones de este concepto se a la agricultura es que permite determinar horas a regar con un determinado volumen disponible de agua, elaboración de calendarios teóricos de riego para los cultivos, estimación de volúmenes de agua que serán necesarios para auxiliar a los cultivos en caso que el agua de lluvia no sea suficiente para el buen desarrollo de los cultivos.

3.1.3. El Agua

3.1.3.1. Calidad del Agua

Considerada el agua como el mayor componente de los seres orgánicos y como el solvente universal; entre los usos que se tienen del agua está para el consumo humano, uso agrícola con fines de riego y para el uso industrial.

El hombre busca las mejores condiciones del agua, refiriéndose con ello a su calidad. El concepto de Calidad del agua se puede resumir diciendo que el contenido de sustancias orgánicas, minerales y microorganismos son componentes de su calidad (3).

3.1.3.2. El Muestreo del Agua para diagnosticar la calidad

Debe estar orientada a conocer las condiciones físicas, químicas y a ejercer un control de su calidad. El muestreo de aguas conlleva el propósito básico de obtener muestras representativas de las fuentes a utilizar, así el análisis químico cuantitativo será más confiable y no se practicará en vano (3).

3.1.3.3. Clasificación basada en la C.E. y RAS

La Conductividad Eléctrica. (C.E) expresa la concentración total de sales. Respecto a la C.E., las aguas de riego se clasifican en cuatro grupos, sin embargo, vale considerar aquellas aguas cuya C.E. es menor de 100 micromhos/cm; las cuales pueden constituir un primer grupo a considerar.

El diagrama que se usa para clasificar las aguas de riego utilizando la C. E. Y el RAS es el reportado por el laboratorio del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. La C. E. Se busca horizontalmente (Sobre el eje de las X), y el RAS verticalmente (Sobre el eje de las Y). El punto de intersección de ambos caerá en una determinada área que señalará la clasificación del agua en estudio; (Cx – Sx) (Figura 1).

Las cuatro clases de según su salinidad y alcalinidad son las que se mencionan en el cuadro 3, en el cual se presentan las diferentes combinaciones de alcalinidad y salinidad que se pueden dar.

Mientras mas alta sea la concentración de sales solubles y sodio intercambiable contenga el agua, mayores serán los riesgos de que los suelos cambien a salinos o alcali. El manejo de suelo y agua es importante cuando se presentan estos riesgos (3).

Cuadro 3. Clases de Salinidad y Sodicidad y las diferentes combinaciones de concentraciones que se pueden encontrar en una muestra de agua.

Clases de Sodicidad (SAR)			Clases de Salinidad (mmhos/cm de suelo)			
		Escala	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
		Rango	100 -- 250	250 -- 750	750 -- 2250	2250 – 5000
Escala SAR	Rango	Clases	C1	C2	C3	C4
Bajo	0 --10	S1	S1 --- C1	S1 --- C2	S1 --- C3	S1 --- C4
Medio	10 -- 18	S2	S2 --- C1	S2 --- C2	S2 --- C3	S2 --- C4
Alto	18 -- 26	S3	S3 --- C1	S3 --- C2	S3 --- C3	S3 --- C4
Muy Alto	26 -- 32	S4	S4 --- C1	S4 --- C2	S4 --- C3	S4 --- C4

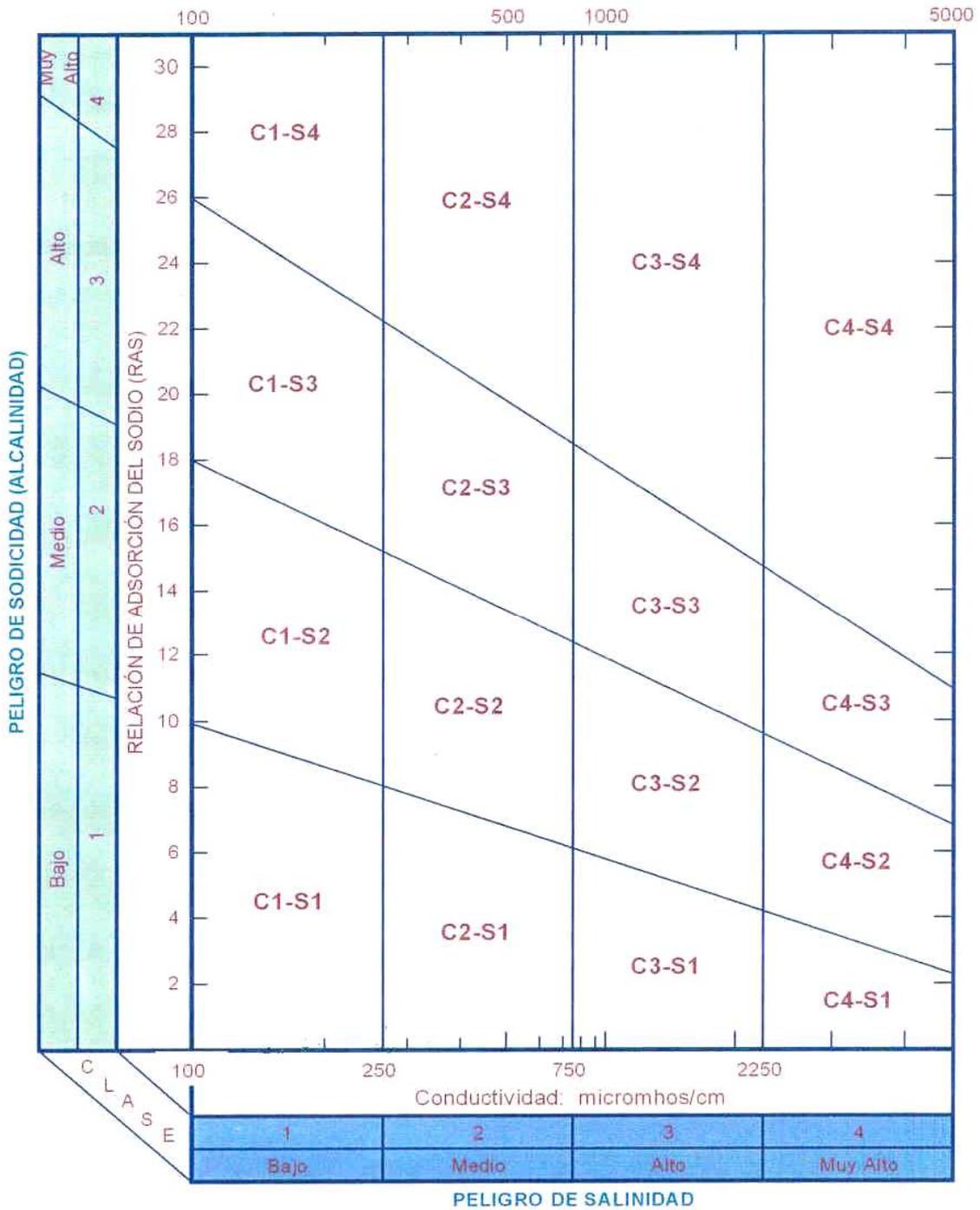


Figura 1. Normas para evaluar la calidad de las aguas de riego según el U.S. Soil Salinity Laboratory del USDA (3).

3.2. Marco Referencial

3.2.1. Localización geográfica del área de estudio

El área se encuentra en las planicies, situada al Oeste del Municipio de Jacaltenango, a una distancia de 17 Kilómetros de la Cabecera Municipal y a 103 kilómetros de la cabecera Departamental de Huehuetenango. Tiene una altitud promedio de 720 - 730 m.s.n.m., y se encuentra en las siguientes coordenadas UTM (Figura 2).

Localización	Rango UTM
Longitud Este	622000-627000
Latitud Norte	1738000-1742000

Las parcelas de riego se encuentran dispersas en toda el área. El sistema de riego logra cubrir 125 Manzanas de terreno (2000 cuerdas de 441 m. cuadrados), que pertenecen a 98 personas asociadas.

3.2.2. Geología

De acuerdo con el Mapa Geológico de la República de Guatemala No. 10, se encuentra en una región Ksd (Cretácico), los carbonatos Neocomiano, Camapanianos; Incluye Coban, Ixcoy, Campur, Sierra Madre y Grupo Yojoa.

3.2.3. Fisiográfica

De acuerdo con el Mapa Fisiográfico – Geomorfológico de la República de Guatemala No. 9, el área se encuentra en una Depresión (Terraza) Crítica de Nentón, en la Sierra de Los Cuchumatanes.

3.2.4. Suelos

Los suelos Nentón son profundos, bien drenados, desarrollados sobre caliza en un clima Húmedo – seco. Ocupan relieves “Karst” a altitudes medianas inferiores, en el Noroeste de Guatemala. Están asociados con los suelos Quixal, Jacaltenango y Coatan, pero se encuentran a altitudes mas bajas y en un clima un poco mas seco que los Coatan; son menos profundos y ocupan un relieve más áspero que los Jacaltenango; y están desarrollados sobre caliza, según la primera aproximación de la República de Guatemala (18).

Los Afloramientos de roca son numerosos, en unos lugares constituyen el 30% de la superficie. El grosor del suelo varía hasta un metro. Aquí están incluidas muchas planicies pequeñas y circulares que tienen un diámetro de 100 a 200 metros. Estas parecen ocupar “tsiguanes” antiguos u hoyos que se han llenado con materiales lavados de las áreas adyacentes (Aluviones). El suelo es una arcilla pesada y se usa principalmente para pastos. En algunos lugares estas llanuras casi planas tienen más de un Kilómetro de largo y alrededor de medio Kilómetro de ancho. Se observan grietas de 2 a 5 cm. cuando el suelo se seca (20, 21).

Ocupan relieve de “Karst”. Las pendientes del 30% son comunes y el “Karst” en estas partes no es tan áspero como en otras. Las elevaciones varían de aproximadamente 750 a 1400 m.s.n.m. El material madre es Caliza. Se encuentra en la parte Oeste del Departamento de Huehuetenango. Comprende 92,542 Ha, o sea el 0.85% del área de la República de Guatemala en el Mapa de la Clasificación de reconocimiento de suelos (17).

3.2.4.1. Taxonomía y Características

De acuerdo a al sistema de clasificación de suelos de Soil Survey Staff, los suelos pertenecen al orden Vertisoles, desarrollados en un ambiente de clima ústico.

Se caracterizan por ser suelos pesados que se agrietan, con más de 35 % de arcilla y más del 50 % de minerales en fracciones de arcilla. Generalmente se hinchan y se contraen con los cambios en el contenido de humedad. Los suelos tienen la característica de que en estado húmedo se vuelven masivos, lo cual provoca que sea impermeable. Son arables en ámbitos de humedad reducidos que otros suelos. Cuando están secos la contracción y el agrietamiento los quiebra en enormes terrones masivos de tal fuerza que imposibilita la mayoría de prácticas de labranza, y por otro lado cuando están mojados son suaves y pegajosos. Presentan micro relieve gilgai y superficies de deslizamiento, son de color oscuro, ricos en bases, con una alta inestabilidad de agregados por las propiedades físicas deficientes como: anisotropía, bajos contenidos de hierro que cementen estas partículas y contenidos bajos de Materia orgánica (18, 21).

También la combinación de un mal manejo como aradura inadecuada, falta de cobertura, mala calidad del agua y mal manejo de la misma afecta las propiedades físicas de estos suelos (18).

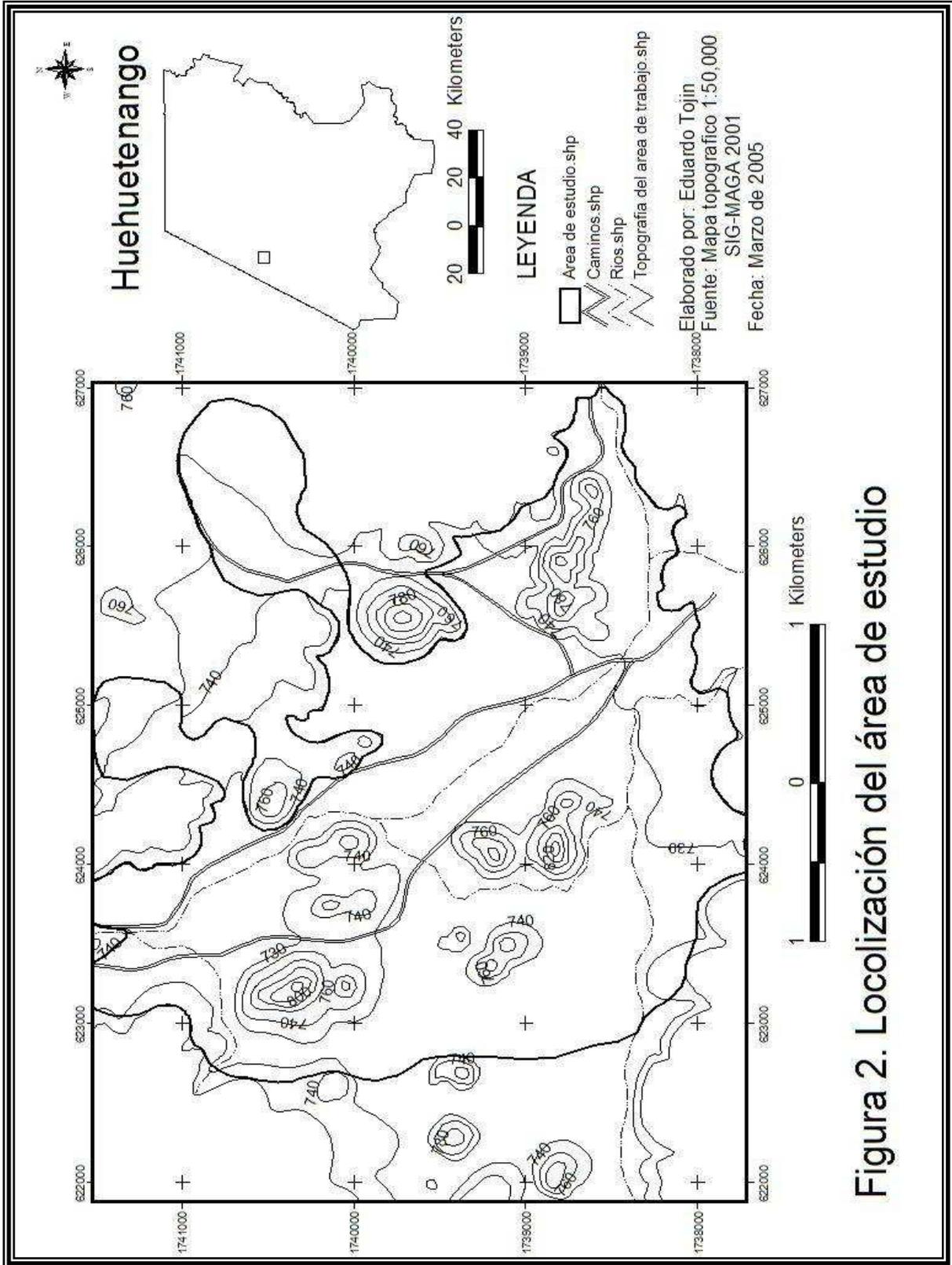


Figura 2. Localización del área de estudio

3.2.5. Hidrografía

De acuerdo con el Mapa de Balance Hídrico de la República de Guatemala No. 39, Se encuentra en una región de 200 mm; El área forma parte de la cuenca del río Nentón, según Mapa de Cuencas Hidrográficas No. 3; El Mapa de Evapo transpiración Potencial No. 34 para ese lugar señala 1800 mm aproximadamente y el Mapa de Zonas de Recarga Hídrica Modificado No. 11 indica que el proyecto de riego se encuentra en una zona de descarga con cobertura forestal y precipitación de 1000 a 2000 mm, rocas sedimentarias.

De acuerdo a la caracterización hidroclimática de Guatemala con fines de riego (10), el área de riego es de clase de prioridad 2, en el cual se necesita riego suplementario para los cultivos invernales y riego completo para los cultivos de verano.

3.2.6. Clima

En esta zona de vida las condiciones climáticas se caracterizan por tener días soleados durante el periodo que corresponde a los meses de enero – abril, parcialmente nublados durante la época de las lluvias (invierno) que corresponde especialmente a los meses de junio a octubre, en que llegan a ser las precipitaciones más importantes en esta región.

La temperatura máxima absoluta es de 35 grados Centígrados, la temperatura máxima promedio es de 30 grados Centígrados, la temperatura Media anual es de 20 grados Centígrados, la temperatura mínima promedio es de 15.3 grados Centígrados y la temperatura mínima absoluta es de 7 grados centígrados, según mapas consultados en su orden 32, 30, 29, 31, 33 de la República de Guatemala. Se reporta 2400 horas/sol/año. De Brillo Solar. Y 79% de Humedad Relativa.

3.2.7. Zona de vida

De acuerdo con el Mapa de Zona de Vida a Nivel de Reconocimiento de la República de Guatemala, el Proyecto de riego se ubica en la zona de vida “Bosque Seco Subtropical” (bs-S). Esta zona de vida es típico de algunos valles del Noroeste de Huehuetenango.

Topografía: Los terrenos correspondientes a esta zona ecológica son de relieve desde plano hasta accidentado.

3.3. Antecedentes de la agricultura Realizada en el área.

3.3.1. Agricultura pre riego

Según un diagnóstico realizado en 1992, 10 años antes de la introducción del sistema de riego, los agricultores siembran en época de invierno los cultivos de: Maíz, Fríjol de mata, Maíz y fríjol de enredo en asocio, Rosa de Jamaica, Maní. Durante las últimas lluvias, Anís, Chipilín, Tabaco, Chile cobanero, Ajonjolí.

El suelo era preparado con azadón, no fertilizaban, no utilizaban ninguna práctica de riego. Al parecer el suelo era preparado de forma de una forma aceptable pero la fertilización nula da a pensar que el suelo aporta los nutrientes, lo cual provoca un desgaste constante, ya que se practicaban 2 cultivos por año.

No se reporta si utilizaban algún sistema de rotación de cultivos o cultivos intercalados, pero se piensa que las leguminosas como el Fríjol y Maní eran rotadas de alguna manera con los otros cultivos e incorporaban los residuos vegetales para acumular por lo menos nitrógeno y algunos otros nutrientes.

3.3.2. Agricultura post riego

De acuerdo al diagnóstico realizado a principios del 2002, el sistema de riego provocó que la agricultura sea más diversificada. A diferencia de 10 años atrás, los agricultores introdujeron nuevos cultivos como Tomate, Chile de exportación, Cebolla y tienen intenciones de producir Sandía, Melón, Maíz dulce y Fríjol ejotero. Prefieren sembrar en el área de riego las hortalizas y el fríjol, el Maíz algunos pocos lo siembran en el área de riego.

El manejo que se les da a los cultivos ha sufrido grandes cambios, como: La preparación del suelo es mecanizada en su mayoría, aplican fertilización; se observaron algunos arreglos de cultivos intercalados, cultivos en contorno, cultivos en franjas, aparte de los monocultivos. Esto significa desde el punto de vista técnico un avance, aunque de acuerdo a las cantidades de fertilizante, la preparación del suelo, las cantidades de agua aplicadas es necesario hacer correcciones para lograr un mejor aprovechamiento de los recursos en tiempo y espacio.

4. OBJETIVOS

4.1. General

Estudiar y caracterizar los recursos agua y suelo del área de riego del proyecto Nuestra Señora de Candelaria, como base para generar un plan de uso y manejo sostenible de estos recursos que se adapte a nueve cultivos potenciales en el área.

4.2. Específicos

- 4.2.1. Establecer la capacidad de uso del suelo con base en el sistema USDA.
- 4.2.2. Determinar la capacidad de uso del suelo para riego de las unidades de suelo con base en el sistema USBR
- 4.2.3 Caracterizar la fertilidad de las unidades de suelo con base en el sistema de Clasificación Capacidad-Fertilidad (CCF).
- 4.2.4. Conocer la calidad del agua para riego con base en el sistema de clasificación USDA
- 4.2.5 Determinar las demandas evapotranspirativas mensuales de noviembre a mayo por medio del método Blaney y Cridley modificado por la FAO.
- 4.2.6 Caracterizar el subsistema aplicación de agua en la parcela

5. METODOLOGÍA

5.1. Estudio del Recurso Suelo

5.1.1. Recopilación y Análisis de Información

Se recopiló información primaria y secundaria del área de estudio. Se consultaron mapas de suelos, mapas topográficos, fotografías aéreas, datos climáticos e informes de diagnósticos realizados en el área. Seguidamente se analizó la información a manera de formarse una idea de las características de interés del área, para el estudio. Las características analizadas fueron: las dimensiones aproximadas del área, la topografía, hidrografía, series de suelos, la geología y el uso actual.

Como resultado de este análisis se obtuvieron las unidades de suelos, las cuales serían estudiadas para la determinación de los usos para los cuales son adecuados.

5.1.2. Reconocimiento y Determinación del área de estudio.

Se inició con un reconocimiento del área para verificar y marcar los límites del área de estudio en el mapa escala 1:50,000 de la hoja Nenton.

5.1.3. Diferenciación de las áreas

Posteriormente se realizó una caracterización de campo a nivel de reconocimiento de los suelos, para determinar las diferencias entre los mismos para luego agruparlos de acuerdo a sus características comunes en un 80 % de la superficie en la unidad considerada. Las características a tomar en cuenta fueron: pendiente, cobertura vegetal, pedregosidad en la superficie, color, profundidad y textura al tacto.

Para determinar los límites de cada unidad mapeada, se realizaron agujeros de 50 centímetros en las áreas en donde se observó cambios en la superficie del suelo.

5.1.4. Apertura de calicatas y lectura de perfiles.

Se determinó que existen 6 diferentes unidades de suelos dentro del área, lo cual requirió 6 aperturas de 1x1.5 metros y de profundidad variable (hasta encontrar el material parental en algunos casos). A los horizontes que componen el perfil de suelo se observaron las siguientes características: ancho de cada

horizonte, color en húmedo, límite, estructura, presencia de cristales de sal, pH, presencia de carbonatos, textura al tacto, consistencia en mojado, pedregosidad, presencia de raíces, profundidad del perfil. En el apéndice se presenta la descripción de los perfiles estudiados.

5.1.5. Muestreo del suelo

Se colectaron muestras de suelo a los horizontes presentes de cada calicata. Se tomó un total de 15 muestras de suelo de 0.5 kg. Dado a que se realizó el estudio en época de riego, los muestreos se realizaron antes de regar, esto con el fin de asegurar el ascenso, por capilaridad, del máximo potencial de salinidad al sistema radicular y así poder determinarlo realmente en los primeros 30 a 40 cm. de profundidad.

5.1.6. Envío de las muestras al laboratorio

Colectadas las muestras se enviaron al Laboratorio Salvador Castillo de la Facultad De Agronomía, de la Universidad de San Carlos de Guatemala para el análisis respectivo. De acuerdo a los objetivos del estudio se requirió el análisis con fines de fertilidad y con fines de riego para ambos recursos. En el cuadro 4 se presentan los métodos de laboratorio utilizados para analizar las muestras.

Se realizó análisis físico y químico, completo a horizontes que cubrieran una profundidad más o menos igual a 40 cm. A los otros horizontes se les practicó únicamente análisis de macro nutrientes y elementos menores disponibles, pH y conductividad eléctrica. En el siguiente cuadro se muestra la clase de análisis y el método utilizado.

Cuadro 4. Características analizadas y Métodos de laboratorio utilizados para la determinación de características químicas y físicas del suelo colectado.

CARACTERÍSTICA ANALIZADA	METODOLOGÍA
PH	Potenciómetro en agua.
Conductividad Eléctrica (CE)	Conductivímetro en agua
Macro nutrientes disponibles (P, K, Ca Y Mg)	Método del doble ácido diluido (Carolina del norte)
Elementos menores disponibles (Cu, Zn, Fe, Mn)	Método del doble ácido diluido (Carolina del norte)
Carbono orgánico (M.O.)	Digestión con dicromato ácido y valoración con $F_2SO_4 \cdot 7H_2O$
Capacidad de intercambio Catiónico (CIC)	Extracción iónica con solución de NaCl al 10%, destilación por semi microkjeldahl y H_2SO_4
Bases de intercambio (Ca, Mg, Na, k)	Extracción con acetato de amonio 1N, pH 7.
Clase textural	Hidrómetro de Bouyucos
Capacidad de Campo (CC)	Olla de presión
Punto de marchites permanente (PMP)	Membrana de presión
Densidad aparente (Da)	La probeta

5.1.7. Clasificación De suelos

En base a las características de las unidades de suelo se clasifico cada unidad en tres sistemas de clasificación: En base a su capacidad de uso, en base a su capacidad para riego, ambos sistemas propuestos por El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en ingles) y en base a su fertilidad propuesto por científicos de La Universidad de Carolina del Norte (Raeleigh N.C.S.U.). Así mismo se generaron los mapas para cada una de las clasificaciones, que describen a cada unidad.

5.2. Estudio del Recurso Agua

5.2.1. Muestreo del agua

Se tomo una muestra de agua de un litro de volumen. La muestra se tomo en horas de riego en los últimos aspersores, con el fin de determinar el potencial máximo de los componentes del agua en el área de

riego. El análisis se realizó en el laboratorio de Suelo y Agua, Salvador Castillo, de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos De Guatemala (Cuadro 5).

Cuadro 5. Características del Agua analizadas y Métodos de laboratorio utilizados

CARACTERISTICA ANALIZADA	METODOLOGIA
PH (agua 2.5:1)	Potenciómetro
Conductividad eléctrica (1:5)	Conductivímetro
Cationes Solubles	

5.2.2. Determinación de La Demanda Teórica de Los Cultivos

Dado a que no se conoce la demanda diaria de los cultivos, se realizó el cálculo de la Evapotranspiración potencial teórica para el área, en donde se producen los cultivos de Tomate (*Lycopersicon sculentum*), Chiles picantes (*Capsicum* spp), Cebolla (*Allium cepa*), Frijol (*Phaseolus vulgaris*), Maíz (*Zea mays*), Sandía (*Citrullus vulgaris*), Melón (*Cucumis melo*), Manía (*Arachis hipogea*) y Pepino, durante noviembre-mayo, por medio de la fórmula de Blaney-Criddle modificada por la FAO (6), que es la que más se ajusta a las condiciones del área, con un error de más o menos 5 centímetros de la demanda real mensual de los cultivos según los estudios experimentales de cálculo de requerimientos hídricos de varios cultivos y los datos disponibles para el cálculo de la ETP. Las temperaturas medias utilizadas fueron de 24 a 26 °C, para los meses de noviembre a mayo que son los más reales para la zona reportadas en las estaciones meteorológicas del río Grijalva, de territorio mexicano.

Cálculo de Evapotranspiración potencial mensual del área

Fórmula de Blaney-Criddle

$$f = p (0.46(t) + 8.13)$$

Donde.

f = Factor de Blaney-Criddle

p = porcentaje de horas diurnas respecto de las totales mensual (Fuente Tabla)

t = temperatura media mensual, expresada en °C (Fuente: Datos de Estación Meteorológica)

$t = T_{\text{máxima media}}/2 + T_{\text{mínima media}}/2$

ETP tomando en cuenta las modificaciones de FAO

Porcentaje de Insolación Mensual

$$\% \text{ IM} = n/N$$

n = horas reales de insolación durante el mes

N = horas máximas posibles de insolación (Fuente: Tabla)

Humedad Relativa

HR = Datos de estación del mes

Velocidad del viento

Vv = Velocidad del viento

Predicción de ETo para el mes

Se predice a través de gráficas ya establecidas, en donde se interceptan primero la humedad relativa con el porcentaje de Insolación y luego en la grafica, producto del intercepto, se introduce el valor de **f** calculado en el eje de las **x**, para luego interceptarla con una de las tres líneas que corresponden a diferentes velocidades de viento. El punto seleccionado en la recta, se le toma la lectura en **y**, el cual es el valor modificado de la ETo para el mes de interés. (Figura 6A).

5.2.3. Caracterización del Sistema Aplicación de Agua

5.2.3.1. Estructura del sistema de aplicación

Se determino el material de fabricación y los diámetros de la tubería distribuidora en las granjas, tubería principal, lateral y de porta aspersores. También se determino la distancia entre laterales, entre aspersores y el tipo de aspersor utilizado.

5.2.3.2. Evaluación del subsistema Aplicación de riego

El conocer la clase de agua con que se riega y como están manejando el recurso es muy importante para tomar medidas si es necesario, por eso se determino como están regando, cuando y cuanto están aplicando el agua.

5.2.3.3. Manejo del agua en la granja

Este aspecto contempla lo que son las cantidades de agua que están aplicando a los cultivos en base a: el caudal del aspersor, el tiempo de riego, así como la frecuencia de riego que están utilizando.

5.2.3.4. Evaluación del sistema

Se realizaron mediciones de caudales de aspersores en puntos donde inicia el sistema, en puntos medios del sistema y al final, con el fin de determinar la uniformidad del mismo en toda la red de riego. También se determino el porcentaje de traslape entre aspersores y laterales. La prueba se realizo en un punto medio de la red de riego.

Se determino el coeficiente de uniformidad para conocer la distribución de la lluvia emitida por los aspersores y comparar si la lamina media colectada en los recipientes es mas o menos igual a la estimada por la formula básica del riego para este sistema, a manera de validar el diseño.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Descripción general del área de estudio

Las áreas de riego se localizan distribuidas en una llanura 22 caballerías (aproximadamente 1007 has.), que en su interior se encuentran elevaciones de 740 a 820 m. de roca calcárea. La pendiente del área oscila entre 1 al 6 % en toda el área.

El área cultivada se encuentra en un 60 % con cultivos, el 40 % restante son pastos naturales, en donde los granos básicos son los dominantes ocupando un 50% del área, 20 % Maní, y el 25 % restante hortalizas (Tomate, Chile, Cebolla) (Figura 3). Se siembra Anís como cultivo intercalado entre los granos básicos al final del ciclo de los cultivos (octubre de cada año). Algunos pocos también intercalan Maní.

Durante el invierno, algunas partes del área sufren de inundaciones intermitentes, de 5 a 10 días por mes, lo que significa restricciones en el suelo por el exceso de humedad durante periodos relativamente largos, el cual hace poco productiva estas áreas. Las inundaciones se registran en las unidades 3,5 y 6.

Por información directa de los agricultores se determino que es difícil sembrar en invierno frijol y hortalizas en estas áreas, reconociendo que el maíz era productivo pero no como en los lugares que no sufren inundación (1.5 a 2 quintales más). En pequeños apartados de estas áreas se pudo comprobar que es posible la siembra de tomate y frijol, pero en surcos que sean altos.

El número de parcelas de riego es de 98, con áreas que van de 7 a más de 30 cuerdas (de 21x21 m.) por socio. Se han establecido 10 sectores de riego, los cuales son: Lenmix, Chaperno, Salislaj, Palehuitz uno y dos, Junta, Yalhul, Barejonal, Patb'enluis y Coronado.

6.2. Descripción general de los suelos y unidades determinadas

Los suelos son muy variables en toda el área, que aparentemente por ser plana da la impresión de ser homogéneos, que es característicos de los suelos aluviales. Se determinaron 6 unidades de suelos en el área los cuales se diferenciaron en la profundidad y en los horizontes que los componen. En el cuadro 5 se muestra a las unidades determinadas y los sectores de riego que abarca (Figura 4).

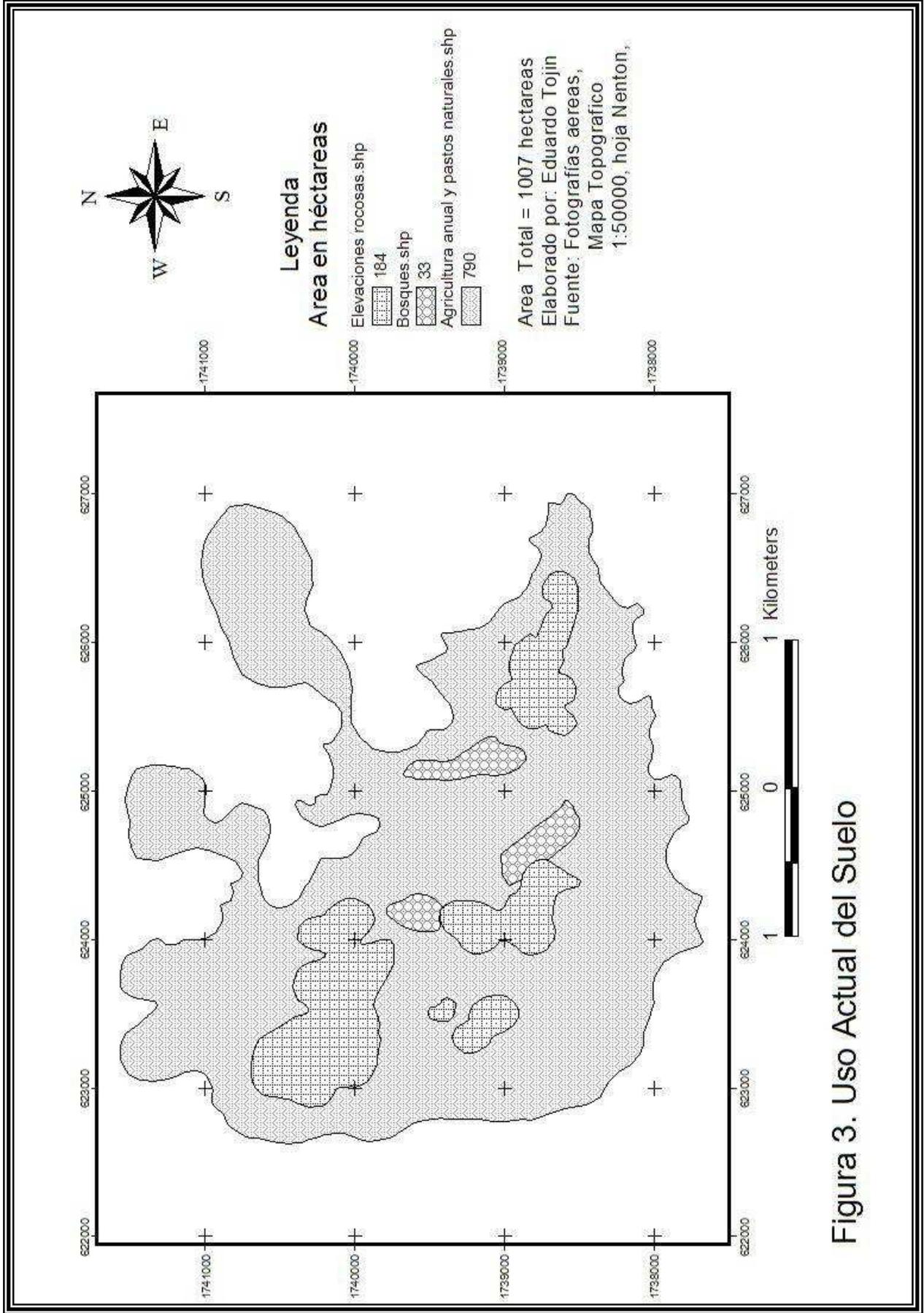


Figura 3. Uso Actual del Suelo

Cuadro 5. Unidades de suelo y sectores de riego que abarca.

UNIDAD DE SUELO	SECTORES DE RIEGO	AREA (has)	PROCENTAJE
1	Lenmix, Palehuitz I y II, Chaperno, Salislaj,	390	46
2	Jaluhul/Coronado	84	10
3	Coronado	68	8
4	Pat`benluis	43	5
5	Barejonal	178	21
6	Junta	82	10
TOTAL		845	100

Se observaron rajaduras en toda el área, lo cual indica que los suelos son arcillosos, contienen arcillas expandibles, y se incluyen dentro del orden de los Vertisoles.

En algunas parcelas observaron en la superficie parches pedregosos de aproximadamente 3 a 4 metros de diámetro. Las áreas que presentan un suelo propiamente dicho, aunque poco desarrollado, son las unidades 1,2 y 4, con profundidades que varían de 30 a 50 cm. En las unidades 3,5 y 6 se observo capas de suelo de 3 a 10 cm. Y en mayor parte subsuelo, lo cual es bajo y limitante para el adecuado desarrollo radicular de muchos cultivos. Se pudo establecer que los sectores en donde hay inundaciones se presentan áreas con suelos poco profundos, lo cual explica que ha existido erosión laminar.

La unidad 4 esta en una terraza elevada a 10 metros del nivel de los demás suelos y sus características son similares a los suelos poco profundos pero de un color más claro. En general las profundidades de los perfiles estudiados varían de 65 a más de 85 cm. presentándose los más profundos en las unidades 2,4 y 5.

6.3. Características de las propiedades de los Suelos

6.3.1. Características de la fertilidad del suelo

6.3.1.1. Propiedades Químicas

A. Reacción del suelo (pH)

La reacción (pH) de los suelos es de levemente ácido para las unidades 3,4,5,6 y ligeramente alcalino a alcalino para las unidades 1y 2.

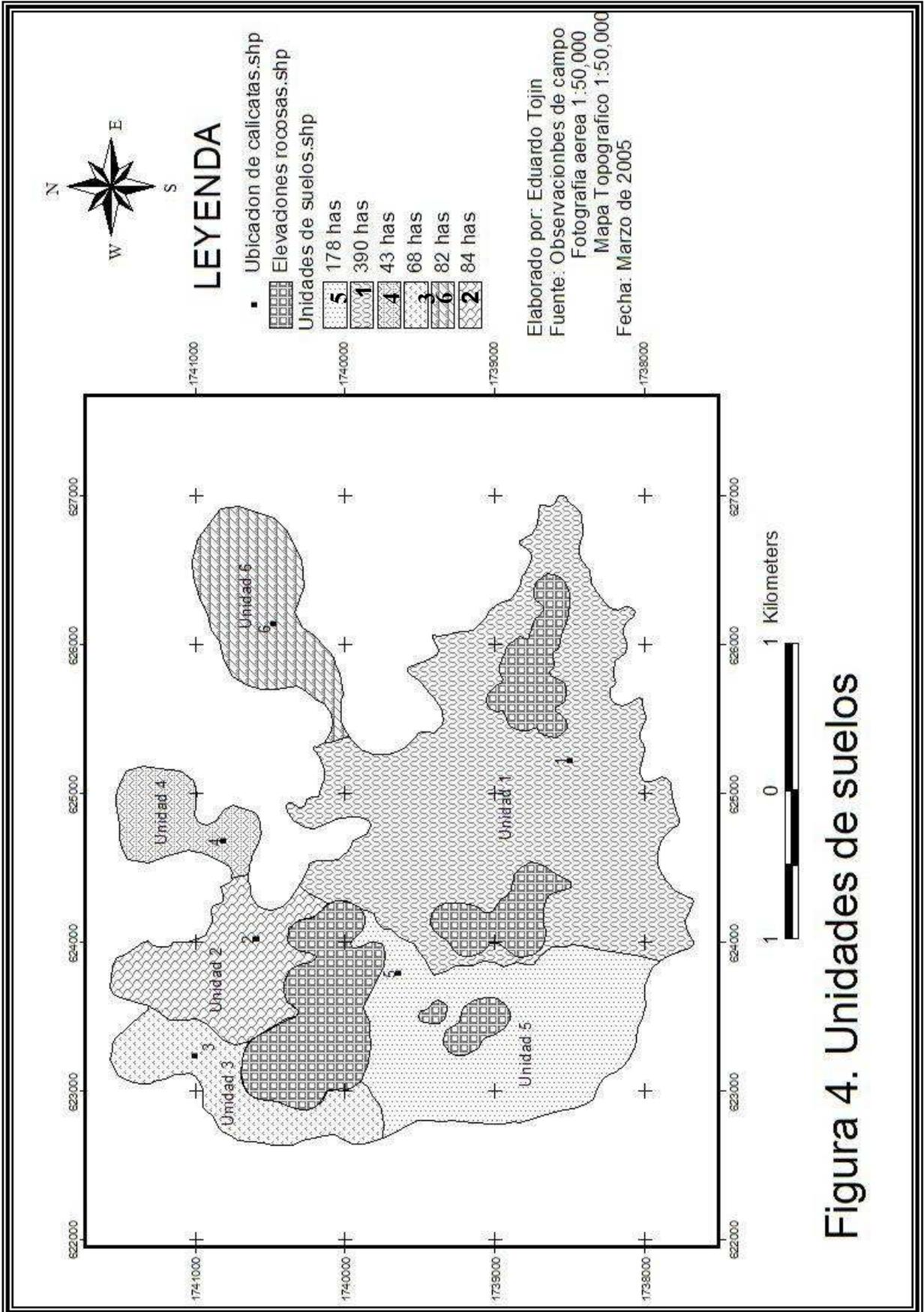


Figura 4. Unidades de suelos

B. Capacidad de Intercambio Cationico (CIC)

La capacidad de intercambio es alta en toda el área, lo cual significa que el suelo tiene el don de adsorber y ceder nutrientes a la planta con facilidad, siempre y cuando estén presentes en el suelo. Pero se corre el riesgo de que si se tienen alto contenido de cationes de Calcio, Sodio o Magnesio adsorbidos, provocaría algunos problemas como alcalinidad, deficiencias de nutrientes, sodicidad o hasta toxicidad (4, 13).

C. Porcentaje de Saturación de Bases

Se tiene un alto porcentaje de bases saturadas en todos los perfiles (mayor de 80 %), especialmente de Calcio, esto indica que el complejo de intercambio esta ocupado por cationes de este elemento. provocando un desbalance en la disponibilidad de Potasio, Magnesio y otros micro nutrientes.

D. Materia Orgánica

El contenido de materia orgánica es aceptable en todos los suelos, con excepción de Junta que es menor del 2 %, considerado como mínimo, pero el área por ser semi árida la tasa de descomposición de ésta es alta y se pierde muy rápido a si como la perdida por las rajaduras del suelo, lo cual hay que tomar en cuenta a la hora del manejo del suelo. La materia orgánica podría ser la fuente efectiva de Potasio, Fósforo y micro nutrientes así como un estabilizador de los agregados del suelo.

E. Salinidad

De acuerdo a los resultados de salinidad observados en todos los perfiles, esta disminuye con la profundidad, esto puede ser transitorio, ya que el muestreo se realizo antes del riego, lo cual sugiere que las sales ascendieron. Este comportamiento de las sales se debe a que se esta iniciando a regar, y las cantidades de agua aplicada no percolan a mas de 50 cm. Y las sales no pasan a sustratos inferiores.,

Agronómicamente la salinidad de los suelos es aceptable, ya que en toda el área los niveles son menores que 1 milimhos de conductividad eléctrica, lo cual indica que lo cultivos más sensibles no corren riesgos de que su crecimiento y rendimiento sea afectado a causa de salinidad por el momento. Dado a que el área se encuentra en una zona de descarga hídrica, es probable que se de algún lavado natural de sales en el

invierno, lo cual hay que cuantificar al final de cada temporada para poder determinar el comportamiento de las sales. Se considera que por la clase de suelos, la posición fisiográfica, la geología del área y el uso de aguas de riego de mediana calidad, es bastante probable que se de una salinización del suelo, ya que según experimentos se ha demostrado que en los estratos superiores del suelo la planta consume mas agua y la cantidad de agua que percola a través del perfil del suelo disminuye con la profundidad, mientras que su salinidad aumenta. En consecuencia la salinidad del suelo aumenta con la profundidad (14).

Según experiencias en áreas similares, ciertas cantidades de las sales se acumularan a través del tiempo, lo cual salinizara el suelo a niveles intolerables para los cultivos (2, 14). Esta situación es muy importante tomarla en cuenta ya que a largo plazo (15 a 20 años) puede ser suma mente perjudicial.

F. Contenido de Nutrientes

De acuerdo a los resultados de los análisis, en todos los suelos muestreados hay deficiencia de nutrientes a excepto la muestra de Barejonal (unidad 6). El calcio es un elemento que se encuentra a niveles demasiado altos, lo cual es característico de estos suelos. El alto contenido de Calcio provoca un desbalance en la disponibilidad de nutrientes por medio del efecto de antagonismo especialmente sobre el Fósforo, Magnesio, Potasio. Se observo una deficiencia de hierro en plantas de Maní, especialmente en hojas jóvenes, en la unidad 1, sector de riego Lenmix, lo cual confirma la deficiencia del elemento.

6.3.1.2. Propiedades Físicas

A. Textura

De acuerdo a los resultados reportados por el laboratorio, los suelos son de textura arcillosa, a excepción de los suelos del área de la unidad 5, coincidiendo con lo reportado por Simons et al para el área. Estos suelos se caracterizan por ser bastante masudos cuando están mojados y duros cuando se secan, pesados y susceptibles a la compactación, lo cual perjudica el adecuado desarrollo radicular, máxime cuando son sometidos a una labor agrícola intensa sin manejo del suelo adecuado, cobertura adecuada, intensidad de riego adecuado y enmiendas para mejorar la estructura (13).

B. Densidad Aparente

Presentan una densidad aparente entre 1 y 1.17, lo cual es un poco bajo para la clase de textura que poseen ya que los rangos adecuados están entre 1.2 y 1.35. (8). De acuerdo a los valores de densidad aparente, los suelos poseen una porosidad bastante alta, lo cual se ve disminuida, ya que el suelo al irse saturando, sus arcillas se dispersan y expanden de tal manera que el espacio poroso queda reducido.

C. Constantes de Humedad

En cuanto a la capacidad de retención de humedad los valores de punto de marchites permanente son altos, característico de estos suelos, (de 20 a 31 %) lo cual indica que el suelo puede estar húmedo pero el agua no esta disponible, esto debido a que las arcillas retienen fuertemente las moléculas de agua. Se calcula un 10 % promedio de humedad aprovechable (48 a 58 mm para mojar 50 cm. de profundidad radicular), lo cual es mediano en cuanto a la capacidad de retención, normal para este tipo de suelos y aceptable para fines agronómicos pero con un espaciamiento adecuado entre cada riego.

Bajo estas condiciones es necesario hacer un manejo adecuado de agua y suelo para reducir los daños causados por la humedad continua y la consistencia en mojado del suelo, que es un medio hostil para las raíces de las plantas.

6.4. Clasificación de las unidades de suelos

6.4.1 Clasificación de suelos por capacidad de uso y para riego

De acuerdo a las características de los suelos y los parámetros del sistema de clasificación con fines de uso del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), las unidades 1,4 pertenecen a las clases II(sw), la unidad 2 a la clase II(swe) y las unidades 3,5 y 6 a la clase III(swe), todas arables. En cuanto a capacidad de uso los suelos clase II son aptos para agricultura intensiva, siempre y cuando se realicen prácticas adecuadas de manejo de las limitantes como el suelo arcilloso (s), el drenaje (w). Los suelos clase III son aptos para una agricultura moderada y para hacerlos productivos requieren el manejo de las limitantes de los suelos clase II más la erosión (e) por inundaciones que se registran en el invierno.

En cuanto a capacidad de uso los suelos son aptos para agricultura intensiva bajo riego, siempre y

cuando se realicen prácticas adecuadas como labranza, aplicación de materia orgánica, cultivos tolerantes a la alcalinidad en los sectores con pH elevado y drenaje subsuperficial en los suelos de clase III, ya que son suelos que se inundan en invierno.

Según el sistema de clasificación de tierras con fines de riego (USBR), del mismo departamento, las unidades 1, 2 y 4 pertenecen a la clase 2. Son suelos medianamente profundos, con el riesgo de salinización por el tipo de suelo, drenaje regular, lo cual requiere de prácticas de manejo del agua de riego y de las sales, de lo contrario, a largo plazo, se pueden presentar concentraciones de sales intolerables para los cultivos los cuales repercuten en la fertilidad del suelo. Las unidades 3, 5 y 6 que se clasifican como clase 3 (Figura 5), se caracterizan por ser menos profundos que los de clase 2, con un alto riesgo a la salinización, drenaje malo, lo cual requiere un manejo más estricto del agua y el suelo. En el cuadro 6 se presentan la clasificación de cada unidad y la superficie que ocupan en el área de estudio.

Cuadro 6. Clasificación de los suelos por capacidad de uso y para el riego.

UNIDAD	CLASE USDA	CLASE USBR	AREA (has)	PORCENTAJE
1, 4	II (sw)	2	433	51
2	II (swe)	2	84	10
3, 5, 6	III (swe)	3	328	39
TOTAL			845	100

() = limitantes s = suelo w = drenaje e= peligro a la erosión

6.4.2. Clasificación en base a su fertilidad

De acuerdo al sistema de la Universidad de Carolina del Norte (Raleigh N.C.S.U.) (21), los suelos arcillosos en los primeros 20 cm, a excepción de la unidad 5, que es franco arcilloso, en todas las unidades hay deficiencia de nutrientes, en las unidades 1 y 2 hay reacción básica, las unidades 2,3,5,6 son afectadas por inundaciones, lo cual hace que el suelo pase saturado alguna temporada del año y la clasificación taxonómica los ubica en los Vertisoles. En el cuadro 7 se describen las características de clasificación para cada unidad.

Cuadro 7. Clasificación de los suelos en base a su fertilidad.

UNIDAD	CLAS.	SIGNIFICADO
1	CCkbv	Arcilloso en los 1eros 20 cm arables, sub-suelo arcilloso en su interior, baja reserva de potasio, reacción básica, vertisol.
2	CCgkbv	Arcilloso en los 1eros 20 cm arables, sub-suelo arcilloso en su interior, saturado en alguna temporada del año, baja reserva de potasio, reacción básica, vertisol
3,6	CCgkv	Arcilloso en los 1eros 20 cm. Arables, sub-suelo arcilloso en su interior, saturado en alguna temporada del año, baja reserva de potasio, vertisol.
4	CCkv	Arcilloso en los 1eros 20 cm. Arables, sub-suelo arcilloso, baja reserva de potasio, vertisol.
5	LC'gkv	Franco arcilloso en los 1eros 20 cm. Arables, sub-suelo arcilloso en su interior con gravas con más del 15 %, saturado en alguna temporada del año, bajo en potasio, vertisol.

6.5. Características de Clasificación y Manejo

6.5.1. Clasificación de grupos de unidades formados

Se formaron 5 grupos de unidades de suelos, los cuales tienen características similares entre cada grupo. En el cuadro 8 se describe las características de cada grupo de unidades y en la figura 5 se muestran su distribución.

Cuadro 8. Características de Clasificación por capacidad de uso agrícola y para riego, así como la fertilidad de las unidades de suelos.

GRUPOS DE UNIDADES	UNIDADES	CLASIFICACIÓN DE TIERRAS	CARACTERÍSTICA DE CADA GRUPO DE UNIDAD
1	1	Por capacidad II (sw) Con fines de riego 2 Por su fertilidad CCkbv	Suelos poco profundos, arcilloso a 20 centímetros, con arcillas que se hinchan, drenaje regular, susceptible a la salinización, deficiente en nutrientes, alcalino, con rajaduras en la superficie.
2	2	Por capacidad II (swe) Con fines de riego 2 Por su fertilidad CCgkbv	Suelos profundos, arcilloso a 20 centímetros, con arcillas que se hinchan, drenaje malo, con inundaciones severas en el invierno que provocan erosión laminar, susceptible a la salinización, deficiente en nutrientes, alcalino con rajaduras en la superficie.
3	3,6	Por capacidad III (swe) Con fines de riego 3 Por su fertilidad CCgkv	Suelos moderadamente profundos, arcilloso a 20 centímetros, con arcillas que se hinchan, drenaje muy malo, con inundaciones severas en invierno que provocan erosión laminar, susceptible a la salinización, deficiente en nutrientes, con rajaduras en la superficie.
4	4	Por capacidad II (sw) Con fines de riego 2 Por su fertilidad CCkv	Suelos moderadamente profundos, arcilloso a 20 centímetros, con arcillas que se hinchan, drenaje regular, susceptible a la salinización, deficiente en nutrientes, con rajaduras en la superficie.
5	5	Por capacidad III (swe) Con fines de riego 3 Por su fertilidad LC'gkv	Suelos poco profundos, franco arcillosa a 20 centímetros y arcillosa a más de 20 centímetros, con gravas, arcillas que se hinchan, drenaje muy malo, susceptible a la salinización, con inundaciones severas en invierno que provocan erosión laminar, deficiente en nutrientes, con rajaduras en la superficie.

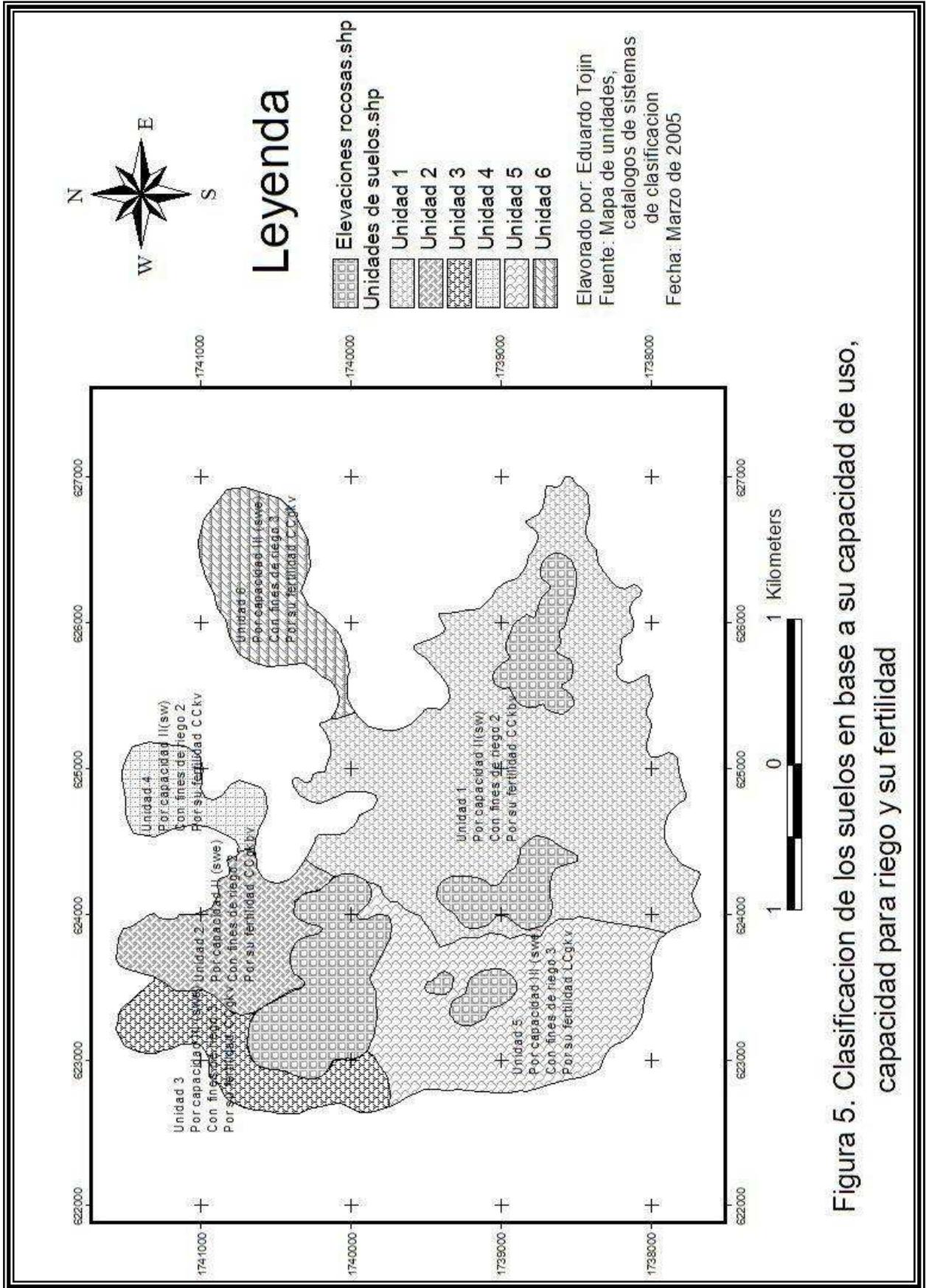


Figura 5. Clasificación de los suelos en base a su capacidad de uso, capacidad para riego y su fertilidad

6.5.2. Requerimientos de Manejo de las unidades de suelo

En el cuadro 9 se resume las características de manejos factiblemente consideradas para el área y de esta manera hacer un uso sostenible del recurso.

Cuadro 9. Practicas generales necesarias para el manejo adecuado del suelo en las diferentes unidades.

GRUPOS DE UNIDADES	UNIDADES	CLASIFICACIÓN	CARACTERÍSTICA DE MANEJO DE CADA GRUPO DE UNIDAD
1	1	Por capacidad II (sw) Con fines de riego 2 Por fertilidad CCKbv	Labranza cero, aplicación de Compost, aplicación de fertilizantes con efecto residual ácido, fertilización foliar, sistemas de cultivos.
2	2	Por capacidad II (swe) Con fines de riego 2 Por fertilidad CCgkbv	Labranza mínima, siembra en surcos o tablones, aplicación de Compost, aplicación de fertilizantes con efecto residual ácido, fertilización foliar, sistemas de cultivos, drenaje subsuperficial, conservación de suelo.
3	3,6	Por capacidad III (swe) Con fines de riego 3 Por fertilidad CCgkv	Igual que el manejo de la unidad 2
4	4	Por capacidad II (sw) Con fines de riego 2 Por fertilidad CCKv	Igual que el manejo de la unidad 1
5	5	Por capacidad III (swe) Con fines de riego 3 Por fertilidad LC ² gkv	Igual que el manejo de la unidad 2

6.6. Características del Agua

6.6.1. Clasificación de aguas

La fuente de agua utilizada es el río Azul, el cual es tributario del río Nenton. De acuerdo a los resultados del laboratorio (Cuadro 10), las aguas son de clase C2S1 según las normas del departamento de agricultura de Estados Unidos, las cuales son de mediana calidad en cuanto a salinidad y de buena calidad en cuanto a la concentración de sodio soluble, haciéndolas aceptables para el riego con requerimientos solamente de drenaje natural. (2)

Cuadro 10. Resultados del análisis de la muestra de agua de riego.

pH	C.E.	Meq/litro				Ppm				RAS	CLASE
		Ca	Mg	Na	K	Cu	Zn	Fe	Mn		
7.3	329	3.12	0.80	0.18	0.005	0	0	0	0	0.13	C2S1

Se estima una concentración de 22.4 miligramos de sales solubles por litro de agua, lo cual significa que si se riega durante 6 meses una demanda diaria de 5.5 mm., se aplicarían junto con el agua de riego 221.76 kilogramos de sales/ha. y 22 gramos de sales por metro cuadrado serán incorporados al suelo. Se estima que dentro de 15 años ya se hayan aplicado 315 gramos de sales por metro cuadrado. Es probable que por ser un área de descarga hídrica pueda darse un lavado natural. Para llevar un control de la salinidad es necesario monitorear el contenido de sales durante un periodo conveniente.

Se observó una especie de polvo blanco sobre las hojas de algunas plantas cultivadas, esto representa los sólidos en suspensión y las sales que el agua contiene. Es importante considerar un análisis de sólidos en suspensión, ya que al aplicar agua de riego se aplica también los sólidos, que es muy probable sean carbonatos, los cuales podrían aumentar la alcalinidad de los suelos, reducir la densidad aparente del suelo y así disminuir la capacidad de retención de humedad.

6.6.2. Comportamiento de las sales del agua en el perfil

De acuerdo al modelo desarrollado por el ministerio de riego y drenaje de La República Árabe de Egipto, se determinó; que asumiendo una fracción de lixiviación del 10 % y una demanda diaria de 6 mm diarios y una conductividad eléctrica de 0.329 mmhos del agua, se aplican 6.6 mm de agua. A manera que el agua drene, en el primer cuarto de la profundidad radicular se consume el 40% del agua aplicada, esta agua aumenta su salinidad de 0.329 a 0.5 mmhos ya que el volumen se reduce pero no así la salinidad. En el cuadro 11 se puede observar como aumenta la salinidad del agua hasta llegar al último cuarto, que es la fracción de lixiviación, que finalmente es de 3 mmhos/cm. Esta situación permite determinar la acumulación de sales durante los riegos, la cual cuando no se maneja bien el riego puede afectar el rendimiento de los cultivos.

Agua Aplicada

$$I = (E - P) * (1 / 1 - FL)$$

Donde

I = Agua aplicada

E - P = Demanda

FL = Fracción de lixiviación

Datos

CE= 0.329 milimhos/cm

E-P= 6 mm/día

FL= Cr,agua/Cr,suelo*100 = 10.66%

I= (E-P)*(1/1-FL)

I = 1.12 (E-P)

I = 6.72

Cuadro 11. Comportamiento de las sales del agua de riego en el perfil del suelo

Cuartos de prof.	Absorción de Agua	Agua aplicada	Precolación	Salinidad del agua
				Mmhos/cm
1	0.4*(E-P)	1.12*(E-P)	0.72*(E-P)	0.50028169
2	0.3*(E-P)	(1.12-0.4)*(E-P)	0.42*(E-P)	0.857142857
3	0.2*(E-P)	(1.12-0.4-0.3)*(E-P)	0.22*(E-P)	1.636363636
4	0.1*(E-P)	(1.12-.4-.3-.2)*(E-P)	0.12*(E-P)	3

6.6.3. Demandas de Agua

Los cálculos teóricos de la evapotranspiración se realizaron para el periodo de Noviembre a Mayo, utilizando la temperatura promedio de cada mes en grados centígrados, 11.6 horas diarias de insolación, velocidad del viento de 2 –5 m/seg. y una humedad relativa de 20 a 50 % para la fórmula de Blaney-Cridle modificada por la FAO. En el cuadro 12 se presentan los resultados de ETP para el periodo de interés.

Cuadro 12. Demandas evapotranspirativas diarias y mensuales en milímetros para los meses de noviembre a mayo.

MES	Tx̄	%HL	F mm	HRM %	n/N	VV m/s	ETP mm/día	ETP mensual
NOVIEMBRE	24	0.26	4.60	20-50	1	2-5	5.3	160 mm
DICIEMBRE	24	0.25	4.79	20-50	1	2-5	5.5	165 mm
ENERO	24	0.26	4.60	20-50	1	2-5	5.3	160 mm
FEBRERO	25	0.26	5.03	20-50	1	2-5	6.0	180 mm
MARZO	25	0.29	5.30	20-50	1	2-5	6.4	192 mm
ABRIL	26	0.28	5.62	20-50	1	2-5	6.75	202 mm
MAYO	25	0.27	5.69	20-50	1	2-5	6.8	204 mm

$$F=p(0.46(t)+8.13)$$

De acuerdo a los cálculos del cuadro 12 se requiere mayor riego en los meses de marzo, abril y mayo, aunque según lo reportado para esta área por el estudio de caracterización hidroclimática del MAGA (13), durante la época de invierno es necesario riego complementario.

6.7. Caracterización del Sistema Aplicación de riego

6.7.1 Descripción del sistema

El sistema utilizado para la aplicación de agua es de aspersión, activado por gravedad. Se tienen 2 diámetros de tubería principal, las cuales son de PVC, de 1 pulgada y de 1 1/2. La de una pulgada es utilizada en parcelas con un área de 0.25 a 0.75 has. y de 1 1/2 para parcelas con un área de mas de 0.75 a 1.5 has. Las laterales son del mismo material pero de una pulgada para todo tamaño de parcela. Los aspersores están separados por 18 metros y 15 entre laterales, el número de aspersores por lateral depende del largo y ancho del terreno. Los párales porta aspersores tienen un diámetro de $\frac{3}{4}$ de pulgada con una altura de 1.50 m.

El aspersor utilizado es de marca Rain Bird, modelo H32, con un diámetro de mojado de 26 m, las presión de trabajo es de 35 a 45 libras/pulgada cuadrada (PSI), y un caudal medio de 9.33 galones/minuto.

6.7.2 Frecuencia de riego

Se cuenta con cuatro modalidades de riego en cuanto al tamaño del área bajo riego, en el cuadro 5 se presentan las diferentes modalidades. Se riega con una frecuencia de 3 horas a diario por posición.

Cuadro 13. Tamaño de parcela, diámetro de tubería principal y número de aspersores utilizados para el riego por posición.

TAMAÑO DE PARCELA (Has)	DIÁMETRO DE TUBERÍA PRINCIPAL (pulg)	NUMERO DE ASPERSORES PARA REGAR/POSICIÓN
0.0625 – 0.5	1	2
0.562 – 1	1	2
>1 – 1.5	1 ½	3
>1.5 – 2	1 ½	4

6.8. Evaluación del sistema de riego utilizado

Se determino que se están aplicando 0.41 litros/segundo/aspersor, lo que equivale a 6.63 galones/minuto/aspersor, lo cual es 2.69 galones menor a lo reportado por el fabricante del aspersor. Según los cálculos de la formula básica de riego, con este caudal se están aplicando 16.4 mm por aspersor cada tres

horas. El diámetro de mojado es de 30 metros, lo cual significa que sobre pasa en 4 metros a lo que adecuadamente es para este tipo de aspersor (26 m).

Se pudo observar encharcamiento en algunas áreas lo cual sugiere que la intensidad de lluvia es mayor que la velocidad de infiltración o pudiera ser que por la frecuencia tan intensa de riego (a diario) el suelo ya no tenga más capacidad de absorción de agua.

Lo anteriormente expuesto radica en que estos suelos tienen una mediana capacidad de absorción (10 %), una alta fuerza de retención de humedad y baja velocidad de infiltración (1 a 1.3 cm/hora) lo cual exige una frecuencia más constante pero en bajos volúmenes, en comparación a otros suelos.

Se determinó un coeficiente de uniformidad de 71.38 %, un 50 % de traslape entre laterales y 40 % entre aspersores, lo cual hace aceptable el diseño del sistema aunque es necesario modificar la frecuencia de riego, ya que se aplica una lamina de 17 milímetros (mm) en tres horas cada dos días y la demanda es de 5.5 mm/diarios, de tal manera que se aplican 6 mm de más cada vez que se riega.

La lámina calculada a partir de la fórmula básica de riego fue similar a la media colectada durante la evaluación del sistema (16.4 mm es mas o menos igual a 16.71 mm), lo que significa que los datos recolectados durante la evaluación son confiables y la misma aceptada.

7. CONCLUSIONES

7.1. Recurso Suelo

Se determinaron 6 unidades de suelos, las cuales no difieren en pendiente, (2-5 %), pero si en los horizontes que los componen, la reacción del suelo, contenido de nutrientes y en el grado de erosión laminar. La posición fisiográfica del área (de descarga hídrica), a influido en la pérdida del primer horizonte por las inundaciones que se generan en el invierno, haciendo cada vez mas difícil el uso y el manejo del suelo en las unidades 2,3,5 y 6, no así en las unidades 1,4. Esto ha causado una diferencia en el potencial productivo de las diferentes unidades.

Lo que se concluye de cada sistema de clasificación para las unidades se presenta a continuación:

1. En base a las características de los suelos de las 6 unidades determinadas y estudiadas, los suelos de las unidades 1,2 y 4 pertenecen a la clase II (61%) y las unidades 3,5 y 6 a la clase III (39%), según la clasificación de suelos por capacidad de uso del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA por sus siglas en inglés).
2. Los problemas comunes determinados en todas las unidades son:
 - 2.1. El suelo de textura arcillosa (s), con arcillas inestables hacen difícil el manejo del suelo y del agua. En cierta manera también la profundidad y en algunas partes la pedregosidad del suelo.
 - 2.2. La erosión laminar (e) causada por las inundaciones que se registran durante el invierno en las unidades 2,3,5 y 6 (49%) están provocando la pérdida gradual del suelo, lo cual repercute en el difícil manejo y el rendimiento decadente.
 - 2.3. El riesgo a la salinización del suelo a mediano plazo es inevitable (dentro de 15 a 20 años), por el tipo de suelo y las aguas de regular calidad que se aplican (C2S1). Un mal manejo del agua de riego podría acelerar el problema.
 - 2.4. El tipo de drenaje, que va de regular a malo, causa problemas de anegamiento por temporadas largas cuando se dan lluvias copiosas o un riego mal manejado., especialmente en las unidades 2,3, 5 y 6 (49%). Esto hace infértiles a los suelos, afectando el rendimiento de los cultivos.

2.5. La deficiencia de nutrientes se puede decir que es generalizada y se considera una limitante para la producción agrícola.

2.6. La reacción básica del suelo limita los rendimientos en las unidades 1, 2, 3, 5, lo cual se evidencio con síntomas de deficiencia de hierro en las hojas de Maní en las 4 unidades que representan el 56 % del área de estudio.

3. Ventajas

3.1. Los contenidos de materia orgánica son adecuados en todas las unidades agrónomicamente hablando. Pero es necesario aumentarla hasta un 6 a 8% para lograr la estabilización de las arcillas.

3.2. La pendiente plana del área es una ventaja para el riego eficiente, aunque es afectada la por vientos moderadamente fuertes (2 – 5 m/seg).

3.3. Por su textura arcillosa en los primeros 40 cm de profundidad los suelos tienen la capacidad de adsorber y ceder nutrientes a las plantas, siempre y cuando existan en el suelo y los regimenes de humedad sean adecuados en esta sección del perfil del suelo que es ocupado por las 2/3 partes del sistema radicular de los cultivos.

7.2. Recurso Agua

1. Las aguas pertenecen a la clase C2S1, lo cual significa que son de mediana calidad y aptas para el riego, que requieren de un drenaje natural adecuado, el cual es una limitante en los suelos del área. Los sólidos en suspensión pueden causar la reducción de la porosidad del suelo y por consecuencia la densidad aparente.

2. Se calcula una demanda máxima de 6.4 mm diarios para el periodo que comprende de noviembre a mayo para el área de riego, teniendo como media 5.5 mm.

3. El diseño del sistema de aplicación es aceptable (72 % de eficiencia), aunque de acuerdo a las demandas y a las cantidades de agua que están aplicando es necesario modificarlas para hacerlo mas eficiente. Se están aplicando 6 mm más de agua por cada riego, con la frecuencia utilizada, lo cual significa que el suelo pasa la mayor parte del tiempo saturado y con poca aeración, aspecto que es vital para las plantas.

8. RECOMENDACIONES

8.1 Recurso Suelo

1. Basado en los problemas de expansión-contracción del suelo, que son característicos de este tipo de suelo, que se afrontan para la producción, es importante que se tomen medidas de manejo que ayuden a mejorar dichas condiciones, especialmente lograr la estabilización de las arcillas por lo menos en los primeros 20 cm. Entre estas puede estar en principio la incorporación de materiales orgánicos al suelo en una forma gradual a manera de reducir los costos.
2. En las unidades que se anegan inevitablemente durante el invierno (2,3,5,6), es importante realizar estudios que permitan diseñar una red de drenaje superficial dentro de las parcelas; de tal manera que el agua drene sin causar erosión a los suelos y daño a los cultivos.
3. Para reducir los riesgos a la salinización es importante considerar un manejo eficiente del agua de riego y así reducir al máximo la aplicación de sales. Utilizar láminas de lavado de sales en cada riego cuando los cultivos tengan un rendimiento del 75 %. Es importante monitorear la salinidad de los suelos a diferentes profundidades (25, 75, más de 75 cm) a cada año, al inicio y al final de la época de riego. De incrementarse la salinidad (más de 2 mmhos), algo seguro, considerar el diseño de un drenaje sub superficial, así como láminas de lavado de sales.
4. Es necesario hacer aplicación de fertilizantes al suelo a manera de aportar nutrientes. Aplicar elementos mayores (N, P, K) y elementos menores (Fe, Ca, Mg, S, Bo y Zn). Los elementos mayores y el azufre aplicarlos al suelo y los menores foliarmente. Las épocas y cantidades a aplicar deben ser en base a la demanda de los cultivos.

8.2. Manejo del Agua.

1. Es importante un manejo eficiente del riego para reducir al máximo la concentración de sales. Las frecuencias y los tiempos de riego tienen que ser orientados a mantener el suelo a Capacidad de Campo y el sistema radicular con la menor salinidad posible.

2. Realizar los riegos en base al uso consuntivo de cada cultivo que esta regido por las etapas fenológicas y las demandas mensuales calculadas.

3. Plantar cortinas rompe vientos para reducir su impacto negativo en la distribución homogénea del agua en forma de lluvia de los aspersores y de esta manera aumentar la eficiencia del riego. La especies pueden ser altas productoras de materia orgánica con baja una alta relación carbono nitrógeno (30:1). Entre estas encontramos algunos pastos y arbustivas forrajeras.

8.3. Recomendaciones de Futuras investigaciones:

8.3.1. Suelo

A. Estudios de suelos con fines de Fertilidad

B. Estudios de suelos con fines de drenaje, especialmente en los suelos reportados con problemas de anegamiento.

C. Evaluación de Niveles de Materia Orgánica, Nitrógeno, Fósforo (P_2O_5) y Potasio (K_2O) o los que se requieran en determinada área. Es aconsejable considerar elementos menores.

8.3.2. Suelo-agua-planta.

A. Estudios de frecuencias de riego para los cultivos potenciales del área, como: Tomate, Chiles, Frijol, Maní y Maíz.

8.3.2. Manejo del suelo

A. Estudios sobre diferentes sistemas de labranza

B. Evaluación de Sistemas de cultivos.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Barver, R. s.f. Principios generales para el desarrollo de estrategias para el manejo de suelos (en línea). Roma, Italia, FAO. Consultado 18 de may. de 2002. Disponible en www.fao.org/DOCREP/V5295/v5290535.htm. 18 p.
2. Canto Brol, HE. 1994. Estudio de prefactibilidad para la introducción de un sistema de riego por gravedad, en la aldea La Unión, Nentón, Huehuetenango. Sistemas de Cultivos I y II. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 66 p.
3. Castillo Orellana, S. 1989. Análisis y calidad de aguas con fines de riego. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía, Instituto de Investigaciones Agronómicas. 65 p.
4. Cruz S, JR De la. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala; basado en el sistema Holdridge. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. p. 16-38.
5. Donahue, R. 1982. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Trad. por Jorge Peña. México, Prentice Hall International. 624 p.
6. Doorembos, J; Pruitt WO. 1977. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma, FAO. 144 p.
7. Doorembos, J; Kassam, HA. 1986. Efecto del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Roma, Italia, FAO. 212 p.
8. Estrada, LA. 1986. Muestreo de suelos e interpretación de resultados de análisis. Guatemala, ICTA. 49 p.
9. Fassbender, HW. 1982. Química de suelos. San José, Costa Rica, IICA. 398 p.
10. Fertilidad del suelo y nutrición del cultivo (en línea). 2001. US, Benson Institute. Consultado 15 mar. 2002. Disponible en <http://benson.byu.edu>.
11. Gurovich, DF. 1999. Riego superficial tecnificado. Chile, Universidad Católica de Chile. 630 p.
12. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1999. Mapa topográfico de la república de Guatemala; hoja Nentón, no.1863 III. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
13. IICA, CR. 1985. Compendio de agronomía tropical. San José, CR. 833 p.
14. Khalik, A. s.f. Modelos simplificados de manejo de agua en granjas. El Cairo, EG, Centro de Investigación de Riego y Drenaje. 22 p
15. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 1990. Caracterización hidroclimática de Guatemala con fines de riego. Guatemala. 60 p.
16. Norero, A. 1977. Diagnostico de la fertilidad del suelo, análisis de tierra y ensayos biológicos. Venezuela, CIDIAT. p. 1-103.

17. Perdomo, R; Haptom, HE. 1970. Ciencia y tecnología del suelo. Guatemala, Centro de producción de materiales, USAC. p. 235-250.
18. Rodríguez, FS. 1982. Fertilizantes. México, AGT Editor. 157 p.
19. Sánchez, PA. 1981. Suelos del trópico: características y manejo. Trad. por Edilberto Camacho. San José, CR, IICA. 364 p.
20. Simmons, CS; Tarano, JM; Pinto, JH. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la republica de Guatemala. Guatemala, José de Pineda Ibarra. 1000 p.
21. Soil Survey Staff. 1995. Claves para la taxonomía de suelos. Trad. por Carlos A. Ortiz. 3 ed. Chapingo, México, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. p. 41-42.
22. Teuscher, H; Paler, R. 1987. El suelo y su fertilidad. Trad. Rodolfo Vera Zapata. México, Continental. 510 p.
23. Tobias V, HA. 1996. Clasificación de suelos en base a su fertilidad. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 5 p.
24. Tobías V, HA. 1996. Clasificación de tierras con fines de riego. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 11 p.
25. Tobías V, HA. 1997. Guía para la descripción de suelos. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 73 p.
26. Tobías V, HA. 1998. Clasificación por capacidad de uso de la tierra. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 10 p.
27. USAC, Facultad de Agronomía, GT. 2000. Métodos cartográficos y unidades de mapeo. Guatemala. 18 p.

10. APENDICE

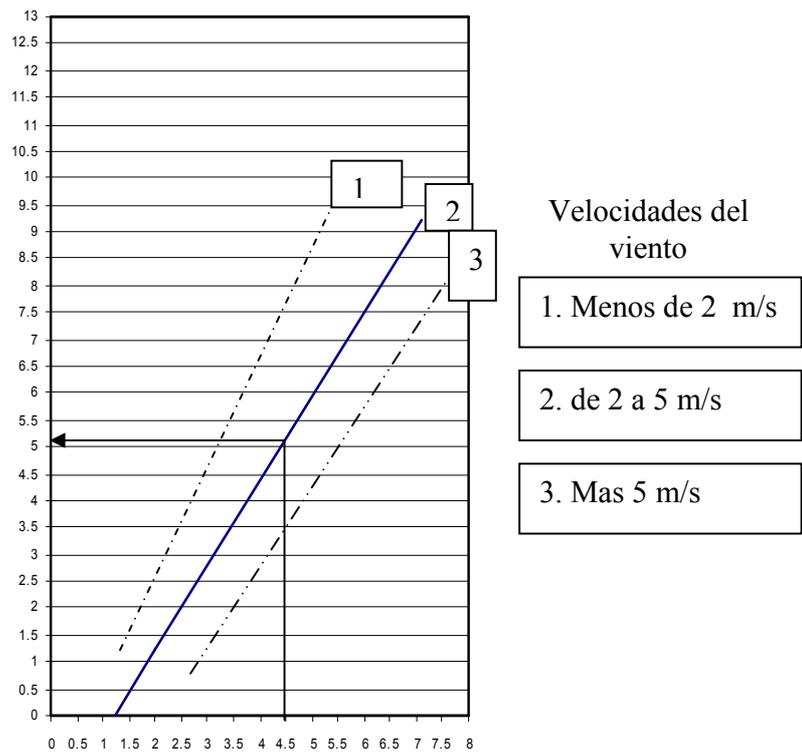


Figura 6. Predicción de la ETo (eje de ordenadas) a partir del factor f de Blaney-Cridde (eje de las abcisas), para las condiciones de humedad relativa mínima, horas de insolación diaria y vientos diurnos predominantes en el mes de interés.

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL No 1.

Lugar: Aldea Buxup, Municipio de Jacaltenango, Huehuetenango.

Sector de riego: Lenmish

Ubicación: 625223, 1738488.

Fecha: 7-03-'2002

Posición fisiográfica: Terraza.

Material parental: Depósitos aluviales

Régimen de humedad: Ustico

Vegetación: Cultivo del chile Tabasco

Pendiente: 1 a 2 %.

Pedregosidad: 1-5 %

Napa freática: Sin napa.

Costra Salina: Sin costra.

Rajaduras en la superficie: con rajaduras

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL:

Profundidad (cm)	Descripción.
0 - 49	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en mojado, arcilloso, medianamente adhesivo, plástico, mediana en mojado, granular, con presencia de carbonatos, abundantes poros y finos, normalmente drenado, gradual y plano, raíces comunes gruesas y finas, pH 8.0.
49 - 80	Gris oscuro (10YR 4/1) en mojado, arcilloso, adhesivo, plástico, fuerte en mojado, bloques angulares, con presencia de carbonatos, pocos poros y finos, escasamente drenado, gradual y plano, pocas gruesas y finas, pH 8.0, con piedras de 3 a 7 cm. De diámetro.

PROPIEDADES FÍSICAS

PROFUNDIDAD	%			CLASE	Da.	%	%	LHA
	ARCILLA	LIMO	ARENA	TEXTURAL	cc	CC	PMP	(mm)
De 0 - 49 cm.	54.18	22.34	23.48	ARCILLOSO	1.08	41.33	31.53	52.92

NUTRIENTES DISPONIBLES

PROFUNDIDAD	Mg /kg		Meq/ 100		Mg /ml				Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K
	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn			
De 0-49 cm	0.36	48	42.42	2.26	0.00	0.00	0.50	0.50	19:1	6:1	180:1
De 49-80 cm	0.50	15	39.61	0.72	0.00	0.00	0.50	1.00	56:1	6:1	565:1

PROPIEDADES QUÍMICAS

PROFUNDIDAD	pH	CE	M.O.	C.I.C.	Ca	Mg	Na	K	% S.B.
		Ms/cc	%						
De 0-49 cm	8.0	555	5.80	49.56	79.84	3.37	0.31	0.85	>100
De 49-80 cm	8.0	530	-	-	-	-	-	-	-

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL No 2.

Lugar: Aldea Buxup, Municipio de Jacaltenango, Huehuetenango.

Sector de riego: Jalhul

Ubicación: 624020, 1740584.

Fecha: 7-03-'2002

Posición fisiográfica: Terraza.

Material originario: Depósitos aluviales

Régimen de humedad: Ustico

Vegetación: Cultivo del chile Tabasco

Pendiente: 1 a 2 %.

Pedregosidad: 1-5 %

Napa freática: Sin napa.

Costra Salina: Sin costra.

Rajaduras en la superficie: con rajaduras

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL:

Profundidad (cm)	Descripción.
0 - 27	Pardo grisáceo (10YR 5/2) en mojado, arcilloso, medianamente adhesivo, plástico, mediana en mojado, granular, con presencia de carbonatos, pocos poros y finos, normalmente drenado, difuso y plano, raíces abundantes gruesas y finas, pH 7.9.
27 - X	Amarillo parduzco (10YR 6/6) en mojado, arcilloso, adhesivo, plástico, devil en mojado, bloques angulares, con presencia de carbonatos, pocos poros y finos, escasamente drenado, gradual y plano, pocas finas, pH 8.2.

PROPIEDADES FISICAS

PROFUNDIDAD	%			CLASE	Da.	%	%	LHA
	ARCILLA	LIMO	ARENA	TEXTURAL	cc	CC	PMP	(mm)
De 0 - 27 cm.	43.68	34.94	21.38	ARCILLOSO	1.05	33.22	21.52	61.10

NUTRIENTES DISPONIBLES

PROFUNDIDAD	Mg /kg		Meq/ 100		Mg /ml				Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K
	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn			
De 0-27 cm	0.01	13	41.79	1.34	0.00	0.00	0.50	0.50	31:1	12:1	757:1
De 27-x cm	0.01	10	41.79	0.72	0.00	0.00	0.50	1.00	51:1	9:1	914:1

PROPIEDADES QUIMICAS

PROFUNDIDAD	pH	CE	M.O.	C.I.C.	Ca	Mg	Na	K	% S.B.
		Ms/cc	%						
De 0-27 cm	7.9	575	5.80	36.52	67.37	1.85	0.30	0.18	>100
De 27-x cm	8.2	475	-	-	-	-	-	-	-

DESCRIPCIÓN DEL PEPERFIL No.3

Lugar: Aldea Buxup, Municipio de Jacaltenango, Huehuetenango.

Sector de riego: Coronado

Ubicación: 623239, 1740995

Fecha: 7-03-'2002

Posición fisiográfica: Terraza.

Material originario: Depósitos aluviales

Régimen de humedad: Ustico

Cobertura: sin cobertura

Pendiente: 1 a 5 %.

Pedregosidad: 1-5 %

Napa freática: Sin napa.

Costra Salina: Sin costra.

Rajaduras en la superficie: con rajaduras

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL:

Profundidad (cm)	Descripción.
0 - 33	Negro (10YR 2/1) en mojado, arcilloso, adhesivo, plástico, fuerte en mojado, granular, con presencia de carbonatos, pocos poros y finos, escasamente drenado, gradual y plano, raíces pocas finas, pH 6.8.
33 - 65	Gris (10YR 6/1) en mojado, arcilloso, adhesivo, plástico, fuerte en mojado, bloques angulares, con presencia de carbonatos, pocos poros y finos, escasamente drenado, gradual y plano, muy pocas finas, pH 8.1.

PROPIEDADES FÍSICAS

PROFUNDIDAD	%			CLASE	Da.	%	%	LHA
	ARCILLA	LIMO	ARENA	TEXTURAL	cc	CC	PMP	(mm)
De 0 - 33 cm.	56.28	13.94	29.78	ARCILLOSO	1.11	42.64	31.23	62.75

NUTRIENTES DISPONIBLES

PROFUNDIDAD	Mg /kg		Meq/ 100		Mg /ml						
	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K
De 0-33 cm	6.45	75	24.36	3.14	0.00	1.00	5.00	19.0	8:1	5:8	70:1
De 33-65 cm	0.01	23	40.86	0.82	0.00	0.00	0.50	0.50	50:1	4:1	359:1

PROPIEDADES QUÍMICAS

PROFUNDIDAD	pH	CE	M.O.	C.I.C.	Ca	Mg	Na	K	% S.B.
		Ms/cc	%						
De 0-33 cm	6.8	405	2.47	39.56	46.16	3.13	0.38	0.36	>100
De 33-65 cm	8.1	530	-	-	-	-	-	-	-

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL No. 4

Lugar: Aldea Buxup, Municipio de Jacaltenango, Huehuetenango.

Sector de riego: Patbenluis

Ubicación: 624681, 1740803.

Fecha: 7-03-'2002

Posición fisiográfica: Terraza.

Material parental: Depósitos aluviales

Régimen de humedad: Ustico

Vegetación: Cultivo del chile Tabasco

Pendiente: 1 a 5 %.

Pedregosidad: 2-10 %

Napa freática: Sin napa.

Costra Salina: Sin costra.

Rajaduras en la superficie: con rajaduras

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL:

Profundidad (cm)	Descripción.
0 - 10	Pardo muy oscuro (10YR 2/2) en mojado, arcilloso, medianamente adhesivo, plástico, mediana en mojado, granular, con presencia de carbonatos, abundantes poros y finos, normalmente drenado, neto y plano, raíces comunes gruesas y finas, pH 6.0.
10 - 62	Pardo rojizo claro (5YR 6/3) en mojado, arcilloso, medianamente adhesivo, muy plástico, fuerte en mojado, bloques angulares, con presencia de carbonatos, pocos poros y finos, escasamente drenado, gradual y plano, muy pocas finas, pH 6.3.
62 - 87	Gris oscuro (10YR 4/1) en mojado, arcilloso, adhesivo, muy plástico, fuerte en mojado, bloques angulares, con presencia de carbonatos, pocos poros y finos, escasamente drenado, gradual y plano, muy pocas finas, pH 6.3.

PROPIEDADES FÍSICAS

PROFUNDIDAD	%			CLASE	Da.	%	%	LHA
	ARCILLA	LIMO	ARENA	TEXTURAL	cc	CC	PMP	(mm)
De 10 - 62 cm.	66.78	13.94	19.28	ARCILLOSO	1.02	39.70	30.52	46.80

NUTRIENTES DISPONIBLES

PROFUNDIDAD	Mg /kg		Meq/ 100		Mg /ml				Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K
	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn			
De 0-10 cm	7.18	80	19.02	2.62	0.50	0.20	2.50	28.0	7:1	4:1	51:1
De 10-62 cm	0.07	23	15.91	1.49	1.50	1.00	7.50	10.0	11:1	8:1	146:1
De 62-87 cm	0.36	35	17.15	0.72	1.00	1.00	4.00	8.00	24:1	3:1	100:1

PROPIEDADES QUÍMICAS

PROFUNDIDAD	pH	CE	M.O.	C.I.C.	Ca	Mg	Na	K	% S.B.
		Ms/cc	%						
De 0-10 cm	6.0	280	-	-	-	-	-	-	-
De 10-62 cm	6.3	225	2.14	35.22	38.67	1.89	0.35	0.15	>100
De 62-87 cm	6.3	155	-	-	-	-	-	-	-

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL No. 5

Lugar: Aldea Buxup, Municipio de Jacaltenango, Huehuetenango.

Sector de riego: Barejonal

Ubicación: 623788, 1739632.

Fecha: 7-03-2002

Posición fisiográfica: Terraza.

Material paretal: Depósitos aluviales.

Régimen de humedad: Ustico

Vegetación: Cultivo del chile Tabasco

Pendiente: 1 a 5 %.

Pedregosidad: 1-5 %

Napa freática: Sin napa.

Costra Salina: Sin costra.

Rajaduras en la superficie: con rajaduras

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL:

Profundidad (cm) Descripción.

0 - 18	Negro (10YR 2/1) en mojado, franco-arcilloso, adhesivo, plástico, mediana en mojado, granular, con presencia de carbonatos, abundantes poros y finos, escasamente drenado, neto y plano, raíces pocas finas y medianas, pH 7.3.
18 - 76	Gris claro (10YR 7/1) en mojado, arcilloso, adhesivo, muy plástico, fuerte en mojado, bloques angulares, con presencia de carbonatos, pocos poros y finos, escasamente drenado, gradual y plano, pocas finas, pH 7.1, con piedras de 0.5 cm. A 7 cm. De diámetro.

PROPIEDADES FÍSICAS

PROFUNDIDAD	%			CLASE	Da. cc	%	%	LHA (mm)
	ARCILLA	LIMO	ARENA					
De 0 - 18 cm.	35.28	22.34	42.38	FRANCO ARCILLOSO	1.00	27.43	15.49	21.50
De 18 - 76 cm.	47.88	13.94	38.18	ARCILLOSO	1.08	34.17	21.91	42.37

NUTRIENTES DISPONIBLES

PROFUNDIDAD	Mg /kg		Meq/ 100		Mg /ml				Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K
	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn			
De 0-18 cm	25.30	143	17.15	1.85	0.00	1.00	3.50	29.5	9:1	2:1	26:1
De 18-76 cm	10.97	85	14.34	1.85	0.50	0.50	4.00	17.5	7:1	3:1	36:1

PROPIEDADES QUÍMICAS

PROFUNDIDAD	pH	CE	M.O.	C.I.C.	Ca	Mg	Na	K	% S.B.
De 0-18 cm	7.3	495	2.80	22.61	32.44	2.01	0.29	0.49	>100
De 18-76 cm	7.1	275	2.47	25.65	46.16	2.14	0.33	0.31	>100

DESCRIPCION DEL PERFIL No 6

Lugar: Aldea Buxup, municipio de Jacaltenango, Huehuetenango.

Sector de riego: Junta.

Ubicación: 626143, 1740472.

Fecha: 7-03-2002

Posición fisiográfica: Terraza.

Material originario: Depósitos aluviales

Régimen de humedad: Ustico

Cobertura: Cultivo de chile Tabasco

Pendiente: 1 a 5 %.

Pedregosidad: 1-5 %

Napa freática: Sin napa.

Rajaduras en la superficie: con rajaduras

Costra Salina: Sin costra.

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL:

Profundidad (cm)	Descripción.
0 - 3	Pardo rojizo oscuro (5YR 2.5/2) en mojado, arcilloso, adhesivo, plástico, mediana en mojado, granular, con presencia de carbonatos, pocos poros y finos, escasamente drenado, neto y plano, raíces gruesas y finas abundantes, pH 6.3.
3 - 83	Gris (10YR 6/1) en mojado, arcilloso, adhesivo, plástico, fuerte en mojado, bloques angulares, con presencia de carbonatos, pocos poros y finos, escasamente drenado, neto y plano, abundantes finas, pH 5.8.
83 - X	Amarillo parduzco (10YR 6/6) en mojado, arcilloso, ligeramente adhesivo, plástico, mediana en mojado, bloques angulares, con presencia de carbonatos, pocos poros y finos, escasamente drenado, neto y plano, pocas muy finas, pH 7.6.

PROPIEDADES FISICAS

PROFUNDIDAD	%			CLASE	Da.	%	%	LHA
	ARCILLA	LIMO	ARENA	TEXTURAL	cc	CC	PMP	(mm)
De 3 - 83 cm.	66.78	11.84	21.38	ARCILLOSO	1.17	37.03	26.99	60.84

NUTRIENTES DISPONIBLES

PROFUNDIDAD	Mg /kg		Meq/ 100		Mg /ml				Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K
	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn			
De 0-3 cm	-	-	-	-	-	-	-	-			
De 3-83 cm	0.21	38	12.78	1.59	1.00	0.50	19.0	11.50	8:1	5:1	64:1
De 83-x cm	-	-	-	-	-	-	-	-			

PROPIEDADES QUIMICAS

PROFUNDIDAD	pH	CE	M.O.	C.I.C.	Ca	Mg	Na	K	% S.B.
		Ms/cc	%						
De 0-3 cm	6.3	930	-	-	-	-	-	-	-
De 3-83 cm	5.8	170	1.25	31.74	23.70	2.22	0.61	0.18	84.16
De 83-x cm	7.6	250	-	-	-	-	-	-	-